

На правах рукописи



**ЯКОВЛЕВ НИКОЛАЙ СТЕПАНОВИЧ**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ  
КОМБИНИРОВАННЫХ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕ-  
ПОСЕВНЫХ АГРЕГАТОВ ПУТЁМ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ  
РАБОЧИХ ОРГАНОВ**

Специальность **05.20.01** – Технологии и средства механизации  
сельского хозяйства

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание учёной степени  
доктора технических наук

Барнаул - 2013



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** По сравнению с мировым уровнем затраты труда на производство продукции растениеводства в России превышают в 10...15 раз. Наиболее эффективным путём их снижения является переход к ресурсосберегающим технологиям, которые предполагают использование комбинированных почвообрабатывающе-посевных агрегатов (КППА). Эти агрегаты способны за один проход выполнить несколько технологических операций и сократить время проведения полевых работ. Поэтому в настоящее время появился повышенный спрос на КППА и производством их только в РФ занимаются более тридцати предприятий, которыми разработано около шестидесяти различных типов КППА. Однако, из-за недостатка знаний об особенностях их эксплуатации и отсутствии достоверной информации о причинах вызывающих отказы КППА, наблюдается низкая надёжность и низкое качество выполнения работы. Особенно это отмечается на начальном этапе их эксплуатации. По данным ГНУ СибИМЭ наработка на отказ у отечественных КППА равна всего 8...13 ч, у зарубежных – 25...58 ч, что влияет на сроки посева. Посев в оптимальные сроки даёт прибавку урожая на 2 - 4 ц/га, а углубление семян на 2 см от рекомендуемой глубины посева снижает их полевую всхожесть на 5 - 10 %.

В соответствии с тенденциями научно-технического прогресса необходимо постоянно повышать надёжность и качество работы КППА, что требует изучения условий их функционирования и выявления причин, вызывающих отказы. В такой постановке решить задачу можно только с учётом всего многообразия факторов, влияющих на их работу. В свою очередь, это возможно при рассмотрении КППА как динамической системы с вероятностными входными и выходными переменными. Следовательно, решение таких задач, как разработка соответствующих методов моделирования рабочих процессов КППА с учётом условий их функционирования, разработка основных принципов теории расчета и обоснования параметров рабочих органов, повышающих надёжность и качество работы, является актуальным.

**Научная гипотеза.** Предполагая, что при работе КППА в изменяющихся условиях внешней среды, отказы возникают от воздействия случайных факторов, изучив которые и выявив закономерности их влияния на процесс работы агрегата, можно обосновать параметры рабочих органов, повышающие эффективность его функционирования.

**Цель исследования.** Повышение эффективности функционирования КППА путём совершенствования их рабочих органов, обеспечивающих надёжность и качество выполнения ими работы.

**Объект исследования.** Технологический процесс функционирования КППА и его рабочих органов, влияющих на надёжность и качество работы.

**Предмет исследования.** Закономерности влияния конструктивных и технологических параметров рабочих органов на показатели надёжности и качества выполнения работы КППА.

**Методы исследований.** Работа выполнялась в период с 2000 по 2010 гг. в соответствии с заданием 01.02.01.01 «Обосновать и разработать перспективные технические средства для возделывания зерновых культур (обработка почвы, посев, внесение удобрений, мелиорантов и пестицидов) в адаптивно-ландшафтном земледелии Сибири».

В теоретических исследованиях использовались элементы системного анализа, элементы теории систем, методы кинематического и динамического анализа механизмов и машин, методы математического моделирования процессов. В основу исследований почвенно-климатических условий функционирования производственных процессов растениеводства положены стандартные методики с последующим применением теории вероятностей и математической статистики, теории подобия. Экспериментальные исследования выполнены с использованием отраслевых методик, методик планирования наблюдений за работой КППА. Обработка экспериментальных данных осуществлялась методами математической статистики с использованием компьютерных программ Math Cad, Microsoft Office Excel.

**Научную новизну представляют:**

- оценка работы КППА с помощью показателя эффективности функционирования, который позволяет оценить КППА с учётом качества выполнения технологического процесса, надёжности машин и их способности выполнить работу к определённому моменту времени;
- метод моделирования работы КППА, основанный на представлении КППА в виде отдельных кинематических схем и дальнейшего исследования их с помощью методов кинематического и динамического анализа и синтеза;
- зависимости и закономерности влияния технических и технологических параметров КППА на показатели надёжности и качества его работы.
- зависимости и закономерности, определяющие параметры сцепки, сцепного устройства, приёмника семян сошника, секторного распределителя семян, универсальной навески катков, параметров культиваторной лапы и стойки;
- технологические, технические и конструктивные параметры основных рабочих органов КППА. Новизна технических решений подтверждена 10 патентами на изобретения и полезные модели.

**Практическая значимость.** Результаты исследования при их реализации позволяют повысить наработку КППА на отказ с 7,6 до 120 ч. и обеспечить посев зерновых культур в агротехнические сроки, за счет равномерного распределения семян и качественной их заделки создать более комфортные условия для произрастания растений, способствующие повышению урожая.

Предложенные зависимости и закономерности, а также технические решения и методика оценки эксплуатационной надёжности могут служить практической базой при проектировании новых почвообрабатывающих и посевных агрегатов, позволяющих выполнять работу с коэффициентом надёжности технологического процесса 0,98 – 0,99.

**Реализация результатов исследования.** По материалам исследований внесены изменения в конструкцию ППМ «Обь-4-3Т», что позволило повысить наработку на отказ с 7,6 до 120 ч. (Протокол АГЗ МИС № 01-17-11 от 13.10.11).

Результаты исследований использованы ОАО «САД» для разработки, с участием автора, ППМ «Обь-6,5П-У», АКП «Лидер-6,5Н» и «Лидер-7,2Н», а также прицепных АКП «Лидер-7,2» и «Лидер-10,8». Производство машин освоено заводами ООО «ВИРО» - «Лидер-6,5Н» и «Лидер-7,2Н», ООО «Барышевоагромаш»-«Обь-4-ЗТ», «Лидер-7,2» и «Лидер-10,8», ООО «Обьмаш» – «Обь-6,5П-У». Машины «Обь-4-ЗТ», «Лидер-6,5Н», «Лидер-7,2Н» и «Лидер-10,8» одобрены коллегией министерства сельского хозяйства РФ и включены в реестр реализации по системе федерального лизинга.

**На защиту выносятся:**

- оценка работы КППА с помощью показателя эффективности функционирования;
- метод анализа и поиска причин, вызывающих отказы узлов и деталей, которые снижают эффективность функционирования КППА;
- закономерности изменения показателя эффективности функционирования КППА в зависимости от параметра потока отказов его основных рабочих органов, качества выполненной работы и времени работы в смену;
- зависимости и закономерности влияния неконтролируемых факторов на технологические, технические и конструктивные параметры основных рабочих органов КППА;
- технические решения по повышению надёжности и качества выполнения технологического процесса КППА;
- конструктивные параметры сцепки, сцепного устройства, разбрасывателя семян, распределителя семян по семяпроводам, стойки рабочего органа и универсальной навески катков;

**Апробация результатов исследования.**

Основные положения диссертационной работы и результаты исследований доложены и рассмотрены на НТС ОАО «Сибирский Агропромышленный Дом» (2003 – 2010), комитете сельского хозяйства и продовольствия Читинской области (г. Чита, 2007 г), заседании технического совета Министерства СХ и продовольствия Республики Бурятия (г. Улан-Удэ, 2008 г), техническом совете Управления сельского хозяйства Восточно-Казахстанской области РК (г. Усть-Каменогорск, 2010 г), научно-технических конференциях ГНУ СибИМЭ (г. Новосибирск, 2011г), ФГОУ ВПО «БГСХА им. В.Р. Филиппова» (г. Улан-Удэ, 2011г), заседании Учёного совета Кем СХИ (г. Кемерово, 2011г).

**Публикации.** По результатам исследований опубликовано 34 печатных работы, в том числе 18 статей в журналах по перечню ВАК, 10 патентов и одно авторское свидетельство на изобретение. Общий объём опубликованных работ - 17,6 п. л. (в т. ч. лично автором 14,5 п. л.).

**Структура и объём работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка использованной литературы из 305 наименований, в том числе 16 на иностранном языке и приложений. Работа изложена на 321 страницах машинописного текста и включает 46 таблиц, 118 рисунков и 3 приложения.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы, дана общая характеристика направления исследований, изложены научные положения и результаты работы, выносимые на защиту.

**В первой главе** «Состояние вопроса, постановка цели и задач исследования» проведён анализ существующих систем обработки почвы и условий работы КППА, представлен обзор существующих методов оценки их эффективности функционирования и моделирования рабочих процессов.

Совершенствованием почвообрабатывающих и посевных машин занимались: В.П. Горячкин, В.А. Желиговский, Н.В. Щучкин, П.М. Василенко, Н.Д. Лучинский, Г.Н. Синеоков, М.А. Летошнев, А.Б. Лурье, И.П. Панов, И.Т. Ковриков, Н.В. Краснощеков, В.И. Виноградов, А.И. Любимов, Л.В. Гячев, А.В. Князев, В.И. Мяленко, Ю.А. Сергеев, и много других исследователей.

Значительный вклад в развитие технологии и технических средств по почвозащитному земледелию внесли А.И. Бараев, Т.С. Мальцев, И.М. Панов, П. Г. Кулебакин, Б.Д. Докин, М.К. Ягупов, А.П. Грибановский, А.П. Иофинов, В.И. Беляев, А.С. Кушнарёв, В.В. Тумурхонов и др.

Повышению надёжности машин посвящены работы: Б.В. Павлова, А.И. Селиванова, В.С. Мкртумяна, В.М. Михлина, И.П. Терских, И.Е. Ульмана, Н.И. Овчинниковой, А.Е. Немцева, В.А. Стремнина и др.

Однако, при всей значимости проведённых исследований некоторые важные аспекты рассматриваемой проблемы разработаны недостаточно. В проведённых исследованиях закономерности изменения показателей при взаимодействии элементов машин и агрегатов с почвой и окружающей средой рассматривались относительно снижения энергоёмкости процессов, оптимизации параметров элементов машин, определения показателей использования машин и т.д.

Причины, влияющие на качество работы выполняемой рабочими органами КППА, изучены недостаточно. Недостаточно исследований по выявлению сил и моментов, действующих на рабочие органы КППА при выполнении работы. Несовершенны методы оценки эффективности функционирования КППА в зависимости от их технического состояния и времени работы в смену.

**Для решения поставленной цели определены следующие задачи:**

1. Выявить основные элементы, снижающие надёжность КППА и установить факторы, влияющие на появление отказов в конструкции этих элементов;
2. Обосновать показатели и разработать математические модели оценки эффективности функционирования КППА при выполнении технологического процесса с учётом показателей надёжности и качества.
3. Выявить закономерности влияния конструктивных и технологических параметров рабочих органов КППА на надёжность и качество выполнения технологического процесса.
4. Обосновать технологические и технические параметры рабочих органов КППА, повышающие надёжность и качество его функционирования.
5. Дать оценку эффективности основных результатов исследования.

Во второй главе «Теоретические предпосылки повышения эффективности функционирования КППА» Комбинированный почвообрабатывающе-посевной агрегат представлен в виде отдельных машин, на которые действуют различные факторы, влияющие на эффективность функционирования. Факторы делятся на две группы: контролируемые и неконтролируемые (рисунок 1).



Рисунок 1 – Схема влияния факторов на эффективность функционирования КППА

Контролируемые факторы задаются технологией и их влияние известно, а неконтролируемые возникают неожиданно и управлять ими невозможно, но их влияние необходимо учитывать при разработке новых и эксплуатации существующих машин.

Эксплуатация КППА представляет собой последовательность различных состояний, в которых могут находиться его машины. В любое время состояние машин описывается случайным вектором  $\bar{Z}(t)$ . Компоненты  $Z_k(t)$  ( $k =$

$1, 2, \dots, N$ ) вектора  $\bar{Z}(t)$  представляют различные состояния машин. В каждом состоянии машины могут выполнять работу с определённым уровнем качества, зависящим от случайного воздействия факторов. Количественная оценка качества работы КППА  $\Phi_z(t)$  в каждый момент времени является функцией состояния машин  $\bar{Z}(t)$  в этот момент и называется характеристикой качества функционирования КППА:

$$\Phi_z(t) = \Phi[\bar{Z}(t)]. \quad (1)$$

Так как состояние  $\bar{Z}(t)$  машин изменяется во времени случайным образом, то процесс  $\Phi[\bar{Z}(t)]$  является случайным. Случайный процесс  $\Phi[\bar{Z}(t)]$  является общей математической моделью функционирования КППА, которая представлена в виде блок-схемы, где:  $\mathbf{C}$  – вектор выходных показателей;  $\mathbf{B}$  – вектор входных показателей;  $\mathbf{U}$  – вектор управляемых воздействий от контролируемых факторов;  $\mathbf{W}$  – вектор неуправляемых воздействий от неконтролируемых факторов (рисунок 2).

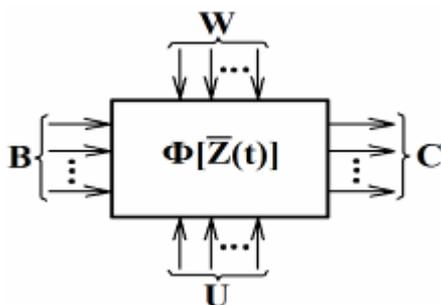


Рисунок 2 – Блок - схема модели функционирования КППА

Эффективностью функционирования КППА в этом случае следует считать математическое ожидание случайной функции  $\Phi_z(t)$ , как среднее по множеству реализаций случайного процесса  $\Phi[\bar{Z}(t)]$ . Для КППА с

последовательно соединенными элементами с точки зрения надёжности (рисунок 3), эффективность функционирования определится по формуле:

$$\Phi_Z(t) = \sum_{j=1}^m \Phi \cdot P_{z_k}(t) = \sum_{j=1}^m \Phi \cdot \prod_{i=1}^n P_i(t),$$

где  $\Phi$  – эффективность функционирования идеальной машины, га/ч;  $P_{z_k}$  – вероятность появления  $Z_k$ -го состояния машины;  $P_i(t)$  – вероятность безотказной работы  $i$ -го элемента машины;  $m$  – количество машин в КППА.

Для определения вероятности безотказной работы  $P_i(t)$  используется интегральная функция в виде экспоненциального закона распределения:

$$P_i(t) = e^{-\lambda_i t},$$

где  $\lambda_i$  – параметр потока отказов  $i$ -го элемента машины, 1/ч.

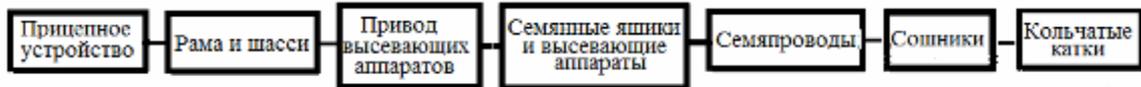


Рисунок 3– Схема посевной машины с последовательным соединением элементов

При этом выходной эффект КППА к моменту времени  $t$  будет зависеть от эффективности функционирования машины:

$$Q_Z(t) = \int_0^t \Phi \cdot P_{z_i}(t) dt = \int_0^t \Phi \cdot e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i t} dt = \frac{\Phi}{\lambda_i} (1 - e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i t}); \quad (2)$$

где,  $t$  – время работы машины, ч.

В реальной жизни машина может работать и при одном или двух отказавших элементах. При этом эффективность функционирования её может быть несколько ниже, чем у машины, работающей с исправными элементами (рисунок 4).

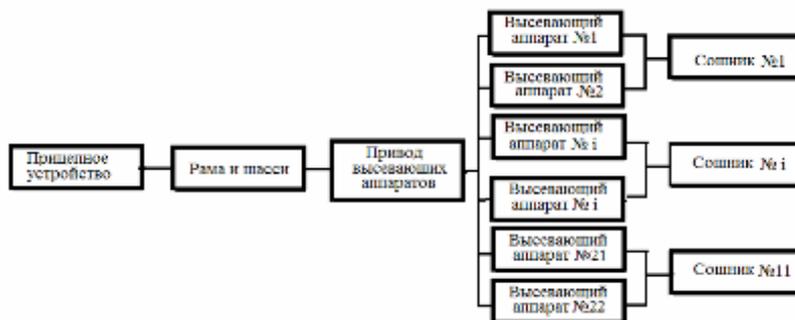


Рисунок 4 – Схема посевной машины с параллельным (дублирующим) расположением элементов

Принимая во внимание, что отказ одновременно двух элементов машины (высевающих аппаратов) ведет к отказу, ограничимся тремя её состояниями:

– машина исправна и все её элементы работают:

$$P_{Z_1} = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_4 \cdot P_5 \cdot P_6;$$

– машина работает с одним отказавшим аппаратом под нечетным номером:

$$P_{Z_2} = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_4 \cdot (1 - P_5) \cdot P_6;$$

– машина работает с одним отказавшим аппаратом под четным номером:

$$P_{Z_3} = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot (1 - P_4) \cdot P_5 \cdot P_6.$$

Тогда эффективность функционирования машины, характеризующая математическое ожидание выходного эффекта, определится по формуле полного математического ожидания:

$$\Phi_Z(t) = K_{Z_1} \cdot P_{Z_1} + K_{Z_2} \cdot P_{Z_2} + K_{Z_3} \cdot P_{Z_3}, \quad (3)$$

где  $K_{Z_k}$  – эффективность функционирования машины, находящейся в одном из возможных состояний от  $Z_1$  до  $Z_3$ . Подставив соответствующие значения  $P_{Z_k}$  в формулу (3), получим в общем виде эффективность функционирования машины при параллельном соединении двух элементов:

$$\Phi_Z(t) = e^{-\lambda_{z_1} t} [K_{Z_1} + \sum_{k=2}^3 K_{Z_k} (\frac{1}{e^{-\lambda_k t}} - 1)];$$

где  $\lambda_{z_i}$  – параметр потока отказов машины в  $Z_i$  – м состоянии,

$$\lambda_{z_1} = \sum_i^n \lambda_i,$$

где  $n$  – количество элементов, из которых состоит машина.

Выходной эффект машины к моменту времени ( $t$ ):

$$Q_{(t)} = \int_0^t e^{-\lambda_{z_1} t} [K_{Z_1} + \sum_{k=2}^3 K_{Z_k} (\frac{1}{e^{-\lambda_k t}} - 1)] dt;$$

где  $-\lambda_{z_2} = -\lambda_{z_1} + \lambda_5$  – параметр потока отказов машины в  $Z_2$  состоянии;

$-\lambda_{z_3} = -\lambda_{z_1} + \lambda_4$  – параметр потока отказов машины в  $Z_3$  состоянии.

Формулу определения выходного эффекта машины к моменту времени ( $t$ ) с параллельным соединением двух элементов можно представить в виде:

$$Q_{(t)} = \sum_{k=2}^3 \frac{K_{Z_k}}{\lambda_{z_k}} (1 - e^{-\lambda_{z_k} t}) - \frac{K_{Z_1}}{\lambda_{z_1}} (1 - e^{-\lambda_{z_1} t}). \quad (4)$$

При оценке эффективности функционирования посевных машин возникают ситуации, когда необходимо сравнить машины, с комбинированным соединением нескольких систем с неоднородными элементами (рисунок 5). У которых отказ некоторых элементов системы может привести лишь к частичному снижению качества выполняемой машиной работы, но не приведёт её к остановке.

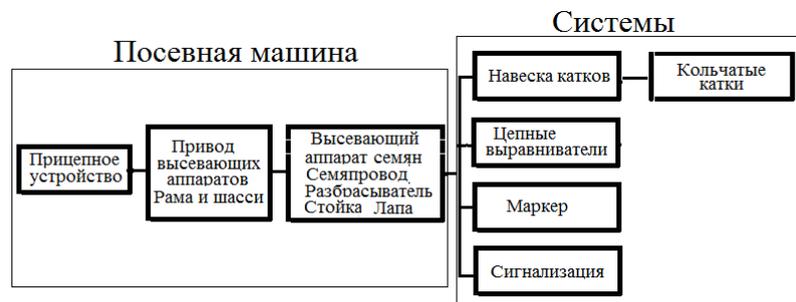


Рисунок 5 – Схема почвообрабатывающе-посевной машины с комбинированным соединением неоднородных элементов

В этом случае примем, что вероятность безотказной работы машины равна  $P_{Z_1}$ . Тогда вероятность работы машины с отказом, например, в системе навески кольчатых катков будет  $P_{Z_2}$ , системы цепных выравнивателей  $P_{Z_3}$ , маркера –

$P_{Z_4}$ , сигнализации –  $P_{Z_5}$ . Соответственно, эффективность функционирования машины определится как полное математическое ожидание:

$$\Phi_Z(t) = K_{Z_1} \cdot P_{Z_1} + K_{Z_2} \cdot P_{Z_2} + K_{Z_3} \cdot P_{Z_3} + K_{Z_4} \cdot P_{Z_4} + K_{Z_5} \cdot P_{Z_5}. \quad (5)$$

Поскольку  $K_{Z_k}$  эффективность функционирования машины, находящейся в одном из возможных состояний от  $Z_1$  до  $Z_N$ . Подставив соответствующие значения  $P_{Z_k}$  в формулу (5), получим формулу выходного эффекта в общем виде:

$$Q_{(t)} = \int_0^t K_{Z_1} \cdot e^{-\lambda_{Z_1} t} dt + \int_0^t \sum_{z_k=Z_2}^{Z_N} K_{Z_k} \cdot e^{-\lambda_{Z_k} t} dt - \int_0^t \sum_{z_k=Z_2}^{Z_N} K_{Z_1} \cdot e^{-\lambda_{Z_1} t} dt,$$

где  $-\lambda_{Z_k} = -\lambda_{Z_1} + \lambda_i$  - параметр потока отказов машины в  $Z_k$  состоянии.

Модель выходного эффекта машины к моменту времени ( $t$ ) с ветвящейся структурой элементов можно представить как:

$$Q_{(t)} = \sum_{z_k=Z_2}^{Z_N} \frac{K_{Z_k}}{\lambda_{Z_k}} (1 - e^{-\lambda_{Z_k} t}) - \frac{1}{\lambda_{Z_1}} \left( \sum_{z_k=Z_2}^{Z_N} K_{Z_k} - K_{Z_1} \right) (1 - e^{-\lambda_{Z_1} t}). \quad (6)$$

Учитывая, что  $K_{Z_k} = K_{Z_1} - \delta_{Z_k}$  можно упростить формулу (6):

$$\sum_{z_k=Z_2}^N K_{Z_k} - K_{Z_1} = (K_{Z_1} - \delta_{Z_2}) + (K_{Z_1} - \delta_{Z_3}) + \dots + (K_{Z_1} - \delta_{Z_N}) - K_{Z_1} = (N-2)K_{Z_1} - \sum_{k=2}^N \delta_{Z_k},$$

где  $\delta_{Z_k}$  - потеря эффективности функционирования машина в  $Z_k$  – ом состоянии;

$\sum_{k=2}^N \delta_{Z_k} = K_{Z_1} - \delta_{Z_1}$ , где  $\delta_{Z_1}$  - потеря эффективности машины в  $Z_1$  – ом состоянии:

$$Q_{(t)} = \sum_{z_k=Z_2}^{Z_N} \frac{K_{Z_k}}{\lambda_{Z_k}} (1 - e^{-\lambda_{Z_k} t}) - \frac{(N-3) - \delta_{Z_1}}{\lambda_{Z_1}} (1 - e^{-\lambda_{Z_1} t}), \quad (7)$$

Для полной оценки эффективности функционирования машины применяется обобщённый показатель при условии, что он приведен к одинаковому интервалу времени работы всех элементов машины:

$$C(t) = \frac{Q(t)}{Q_m(t)}, \quad (8)$$

где  $Q(t)$  - выходной эффект машины, определённый по формулам (2, 4, 7);  $Q_m(t)$  - выходной эффект машины к моменту времени ( $t$ ), определённый техническим регламентом.

Подставив в левую и правую части формул (2, 4, 7),  $Q_m(t) = K_{Z_1} \cdot t$ , получим модели расчета показателя эффективности функционирования.

При последовательном соединении элементов

$$C(t) = \frac{C_{Z_1}}{t \cdot \lambda_i} (1 - e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i t}), \quad (9)$$

где  $C_{Z_1}$  – показатель эффективности функционирования исправной машины.

При параллельном соединении двух однородных (дублирующих) элементов

$$C(t) = \sum_{z_k=2}^2 \frac{C_{Z_k}}{t \cdot \lambda_{Z_k}} (1 - e^{-\lambda_{Z_k} t}) - \frac{C_{Z_1}}{t \cdot \lambda_{Z_1}} (1 - e^{-\lambda_{Z_1} t}), \quad (10)$$

где  $C_{Z_k}$  – показатель эффективности функционирования машины в  $Z_k$  состоянии.

При параллельном соединении нескольких неоднородных элементов

$$C(t) = \sum_{Z_k=Z_2}^{Z_N} \frac{C_{Z_k}}{t \cdot \lambda_{Z_k}} (1 - e^{-\lambda_{Z_k} t}) - \frac{(N-3) - \delta_{Z_1}}{t \cdot \lambda_{Z_1}} (1 - e^{-\lambda_{Z_1} t}). \quad (11)$$

Значение показателя эффективности функционирования  $C(t)$  зависит от  $\lambda_i$  параметра потока отказов  $i$  – х элементов машины, соответственно выявив причину появления отказа и устранив её снизим параметр потока отказов и повысим показатель эффективности функционирования КППА.

Для проверки разработанных моделей произведены расчеты показателя эффективности функционирования КППА с последовательным соединением элементов в машинах в зависимости от параметра потока отказов  $\lambda$  (рисунок 6).

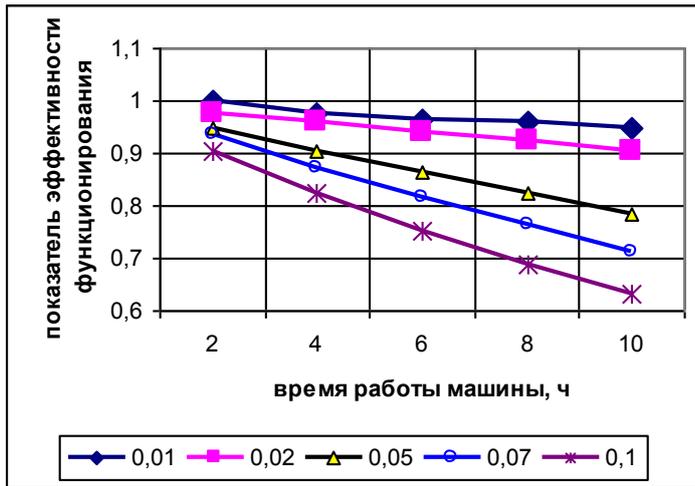


Рисунок 6 – Динамика изменения показателя эффективности функционирования с последовательным соединением элементов машины в зависимости от времени её работы и параметра потока отказов  $\lambda$

ных элементов машины 0,01. через 10 часов работы машины показатель эффективности функционирования равен 0,82, а без дублирующего – 0,75 (рисунок 7).

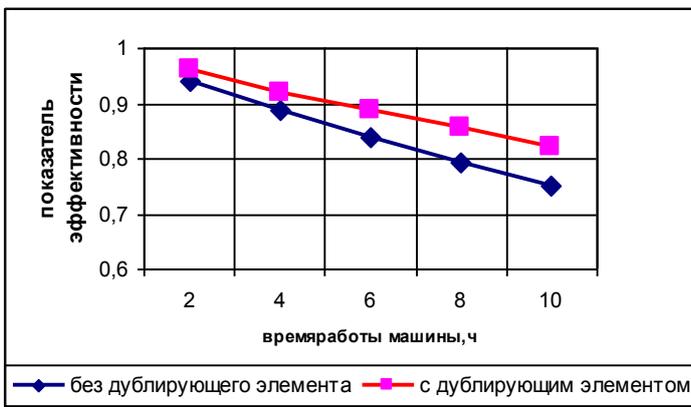


Рисунок 7 – Динамика изменения показателя эффективности функционирования при дублировании ненадежного элемента

Наработку машины на отказ изменяли от 10 до 100 часов. Анализируя результаты необходимо отметить, что машина с наработкой на отказ 10 часов ( $\lambda = 0,1$ ) к концу смены имеет показатель эффективности функционирования – 0,63, а с наработкой на отказ 100 часов ( $\lambda = 0,01$ ) – 0,905. Это означает, что вероятность выполнения машиной работы повысилась с 0,63 до 0,905.

При дублировании ненадежного элемента, имеющего параметр потока отказов  $\lambda = 0,05$  а параметр потока отказов остальных

элементов машины 0,01. через 10 часов работы машины показатель эффективности функционирования равен 0,82, а без дублирующего – 0,75

Посевная машина имеет несколько систем, отказ которых не приведёт к её остановке, а только несколько снизит качество выполняемой работы. К таким системам относятся: катки, маркеры, цепные выравниватели и система сигнализации. Если отказ ходовой части машины или привода высевающих аппаратов ведёт к остановке машины, то поломка одного, двух колец у катков или одной рессоры навески

не остановит машину. При этом она может находиться в одном из перечисленных состояний (таблица 1).

Каждому состоянию машины соответствует свой показатель эффективности функционирования  $C_{Z_k}$ , определяющий качество выполнения работы. Расчеты показывают, что с учетом работы машины с одной частично отказавшей

Таблица 1 – Параметры состояний машины

| Состояние машины   | Обозначение | Показатель эффект. | Параметр потока отказов, $\lambda$ |           |           |
|--------------------|-------------|--------------------|------------------------------------|-----------|-----------|
|                    |             |                    | Вариант 1                          | Вариант 2 | Вариант 3 |
| Машина исправна    | Z1          | 1,0                | 0,05                               | 0,01      | 0,011     |
| Отказ кольца катка | Z2          | 0,7                | 0,04                               | 0,008     | 0,01      |
| Отказ выравнителя  | Z3          | 0,8                | 0,04                               | 0,009     | 0,009     |
| Отказ маркера      | Z4          | 0,7                | 0,04                               | 0,008     | 0,009     |
| Отказ сигнализации | Z5          | 0,8                | 0,04                               | 0,009     | 0,009     |

системой (вариант 1б), показатель эффективности функционирования машины после 10 часов работы остаётся ещё довольно высоким – 0,903, если учитывать,

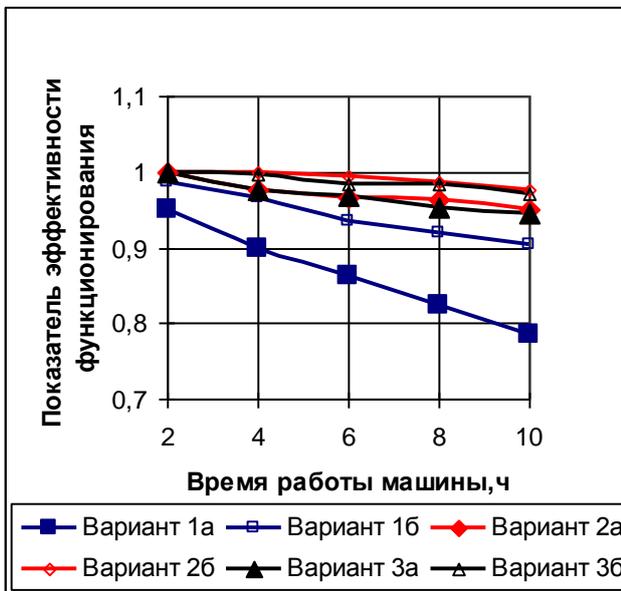


Рисунок 8 – Изменение показателя эффективности функционирования машины в зависимости от её возможного состояния  $Z_i$ : – отказ вызывает полную остановку машины (варианты с индексом а); – машина работает при частичном отказе одной из систем (варианты с индексом б).

что машина после первого отказа остановится (вариант 1а) показатель равен – 0,786 (рисунок 8).

При достижении параметра потока отказов  $\lambda = 0,01$ , для машины с установленными на неё системами через 10 часов работы имеем показатель эффективности функционирования (вариант 2а) – 0,976, при этом, без учета работы машины с частичным отказом системы (вариант 2б) – 0,95. Таким образом, используя показатель эффективности функционирования, можно ещё на стадии проектирования машины определять показатели её надежности.

Для выявления причин отказов элементов машин необходимо математическое моделирование процессов, характеризующих рабочие режимы КППА. В работе КППА испытывает различные сопротивления почвы, переезжает неровности почвы, совершает повороты и т.д. и движение его становится не равномерным, соответственно, появляются силы, которые могут разрушить соединительные устройства. Для решения этой задачи КППА можно представить в виде плоского механизма IV - го класса 3 - го порядка (рисунок 9).

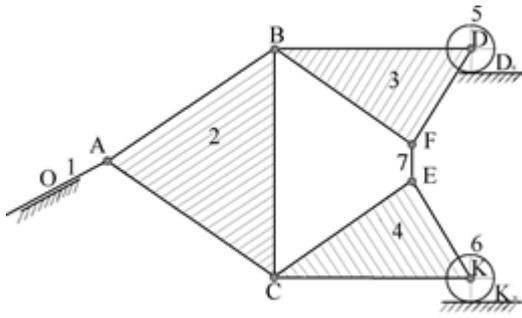


Рисунок 9 – Схема агрегата, состоящего из трактора, сцепки и двух посевных машин

На схеме ведущим звеном 1 является трактор, к нему с помощью шарнира  $A$  прицеплено звено 2 – сцепка, посевные машины, которые условно изображены в виде звеньев 3 и 4, присоединены к сцепке шарнирами  $B$  и  $C$ , а звенья 5 и 6 являются колесами машин и имеют шарниры  $D$  и  $K$ , машины соединяются звеном 7 с шарнирами  $F$  и  $E$ . Скорости и ускорения звеньев

механизма определяются методом построения планов скоростей и ускорений.

На каждую машину действуют с одной стороны – сила полезного сопротивления машины  $R_C$  и сила инерции  $\pm P_{И}$ , с другой – силы  $P_1$  и  $P_2$  от силы тяги трактора  $P$ . При движении машины в каждый данный момент силы взаимно уравниваются:

$$P_1 + R_{C_1} \pm P_{И_1} = 0, \quad P_2 + R_{C_2} \pm P_{И_2} = 0$$

следовательно:

$$P_1 = R_{C_1} \pm P_{И_1}, \quad P_2 = R_{C_2} \pm P_{И_2}. \quad (12)$$

При повороте КППА скорости точек  $F$  и  $E$  звена 7 не равны и появляется относительная скорость  $V_{EF}$ , соответственно возникает сила  $P_C = P_1 - P_2$ , которая действует на звено 7.

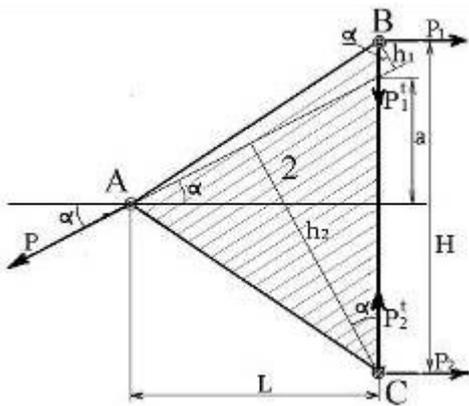


Рисунок 10 – Схема сил, действующих на сцепку при повороте агрегата

Численные значения сил  $P_1$  и  $P_2$  можно определить, составив уравнения моментов от сил, действующих на сцепку относительно точек  $C$  и  $B$  (рисунок 10).

Сумма всех моментов от сил, действующих на сцепку относительно точек  $C$  и  $B$  равняется нулю:

$$\sum M_C = P \cdot h_1 - P_1 \cdot H = 0, \quad \sum M_B = P_2 \cdot H - P \cdot h_2 = 0. \quad (13)$$

Плечи приложения силы тяги трактора  $P$  относительно точек  $C$  и  $B$ , определяются из следующих уравнений:

$$h_2 = (0,5H + a) \cos \alpha = (0,5H + L \operatorname{tg} \alpha) \cos \alpha;$$

$$h_1 = (0,5H - a) \cos \alpha = (0,5H - L \operatorname{tg} \alpha) \cos \alpha.$$

Подставляя полученные значения  $h_1$  и  $h_2$  в уравнения моментов (13), после несложных преобразований определяются значения сил  $P_1$  и  $P_2$ :

$$P_1 = P (0,5H + L \operatorname{tg} \alpha) \cos \alpha / H, \quad P_2 = P (0,5H - L \operatorname{tg} \alpha) \cos \alpha / H.$$

Заменяя силы  $P_1$  и  $P_2$  их значениями, получаем уравнение для определения силы разрывающей соединительное звено:

$$P_C = 2P \cdot L \cdot \sin \alpha / H \quad (14)$$

где  $P$  – сила тяги трактора, кН;  $L$  – длина сцепки, м;  $H$  – расстояние на сцепке между прицепами двух машин, м;  $\alpha$  – угол поворота трактора, град.

Прилагаемая сила тяги трактора зависит от факторов, характеризующих состояние поверхности поля и физико-механические свойства почвы, а угол поворота трактора от опыта тракториста.

Соответственно, разрывающее усилие, действующее на соединительное звено 7, увеличивается пропорционально силе сопротивления агрегата перекачиванию, при этом максимальное усилие может возникнуть при повороте трактора относительно оси агрегата на угол 90 град. и может достигать удвоенной величины силы сопротивления агрегата перекачиванию (рисунок 11).

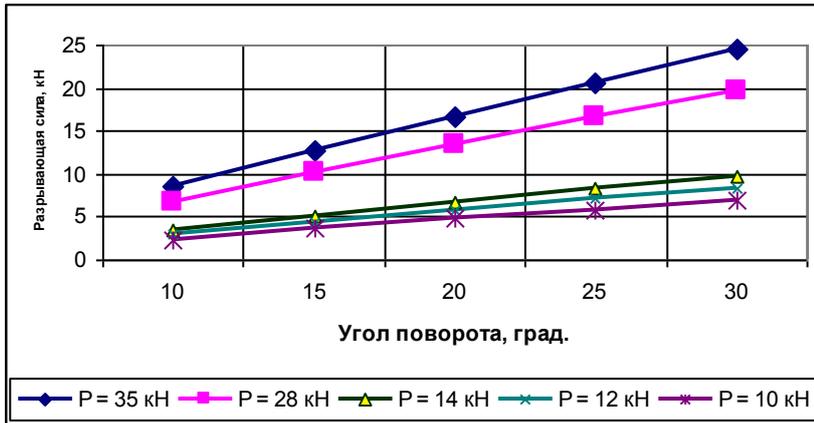


Рисунок 11 – Изменение силы, действующей на сцепное устройство при различных сопротивлениях машин перекачиванию в зависимости от угла поворота трактора

приложена сила  $P_C$ , а во время неравномерного движения ещё и сила инерции  $P_{II}$ . Сила  $P_C$  через точку  $G$  стремится изогнуть звено разорвать шов в точке  $Z$ . Реакция  $R$ , вызванная силой  $P_C$  определяется по формуле:

$$R = P_C \cdot h_4 / h_3. \quad (15)$$

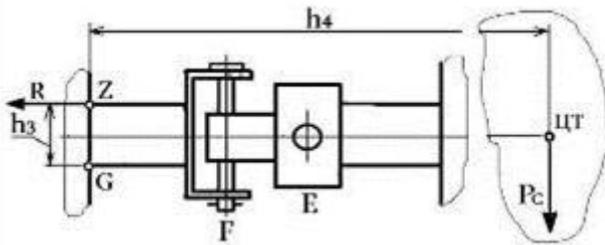


Рисунок 12 – Соединительное устройство и точка приложения силы

Величина реакции  $R$  в точке  $Z$  зависит от соотношения размеров плеч  $h_4$  и  $h_3$ , поэтому для снижения нагрузки в точке  $Z$ , необходимо увеличить плечо  $h_3$ .

В продольно-вертикальной плоскости, при равномерном движении КППА, на машины действуют: полезные силы, приложенные к рабочим органам  $\sum R_C$ ; силы веса

машины  $G_3$ ; веса семян  $G_1$ , удобрений  $G_2$  и силы инерции. Эти силы вызывают ответные реакции почвы на опорные колеса  $R_{II}$  и катки  $R_K$ , их уравнивает сила тяги трактора  $P_{TP}$  (рисунок 13).

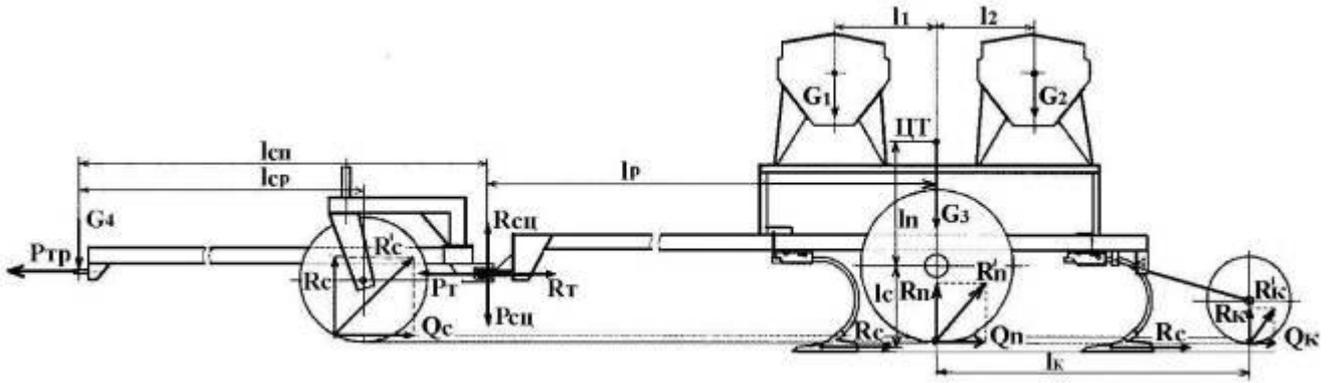


Рисунок 13 – Схема сил, действующих на агрегат с посевной машиной

Величины и направление этих сил неизвестны. Для их определения составляются уравнения:

$$\left. \begin{aligned} G_1 + G_2 + G_3 - R_{II} - R_K - R_{CII} &= 0; \\ \sum R_C + Q_{II} + Q_K - P_T \pm P_{II} &= 0; \\ \sum M(P_i) &= 0; \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

где  $R_{CII}$  – реакция серьги сцепки на силу давления прицепного устройства машины, кН;  $P_T$  – горизонтальная составляющая на серьге сцепки от силы тяги трактора, кН;  $Q_{II}$  – горизонтальная составляющая сопротивления почвы на перекачивание опорных колес машины, кН;  $Q_K$  – горизонтальная составляющая силы сопротивления почвы каткам, кН;  $R_K$  – реакция на силу давления пружины на каток, кН;  $P_{II}$  – сила инерции машины, кН.

Приняв ось основного колеса машины за центр вращения, уравнение моментов (16) можно записать в развернутом виде:

$$\left. \begin{aligned} \sum R_C l_C + G_1 l_1 - G_2 l_2 + G_3 l_3 + Q_n l_C + Q_K l_C + R_K l_K - P_T l_0 \pm P_{II} l_n - R_{CII} l_P &= 0, \\ R_{CII} l_P &= \sum R_C l_C + G_1 l_1 - G_2 l_2 + G_3 l_3 + Q_n l_C + Q_K l_C + R_K l_K - P_T l_0 \pm P_{II} l_n, \\ R_{CII} &= \sum R_C l_C + G_1 l_1 - G_2 l_2 + G_3 l_3 + Q_n l_C + Q_K l_C + R_K l_K - P_T l_0 \pm P_{II} l_n / l_P. \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

Неизвестные силы  $R_{II}$ ,  $R_{CII}$ ,  $P_T$  находятся из решения уравнений 16 и 17.

Изменение действующих сил и моментов на прицепное устройство в динамике, в зависимости от силы сопротивления почвы рабочим органам и сил инерции от ускорения машины представлены на графиках (рисунок 14).

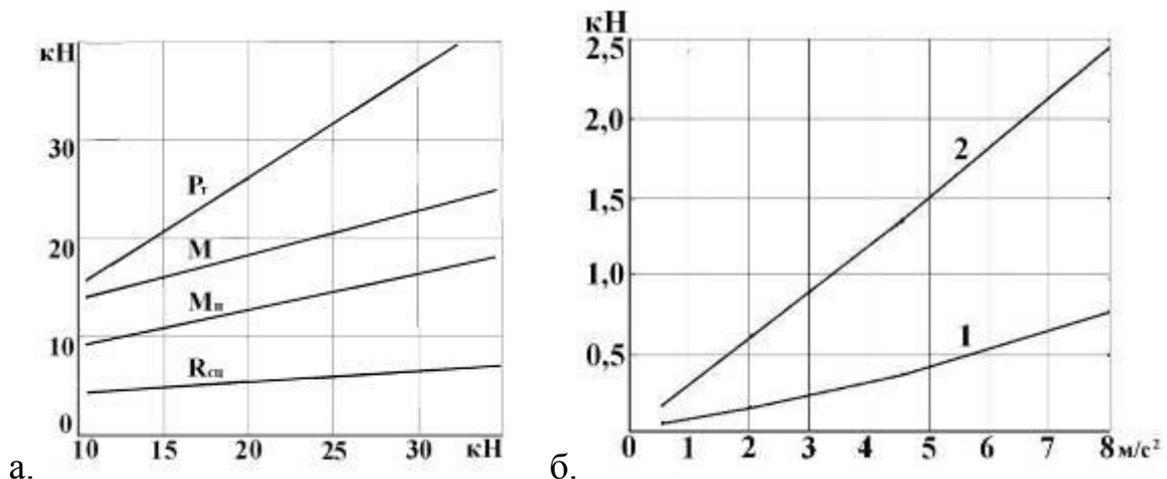


Рисунок 14 – Изменение сил и моментов, действующих на прицепное устройство:

а – от сопротивления почвы; б – от силы инерции при работе машины с пустыми семенными ящиками – 1, с полными ящиками – 2.

С увеличением сопротивления почвы рабочим органам, увеличивается горизонтальная составляющая силы тяги трактора  $P_T$ , которая оказывает влияние на вертикальную составляющую  $R_{СЦ}$ . Это отражается на величине изгибающего момента  $M_H$ , так при увеличении сопротивления в четыре раза  $M_H$  увеличиваются в 1,5 раза. Сила инерции машины с заполненными семенными ящиками на скорости машины (2...3 м/с) достигает максимального значения до 2...3 кН, при этом она может как увеличивать изгибающий момент  $M_H$  так и уменьшать его.

На серьгу сцепки действует сила сопротивления машины, направление которой неизвестно. Её заменяют горизонтальной  $P_T$  и вертикальной  $P_{СЦ}$  силами. Силы вызывают ответные реакции  $R_T$  и  $R_{СЦ}$ .

При наезде колесом сцепки на препятствие, вертикальная составляющая  $P_{СЦ}$  вызывает ответную реакцию препятствия на колесо  $R_D$ , при этом сила сопротивления колеса перекачиванию  $Q_C$  увеличивается (рисунок 15).

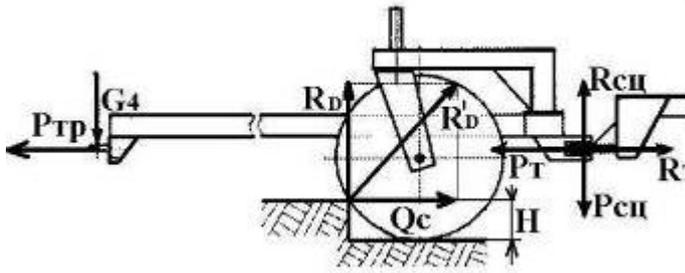


Рисунок 15 – Силы, действующие на колесо сцепки

Если вектор силы  $R'_D$  будет проходить выше оси колеса, произойдет защемление колеса. Причем, сила сопротивления колеса перекачиванию будет расти, пока вектор силы  $R'_D$  не изменит направление, и колесо не начнет вращаться. Соответственно, сила  $Q_C$

зависит от высоты препятствия на поверхности поля, радиуса колеса и силы давления прицепа машины на колесо:

$$Q_C = \frac{G + P_D}{r - H} \sqrt{H(2r - H)}, \quad (18)$$

где  $H$  – высота препятствия, м;  $r$  – радиус колеса сцепки, м;  $P_D$  – сила давления прицепа машины на колесо сцепки, кН.

Эффективность функционирования машины зависит не только от надёжности элементов машины, но и от качества выполняемой ими работы.

Одним из важных элементов этого процесса является равномерность распределения семян по борозде приёмником сошника посевной машины.

Ширина полосы посева семян определяется размером ширины культиваторной лапы за вычетом зон перекрытия следом задних лап по формуле  $L = 2B_2 - B_1$ , где  $L$  – ширина полосы посева семян, м;  $B_2$  – расстояние между центрами двух соседних лап, м;  $B_1$  – ширина лапы, м.

Ширина полосы  $L$  посева семян и скорость их полета связаны формулой:

$$0,5L = k \cdot V_1 \cdot \sqrt{2h_2 / g}, \quad (19)$$

где  $V_1$  - скорость, с которой семена падают на рассекаатель, м/с;  $h_2$  - высота установки рассекаателя, м;  $g$  - ускорение свободного падения,  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>;  $k$  - коэффициент восстановления скорости при ударе семян: **гороха – 0,67; ячменя – 0,56; пшеницы – 0,54; гречихи – 0,52; ржи – 0,46; овса – 0,44.**

Высокая скорость падения семян на рассекаатель приводит к отскакиванию их и столкновению с лапой, а малая не обеспечивает разброс. Поэтому нужно, чтобы скорость падения семян на рассекаатель была оптимальной. Простым регулятором скорости семян является установка на пути их падения, перед рассекателем, наклонной пластины (рисунок 16).

Скорость движения семян после отражения от пластины представляет сумму двух независимых движений – движения с ускорением свободного падения по вертикали и прямолинейного движения по горизонтали. Отношение скоростей  $V_B$  и  $V_T$  в момент отражения семян от наклонной пластины связано между собой соотношением  $V_B / V_T = \operatorname{tg} \alpha_1$ , где  $\alpha_1$  - угол между горизонталью и начальной траекторией полета, отраженных от пластины семян, град;  $\beta_1$  – угол отражения семян от пластины. Угол падения семян на пластину  $\beta$  и угол их отражения  $\beta_1$  связаны  $\operatorname{tg} \beta_1 = k \cdot \operatorname{tg} \beta$ .

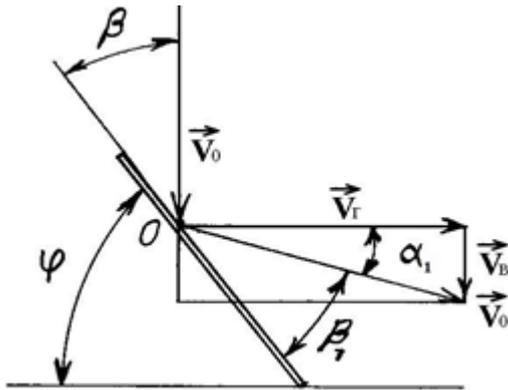


Рисунок 16 – Схема направлений векторов скоростей семян в момент их удара о пластину

Скорость семян  $V_0$  в точке удара их о пластину равна:  $V_0 = k \cdot \sqrt{2g \cdot h_0}$ ,

где  $h_0$  - высота свободного падения семян от катушек высевальных аппаратов до точки их удара о наклонную пластину, м (рисунок 17).

До следующего соударения семян с рассекателем, они должны упасть с высоты  $h_1$  и скорость их падения в точке удара на рассекателе, равна сумме скоростей:

$$V_1 = V_B + \sqrt{2g \cdot h_1},$$

где  $V_1$  – скорость семян в точке удара их о рассекаатель, м/с.

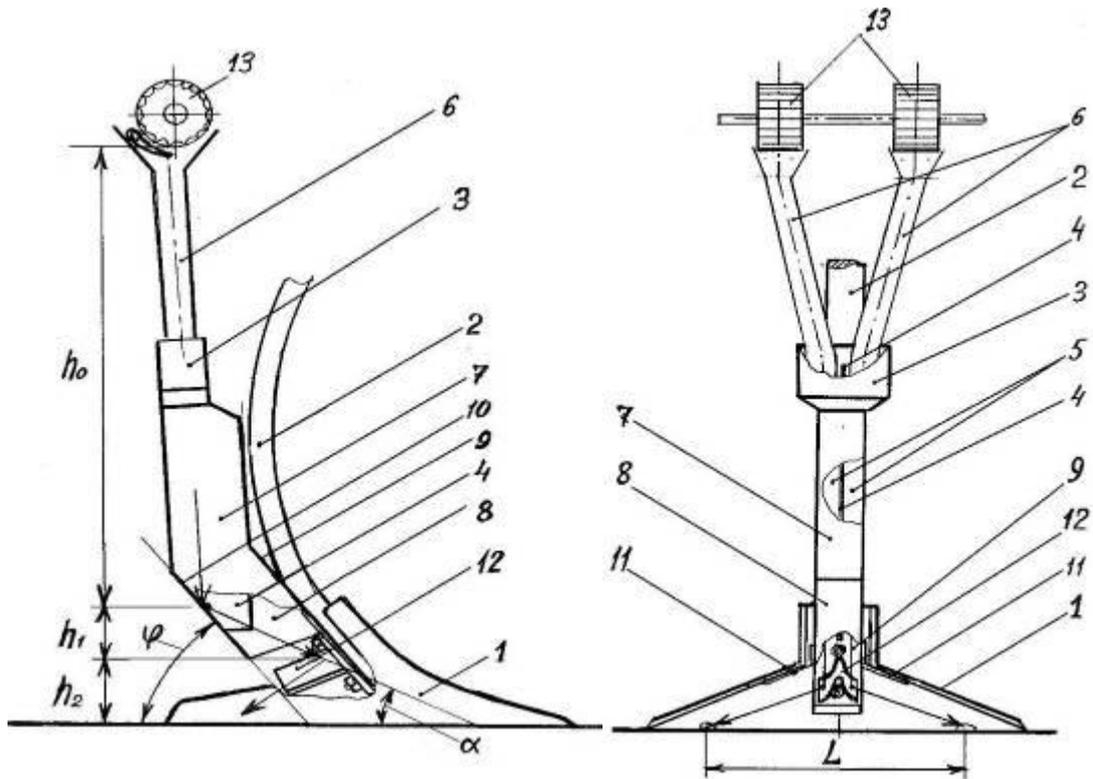


Рисунок 17 – Сошник и определяющие конструкцию его приёмника параметры: 1 – лапа; 2 – стойка; 3 – приёмник; 4 – перегородка; 5 – семяпроводящие каналы; 6 – семяпроводы; 7 – вертикальная часть приёмника; 8 – наклонная часть приёмника; 9 – передняя стенка приёмника; 10 – задняя стенка приёмника; 11 – закрылки; 12 – клинообразный двухскатный рассекатель; 13 – катушки высевяющих аппаратов;  $L$  – заданная ширина полосы посева;  $h_0$  – расстояние от катушек высевяющего аппарата до места попадания семян на заднюю стенку приёмника;  $h_1$  – расстояние от места попадания семян на заднюю стенку приёмника до рассекателя;  $h_2$  – расстояние от рассекателя до полосы посева.

Вертикальная составляющая  $V_B$  от скорости  $V_0$  определится по формуле:

$$V_B = V_0 \cdot \sin \alpha_1 = k \cdot \sqrt{2g \cdot h_0} \cdot \sin \alpha_1 .$$

Подставив в формулу (19) определение скоростей  $V_1$  и  $V_B$  получим:

$$0,5L = k \cdot (\sqrt{2g \cdot h_1} + k \cdot \sqrt{2g \cdot h_0} \cdot \sin \alpha_1) \cdot \sqrt{2h_2 / g} . \quad (20)$$

Преобразовав формулу (20) определим угол  $\alpha_1$  между горизонталью и траекторией полета, отраженных от наклонной пластины семян, а также введем в формулу коэффициент  $K$ , учитывающий потерю скорости падения семян из-за трения о семяпровод и получим:

$$\sin \alpha_1 = (0,5L - 2k \cdot \sqrt{h_1 \cdot h_2}) / 2k^2 \cdot K \cdot \sqrt{h_0 \cdot h_2} . \quad (21)$$

Коэффициент  $K$  зависит от угла наклона семяпровода, численно равен  $\cos \rho$ , где  $\rho$  – угол отклонения семяпровода от вертикали. Угол наклона пластины относительно горизонтали  $\varphi$  и угол траектории полета, отраженных от наклонной пластины семян к горизонтали  $\alpha_1$ , связаны между собой выражением:

$$\sin \varphi = \operatorname{tg} \alpha_1 \cdot \sin \beta + \sin \beta_1 / \cos \alpha_1 . \quad (22)$$

Изменяя наклон пластины можно получить необходимую ширину полосы посева и компенсировать влияние угла наклона семяпровода (рисунок 18).

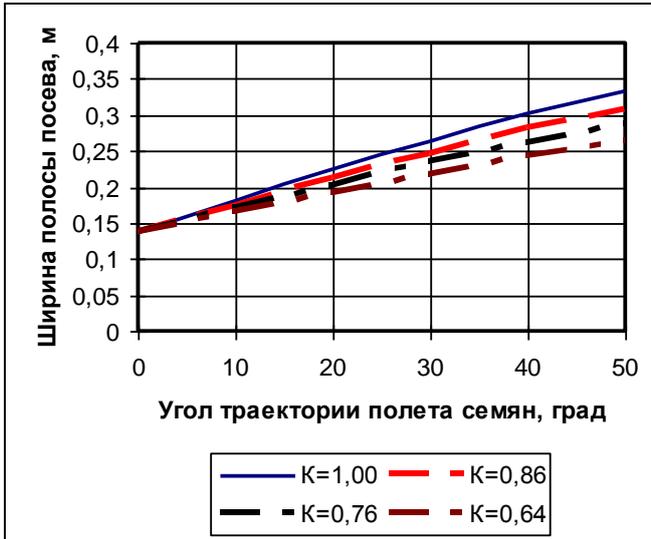


Рисунок 18 – Ширина полосы посева пшеницы в зависимости от угла наклона траектории полета семян  $\alpha_1$  и угла наклона семяпровода  $\rho$

При пневматической подаче семян их распределение по семяпроводам зависит от удельной секундной подачи семян на распределительную пластину, которую устанавливают в распределителе под углом  $\alpha_2$  к подводющему рукаву:

$$\sin\alpha_2 = \pi \cdot \lambda \cdot d^2 / 4q,$$

где  $\lambda$  – удельная секундная подача семян на распределительную пластину, г/(с·см<sup>2</sup>);  $d$  – диаметр подходящего к распределителю рукава, см;  $q$  – секундная подача семян на распределительную пластину, г/с. При этом длина распределительной пластины определяется как:

$$L_{рп} = 4q / \pi \cdot \lambda \cdot h_{п},$$

где  $L_{рп}$  – длина распределительной пластины, см;  $h_{п}$  – высота установки распределительной пластины (равна диаметру подводщего семяпровода), см.

Отражатели на распределительной пластине устанавливают на расстоянии равном радиусу шара, описывающего часть поверхности отражателя:

$$l = R / \sin\alpha_2,$$

где  $l$  – шаг установки отражателей на распределительной пластине, мм;  $R$  – радиус шара, образующего шаровой сегмент отражателя, мм.

Высота шарового сегмента отражателя определяется по формуле:

$$h_{от} = R - R \cdot \sin\alpha_2,$$

где  $h_{от}$  – высота отражателя, мм.

Радиус основания сегмента определится по формуле:

$$r_c = R \cdot \cos\alpha_2,$$

где  $r_c$  – радиус основания отражателя, мм.

После распределения семян по дну борозды необходимо провести выравнивание поверхности поля, чтобы семена оказались на одной глубине. При составлении агрегатов из нескольких машин появляется необходимость смены угла атаки катка на раме машины. Одним из условий переустановки является поворот катка относительно своей центральной оси, точки О (рисунок 19). При этом задача сводится к выбору формы кронштейнов и расчету точек их крепления на раме. Исходя из того, что тяговый брус крепится к раме посредством двух кронштейнов, длинного и короткого для того, чтобы выдержать заданный угол установки катков. Разница размеров между точками

крепления кронштейнов на раме и точками крепления кронштейнов на тяговом бруске определяет размер колена длинного кронштейна. Расстояние от центра машины до точки крепления крайнего кронштейна  $B$ , определится из следующего уравнения:

$$B = l_2 - l_1 = (L + l) \cdot \cos \gamma - (L_1 - R) \cdot \sin \gamma, \quad (23)$$

где  $L$  – расстояние между поводками на катке, м;  $l$  – расстояние от поводка до края катка, м;  $L_1$  – длина поводка, м;  $R$  – радиус кольца катка, м;  $\gamma$  – угол атаки.

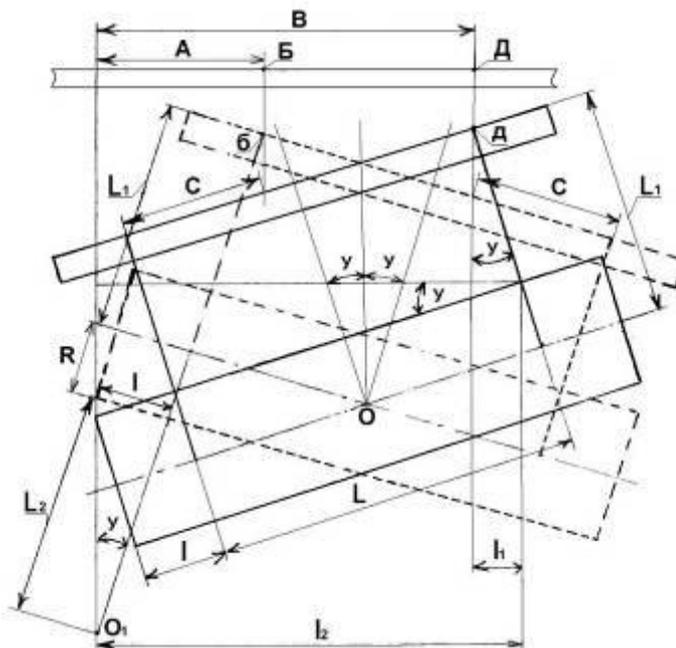


Рисунок 19 – Схема переустановки катка и его основные параметры

Расстояние до точки  $A$  крепления среднего кронштейна к раме машины:

$$A = (L_1 + R + L_2) \cdot \sin \gamma = l \cdot \cos \gamma + (L_1 + R) \cdot \sin \gamma. \quad (24)$$

Длина колена кронштейна  $C$  определяется по формуле:

$$C = L - (B - A) \cdot \cos \gamma. \quad (25)$$

Эффективная работа катков зависит от размера гребней и борозд, которые оставляет лапа после прохода машины. Профиль почвы, которую разрушает лапа, напоминает равнобокую трапецию с нижним основанием  $S$ , равным ширине лапы и верхним основанием  $S + 2d$ . Часть почвы из-за перемещения и разброса рабочими гранями лапы и стойкой оказывается за пределами верхнего основания трапеции, поэтому ширина следа из рыхлой почвы на поверхности поля больше верхнего основания трапеции:

$$L = S + 2d + B + 2H, \quad (26)$$

где  $B$  – ширина хвостовика лапы, м;  $H$  – расстояние, на которое отбрасывается почва под действием приобретённой скорости, м;  $d$  – приращение ширины поверхности разрушения почвы лапой за счет скалывания почвы, м (рисунок 20).

Расстояние, на которое отбрасывается почва, определится как:

$$H = \frac{2V_0^2 \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta}{g},$$

где  $V_0$  – нормальная составляющая вектора скорости почвы, отброшенной лапой, м/с;  $\beta$  – угол наклона вектора скорости  $V_0$  к горизонту, град.

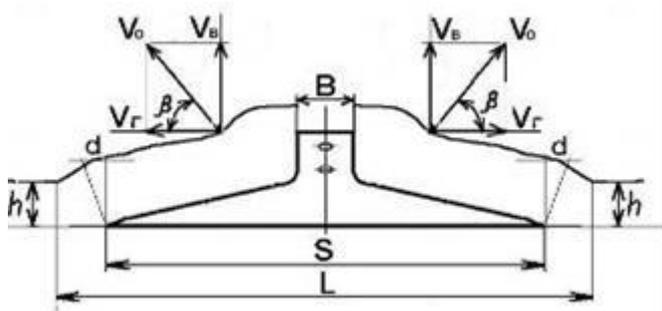


Рисунок 20 – Направление векторов скоростей частиц почвы, отраженных лапой

Вертикальная составляющая  $V_b$  вектора скорости  $V_0$  равна:

$$V_b = V_M \cdot b = V_M \cdot \sin \alpha_3 \cdot (\cos \alpha_3 - f \cdot \sin \alpha_3) \quad (27)$$

где  $V_M$  – скорости передвижения машины по полю, м/с;  $\alpha$  – угол наклона клина из почвы, град.;  $f$  – коэффициент трения почвы о поверхность клина (рисунок 21).

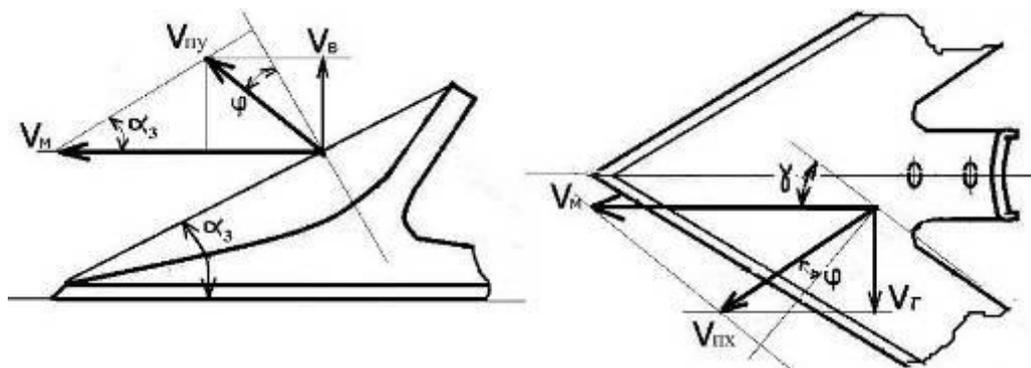


Рисунок 21 – Направление векторов скоростей частицы почвы, отраженной от поверхности подъема почвы лапой и боковой поверхности клина

Горизонтальная составляющая  $V_z$ , от скорости почвы, передвинутой клином:

$$V_z = V_M \cdot a = V_M \cdot \sin \gamma \cdot (\cos \gamma - f \cdot \sin \gamma), \quad (28)$$

где  $\gamma$  – угол боковой поверхности клина, передвигающего почву.

Зная значения проекций векторов  $V_b$  и  $V_z$ , можно определить значение вектора скорости  $V_0$ . Нормальная составляющая вектора скорости  $V_0$ , отброшенной лапой почвы определится по формуле:

$$V_0 = V_M \cdot \sqrt{[\sin \gamma \cdot (\cos \gamma - f \cdot \sin \gamma)]^2 + [\sin \alpha_3 \cdot (\cos \alpha_3 - f \cdot \sin \alpha_3)]^2}. \quad (29)$$

Угол  $\beta$ , наклона вектора скорости  $V_0$  к горизонту определится как:

$$\sin \beta = \frac{V_b}{V_0}, \quad \cos \beta = \frac{V_z}{V_0}.$$

Подставляя значения  $V_0$  и значения  $\sin \beta$  и  $\cos \beta$  в формулу (2.79) и проведя преобразования, получим уравнение в общем виде:

$$H = \frac{2V_M}{g} \sin \gamma \cdot \sin \alpha_3 \cdot (\cos \gamma - f \cdot \sin \gamma) \cdot (\cos \alpha_3 - f \cdot \sin \alpha_3) = \frac{2V_b \cdot V_z}{g}. \quad (30)$$

Ширина следа из рыхлой почвы на поверхности поля будет равна:

$$L = S + 2d + B + 4V_b \cdot V_z / g.$$

Приращение ширины поверхности разрушения почвы лапой за счет скалывания почвы  $d = h \cdot \operatorname{tg} Q$ , где  $h$  – глубина обработки почвы, м. угол скалывания почвы,  $Q = 40 - 50$  град. В окончательном виде ширина следа из рыхлой почвы на поверхности поля равна:

$$L = S + B + 2 h \cdot \operatorname{tg} Q + 4V_e \cdot V_z / g. \quad (31)$$

Определение ширины следа из рыхлой почвы на поверхности поля даёт возможность расставить рабочие органы кольчатых катков для качественной заделки семян с учетом параметров лапы и скорости работы КППА.

Проверку модели на адекватность проводили по критерию Стьюдента (рисунок 22). Доверительные интервалы: при скорости 2 м/с -  $0,64 \pm 0,006$  м; при 3 м/с -  $0,72 \pm 0,008$  м; при 4 м/с -  $0,80 \pm 0,07$  м.

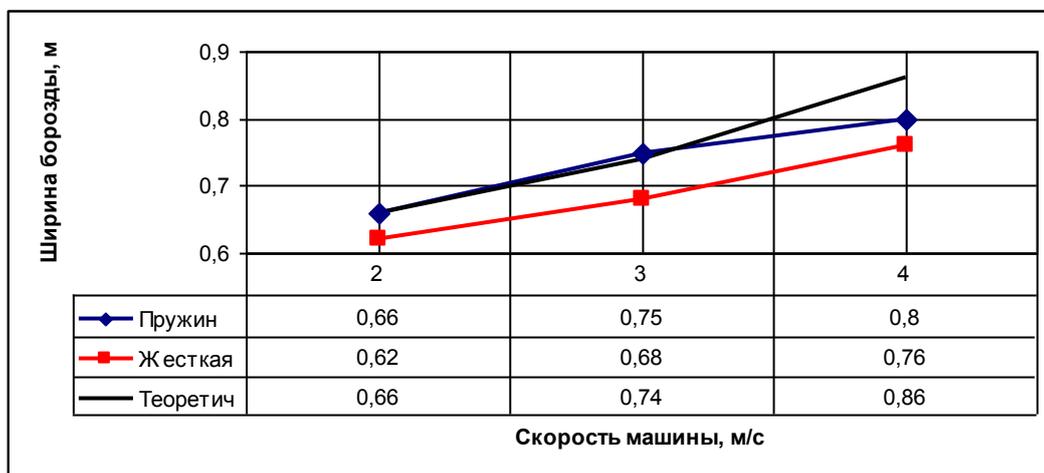


Рисунок 22 – Зависимость ширины борозды от скорости движения машины

Перемещение почвы кольцом катка определится из условия, что почва захватывается кольцом катка и перемещается по циклоиде, приобретая скорость, близкую к скорости точки  $M$  на кольце катка, при этом одновременно смещается в противоположную сторону углу атаки катка. Расстояние перемещения почвы  $S_Z$  в направлении перпендикулярном движению агрегата равно

$$S_Z = \sin \gamma \cdot [r \cdot \sin \psi + V_{AG} \cdot \sqrt{2r \cdot (1 - \cos \psi) / g}]. \quad (32)$$

Перемещение почвы  $S_X$  в направлении по ходу агрегата определится из уравнения

$$S_X = r \cdot (\psi - \sin \psi) + V_{AG} \cdot (\psi - \sin \psi) \cdot \sqrt{2r \cdot (1 - \cos \psi) / g}. \quad (33)$$

Полученные закономерности позволяют определить перемещение почвы кольцом кольчатого катка в зависимости от угла атаки кольца  $\gamma$ , радиуса кольца катка  $r$  и скорости работы агрегата  $V_{AG}$ .

**В третьей главе** «Программа и методика экспериментальных исследований» программой предусматривается решение следующих задач:

- выявить конструкционные отказы основных элементов КППА и определить факторы, влияющие на их появление;
- определить тяговое сопротивление КППА и установить его зависимость от основных параметров технологического процесса;
- уточнить основные параметры технических элементов машин, созданных для повышения надёжности и эффективности функционирования КППА;
- оценить влияние технических и технологических параметров рабочих органов на эффективность функционирования КППА.

Решение поставленных задач методика предусматривает в три этапа.

На первом – производится выбор посевных машин, представителей данного класса и определяются условия их функционирования. Собирается статистический материал по отказам машин, выявляются факторы, влияющие на надёжность и качество работы КППА.

На втором - выбираются типичные хозяйства, для проверки условий функционирования КППА и проведения полевых исследований.

Третий этап предусматривает полевые и лабораторные исследования по частным методикам.

Методика сбора информации предусматривает следующие источники: акты-рекламации об отказе машин, поступающие из хозяйств; служебные записки, фотографии, видеосъёмку и докладные от специалистов; контрольные поездки по типичным хозяйствам с целью обследования состояния машин; экспериментальные исследования в полевых условиях; исследования в лабораторных условиях; отчёты научных учреждений и протоколы МИС.

Методика выбора типичных хозяйств из всей совокупности хозяйств РФ предусматривает выбор хозяйств с типичными условиями функционирования КППА и имеющие достаточное количество машин для получения достоверных результатов. Условия функционирования КППА определяются почвенно-климатическими зонами и типом почвы. С этой целью все КППА в количестве 865 единиц, отправленные в хозяйства за пять лет, были распределены по группам в соответствии с типом почв в хозяйстве (рисунок 23).

На следующем этапе был проведён отбор субъектов РФ, имеющих соответствующие почвы и не менее 15 машин пригодных для проведения исследования и сбора статистической информации по отказам (таблица 2).



Рисунок 23 – Распределение посевных машин в соответствии с типом почв

Типичные хозяйства по выбранным субъектам выбирались по количеству имеющихся машин, годовой наработке машины на посеве зерновых культур и обработке почвы. Всего было выбрано 18 хозяйств, имеющих 143 машины.

Таблица 2 – Выборочная совокупность субъектов РФ

| Область, край, республика | Зона        | Почва                  | Кол-во осадков, мм / год | Посевная площадь, тыс. га | Кол-во машин, шт |
|---------------------------|-------------|------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------|
| Забайкальский             | Степная     | Южные черноземы        | 200-350                  | 290                       | 49               |
| Красноярский              | Лесостепная | Выщелоченные чернозёмы | 300-700                  | 960                       | 72               |
| Томская                   | Лесостепная | Выщелоченные чернозёмы | 500-600                  | 220                       | 38               |
| Новосибирская             | Степная     | Обыкновенные чернозёмы | 350-450                  | 1730                      | 58               |
| Алтайский                 | Степная     | Южные черноземы        | 250-350                  | 3430                      | 90               |
| Республика Казахстан      | Степная     | Обыкновенные чернозёмы | 320-500                  | 540                       | 46               |

Для поиска и анализа причин, вызывающих отказы узлов и деталей КППА, разработан метод их определения. Метод основан на представлении сложных машин, систем и КППА в виде простых кинематических схем, которые повторяют рабочие нагрузки и движения КППА, машины или системы, и их исследования с помощью известных методов кинематического и динамического анализа.

Тяговое сопротивление машин определялось на Сибирской МИС (2003, 2004) и Алтайской МИС (2010, 2011) в соответствии с ГОСТ Р 52777-2007, ГОСТ 31345-2007, ГОСТ 7057-2001, ГОСТ 30745-2001. Для определения тягового усилия использовалась малогабаритная измерительная аппаратура ЭМА-ПМ №43 ТУ 70.0002.013-83.

**В четвёртой главе** «Результаты экспериментальных исследований» в результате изучения условий эксплуатации машин и их распределения по почвенно-климатическим зонам установлено, что наибольшее применение (69,1%) КППА получили в лесостепной и степной почвенно-климатических зонах на чернозёмных почвах всех типов (рисунок 23).

Собранный статистический материал и исследования в типичных хозяйствах выбранных зон позволили выявить основные ненадёжные элементы КППА. Такие, как сцепное устройство для соединения машин в КППА, прицепное устройство, вилки и кронштейны колес сцепки, приёмники сошников для семян и навеска катков (таблица 3).

Доля конструкционных отказов, вызванных технологическим и техническим несовершенством КППА, составляет от 30 до 50 %.

Таблица 3 – Количество претензий по конструкционным отказам КППА

| Отказ                   | Год  |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
|                         | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| Всего отказов           | 46   | 154  | 240  | 63   | 38   | 98   | 24   |
| В т. ч. конструкционные | 14   | 53   | 82   | 30   | 18   | 39   | 12   |

|                      |   |    |    |   |    |    |   |
|----------------------|---|----|----|---|----|----|---|
| Сцепное устройство   | - | 13 | 17 | 4 | 2  | 11 | - |
| Прицепное устройство | 4 | 5  | 11 | - | -  | 2  | - |
| Колесо сцепки        | 4 | 10 | 12 | 6 | 2  | 8  | - |
| Приёмник сошника     | - | 6  | 8  | 2 | 1  | 3  | 3 |
| Навеска катков       | 3 | 18 | 9  | 9 | 3  | 5  | 1 |
| Прочие устройства    | 3 | 1  | 25 | 9 | 10 | 10 | 8 |

Из технологических отказов основными являются: зауженная полоса посева, забивание катков почвой и наличие гребней после заделки семян.

Появление отказов и снижение эффективности функционирования КППА обусловлено следующими факторами: техническое состояние КППА; физико-механические свойства почвы; состояние поверхности поля; ошибки оператора при выборе технологических приёмов и режимов работы КППА (таблица 4).

Таблица 4 – Распределение отказов КППА по степени влияния факторов, %

| Фактор            | Год  |      |      |      |      |      |      | Среднее значение |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------------------|
|                   | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |                  |
| Технич. состояние | 65,2 | 59,7 | 60,0 | 52,5 | 63,2 | 49,0 | 54,2 | 57,2±5,9         |
| Свойство почвы    | 4,4  | 11,7 | 16,3 | 19,0 | 10,5 | 18,4 | 33,3 | 16,2±9,1         |
| Состояние поля    | 19,6 | 9,1  | 10,8 | 19,0 | 15,8 | 17,3 | 4,2  | 13,7±5,8         |
| Ошибка оператора  | 10,8 | 19,5 | 12,9 | 9,5  | 10,5 | 15,3 | 8,3  | 12,4±3,9         |

Сцепное устройство является наиболее важным элементом, определяющим надёжность КППА. На основании результатов исследования изготовлено новое сцепное устройство, которое состоит из двух соединительных звеньев, установленных на кронштейнах по краям рамы параллельно переднему и заднему брусам. Устройство имеет одну степень свободы, позволяет машинам независимо копировать почву и не даёт возможность машинам перемещаться относительно друг друга. Длина соединительных звеньев не менее 0,4 м, что исключает сближение машин и уменьшает действие сил от колебаний машин при передвижении по неровной поверхности поля. При этом сила реакции, разрывающая звенья в точке изгиба, уменьшается в 18 раз.

Для определения сил и моментов, действующих на прицепное устройство КППА, необходимо иметь исходную информацию о величине тягового сопротивления машин и агрегата в целом.

Тяговое сопротивление агрегата К-701+2 ППМ «Обь-4-ЗТ» определялось в зависимости от глубины хода рабочих органов  $h$  и влажности почвы  $W$ , а ППМ «Обь-4-ЗТ» в зависимости от рабочей скорости  $V$  при посеве пшеницы и обработке пара (рисунок 24). Почва при испытаниях чернозём обыкновенный среднесуглинистый, рельеф ровный, структура почвы мелко-комковатая.

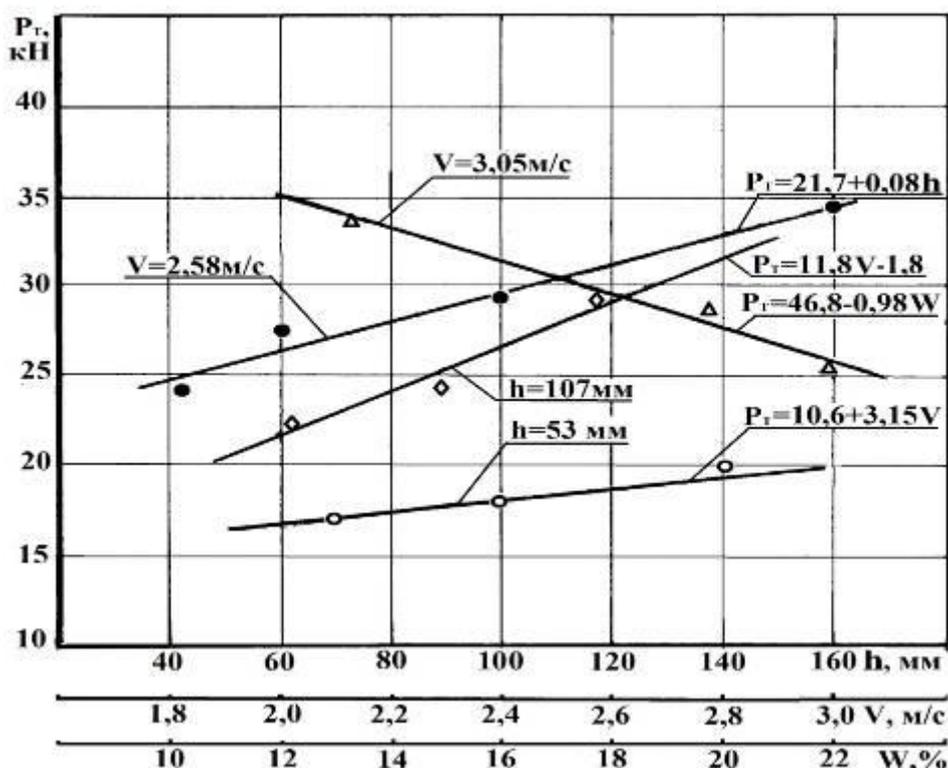


Рисунок 24 – Изменение тягового сопротивления «Обь-4-3Т» в зависимости от глубины хода рабочих органов  $h$ , влажности почвы  $W$  и рабочей скорости  $V$  агрегата

При увеличении рабочей скорости ППМ «Обь-4-3Т» с 2 до 3 м/с тяговое сопротивление увеличивается при  $h = 56$  мм на 17 %, а при  $h = 107$  мм на 30 %.

Тяговое сопротивление агрегата на скорости  $V = 3,5$  м/с при уменьшении влажности почвы с 21,95 до 13,3 % увеличивается с 25,3 до 33,9 кН.

Сила тягового сопротивления создаёт на прицепном устройстве относительно точки  $A$  в сечении  $AB$  изгибающий момент  $M_{И1} = P_T \cdot h_1$  (рисунок 25). С другой стороны противодействует ему момент от суммы сил  $R_c$ , сопротивления рабочих органов  $M_{И2} = \Sigma R_c \cdot h_2$ . В связи с неоднородным составом почвы  $\Sigma R_c$  изменяется в широких пределах. При столкновении рабочих органов с препятствием, сила  $\Sigma R_c$  достигает значительных величин и действует на центральный брус в точке  $B$  через точку  $A$  как рычаг с плечом  $h_2$ . Разрушающее усилие в точке  $B$  будет равно  $P_p = \Sigma R_c \cdot h_2 / h_3$ .

Учитывая, что соотношение плеч  $h_2 / h_3$  равно 7/1, то и разрушающее усилие в точке  $B$  будет в семь раз больше, чем  $\Sigma R_c$ . Чтобы разрушающее усилие в точке  $B$  было минимальным, необходимо увеличить поперечное сечение центрального бруса  $h_3$  и уменьшить длину плеча  $h_2$ . Кроме этих сил в точке прицепа возникает вертикальная составляющая от силы  $P_{СЦ} = R_{СЦ} = (M_{И1} - M_{И2}) / h_4$ , которая через серьгу сцепки передается кронштейн колеса сцепки.

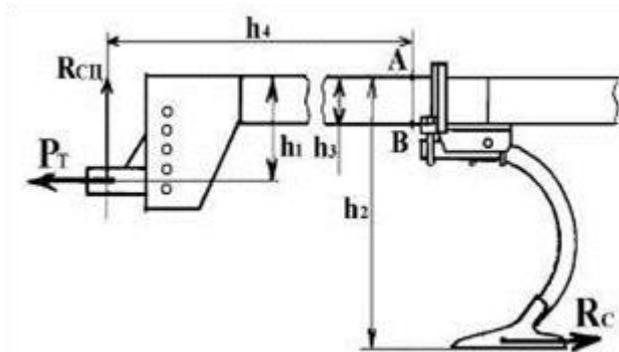


Рисунок 25 – Моменты сил, действующих на прицепное устройство в опасном сечении

С увеличением силы  $P_{сц}$ , сила сопротивления колеса перекачиванию увеличивается. Например, при высоте препятствия  $H = 0,2$  м и  $P_{сц} = 1$  кН сила сопротивления перекачиванию колеса  $Q_c = 1,73$  кН, а при  $P_{сц} = 6,39$  кН и той же высоте препятствия  $Q_c$  равна 10,86 кН. С увеличением высоты препятствия  $H = 0,3$  м, при  $P_{сц} = 6,39$  кН сила сопротивления  $Q_c$  также увеличится и достигает уже 24,73 кН.

Трактор К-700, при массе 12 тонн, на скорости 10 км/ч имеет силу инерции более 200 кН, при этом удар колесом сцепки о препятствие будет настолько сильным, что приведет к разрыву вилки колеса сцепки. Наиболее эффективной защитой вилки от поломки является снятие нагрузки  $P_{сц}$  с серьги сцепки. Это возможно при установке на машину опорных колес. Они перераспределяют нагрузку от сил и моментов, действующих на прицепное устройство. Сравнивая эпюры изгибающих моментов, действующих на машину без опорных колес необходимо отметить, что действующий в опасном сечении изгибающий момент, с 14,05 кН/м уменьшается до 7,45 кН/м, а нагрузка от поперечных сил снижается с 6,39 кН до 2,99 кН. Нагрузка на прицепную серьгу сцепки с 6,39 кН стала (-3,39 кН), причем знак действия нагрузки поменялся с плюса на минус.

Установка опорных колес, усиление центрального бруса прицепного устройства ППМ «Обь-4-3Т» и кронштейнов колёс сцепки «СК-8» в 2008 - 2010 годах позволили избежать отказов. Машина стала работать более устойчиво, ровнее держать глубину посева и обеспечивать равномерную заделку семян, особенно это проявилось при работе на склонах.

Для повышения качества посева семян приёмником сошника посевной машины «Обь-4-3Т» определена оптимальная полоса посева  $L = 0,29$  м и на основе теоретических исследований разработан новый приёмник. Патент на изобретение № 2407270 (рисунок 26). Основными параметрами приёмника являются: высота установки рассекателя от дна борозды  $h_2 = 0,05$  м; угол наклона задней стенки приёмника  $\varphi = 53$  град.; высота расположения на задней стенке приёмника точки удара семян  $h_1 = 0,08$  м; высота установки катушек высевающего аппарата  $h_0 = 1,0$  м.

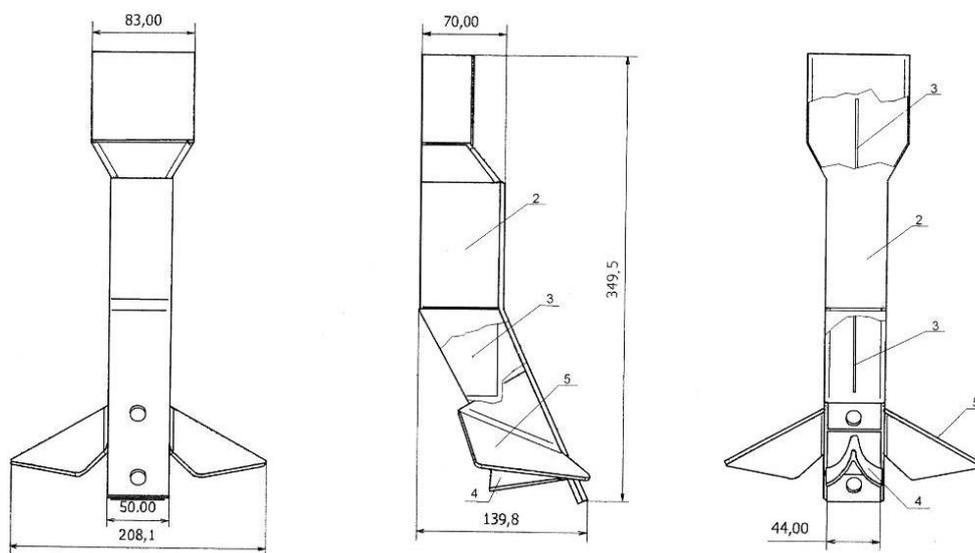


Рисунок 26 – Приёмник сошника для посевной машины

Перед полевыми испытаниями приёмника семян проведены лабораторные исследования, целью которых явилась проверка его на качество посева семян и определение угла установки рассекателя.

Угол наклона задней стенки приёмника регулирует ширину полосы разброса семян, а угол установки рассекателя равномерность распределения семян по полосе. Опыты проводили в лабораторных условиях с семенами пшеницы и овса.

Наиболее равномерное распределение семян достигается при установке рассекателя относительно задней стенки приёмника под углом 110 (к вертикали 73) град. (рисунок 27). При этом в полосе посева  $L = 0,29$  м оказывается 97 % семян, у серийного приёмника от 27 до 36 % семян было выброшено за пределы полосы посева.

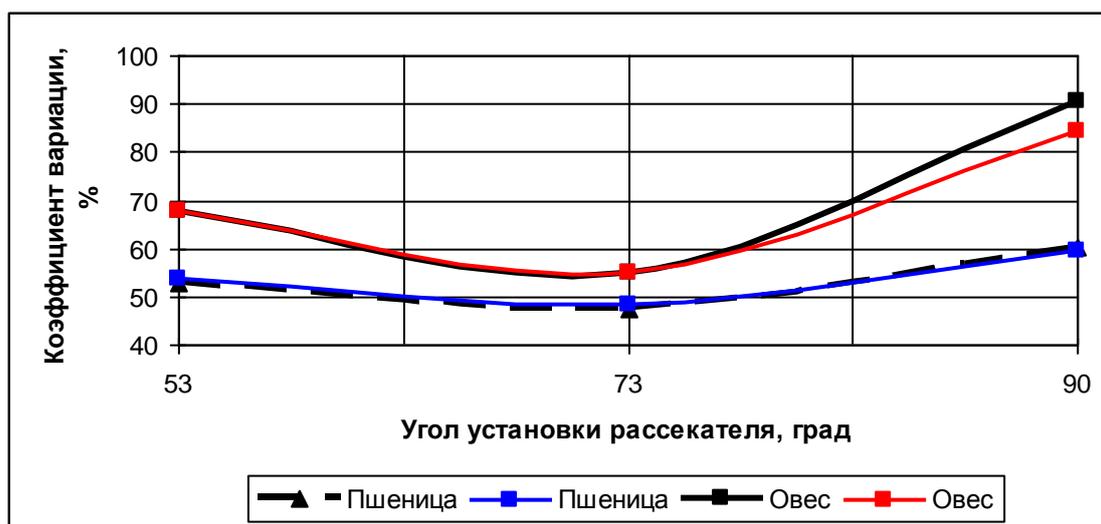


Рисунок 27 – Закономерность распределения семян по площади посева

Закономерности распределения семян в зависимости от угла установки рассекателя описываются уравнениями параболы:

для пшеницы  $V_{вар. пш.} = 0,0256 \cdot X^2 - 3,5 \cdot X + 167,16$ ;

для овса  $V_{вар. овс.} = 0,064 \cdot X^2 - 8,7 \cdot X + 349$ .

Преимущества нового приёмника проявляются при работе машины на склонах до 8 град. При этом равномерность распределения семян не меняется, а с серийным приёмником за пределы полосы посева выбрасывается 46 % семян (таблица 5). Результаты лабораторных исследований подтверждаются результатами проверки приёмника в хозяйствах Восточно-Казахстанской области. Проверка показала, что средняя ширина полосы посева по всходам равна 26,2 см, это на 25 % выше, чем у сошника с серийным приёмником.

Таблица 5 – Распределение семян под сошниками, с новым и серийным приёмником, %

| Сошник   | Расстояние от центра лапы, см |    |    |    |    |    |                  |    |    |    |    |    |
|----------|-------------------------------|----|----|----|----|----|------------------|----|----|----|----|----|
|          | в левую сторону               |    |    |    |    |    | в правую сторону |    |    |    |    |    |
|          | 18                            | 15 | 12 | 9  | 6  | 3  | 3                | 6  | 9  | 12 | 15 | 18 |
| Новый    | 1                             | 4  | 8  | 14 | 13 | 11 | 9                | 10 | 11 | 8  | 8  | 3  |
| Серийный | 14                            | 4  | 7  | 7  | 2  | 6  | 6                | 3  | 4  | 5  | 10 | 32 |

Для пневматической подачи семян в приёмники сошников разработан секторный распределитель семян (рисунок 28). Исследование процесса распределения семян проводилось на экспериментальной установке. Выявлялись закономерности распределения семян от углов наклона распределителя, подводящего рукава и длины семяпроводов.

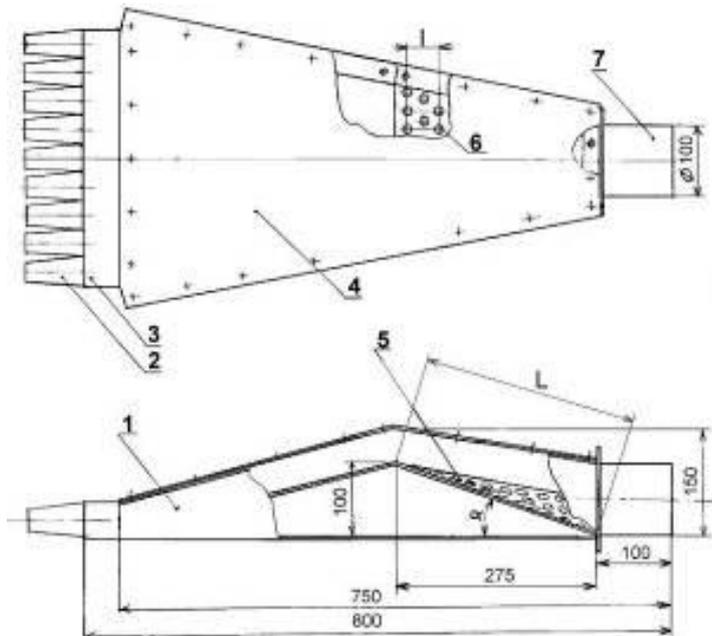


Рисунок 28 – Секторный распределитель семян:

1 – корпус распределителя; 2 – патрубки выходные; 3 – корпус патрубка; 4 – крышка; 5 – распределительная пластина; 6 – отражатели; 7 – патрубок

При контрольной подаче стандартное отклонение в распределении семян по семяпроводам составило 0,071 кг, при этом коэффициент вариации равен 5,24 % (таблица 6).

Таблица 6 – Распределение семян по семяпроводам в зависимости от угла наклона, подводящего к распределителю рукава, кг.

| Распределитель | Угол град. | Номер семяпровода |      |      |      |      |      |      |      |      | Сред. арифм., кг | Коэф. вариации |
|----------------|------------|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------------|----------------|
|                |            | 1                 | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |                  |                |
| 1              | 0          | 1,49              | 1,42 | 1,39 | 1,34 | 1,37 | 1,35 | 1,25 | 1,35 | 1,28 | <b>1,36</b>      | 5,24           |
| 2              | 0          | 1,27              | 1,55 | 1,50 | 1,39 | 1,37 | 1,34 | 1,38 | 1,43 | 1,23 | <b>1,38</b>      | 7,24           |
| 1              | + 10       | 1,65              | 1,30 | 1,04 | 0,98 | 1,08 | 1,06 | 1,34 | 1,65 | 1,72 | <b>1,31</b>      | 17,0           |
| 2              | - 10       | 1,28              | 1,44 | 1,40 | 1,28 | 1,22 | 1,14 | 1,25 | 1,52 | 1,52 | <b>1,34</b>      | 10,1           |

При подводе к распределителю рукава сверху, стандартное отклонение составило 0,22 кг, коэффициент вариации 17,0 %, при этом отмечается уменьшение подачи семян по центру и увеличение через крайние семяпроводы. Увеличение неравномерности распределения семян наблюдается при подводе рукава снизу, коэффициент вариации увеличился с 7,24 % до 10,1 %. Наклон распределителя влево на 4 град. дает отклонение от средней подачи в большую сторону 13 %, в семяпроводе № 1 (таблица 7).

Таблица 7 – Распределение семян по семяпроводам в зависимости от наклона распределителя в поперечной плоскости, кг.

| Угол наклона, град. | Номер семяпровода |      |      |      |      |      |      |      |      | Средн арифм кг | Коэф вариации |
|---------------------|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------------|---------------|
|                     | 1                 | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |                |               |
| 0°                  | 1,46              | 1,33 | 1,37 | 1,30 | 1,35 | 1,30 | 1,25 | 1,31 | 1,42 | <b>1,34</b>    | 4,8           |
| Влево 4°            | 1,55              | 1,42 | 1,42 | 1,37 | 1,40 | 1,33 | 1,28 | 1,30 | 1,30 | <b>1,37</b>    | 8,3           |
| Влево 6°            | 1,67              | 1,43 | 1,40 | 1,35 | 1,42 | 1,29 | 1,27 | 1,26 | 1,17 | <b>1,36</b>    | 10,5          |
| Влево 9°            | 1,80              | 1,45 | 1,37 | 1,32 | 1,37 | 1,32 | 1,31 | 1,18 | 1,04 | <b>1,34</b>    | 12,4          |
| Вправо 6°           | 1,20              | 1,26 | 1,34 | 1,32 | 1,37 | 1,30 | 1,28 | 1,38 | 1,67 | <b>1,34</b>    | 9,9           |
| Вправо 10°          | 1,26              | 1,28 | 1,33 | 1,27 | 1,30 | 1,23 | 1,21 | 1,38 | 1,81 | <b>1,34</b>    | 13,6          |

В семяпроводе № 2 отклонение составило 3,6 %, а № 9 – 5 %. При наклоне распределителя на 6 град., в семяпроводе № 1 отклонение составляет 23 %, в семяпроводе № 2 – 5 %, а в семяпроводе № 9 – 14 %. Подобная ситуация наблюдается при наклоне распределителя вправо. Наибольшее количество семян у семяпровода № 9 – 24,6 %. Наименьшее у семяпровода № 1 -10,4 %, у остальных семяпроводов отклонение от 0 до 5,9 %, то есть укладывается в допустимый агрономическими требованиями предел  $1,37 \pm 0,065$  кг. Коэффициент вариации равен – 8,3 %.

При выяснении влияния наклонов распределителя к продольной оси агрегата на качество распределения семян по семяпроводам, распределители устанавливали под углом: 17, 27, 32 и 43 град. (таблица 8).

Таблица 8 – Распределение семян по семяпроводам в зависимости от угла наклона распределителя в продольной плоскости, кг

| Угол град. | Номер семяпровода |      |      |      |      |      |      |      |      | Сред. арифм., кг | Коэф. вариации |
|------------|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------------|----------------|
|            | 1                 | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |                  |                |
| 17°        | 1,28              | 1,46 | 1,46 | 1,34 | 1,35 | 1,29 | 1,32 | 1,39 | 1,19 | <b>1,34</b>      | 6,4            |
| 27°        | 1,27              | 1,37 | 1,38 | 1,32 | 1,39 | 1,33 | 1,38 | 1,45 | 1,27 | <b>1,35</b>      | 4,3            |
| 32°        | 1,54              | 1,38 | 1,36 | 1,30 | 1,34 | 1,26 | 1,23 | 1,27 | 1,30 | <b>1,33</b>      | 6,9            |
| 43°        | 1,50              | 1,30 | 1,25 | 1,29 | 1,26 | 1,28 | 1,30 | 1,40 | 1,43 | <b>1,33</b>      | 6,5            |

Отмечается, что установка распределителя к оси агрегата под углом 27 град. является предпочтительной, при этом коэффициент вариации равен 4,3 %.

При определении влияния длины семяпровода на распределение семян, семяпроводы № 4 и № 7 установили длиной 1,5 м, остальные – 3 м. Заметного изменения подачи зерна у семяпроводов № 4 и № 7 не обнаружено, отклонение в распределении составило не более 2 %, что находится в пределах ошибки опыта (таблица 9). Коэффициенты вариации при этом равны 6,4 и 5,8 %.

Таблица 9 – Распределение семян по семяпроводам в зависимости от их длины, кг

| Длина рукава, м | Номер семяпровода |      |      |      |      |      |      |      |      | Сред. ариф., кг | Коэф. вариации |
|-----------------|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------------|----------------|
|                 | 1                 | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |                 |                |
| все по 3        | 1,28              | 1,46 | 1,46 | 1,34 | 1,35 | 1,29 | 1,32 | 1,39 | 1,19 | <b>1,34</b>     | 6,4            |
| 4 и 7- 1,5      | 1,26              | 1,45 | 1,42 | 1,33 | 1,36 | 1,29 | 1,35 | 1,40 | 1,21 | <b>1,34</b>     | 5,8            |

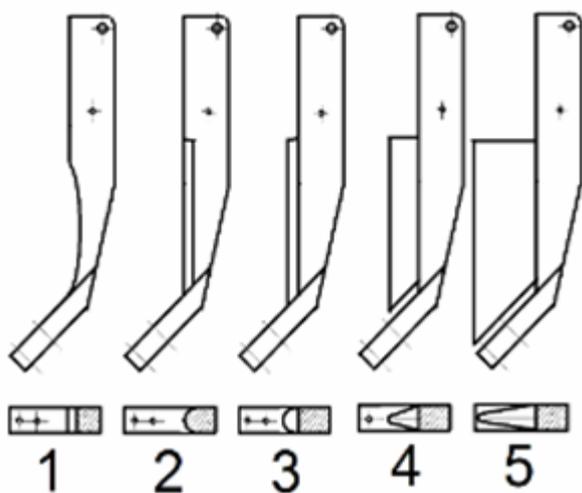


Рисунок 29 – Экспериментальные стойки с различным сечением: 1 – вогнутая; 2 – закруглённая; 3 – с цилиндрическим обтекателем; 4 – с обтекателем в виде клина L = 50 мм; 5 – с обтекателем в виде клина L = 100 мм.

Качество работы стойки оценивали по профилю борозды и по толщине слоя налипшей на лапу почвы. Наличие липкости почвы приводит к тому, что слой почвы на лапе, по профилю хвостовика, не скользит по поверхности лапы, а прилипает к ней и движется вместе с лапой.

Исследовали шесть стоек, из них одна по ОСТ 23.2.164-87 и пять экспериментальных (рисунок 29). Первая стойка имела вогнутую переднюю поверхность, вторая закруглённую, а остальные три стойки имели обтекатели.

На одной стойке обтекатель выполнен в виде половинки цилиндра, диаметр которого равен ширине стойки, на двух других обтекатели в виде клина, выступающего вперёд на 50 и 100 мм

так, чтобы прикрыть стойку и хвостовик лапы. Кроме этого, седьмая стойка с прямой поверхностью была установлена на пружинах.

Качество работы стоек оценивали по толщине слоя почвы налипшей на лапу и стойку (рисунок 30).



Рисунок 30 – Налипание почвы на лапы, слева направо: Восточный Казахстан, южные чернозёмы  $W=10\%$ ; Новосибирская область, выщелоченный чернозем  $W=10\%$  и  $W=20\%$ ; Забайкальский край, южные чернозёмы  $W=24\%$ .

Замеры проводили от носка по центру лапы. Результаты сравнивали с лапой, установленной на стойке ОСТ 23.2.164-87. Налипание почвы на лапы со стойками различных сечений, но без пружин и обтекателей существенно не различается (таблица 10). Почва на лапе образует прямолинейную поверхность от носка лапы к верхнему краю хвостовика. На передней стенке стойки образуется небольшой треугольник из почвы, выступающий над поверхностью, основание которого равно ширине стойки, а вершина закруглена. Угол при вершине равен 23 – 24 град.

Таблица 10 – Толщина слоя налипшей на лапу почвы, мм

| Стойка                             | Расстояние от носка лапы, мм |     |     |     |     |
|------------------------------------|------------------------------|-----|-----|-----|-----|
|                                    | 80                           | 130 | 180 | 230 | 280 |
| по ОСТ 23.2.164-87                 | 20                           | 30  | 35  | 17  | 10  |
| экспериментальная вогнутая         | 14                           | 30  | 40  | 24  | 20  |
| экспериментальная закруглённая     | 10                           | 28  | 41  | 21  | 30  |
| экспериментальная с пружинами      | 0                            | 0   | 13  | 3   | 0   |
| эксперим. с обтекателем $L=50$ мм  | 24                           | 46  | 66  | 48  | -   |
| эксперим. с обтекателем $L=100$ мм | 35                           | 63  | 93  | -   | -   |

При установке обтекателей на стойку, налипание почвы на лапу увеличивается. Чем больше обтекатель закрывает лапу, тем больше почвы скапливается на лапе. При удалении стойки от лапы, треугольник из почвы на стойке не образуется, соответственно на лапе уменьшается количество налипшей почвы. В связи с этим, для обеспечения беспрепятственного схода почвы с лапы, стойка должна иметь наклонный участок не менее 30 мм, плавно переходящий в вертикальную часть стойки.

На лапу со стойкой, оснащенной пружинами, почва налипает меньше. Стойка с пружинами разбрасывает почву на 5 - 10 % дальше и борозда получается более мелкая, чем у стойки без пружин (рисунок 31).

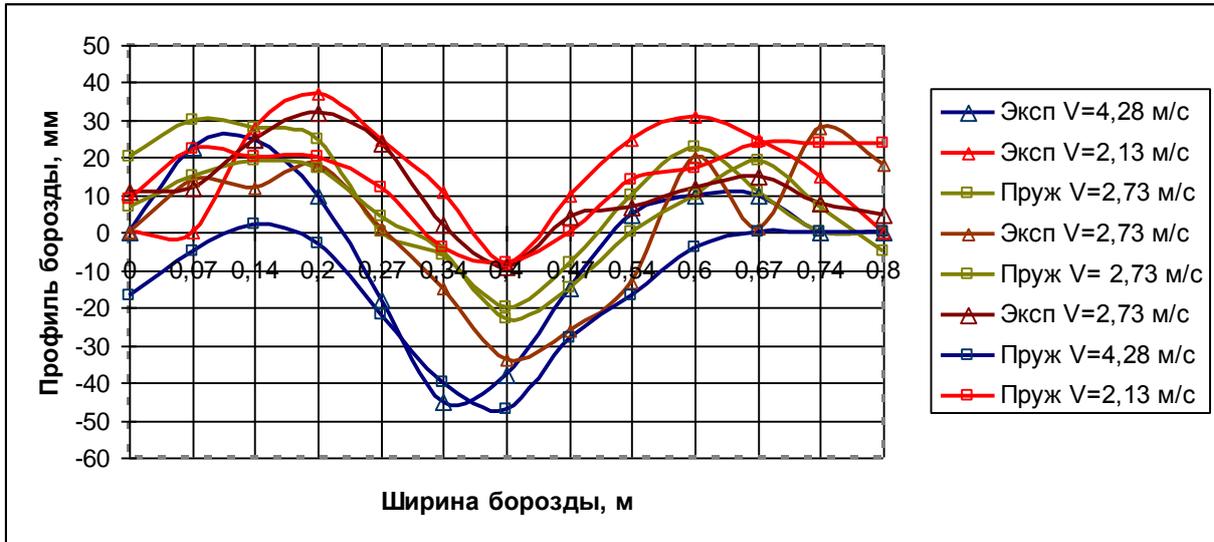


Рисунок 31 – Профили борозды, образованные экспериментальной и пружинной стойками при различных скоростях движения машины

Математическое моделирование процесса разброса почвы лапой позволило изучить процесс образования борозды при различных скоростях движения машины в зависимости от параметров лапы и физического состояния почвы.

Установлено, что наименьшая дальность разброса почвы получается при углах  $\alpha$  и  $\gamma = 10$  град., а наибольшая при углах  $\alpha$  и  $\gamma = 30...35$  град. (рисунок 32).

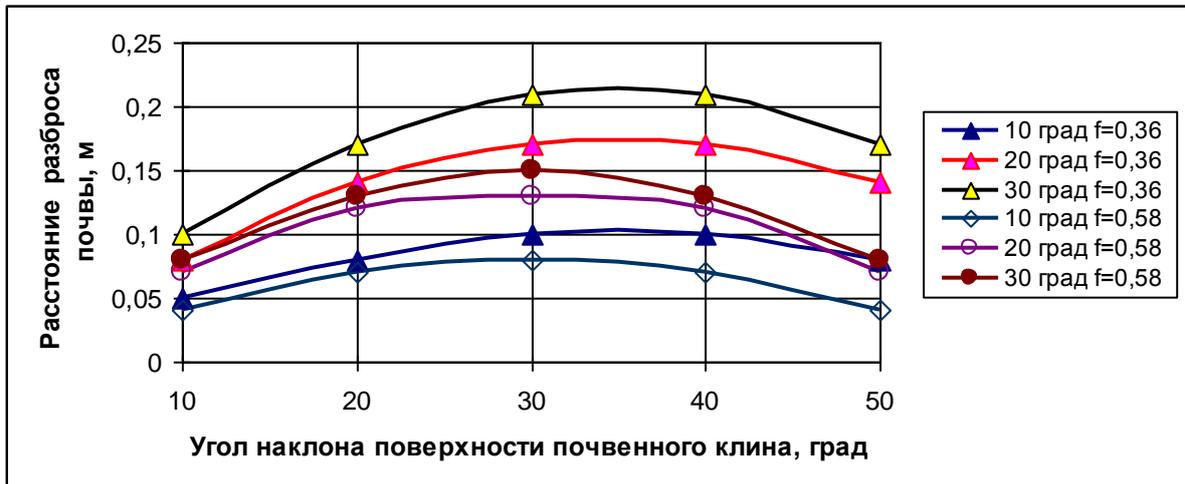


Рисунок 32 – Изменение расстояния разброса почвы лапой при скорости движения машины  $V = 3$  м/с в зависимости от угла наклона поверхности почвенного клина  $\alpha$  и угла бокового перемещения почвы  $\gamma$

Увеличение угла  $\alpha$  и  $\gamma$  свыше 35 град. уменьшает расстояние разброса почвы лапой. С увеличением скорости машины от 2 до 4 м/с (7,2 - 14,4 км/ч) при углах  $\alpha$  и  $\gamma$ , равными 10 град. ширина следа увеличивается на 0,16 м, что не

оказывает существенного влияния на выравнивание поверхности поля. С увеличением коэффициента трения от  $f = 0,36$  до  $f = 0,58$  расстояние разброса почвы снижается, значения углов  $\alpha$  и  $\gamma$ , при которых лапа начинает накапливать почву, уменьшаются с 35 до 30 град.

Приближение стойки к носку лапы увеличивает угол  $\alpha$ , соответственно, увеличивается разброс почвы.

Проверка обработки поверхности поля проводилась серийной машиной «Обь-4-3Т». Почва – выщелоченный чернозём, по механическому составу – среднесуглинистая, влажность почвы на глубине хода лапы 6 см равна 15 %. Скорость обработки 2,73 м/с. Профиль следа показывает, что лапы заднего ряда оставляют более глубокие борозды, чем переднего (рисунок 33). Борозды лап переднего ряда засыпаются почвой от лап заднего ряда.

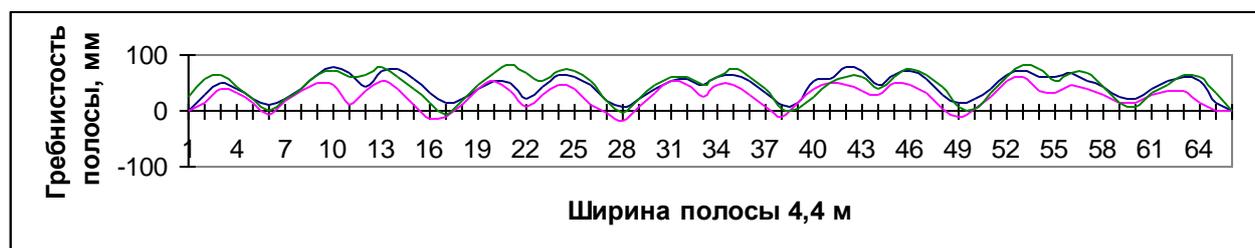


Рисунок 33 – Проекция следа, оставленного «Обь-4-3Т» при работе без катков

После прохода машины с катками по полю остался небольшой гребень нетронутой катками почвы по центру и краям следа машины (рисунок 34).

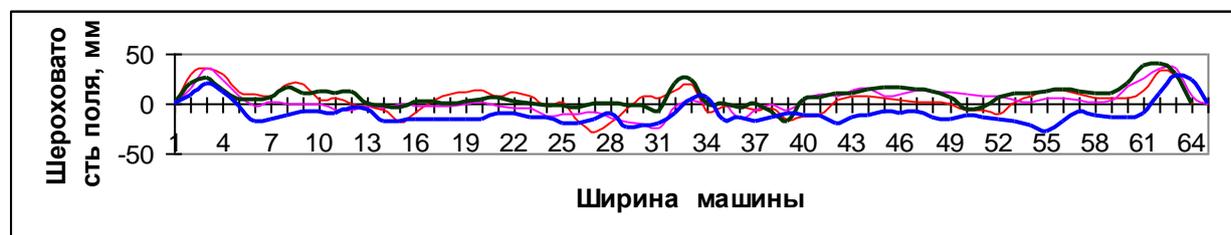


Рисунок 34 – Проекция следа, оставленного «Обь-4-3Т» при работе с катками

Стандартные отклонения по неровностям на поле у катков, оснащённых выравнивающей планкой, составили 10,5 и 10,9 мм. Стандартные отклонения у катков без выравнивающих планок - 12,0 и 12,6 мм. Учитывая, что по следу машины имеются три гребня, высота которых составляет от 30 до 70 мм.

Результаты замера показывают, что при работе агрегата, состоящего из двух и более машин, высота гребней между катками смежных машин достигает до 10 см. Среднее арифметическое значение высоты гребней составляет 6 см, стандартное отклонение  $S = 2,76$ , коэффициент вариации  $V = 46$  %.

Цепные выравниватели снижают высоту гребней на (30 – 40 %), но полностью их не убирают. Результаты замера профиля поля в месте стыка катков с новой навеской показали, что гребней не образуется. Наибольшее отклонение профиля поля составляет  $\pm 1$  см, что соответствует агротехническим требованиям. Новая навеска качественнее подготавливает поверхность поля, перекрывает след машины и между катками машин не остаётся гребня.

Разработанные по результатам исследования: соединительное устройство; приёмник семян для сошника; конструктивные усиления сцепного устройства и сцепки; кронштейн трубы подъёма; установка опорного колеса и универсальная навеска катков позволили повысить наработку «Обь-4-3Т» на отказ до 120 часов и увеличить объём работ выполняемый машинами. Результаты проведённых исследований КППА в типичных хозяйствах до модернизации показывают, что наработка на отказ машин не превышала 10–20 часов (таблица 11).

Таблица 11 – Основные показатели работы «Обь-4-3Т» до модернизации

| Год  | Хозяйство                   | Кол-во машин | Объём работ, га | Нарработка на отказ, ч | Ширина рядка посевов, см |
|------|-----------------------------|--------------|-----------------|------------------------|--------------------------|
| 2004 | ООО «Уярагропродукт»        | 20           | 8200            | 18,5                   | 18,7 ± 3,7               |
| 2005 | КХ «Доверие»                | 8            | 2400            | 5,8                    | 19,8 ± 3,4               |
| 2005 | КХ «им. Анатолия»           | 8            | 2800            | 9,9                    | 17,2 ± 3,2               |
| 2006 | ОАО «Сибирская<br>Губерния» | 4            | 1000            | 9,4                    | -                        |

При этом наблюдались зауженные полосы посевов из-за погнутых пластин с налипшей на них почвой, гребни на стыке двух смежных машин и борозды от забитых травой выравнивателей.

После модернизации на машине были установлены новые приёмники семян, при этом ширина полосы разброса семян сохранилась, исключено образование гребней и борозд путем перестановки катков с помощью универсальной навески (таблица 12).

Таблица 12 – Показатели работы «Обь-4-3Т» после модернизации

| Год  | Хозяйство            | Кол-во машин | Объём работ, га | Нарработка на отказ, ч | Ширина рядка посевов, см |
|------|----------------------|--------------|-----------------|------------------------|--------------------------|
| 2009 | ВКО КХ «Виситаев»    | 6            | 3500            | 130,0                  | Сплошной                 |
| 2010 | ВКО КХ «Виситаев»    | 12           | 7100            | 53,2                   | посев                    |
| 2011 | СПК ПЗ «60 лет СССР» | 8            | 1600            | 106,4                  | -                        |
| 2011 | Алтайская МИС        | 1            | 320             | 120,0                  | 19,8±1,6                 |

Для оценки эффективности функционирования разработанных устройств произведены расчеты показателя эффективности функционирования КППА при последовательном соединении элементов в машине в зависимости от параметра потока отказов (рисунок 35).

Анализируя результаты исследования необходимо отметить, что машина до модернизации, при наработке на отказ 9,9 часов, к концу десяти часовой смены имела показатель эффективности функционирования  $C = 0,63$ , а после модернизации её наработка на отказ увеличилась до 120 ч. и показатель эффективности функционирования стал равен  $C = 0,96$ . Это означает, что машина с вероятностью 0,96 выполнит работу в срок и без поломок.

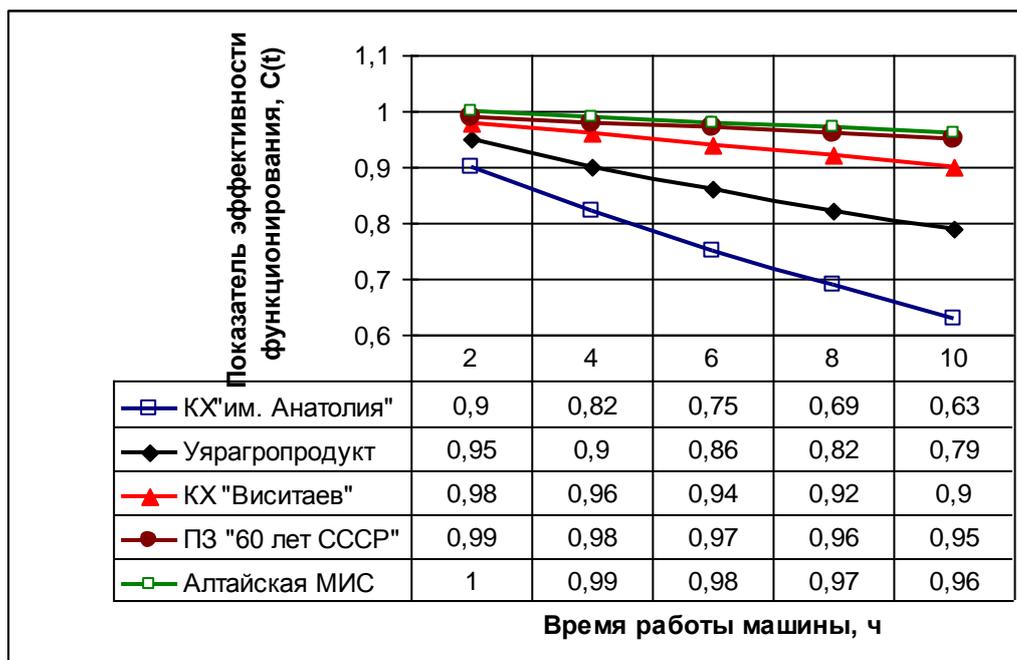


Рисунок 35 – Динамика изменения показателя эффективности функционирования в зависимости от времени работы машины и параметра потока отказов  $\lambda$

**В пятой главе** «Использование результатов исследования и их технико-экономическая оценка» представлены изменения, внесенные в конструкцию посевной машины «Обь-4-ЗТ» для повышения её надёжности. Эффективность внесённых изменений и повышение наработки на отказ подтверждено результатами испытания машины на Алтайской МИС (таблица 13).

Таблица 13 – Показатели надёжности до и после внесения изменений в машину

| Показатель                       | Сибирская МИС 2003г. | Кировская МИС 2003г. | Алтайская МИС 2011г. |
|----------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Наработка, часы основной работы  | 130                  | 96                   | 120                  |
| Общее количество отказов         | 17                   | 7                    | 1                    |
| Наработка на отказ, ч            | 7,6                  | 13,7                 | 120                  |
| Наработка на отказ по группам, ч |                      |                      |                      |
| 1                                | 16,3                 | более 96             | более 120            |
| 11                               | 14,4                 | 13,7                 | 120                  |
| 111                              | более 130            | более 96             | более 120            |
| Среднее время восстанов. ч/отказ | 1,29                 | 1,75                 | 2,1                  |
| Коэффициент готовности:          |                      |                      |                      |
| -по операционному времени;       | -                    | 0,97                 | 0,99                 |
| -с учетом организацион. времени  | 0,86                 | 0,89                 | 0,98                 |

По данным МИС производительность агрегата К-701+2ППМ «Обь-4-ЗТ» за час сменного времени равна 5,3 га. При 10 часовой рабочей смене за 15 дней (агротехнический срок посева зерновых культур) агрегат может засеять 795 га.

До модернизации машин агрегат имел показатель эффективности функционирования  $C = 0,63$  и из-за простоев по неисправности за 15 дней он мог

засеять 500 га, после модернизации с увеличением надёжности машин показатель эффективности функционирования увеличился до  $C = 0,95$  и агрегат засеивает уже 755 га. Следовательно, 255 га будет засеяно в агротехнические сроки, а это даст прибавку урожая от 2 до 4 ц/га, при этом можно получить дополнительно 51–102 тонны зерна. При цене на зерно пшеницы 3 класса 7 тыс. р. экономический эффект составит от 357 до 714 тыс. р. за сезон.

При использовании агрегата с ППМ «Обь-4-3Т» по сравнению с агрегатом «СКП-2,1» затраты труда снижаются на 23 %, расход топлива на 11%, а прямые затраты на 13 %. При этом освобождаются два трактора Т-4А и один трактор МТЗ-82 (таблица 14).

Таблица 14 – Сравнительная характеристика агрегатов «Обь-4-3Т» и «СКП-2.1»

| Показатель   | Агрегат с ППМ «Обь-4-3Т» | Агрегат с «СКП-2.1» |
|--|--------------------------|---------------------|
| 1. Затраты труда на 1 га площади, чел/час.                             | 1,64                     | 2,13                |
| 2. Расход топлива на 1 га площади, кг.                                 | 31,82                    | 35,76               |
| 3. Прямые затраты на 1 га площади, руб.                                | 607,00                   | 698,90              |
| 4. Экономия прямых затрат на весь объем работ в севообороте, тыс. руб. | 137,82                   | -                   |

Результаты расчета в целом подтверждает информация «Минсельхозпрод» Свердловской области, УрНИИСХ и УрГСА, полученная по 37 хозяйствам, в которых применяли агрегаты ППМ «Обь-4-3Т» и «СКП-2.1».

Кроме этого разработаны новые машины «Лидер-6,5Н» с вариантами рабочих органов, «Лидер-7,2Н», «Лидер-7,2», «Лидер-10,8», «Обь-2,2К», «МВУ-4», пневматическая система «Обь-6,5-П-У».

Экономический эффект от применения агрегата «Лидер-8,5» с трактором К-700 за сезон составляет 506 тыс. р., а от агрегата «Лидер-7,2Н» - 560 тыс. р. Соответственно, экономия от применения агрегата «Лидер-7,2Н» в сравнении с аналогичным агрегатом «Лидер-8,5», составляет 54 тыс. р. (таблица 15).

Таблица 15 – Экономическая оценка технологий

| Показатель                           | Существующая технология | Ресурсосберегающая технология с агрегатами |              |
|--------------------------------------|-------------------------|--|--------------|
|                                      |                         | «Лидер-8,5»                                | «Лидер-7,2Н» |
| Затраты труда, чел.-ч/ га            | 2,13                    | 0,9  | 0,8          |
| Расход топлива, кг/га                | 63,3                    | 28,1                                       | 24,3         |
| Прямые затраты, р/га                 | 1134,0                  | 501,0                                      | 434,0        |
| Экономия за год, тыс. руб. на 800 га |                         | 506,0                                      | 560,0        |

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Установлено, что ресурсосберегающие технологии при использовании КППА применяются в южной лесостепной и степной зонах, преимущественно на выщелоченных, типичных, обыкновенных и южных; по механическому составу: легко-, средне- и тяжелосуглинистых черноземах.

Выявлены основные элементы, снижающие надёжность и качество работы КППА. Наиболее значимыми факторами, влияющими на отказы элементов, являются: техническое состояние КППА –  $57,7 \pm 3,9$  %; состояние поверхности поля –  $16,2 \pm 9,1$  %; физико-механические свойства почвы –  $13,7 \pm 5,8$  %; ошибки оператора при выборе технологических приёмов и режимов работы КППА –  $12,4 \pm 3,9$  % отказов. Доля конструкционных отказов, вызванных технологическим и техническим несовершенством КППА, составляет от 30 до 50 %.

2. Для оценки работы КППА следует применять показатель эффективности функционирования. Для его определения разработана математическая модель, которая имеет на входе параметры технологического процесса посева зерновых культур, а на выходе, в отличие от других, даёт комплексную оценку качества работы КППА к определённому моменту времени.

С уменьшением параметра потока отказов КППА  $\lambda = 0,1$  до  $\lambda = 0,01$  показатель эффективности функционирования увеличивается от  $C = 0,63$  до  $C = 0,95$ , соответственно увеличивается вероятность выполнения работы к концу десятичасовой смены с  $0,63$  до  $0,95$ .

При появлении у КППА ненадёжного элемента с параметром потока отказов  $\lambda = 0,05$ , показатель эффективности функционирования машины через 10 часов работы  $C = 0,75$ , при дублировании ненадёжного элемента он увеличивается до  $C = 0,82$ .

Показатель эффективности функционирования для КППА с параметром потока отказов  $\lambda = 0,01$  через 10 часов работы равен  $C = 0,95$ , а с учетом его возможной работы с одним отказавшим элементом он увеличивается до  $C = 0,976$ .

3. Разработан метод кинестатического исследования КППА, отличающийся тем, что сложные агрегаты представляются в виде простого механизма 2-го класса 2-го порядка с низшими кинематическими парами. Метод позволяет выявить закономерности влияния конструктивных и технологических параметров агрегата и его рабочих органов на величину сил и моментов, определяющих надёжность выполнения технологического процесса.

Установлено, что действующая на соединительное устройство сила, зависит от сопротивления машин перекачиванию, угла поворота агрегата и параметров сцепного устройства. При увеличении сопротивления машины от 10 до 35 кН и одновременном изменении угла поворота агрегата с 10 до 30 град., действующая на соединительное устройство сила увеличится с 2,4 до 24,5 кН. К разрушению соединительного устройства может привести поворот агрегата с погружёнными в почву рабочими органами при сопротивлении перекачиванию 35 кН и более.

Установка опорных колёс на машину позволяет снизить действующий на прицепное устройство изгибающий момент с 14,05 до 7,45 кН/м и защитить прицепное устройство от разрушения, при этом сила сопротивления колесу

сцепки при перекачивании через препятствие высотой 0,2 м уменьшается с 10,86 до 1,73 кН, предохраняя колесо сцепки от поломок.

4. Получены математические уравнения, отличающиеся тем, что позволяют в зависимости от конструктивных параметров посевной машины, определить угол наклона задней стенки приёмника сошника, обеспечивающий разброс семян на ширину полосы посева и угол установки рассекателя, влияющий на равномерность их распределения в борозде.

Основными параметрами приёмника сошника являются: угол наклона задней стенки  $\varphi = 53$  град.; угол наклона рассекателя к стенке приёмника 110 град.; высота точки удара на задней стенке приёмника  $h_1 = 0,08$  м; высота установки рассекателя от дна борозды  $h_2 = 0,05$  м.

Определены коэффициенты восстановления скорости: гороха – 0,67; ячменя – 0,56; пшеницы – 0,54; гречихи – 0,52; ржи – 0,46; овса – 0,44.

Приёмник обеспечивает равномерный разброс семян на склонах до 8 град. в полосе посева  $L = 0,26$  м с коэффициентом вариации пшеницы 47 %, овса 55 %.

5. Получены математические зависимости для определения параметров секторного распределителя семян. В отличие от других, он распределяет семена по семяпроводам на полях без уклона с коэффициентом вариации от 4,3 до 7,24 %, а при работе на полях с уклоном до 6 град. коэффициент вариации не превышает 10 %. Установлено, что угол наклона распределителя в продольной плоскости агрегата, равный 27 град, является предпочтительным.

6. Разработана математическая модель, которая в отличие от других позволяет определить расстояние разброса почвы лапой в зависимости от формы почвенного клина, ширины лапы, ширины хвостовика лапы, глубины обработки почвы и коэффициента трения почвы о лапу. Форма почвенного клина, образованного налипанием почвы на поверхность лапы, зависит от геометрических параметров лапы, способа её крепления к стойке, типа почвы и её механического состава. Параметры почвенного клина определяются углом его наклона  $\alpha$  и углом бокового перемещения почвы  $\gamma$ .

С увеличением коэффициента внутреннего трения почвы от  $f = 0,36$  до  $f = 0,58$ , расстояние разброса почвы снижается, значения углов  $\alpha$  и  $\gamma$ , при которых почва начинает сгруживаться, уменьшаются с 35 до 30 град.

С увеличением скорости машины от 2 до 4 м/с (7,2 - 14,4 км/ч) при углах  $\alpha$  и  $\gamma$ , равных 10 град., ширина следа увеличивается на 0,14 м.

7. Разработана математическая модель, которая, в отличие от других, позволяет определить расстояние переноса почвы кольцом кольчатого катка в зависимости от скорости агрегата, диаметра и угла атаки кольца катка.

При угле атаки кольца 17 град. и его диаметре 0,5 м с увеличением скорости агрегата от 0,5 до 4 м/с, перенос почвы увеличился с 0,08 до 0,4 м.

С увеличением угла атаки с 17 до 35 град. расстояние переноса почвы увеличивается в два раза, причем эта закономерность наблюдается в диапазоне скоростей от 0,5 до 4,0 м/с. При увеличении диаметра катка в 1,8 раз перенос почвы увеличивается всего в 1,4 раза.

8. Определен наиболее эффективный метод ликвидации гребней на стыке двух одиночных машин, соединённых в агрегат. Разработана универсальная навеска катков, отличающаяся тем, что позволяет менять угол установки катков в зависимости от их применения простой перестановкой кронштейнов, без дополнительного переоборудования. Это позволяет снизить высоту гребней на поле с 60 до 10 мм.

Предложен метод расчета точек крепления на раме машины кронштейнов универсальной навески катков.

9. Совершенствование рабочих органов КППА позволило увеличить наработку на отказ с 7,6 до 120 часов. При этом, удалось распределить семена по сошникам с коэффициентом вариации 4,3 %, равномерно уложить 97 % семян в полосу шириной 0,29 м, обеспечить глубину заделки семян с отклонением  $\pm 0,01$  м, снизить гребнистость поверхности поля до 0,01...0,013 м.

10. Агрегат с трактором К-700 и двумя машинами «Обь-4-ЗТ», в сравнении с агрегатом К-700 и трех «СКП-2.1», имеет производительность выше на 15,5 %, расход ГСМ и затраты труда ниже на 17,5 %, и 16,0 % соответственно, себестоимость 1 га ниже на 6,7%. Расчет технологических карт подтверждает преимущество «Обь-4-ЗТ» в сравнении с «СКП-2.1». Один агрегат в составе трактора К-701 и двух машин «Обь-4-ЗТ» на обработке почвы и посеве зерновых культур в севообороте на площади 1500 га позволяет получить 3000 т. зерна (при средней урожайности 25 ц/га), при этом сэкономить 138 тыс. руб.

Повышение наработки на отказ КППА с 10 до 100 часов увеличивает показатель эффективности функционирования  $C$  от 0,63 до 0,95, что позволяет из-за сокращения простоев уложиться в агротехнические сроки посева и получить прибавку урожая от 2 до 4 ц/га, при этом дополнительно можно получить 51–102 тонны зерна. При цене на зерно пшеницы 3 класса 7 тыс. р. экономический эффект может составить от 357 до 714 тыс. р. за сезон.

### **Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:**

#### **Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:**

1. **Яковлев, Н.С.** Экономическая эффективность технических средств для ресурсосберегающих технологий [Текст] / Н.С. Яковлев, Л.П. Яковлева // Сиб. вестн. с.-х. науки. - 2006. - № 1. - С. 86 - 89.
2. **Яковлев, Н.С.** Преимущества применения комбинированной почвообрабатывающей посевной машины «Обь-4ЗТ» при возделывании зерновых культур [Текст] / Н.С. Яковлев, Л.П. Яковлева // Сиб. вестн. с.-х. науки. - 2007. - № 1. - С. 89 - 96.
3. **Яковлев, Н.С.** Определение параметров приёмника сошника почвообрабатывающей посевной машины «Обь-4ЗТ» [Текст] / Н.С. Яковлев, П.В. Колинко, Л.П. Яковлева, В.В. Маркин // Сиб. вестн. с.-х. науки. - 2010. - № 1. - С. 95 - 102.
4. **Яковлев, Н.С.** Кинематическое и динамическое исследование соединительных устройств ППМ «Обь-4ЗТ» [Текст] / Н.С. Яковлев // Сиб. вестн. с.-х. науки. - 2010. - № 7. - С. 86 - 93.

5. **Яковлев, Н.С.** Результаты испытания секторного распределителя семян [Текст] / Н.С. Яковлев//Сиб. вестн. с.-х. науки. - 2010. - № 11. - С. 71 - 78.
6. **Яковлев, Н.С.** Применение метода кинетостатического расчета для повышения надёжности посевных машин [Текст] / Н.С. Яковлев//Сиб. вестн. с.-х. науки.- 2011.- № 3-4. - С.106 - 113.
7. **Яковлев, Н.С.** Пневматический посевной агрегат «Обь-6,5П-У» [Текст] /Н.С. Яковлев//Вестник Алтайского ГАУ. - 2011. - № 3. - С.105 - 109.
8. **Яковлев, Н.С.** Исследования влияния стойки лапового сошника посевной машины «Обь-4-3Т» на формирование профиля борозды [Текст] /Н.С. Яковлев// Вестник Бурятской ГСХА им В.Р. Филиппова. - 2011. - № 1. - С.79 - 85.
9. **Яковлев, Н.С.** Повышение надёжности посевных машин «Обь-4-3Т» [Текст] / Н.С. Яковлев//Техника и оборудование для села. - 2011. - № 3.- С.26 - 28.
10. **Яковлев, Н.С.** Исследование влияния параметров культиваторных лап и скорости движения машины на процесс разброса почвы [Текст] /Н.С. Яковлев//Сельскохозяйственные машины и технологии. - 2011. - № 3. - С.30 - 33.
11. **Яковлев, Н.С.** Оценка надёжности посевных машин по показателю эффективности функционирования [Текст] /Н.С. Яковлев//Тракторы и с - х машины. - 2011. - № 5. - С.42 - 44.
12. **Яковлев, Н.С.** Эффективность функционирования посевных машин с неоднородной структурой элементов [Текст] /Н.С. Яковлев, Н.М. Иванов//Механ. и электриф. сельского хозяйства. - 2011. - № 5 - С.27 - 28.
13. **Яковлев, Н.С.** Динамическое исследование посевных машин [Текст] /Н.С. Яковлев//Вестник Бурятской ГСХА им В.Р. Филиппова. - 2011. - № 2. - С.53 - 57.
14. **Яковлев, Н.С.** Исследование процесса выравнивания поля после посева почвообрабатывающими посевными машинами «Обь-43Т» [Текст] /Н.С. Яковлев// Вестник Красноярского ГАУ. - 2011. - № 7. - С.151 - 157.
15. **Яковлев, Н.С.** Обоснование и расчет универсальной навески катков для почвообрабатывающих и посевных машин [Текст] /Н.С. Яковлев// Сиб. вестн. с.-х. науки. - 2011. - № 7 - 8.- С.61– 64.
16. **Яковлев, Н.С.** Размерный ряд культиваторов для обработки почвы под зерновые культуры [Текст] /Н.С. Яковлев, Б.Д. Докин // Вестник Алтайского ГАУ. - 2012. - № 6. - С. 99 - 102.
17. **Яковлев, Н.С.** Взаимодействие кольцевого катка с почвой [Текст] / Н.С. Яковлев, П.В. Колинко // Сиб. вестн. с.-х. науки.- 2012.- № 5 - 6. - С. 95 - 100.
18. **Яковлев, Н.С.** Перемещение почвы кольцом кольчатого катка [Текст] / Н.С. Яковлев, П.В. Колинко // Сельскохозяйственные машины и технологии. - 2013.- № 3.- С.32– 35.

#### **Публикации в материалах конференций и журналах:**

19. **Яковлев, Н.С.** Методика выбора типичных хозяйств и проверка эффективности работы почвообрабатывающих посевных машин [Текст] / Н.С. Яковлев//Инженерное обеспечение и технический сервис в АПК. Материалы междунар. научн.-практ. конф., посвящённой 80-ю БГСХА и 50-ю инженерного факультета. Улан-Удэ - 2011 г. - С.102– 106.

20. **Яковлев, Н.С.** Машины для ресурсосберегающих технологий обработки почвы и посева зерновых культур [Текст] / Н.С. Яковлев // Актуальные вопросы научного обеспечения производства сельскохозяйственной продукции в Сибири. Материалы междунар. научн.-практич. конф. Новосибирск - 2011 г. - С. 230 - 237.
21. Стремнин В.А. Оценка работы технологических линий в системе кормоприготовительных машин по показателю эффективности функционирования [Текст] / В.А. Стремнин, **Н.С. Яковлев** // Сиб. вестн. с.-х. науки. - 1980. - № 5. - С. 76 - 81.
22. **Яковлев, Н.С.** Оптимизация структуры технологических линий в животноводстве с учетом параметра потока отказов системы [Текст] / Н.С. Яковлев, В.А. Стремнин, А.А. Корякин. // Сиб. вестн. с.-х. науки.- 1981.- № 5. - С. 83 - 87.
23. **Яковлев, Н.С.** Блочная компоновка поточных технологических линий для приготовления и раздачи кормов [Текст] / Н.С. Яковлев // Сиб. вестн. с.-х. науки.- 1988.- № 4.- С.85- 89.

#### **Патенты на изобретение:**

24. А.С. № 1724041 (СССР). Сцепка / В.Г. Никонов, В.А. Стремнин, **Н.С. Яковлев**, С.А. Баженов. - Заяв. 05.07.89 № 4714549. Оpubл. 07.04.92. Бюл. №13.
25. Патент РФ № 2311743 А01В 59/04 (RU) Сцепка двух сеялок / П.В. Колинко, **Н.С. Яковлев**. - Оpubл. в Бюл. Изоб. № 34, 2007.
26. Патент РФ № 2355147 А01В 49/06 (RU) Почвообрабатывающе-посевной агрегат / **Н.С. Яковлев**, П.В. Колинко, В.П. Колинко. - Оpubл. в Бюл. Изоб. №14, 2009.- 9с.
27. Патент РФ № 2365076 А01В 59/048 (RU) Устройство для соединения смежных сельскохозяйственных орудий, например сеялок, агрегируемых с фронтальной сцепкой (варианты) / А.И. Дрёмов, А.И. Чернышов, П.В. Колинко, В.П. Колинко, **Н.С. Яковлев** и др. - Оpubл. в Бюл. Изоб. № 24, 2009.
28. Патент РФ № 75529 А01В 49/02 (RU) Комбинированное почвообрабатывающее орудие (варианты) / П.В. Колинко, В.П. Колинко, В.Д. Нимаев, **Н.С. Яковлев** и др. - Оpubл. в Бюл. Изоб. № 23, 2008.
29. Патент РФ № 2368115 А01С 7/20 (RU) Сошник сеялки-культиватора / В.Д. Нимаев, П.В. Колинко, В.П. Колинко, В.С. Сурилов, **Н.С. Яковлев** и др. - Оpubл. в Бюл. Изоб. № 27, 2009.- 10с.
30. Патент РФ № 85296 А01С 7/20 (RU) Сошник сеялки-культиватора / **Н.С. Яковлев**, П.В. Колинко, В.П. Колинко, и др. - Оpubл. в Бюл. Изоб. № 22, 2009.
31. Патент РФ №102168 А01В 21/08 (RU) Устройство почвообрабатывающего орудия / **Н.С. Яковлев**, Л.Г. Берёзкин, П.В. Колинко, В.П. Колинко, А.П. Чернышов, Д.А. Горошко. - № 2010125786/21; Заявл. 23.06.2010; Оpubл. - 20.02. 2011. Бюл. № 5.
32. Патент РФ № 2407270 А01С 7/20 (RU) Сошник сеялки-культиватора / **Н.С. Яковлев**, П.В. Колинко, В.П. Колинко, и др.- Оpubл. 27.12.2010 Бюл. № 36.- 6с.
33. Патент № 105110 РФ, А01В 21/08 (RU) Рабочий орган почвообрабатывающей посевной машины / **Н.С. Яковлев**, Л.Г. Берёзкин, П.В. Колинко, В.П. Колинко,

Д.А. Горошко. - № 2011100892/21, Заявл. 12.01.2011, Оpubл. 10.06.2011 - Бюл. № 16.

34. Патент РФ № 2442301 А01В 21/08 (RU) Устройство почвообрабатывающего орудия / **Н.С. Яковлев**, Л.Г. Берёзкин, П.В. Колинко, В.П. Колинко, А.П. Чернышов, Д.А. Горошко. - № 2010125834/13; Заявл. 23.06.2010; Оpubл. - 20.02.2012. Бюл. № 5.– 5с.