

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

На правах рукописи

ОГНЕВ Игорь Игоревич

**СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ ЗЕРНА ЗА ПОДБОРЩИКОМ ПРИ КОМБАЙНОВОЙ
УБОРКЕ УРОЖАЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕМ ПОДБИРАЮЩЕЙ
ПОВЕРХНОСТИ ПРУЖИННЫХ ПАЛЬЦЕВ**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства
механизации сельского хозяйства

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук,
доцент **Ловчиков А.П.**

Челябинск – 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	
1.1 Пути повышения производительности зерноуборочных комбайнов...	9
1.2 Технологические параметры валков хлебной массы и потери за транспортным подборщиком зерноуборочного комбайна.....	13
1.3 Виды подборщиков, используемых в зерноуборочных комбайнах....	17
1.3.1 Классификация и особенности конструктивных элементов пальцев транспортного подборщика зерноуборочного комбайна.....	22
1.4 Обзор влияния конструктивно-технологических параметров и режима работы подборщиков на качество подбора валка хлебной массы.....	26
1.5 Выводы по главе и задачи исследования.....	33
ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПОДБИРАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРУЖИННОГО ПАЛЬЦА ПОДБОРЩИКА КОМБАЙНА	
2.1 Обоснование изменения геометрии подбирающей поверхности пружинного пальца транспортного подборщика	36
2.2 Теоретические расчеты пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности.....	43
2.2.1 Расчет геометрических параметров кольцевого витка на подбирающей поверхности пружинного пальца.....	43
2.2.2 Расчет контактной площади пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности.....	49
2.2.3 Определение коэффициента, учитывающего контактную площадь пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности....	51
2.2.4 Определение усилия, действующего на пружинный палец с кольце- вым витком на подбирающей поверхности со стороны валка хлебной массы.....	52

2.3	Определение общего усилия, затрачиваемого на подъем валка хлебной массы пружинным пальцем с кольцевым витком на подбирающей поверхности.....	53
2.3.1	Определение прочности и внутренних деформаций пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности.....	59
2.4	Установление закономерности изменения потерь зерна при подборе хлебной массы в зависимости от динамического удара пружинного пальца.....	62
2.5	Выводы по главе.....	66
ГЛАВА 3 МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ		
3.1	Общая методика исследований.....	68
3.1.1	Погрешность замеров параметров сельскохозяйственных машин и технологического процесса, число измерений.....	70
3.1.2	Определение числа измерений.....	71
3.2	Методика экспериментальных исследований.....	72
3.2.1	Определение основных технологических параметров валка хлебной массы.....	72
3.2.2	Описание лабораторной установки.....	73
3.2.3	Методика исследования взаимодействия пружинного пальца транспортерного подборщика с хлебной массой валка на лабораторной установке.....	75
3.2.4	Методика замера толщины валка хлебной массы от угла положения подбирающей поверхности пружинного пальца.....	77
3.3	Методика проведения полнофакторного эксперимента по определению рациональных геометрических параметров подбирающей поверхности пружинного пальца транспортерного подборщика	79
3.4	Методика производственных экспериментов по определению потерь свободным зерном за транспортерным подборщиком зерноуборочного комбайна «ACROS-530».....	85

3.5 Выводы по главе.....	88
ГЛАВА 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	
4.1 Результаты по определению основных технологических параметров валка хлебной массы.....	90
4.2 Результаты исследования взаимодействия пружинного пальца транспортерного подборщика с хлебной массой валка на лабораторной установке.....	95
4.3 Определение толщины валка хлебной массы от угла положения подбирающей поверхности пружинного пальца.....	100
4.4 Результаты полнофакторного эксперимента по определению рациональных геометрических параметров пружинного пальца транспортерного подборщика.....	103
4.5 Результаты производственных испытаний транспортерного подборщика, оснащенного пружинными пальцами с кольцевым витком на подбирающей поверхности.....	113
4.6 Оценка достоверности теоретической гипотезы работы.....	115
4.6.1 Адекватность теоретических и экспериментальных данных.....	116
4.7 Выводы по главе.....	117
ГЛАВА 5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ	
5.1 Расчет экономической эффективности.....	119
5.2 Выводы по главе.....	126
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ.....	127
РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ.....	129
ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ.....	129
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	130
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	144

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Уборка урожая – заключительный этап технологической цепочки возделывания сельскохозяйственных культур. Продолжительность уборки урожая по регионам Российской Федерации превышает нормативные показатели в 3 – 9 раз, отсюда большие потери зерна, достигают до 9,0 млн. т.[49]. По этой причине логично наблюдать сложившуюся у сельхозтоваропроизводителей тенденцию к применению высокопроизводительных зерноуборочных комбайнов семейств «ДОН», «ACROS», «TORUM», «VECTOR» и аналогичных зарубежного производства. Однако данные зерноуборочные комбайны требуют своей технологической загрузки в условиях Южного Урала (Челябинской области), которая, как показывает наука и практика, осуществляется за счет валкообразования хлебной массы и применения транспортерных подборщиков у зерноуборочных комбайнов.

Использование транспортерного подборщика, оснащенного серийными пружинными пальцами, не дает требуемого результата при выполнении технологического процесса подбора валка хлебной массы, так как они являются основным источником потерь зерна.

Работа выполнена в соответствии с разделом федеральной программы по научному обеспечению АПК Российской Федерации: «Разработать перспективную систему технологий и машин для производства продукции растениеводства и животноводства на период до 2025 г.».

Цель исследования. Снижение потерь зерна при подборе валков хлебной массы путем совершенствования подбирающей поверхности пружинного пальца транспортерного подборщика зерноуборочного комбайна.

Объект исследования. Технологический процесс подбора валков хлебной массы транспортерным подборщиком, оснащенным пружинными пальцами с измененной геометрией подбирающей поверхности.

Предмет исследования. Закономерности, характеризующие параметры подбирающей поверхности пружинного пальца и процесса подбора хлебной массы валка.

Методика исследований. В ходе теоретических исследований были использованы методы математического анализа, теоретической механики, сопротивления материалов, математического и компьютерного моделирования с использованием программных продуктов SolidWorks 2014, КОМПАС – 3D V15, ANSYS – V 15.0. Результаты экспериментальных данных обрабатывались в соответствии с общепринятыми методиками планирования полнофакторного эксперимента с использованием программных продуктов Microsoft Excel, MathCAD 10, Statistica 10 Enterprise.

Научную новизну работы представляют:

- классификация конструкции пружинного пальца транспортерного подборщика зерноуборочного комбайна;
- аналитические зависимости, характеризующие изменение геометрических параметров кольцевого витка, образованного на подбирающей поверхности пружинного пальца;
- уравнение, характеризующее изменение затрачиваемого усилия на подъем хлебной массы валка в зависимости от геометрических параметров пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности;
- закономерности и уравнения регрессии, характеризующие изменение потерь зерна за транспортерным подборщиком зерноуборочного комбайна, при взаимодействии пружинного пальца различной геометрии подбирающей поверхности с хлебной массой валка.

Практическая ценность:

- предложена конструкция пружинного подбирающего пальца для транспортерного подборщика зерноуборочного комбайна (патент на полезную модель № 158040 RU МПК А 01 D 89/00 от 18.05.2015 г.);
- обоснованы конструктивные параметры изменения геометрии подбирающей поверхности пружинного пальца. Результаты исследований приняты за основу при создании опытного образца пружинного пальца транспортерного подборщика зерноуборочного комбайна.

Вклад автора в проведенное исследование. Разработана классификация конструкции пальца транспортерного подборщика зерноуборочного комбайна. Получены регрессионные модели изменения потерь зерна за транспортерным подборщиком зерноуборочного комбайна в зависимости от воздействующих факторов. Проведены производственные испытания и дано технико-экономическое обоснование внедрения пружинного пальца с измененной геометрией подбирающей поверхности.

Внедрение. Конструкция пружинного пальца с измененной геометрией подбирающей поверхности внедрена в хозяйстве ООО «Светлогорское зерно», Агаповского района, Челябинской области; в хозяйстве ООО «Варнаагромаш», Варненского района, Челябинской области; в крестьянском (фермерском) хозяйстве Дроботенко И. А., Чебаркульского района, Челябинской области и в учебном процессе кафедры «Эксплуатация транспортных и технологических машин» ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет»

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы были доложены и одобрены на ежегодных международных научно-технических конференциях ФГБОУ ВО «Южно-Уральского ГАУ» (г. Челябинск, 2013-2015 гг.), на ежегодных международных научно-технических конференциях ФГБОУ ВО «Уральский ГАУ» (г. Екатеринбург, 2012-2014 гг.), на конкурсе «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» (УМНИК) в рамках конференции «Наукоемкие инновационные проекты молодых ученых Свердловской области» (г. Екатеринбург, апрель 2014 г.), на V международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки XXI века» в международной исследовательской организации «Cognito», (г. Москва, декабрь 2015 г.), на IX международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки XXI века» в международной исследовательской организации «Cognito», (г. Москва, апрель 2016 г.).

Научные положения, выносимые на защиту:

– теоретические зависимости для определения геометрических параметров подбирающей поверхности пружинного пальца и усилия, затрачиваемого

на подъем хлебной массы валка при подборе;

– аналитические зависимости и закономерности для определения потерь зерна за транспортерным подборщиком зерноуборочного комбайна;

– уравнения регрессии и экспериментальные зависимости, описывающие влияние основных технологических параметров валка хлебной массы и конструктивных параметров пружинного пальца на потери зерна за транспортерным подборщиком зерноуборочного комбайна.

Обоснованность и достоверность научных положений подтверждена высокой сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований, положительными результатами опытов и производственных испытаний, разработанного технического решения.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 10 статей, из них 6 в журналах, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ. Получен патент РФ на полезную модель.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Основное содержание работы изложено на 143 страницах машинописного текста, содержит 21 таблиц, 60 рисунков и 17 приложений. Список литературы содержит 146 наименований. Общий объем диссертации составляет 181 страниц.

ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Пути повышения производительности зерноуборочных комбайнов

Многочисленные научные исследования в области уборки зерновых культур показывают сложность решения проблемы технологической загрузки зерноуборочных комбайнов, поскольку сельскохозяйственные культуры, как объект механизированной уборки, разнообразны по физико-механическим свойствам.

Производственная загрузка зерноуборочных комбайнов при уборке зерновых культур решается по двум направлениям – это применением технологических и организационных способов (рисунок 1.1). Технологическая загрузка комбайнов осуществляется путем применения биологических методов, обеспечивающих повышение урожайности зерновых, за счет введения новых сортов в производство (селекция) и строгим соблюдением всех агротехнических приемов возделывания зерновых до уборки. Биологические методы, как правило, имеют долговременный характер действия или проявления [73, 76].

Во время уборки зерновых культур технологическая загрузка комбайнов решается путём использования средств механизации (рисунок 1.1), таких как хедеров, валковых жаток различной ширины захвата, подбором пропускной способности молотилки комбайнов к определенным условиям уборки зерновых культур по урожайности [73].

При определении ширины захвата жатки или хедера, как правило, учитываются агротехнические и технологические требования, эксплуатационные условия и согласованность работы взаимосвязанных зерноуборочных машин. С увеличением ширины захвата производительность зерноуборочной машины возрастает только до определенного предела, после она снижается из-за увеличения времени на повороты [76].

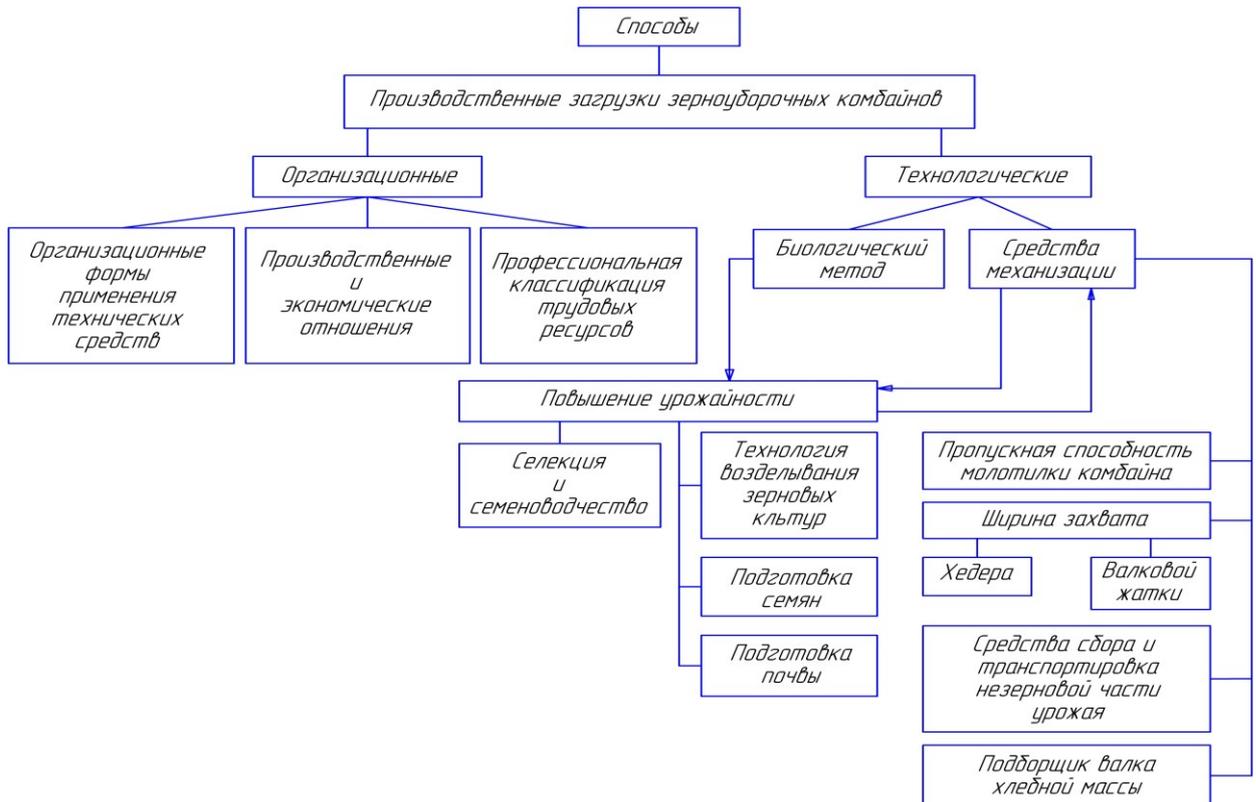


Рисунок 1.1 – Способы производственной загрузки зерноуборочных комбайнов [73]

Зарубежные ученые [141, 142, 143] считают, что уменьшение ширины захвата зерноуборочного комбайна почти не влияет на производительность, так как обмолачивающий аппарат сохраняет свои размеры, а зерноуборочные комбайны с меньшей шириной захвата работают на повышенных скоростях. Узкозахватные зерноуборочные комбайны работают со скоростью в 1,5 – 2 раза большей, чем зерноуборочные комбайны с жаткой шириной захвата 5 м и более. При уборке пшеницы узкозахватными зерноуборочными комбайнами на скорости до 8 км/ч потери зерна составляют 1,7 %, у широкозахватных в тех же условиях, но на скорости 4 км/ч, потери зерна достигают 3%. Причем стоимость последних, примерно в 4,5 раз, больше, чем первых [65, 73, 76].

Эффективность действия данных направлений в области технологической загрузки комбайнов во многом зависит и от степени сложности взаимодействия показателей, определяющих способы их реализации. Классификация показателей по характеру проявления

(рисунок 1.2) показывает сложность обеспечения как производственной, так и технологической загрузки зерноуборочных комбайнов в период уборки зерновых культур [65, 70, 73, 76].

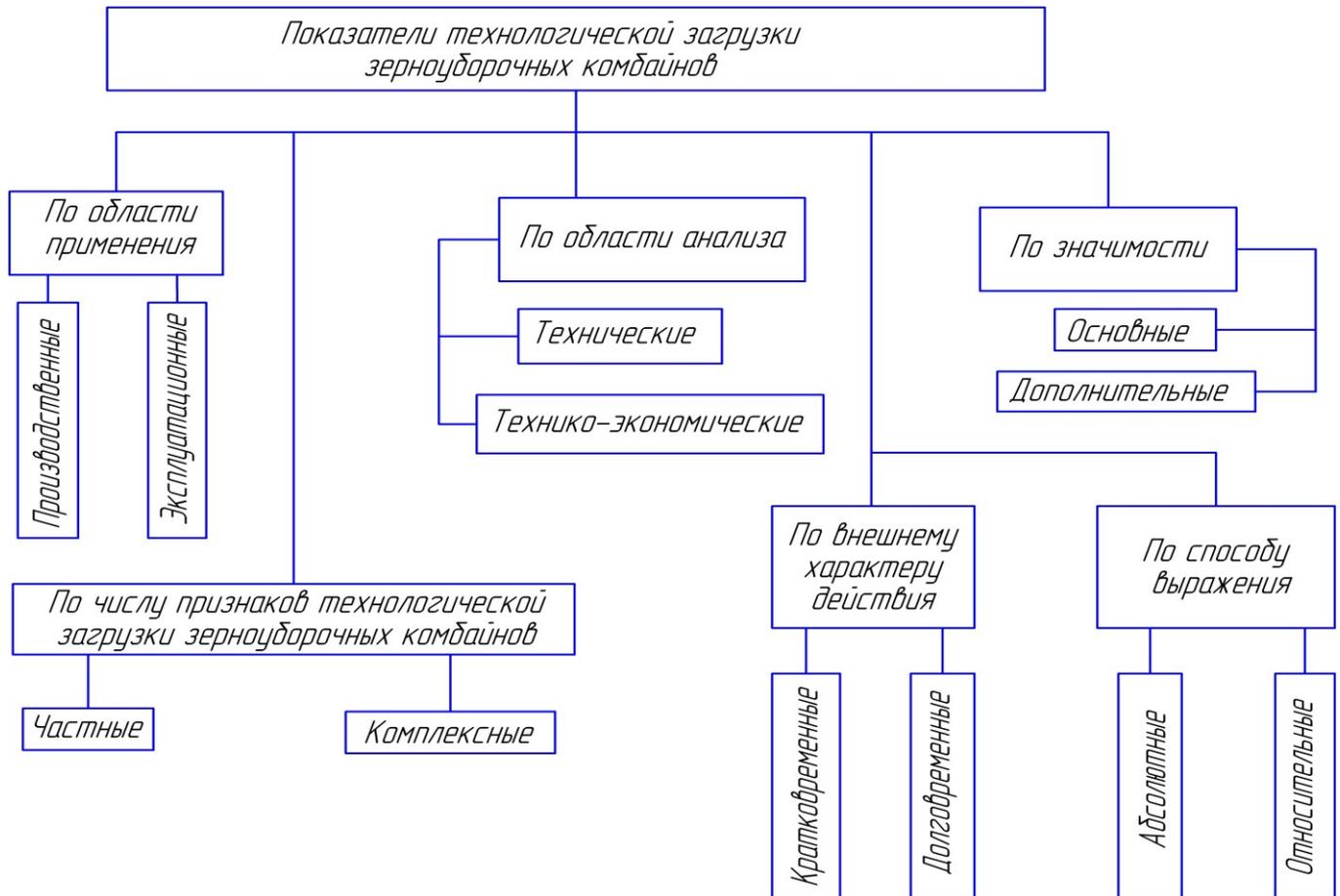


Рисунок 1.2 – Классификация показателей технологической загрузки зерноуборочных комбайнов [76]

В Российской Федерации, как и во многих развитых странах мира, применяют два основных способа уборки зерновых культур: прямое комбинирование и отдельный способ уборки [70, 73, 75, 76, 118].

В настоящее время, на территории СНГ доля площадей, убираемых отдельным способом 50,0 – 60,0 %. В Канаде, примерно, 20,0 – 25,0 % площадей убирается с помощью валковых жаток, в США и Австралии – 5,0 % [67, 72, 73].

Прямое комбинирование зерновых культур способствует сокращению потребности в уборочной технике, механизаторов и уменьшению расхода топлива. Однако оно эффективно только при полной спелости зерна.

Раздельная уборка зерновых культур требует проведения дополнительной операции – валкообразования, что приводит к увеличению денежных затрат и средств на единицу убранной площади, а с другой стороны, имеется возможность на 5 – 10 дней начать раньше, тем самым уменьшить потери зерна от осыпания на корню на 25,0 – 30,0 % [75, 97]. При раздельном способе уборки зерновых получают до 80,0 % кондиционного зерна, не требующего подсушки и доочистки, что существенно сокращает затраты труда на послеуборочной обработке зерна. Кроме того, данный способ уборки зерновых обеспечивает повышение стекловидности на 45,0 %, абсолютного веса на 6,0 % и натурности зерна на 1,0 % [26, 95]. При этом снижается общая напряженность работ, увеличивается производительность комбайнов на подборе валков на 20 – 25%. На неоднородных посевных площадях, в связи с различными типами почв или неравномерном распределении азотных удобрений, раздельная уборка практически всегда выгоднее [76].

Российским НИИ механизации сельского хозяйства (РИМ), Сибирским НИИ механизации и электрификации сельского хозяйства (СибИМЭ), Институтом Агроинженерии Южно-Уральского ГАУ (ИАИ ЮУрГАУ) и другими институтами совместно с конструкторскими организациями были изучены принципы валкообразования и даны предложения по основным параметрам валков, валковым жаткам и способам агрегатирования их энергосредствами [30, 31, 52, 55, 76, 95]. Из которых следует, что мощность вала формируется в зависимости от урожайности убираемой культуры, густоты стеблестоя и производительности применяемого для подбора и обмолота валков комбайна. При этом валки хлебной массы отличаются своей массой на каждом погонном метре. Погонная масса вала изменяется в широких пределах не столько из-за неравномерности хлебостоя, но и из-за её движения. Экспериментально установлено [30, 31, 65], что с повышением скорости движения валкообразующего агрегата увеличивается варьированная масса вала. Вариация массы погонного метра вала колеблется при работе различных жаток в пределах 18,0 – 35,0 %. Коэффициент вариации массы стеблей по

ширине, толщине и длине валка не должен превышать 20,0 – 25,0 % согласно агротехническим требованиям к валковым жаткам. Неравномерность хлебной массы валка, как известно, приводит к увеличению дробления и микроповреждения зерна при обмолоте хлебной массы зерноуборочными комбайнами, то есть понижается качество зерна [72, 77].

Таким образом, одним из способов повышения производительности зерноуборочных комбайнов является применение отдельного способа уборки, в котором используются различные валковые жатки по ширине захвата и способу их агрегатирования, а для подбора растительной массы валков применяются подборщики зерноуборочных комбайнов.

1.2 Технологические параметры валков хлебной массы и потери за подборщиком зерноуборочного комбайна

При отдельной уборке зерновых культур, формируемый валок хлебной массы должен надежно «зависать» на стерне [29]. Многие ученые [82, 84, 95] считают, что предпосылками к устойчивому положению валка на стерне являются густота стеблестоя, высота стерни и структура образовавшейся решетки из стеблей в валке хлебной массы.

Валки, формируемые существующими жатками, имеют большую неравномерность распределения хлебной массы по ширине и длине. Это обусловлено характером распределения зерна и соломы по ширине и формой поперечного сечения валка, а также изменениями физико-механических и биологических свойств убираемой культуры: урожайностью, соломистостью, влажностью. Влияет и динамика процесса формирования валка [110, 111, 131].

У валков, сформированных двухпоточными жатками, коэффициент неравномерности толщины по их ширине составляет 40,0 – 56,0 %, колосьев – 47,0 %, стеблей – 33,0 % [39, 99, 100]. Поперечное сечение валков обычно имеет вид сегмента окружности. При этом в двух средних зонах содержится примерно в 2 раза больше растительной массы, чем в двух крайних [39, 127].

Неравномерность хлебной массы в валке по его длине увеличивается в два и более раз, по сравнению с хлебостоем на корню [39, 92, 135, 137].

Влияние связности валка на его качество исследовано в работах [39, 63, 64, 95, 110, 111]. Связный и устойчивый на стерне валок получается только при урожайности зерновых не менее 17 – 20 ц/га. При меньшей урожайности увеличиваются потери от провалившихся на землю стеблей [20, 58, 84, 98, 99, 100, 110, 111].

У обычных валков (кроме широкополосных валков жатки ЖШН–6) свыше 40,0 % хлебной массы уже в день скашивания имеет непосредственный контакт с почвой [39]. Это объясняется тем, что с увеличением угла расположения стеблей к продольной оси валка (φ) колосья концентрируются у одного края валка и проваливаются на почву, просыхание их замедляется. Отмечается лучшая устойчивость на стерне более мощных валков. Менее мощные валки при длительной лежке прокалываются стерней и оседают до земли, что может привести к потерям зерна [84, 112].

Николаев П.А. [89, 90] основной причиной обособления коротких стеблей из валка и проваливания их на стерню считает формирование неплотного, рыхлого, несвязного валка. От раздувания стеблей ветром и от прорастания зерна у этих валков потери достигают 36,8 кг/га [85]. Влияние срока «лежания» валков в поле на потери колосьев отражено в работах [30, 39, 97] и показано в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Влияние времени лежки валка хлебной массы на потери колосьев [39]

Срок лежания валка хлебной массы, сутки	Скорость увеличения потерь
до 5	дополнительные потери отсутствуют
до 6	дополнительные потери отсутствуют
до 9	в 1,14 раза
до 13	в 1,43 раза

В Российской Федерации более 20 млн. га посевных площадей расположены в зонах повышенного увлажнения, потери урожая в которых в 3 – 4 раза больше, чем в среднем по стране. В неблагоприятные годы в обычных

валках, сформированных жатками ЖВН-6, прорастает до 40,0 – 74,0 % зерна [39, 127]. Однако в условиях ненастной погоды качественно сформированный валок лучше сохраняет урожай, чем хлеба, оставленные на корню.

Тонкослойные валки хлебной массы, сформированные широковалковыми жатками (жатками-накопителями), как отмечает Воцкий З.И. [30, 30], имеют меньшую концентрацию, что приводит к улучшению устойчивости валков растительной массы, особенно при концентрации 1,25 – 1,35 кг/м², а также повышается связность по сравнению с хлебными валками, сформированными жатками ЖВН-6 [95]. Коэффициент вариации толщины тонкослойных хлебных валков в два раза меньше, на поверхности их сосредоточено 75,0 – 89,0 % колосьев, тогда как на поверхности обычных хлебных валков – не более 50,0 %, и скорость сушки в 2 – 2,5 раза выше скорости обычных хлебных валков. Потери зерна при подборе тонкослойных и обычных хлебных валков примерно равны [65, 100].

По агротребованиям потери зерна за подборщиком не должны превышать 0,5 % от урожая в обычных условиях и 1,0 % на полеглых хлебах [47, 115]. Однако при уборке эти потери в отдельных случаях колеблются от 5,0 до 15,0 % [31, 39, 58, 94, 97, 99, 102] и составляют от 20,0 до 70,0 % потерь за комбайном. По данным Кутепова Б. П. [72, 73], эти потери достигают 20,0 % и более.

На рисунке 1.3 представлены результаты изучения влияния угла (φ) (отклонение стеблей от осевой линии валка), их длины (l_c), толщины валка (h) и отношения окружной скорости пальцев подборщика к поступательной скорости комбайна (λ) на потери зерна за подборщиком [30, 39, 47, 97].

При существующих способах валкообразования поперечная укладка стеблей способствует проваливанию колосьев до земли, их потерям при лежке. Но если стебли уложены вдоль оси валка, то они могут «проскользнуть» между пальцами подборщика и остаться в стерне [39].

На короткостебельных хлебах потери за транспортерным подборщиком достигают до 12,6 %. Для степных зон при уборке маломощных валков (низкорослых и изреженных хлебов) потери при подборе составляют от 5,0 до

15,0 %. При подборе более мощного валка (спаренного валка) с полосы 20 метров потери неподборанным колосом за подборщиком в четыре раза меньше, чем при подборе одиночных валков [39, 142].

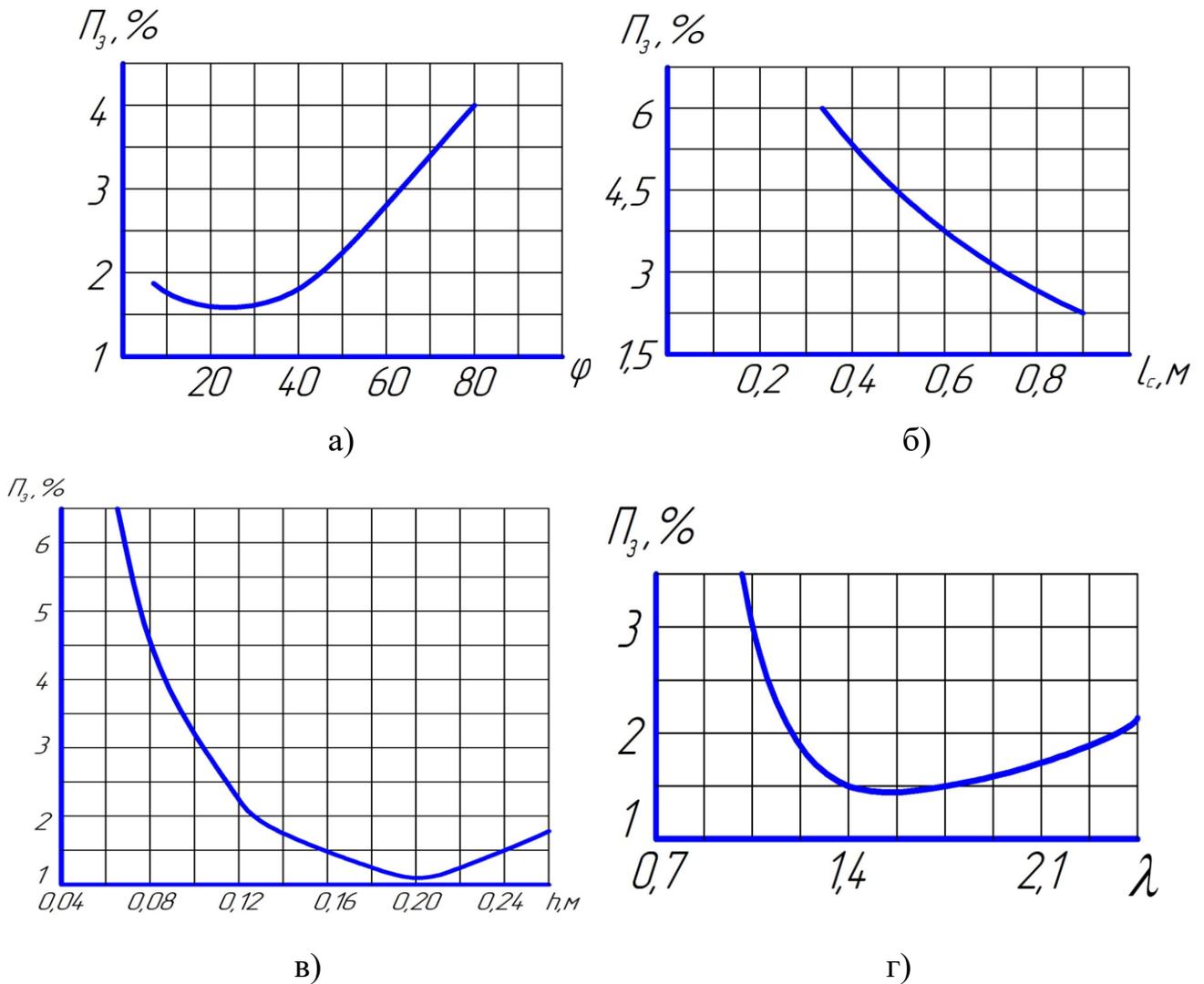


Рисунок 1.3 – Потери зерна неподборанным колосом за транспортерным подборщиком зерноуборочного комбайна: а) – влияние отклонения стеблей от осевой линии валка на потери зерна за транспортерным подборщиком; б) – влияние длины стеблей на потери зерна; в) – влияние толщины валка на потери зерна; г) – влияние отношения скорости подбирающих пальцев транспортерного подборщика к поступательной скорости зерноуборочного комбайна на потери зерна.

Проскальзывание пальцев подборщика при подборе валков обуславливает большой предел оптимального отношения окружной скорости пальцев подборщика к поступательной скорости комбайна $\lambda = 1,4 \dots 2,0$

(рисунок 1.3, б), что приводит к увеличению повреждения зерна и потерям в виде обломленных колосьев и свободного зерна [30, 39, 47].

Кондауров Д.И. [62] утверждает, что нельзя располагать колосья в нижней части валка, а нужно формировать их на его поверхности. При этом пальцы подборщика значительно меньше соприкасаются при подборе с колосьями, что существенно снижает потери.

В своей работе Глушков И.Н. [39] отмечает, что увеличение скорости движения комбайна на подборе с 3 до 8 км/ч приводит к увеличению потерь за подборщиком в 3 раза, так как увеличиваются вертикальные колебания подборщика до 0,10 м и более, приводящие к потерям неподборанным колосом и частому зарыванию пальцев подборщика в землю.

На основании обзора валкообразования хлебной массы во время уборки урожая можно сделать следующие выводы:

1. Валки, формируемые существующими жатками, не удовлетворяют требованиям к ним по параметрам, структуре, связности, устойчивости на стерне, увлажнению и сушке, прорастанию, потерям зерна;

2. Валки предпочтительнее формировать более мощные, так как они более устойчивы на стерне и меньше выпадает из них колосьев. Менее мощные валки при длительной лежке прокалываются стерней и оседают до земли;

3. Нельзя допускать соприкосновения колосьев в валке с почвой, а располагать их равномерно на поверхности валка;

4. Поперечная укладка стеблей в валке хлебной массы способствует лучшему его подбору, так как пальцы подборщика способны подбирать стебли из глубины стерни.

1.3 Виды подборщиков, используемых в зерноуборочных комбайнах

В настоящее время в производственных условиях используются лишь барабанно-грабельные, которые используются в технологиях заготовки сена, и транспортерные подборщики, применяемые в технологии уборки зерновых куль-

тур [1, 5]. Предложенные в последнее время и защищенные рядом авторских свидетельств [1, 3, 4, 5] разнообразные конструкции подборщиков большей частью касаются усовершенствования отдельных рабочих элементов подборщиков известных типов, не затрагивая при этом их принципиальной схемы.

Впервые полную классификацию подборщиков предложила В. Н. Гячева [40], в которой охватываются большинство известных как серийно выпускаемых, так и защищенных авторскими свидетельствами и патентами (рисунке 1.4).

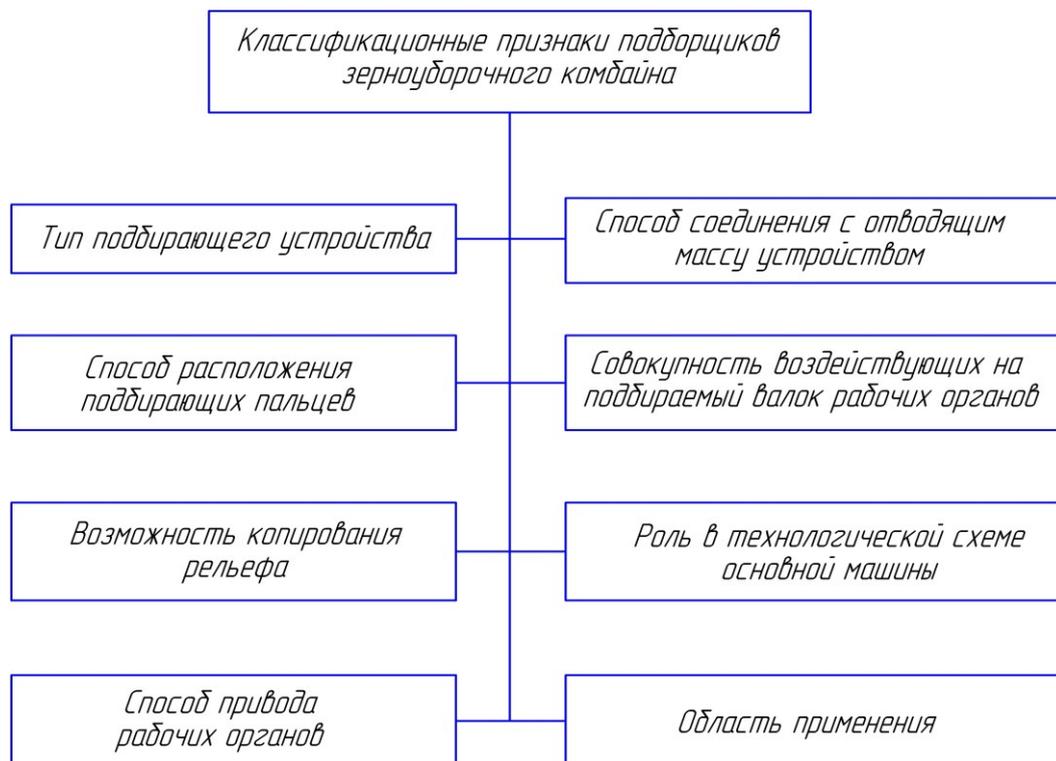


Рисунок 1.4 – Классификация подборщиков по данным В. Н. Гячевой [40]

Конкретно с конструкцией подборщика связаны лишь тип подбирающего устройства, способ расположения пальцев и совокупность воздействующих на подбираемый валок рабочих органов. Можно сказать, что совокупность этих трех признаков определяет тип подборщика [65].

Тип подбирающего устройства, способ расположения пальцев и совокупность рабочих органов, взаимодействующих с растительной массой валка связаны между собой. Совокупность рабочих органов, взаимодействующих с растительной массой валка, будет определять способ транспортирования стеблей растительной массы и тип транспортирующей поверхности.

Подборщик выполняет две основные функции – подбор и транспортирование растительной массы к последующим рабочим органам зерноуборочного комбайна, следовательно, и тип подборщика должен определяться типами подбирающего и транспортирующего устройства [65].

Анализ конструкций подборщиков, предложенных в последние годы, показывает, что наибольшее распространение получили пальцевые подбирающие рабочие органы в сочетании с неподвижными и подвижными транспортирующими рабочими органами. Наиболее распространены подбирающие устройства пальцевого типа, отличающиеся способом крепления пальцев и типом несущих элементов. Из транспортирующих устройств наиболее широкое применение нашла лента, которая применяется на транспортерном подборщике (рисунок 1.5).

Транспортерный подборщик обладает хорошей транспортирующей способностью, так как применение сплошной ленты на данном виде подборщика, практически, исключает потери от просыпания зерна и колосьев. Так же транспортерный подборщик обладает следующими преимуществами [65]:

- наличие малого диаметра переднего ведомого вала обеспечивает меньшую высоту подъема растительной массы валка в момент отрыва от стерни, тем самым снижая изгибные деформации валка, а, следовательно, и потери неподобренным колосом;
- продольно-поперечное копирование поверхности поля обеспечивает хорошую проработку пружинными пальцами стерни по всей ширине захвата подборщика, что также способствует снижению потерь неподобренным колосом;
- сплошная транспортирующая поверхность допускает возможность установки пружинных пальцев в разных продольных плоскостях, и с меньшим шагом, например, в шахматном порядке, вследствие чего повышается вероятность подбора отдельных стеблей, не связанных с общей растительной массой валка.

Данные технические преимущества транспортерного подборщика позволяют применять его на подборе различных типов валков и сельскохозяйственных культур различной концентрации, с расположением колосьев в любом направлении, слабосформированных, спутанных валков, валков короткостебельной массы при работе на различных поступательных скоростях движения комбайна.

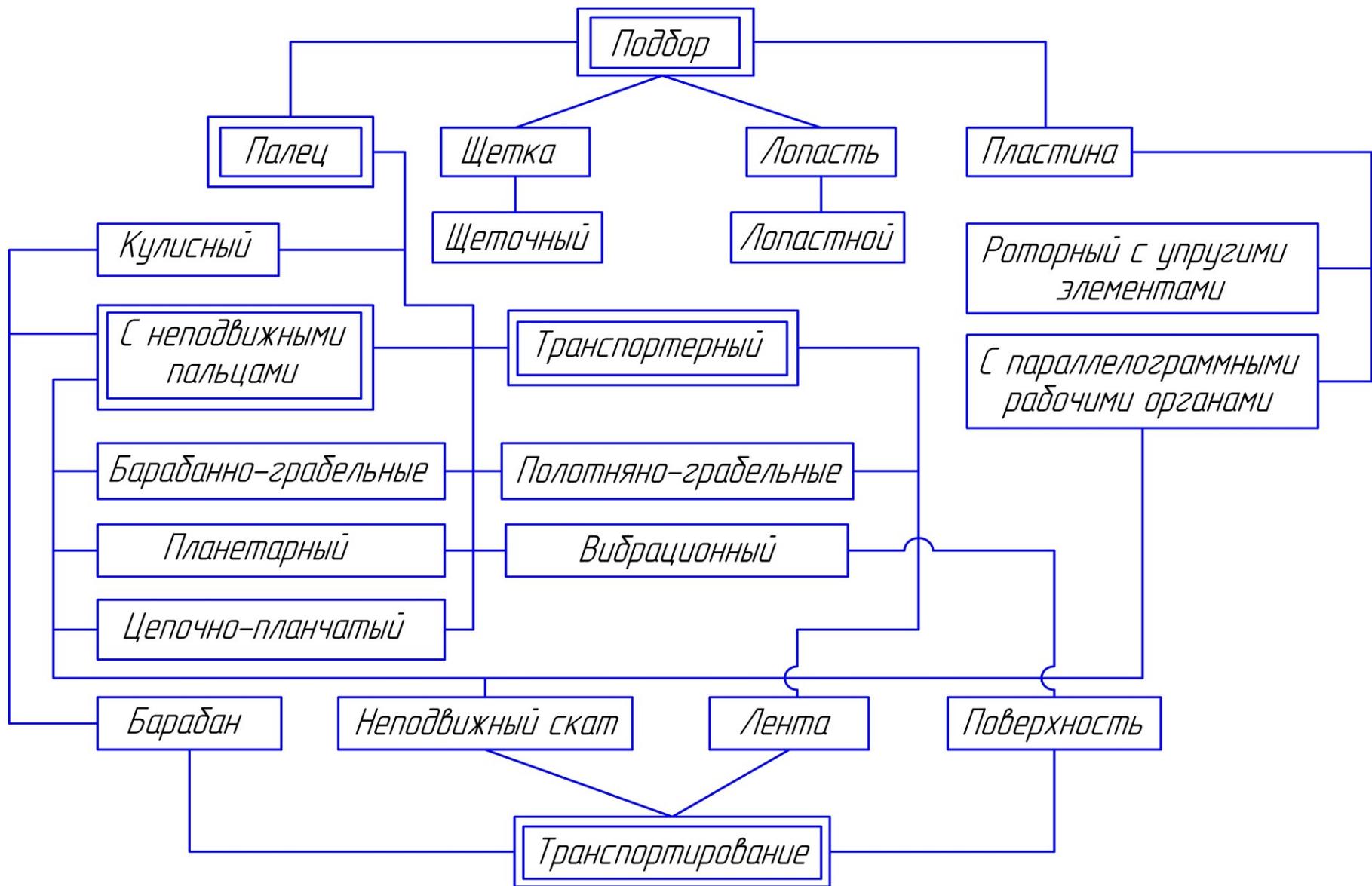


Рисунок 1.5 – Классификация подборщика по типу рабочих органов [41, 65]

К недостаткам транспортерного подборщика следует отнести следующее [65]:

– значительная, по сравнению с барабанными подборщиками высота подачи валка при сбрасывании его на платформу, обусловленная необходимостью размещения стеблесьемника и свободного прохода пальцев между верхним ведущим валом и платформой;

– затаскивание отдельных стеблей под нижнюю ветвь транспортера, особенно, при подборе короткостебельных культур, засоренной и влажной массы, что приводит к увеличению потерь.

Несмотря на перечисленные недостатки, транспортерные подборщики допускают, как правило, меньшие потери зерна при подборе валков по сравнению с барабанными подборщиками. Помимо этого, транспортерный подборщик обеспечивает наиболее качественный подбор растительной массы при скорости зерноуборочного комбайна, равной 3,6 – 7,3 км/ч и более [61].

Гячевой В.Н. [40] установлено, что существуют различия в технологическом процессе подбора связных и несвязных валков, следовательно, и требования, предъявляемые к конструктивным и кинематическим параметрам рабочих органов подборщиков, также должны быть различны. При подборе растительной массы связного валка, стебли должны скользить по пальцам по направлению к их концам и сходиться с пальцев с последующим движением без контакта с ними. Пальцы не должны нарушать целостность основания валка, однако создавать силу, увлекающую валок на подборщика. Совокупность пальцев, касающихся валка снизу, должна образовывать как бы некоторую несущую поверхность, проскальзывающую под валком и имеющую активные зоны в местах расположения пальцев. При подборе растительной массы несвязного валка сначала должно быть скольжение элемента валка к основанию пальца («вкалывание» пальца в валок), затем будет остановка, и лишь после подъема элемента валка на подборщик – скольжение к концу пальца («сход»). Поток подбираемой растительной массы должен быть непрерывным [40, 65, 93].

Таким образом, в сельскохозяйственном производстве широкое распространение получили транспортерные подборщики. Основным рабочим элементом данных подборщиков является палец, который крепится к транспортерной ленте.

1.3.1 Классификация и особенности конструктивных элементов пальцев транспортерного подборщика зерноуборочного комбайна

Несмотря на конструктивную элементарность, от пальцев в конечном счете зависят качественные показатели работы транспортерного подборщика зерноуборочного комбайна, а именно, потери зерна колосом.

Изучение патентных материалов, а также анализ литературных источников [1, 2, 3, 4, 5, 40, 70] позволили классифицировать пальцы по нескольким признакам (рисунок 1.6).

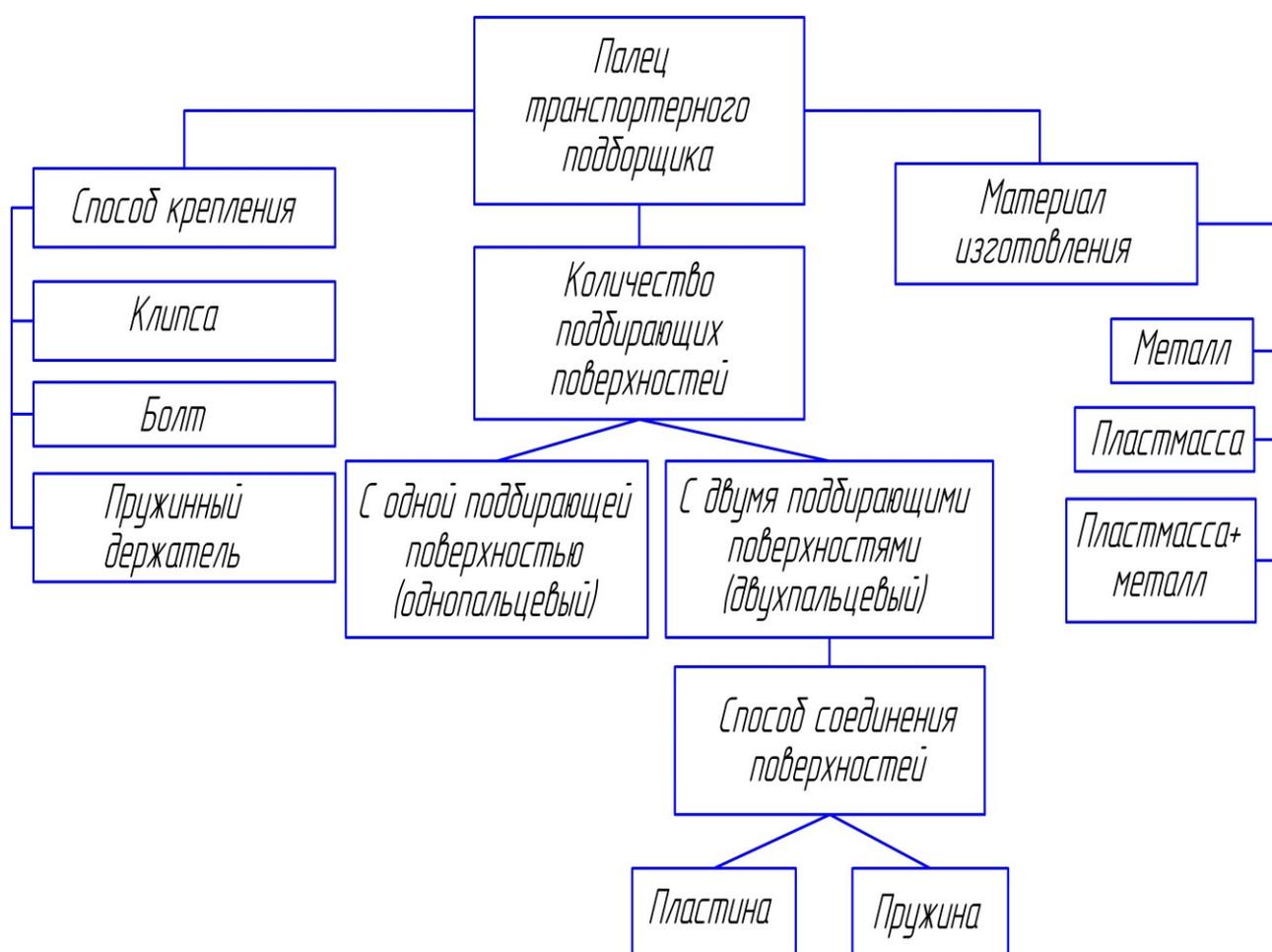


Рисунок 1.6 – Классификация пальца транспортерного подборщика зерноуборочного комбайна

Транспортерный подборщик, оснащенный пальцами с одной подбирающей поверхностью, представлен на рисунке (1.7).



а)

б)

Рисунок 1.7 – Транспортный подборщик Wheatheart Victory LP 2000 [144]:

а) – общий вид транспортного подборщика; б) – пруж пальцы

В Российской Федерации в сельском хозяйстве нашли существенное применение транспортные подборщики, оснащенные пружинными пальцами с двумя подбирающими поверхностями (рисунок 1.8).

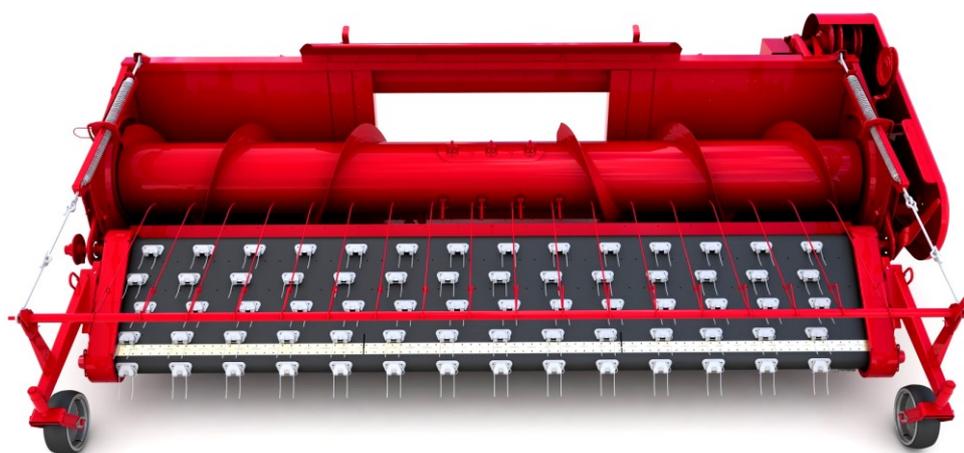


Рисунок 1.8 – Транспортный подборщик Swa Pick – 340/432 зерноуборочных комбайнов семейства ООО «КЗ «РОСТСЕЛЬМАШ» [53]

Поэтому далее проведем обзор пружинных пальцев подборщиков, получивших наиболее широкое распространение.

Конструкция пружинного пальца, применявшегося на транспортном подборщике ППТ-3А зерноуборочного комбайна СК-5 «Нива», представлена на

рисунке 1.9. Конструкция пружинного пальца, применяющегося на транспортном подборщике РСМ-10.08.07 зерноуборочных комбайнов семейства ООО «КЗ «РОСТСЕЛЬМАШ» («ДОН», «ACROS» и другие), дана на рисунке 1.10.

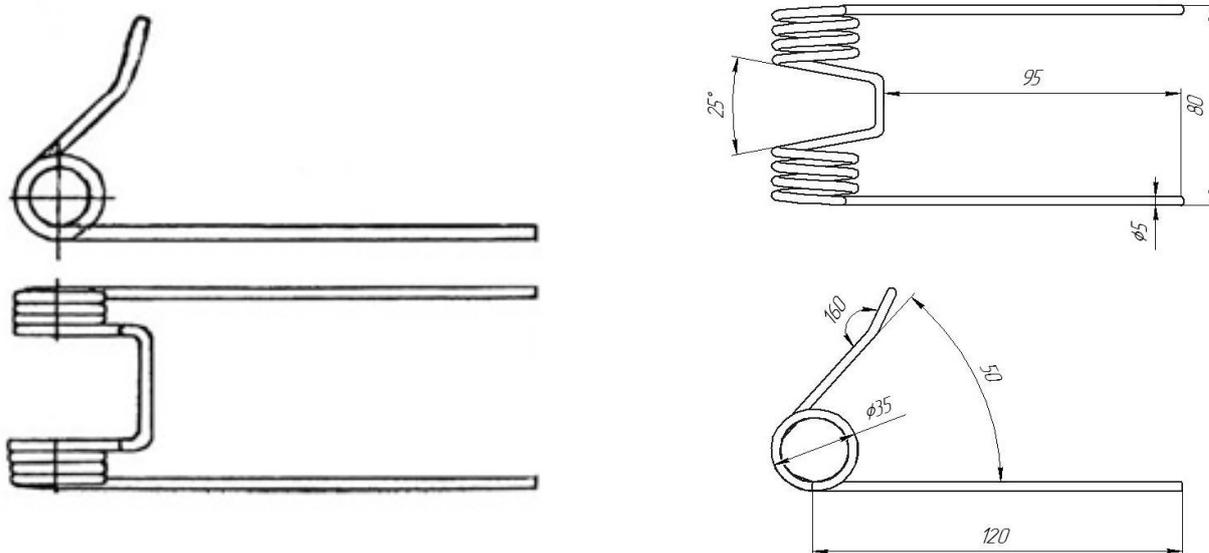


Рисунок 1.9 – Схема пружинного пальца транспортного подборщика ППТ-3А зерноуборочного комбайна СК-5 «Нива» [57]

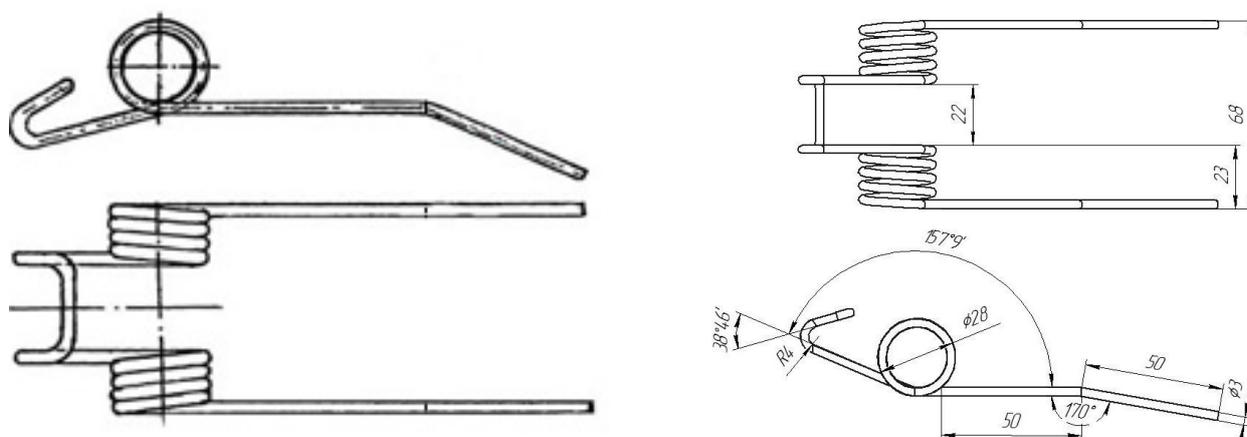


Рисунок 1.10 – Схема пружинного пальца транспортного подборщика РСМ-10.08.07 зерноуборочных комбайнов ООО «КЗ «РОСТСЕЛЬМАШ» семейств «ДОН», «ACROS», «TORUM» и «VECTOR» [3, 4]

Обзор и анализ данных конструкций пружинных пальцев свидетельствует о том, что пружинный палец транспортного подборщика ППТ-3А по сравнению с пружинным пальцем транспортного подборщика РСМ-10.08.07 имеет

ряд недостатков: большой диаметр пружины, большая длина пальца, большой диаметр проволоки, из которой изготовлен пружинный палец, большая высота фиксирующей полки, большая металлоемкость, увеличенное расстояние между пальцами, неудобное расположение на подборщике, а, следовательно, и получение потерь зерна при работе.

Среди основных достоинств пружинного пальца транспортерного подборщика РСМ-10.08.07 можно выделить следующие: уменьшенный диаметр пружины пальца, уменьшенное расстояние между пальцами, небольшая металлоемкость, удобное расположение на ленте транспортера подборщика, простота замены пальца. К недостаткам пружинного пальца можно отнести: уменьшенный диаметр проволоки, из которого изготовлен палец, невозможность выдерживать большие нагрузки при большой частоте вращения вала транспортера подборщика, разрушение колоса при подборе с большой частотой вращения вала транспортера подборщика [76, 94].

Анализ конструкций пружинных пальцев транспортерного подборщика ППТ-3А зерноуборочного комбайна СК-5 «Нива» и транспортерного подборщика РСМ-10.08.07 зерноуборочных комбайнов семейств «ДОН» «ACROS», «TORUM» и «VECTOR» позволяет сделать вывод о предпочтительном использовании пружинных пальцев транспортерного подборщика зерноуборочных комбайнов семейств «ДОН», «ACROS», «TORUM» и «VECTOR», что можно объяснить простотой их конструкции. Пружинные пальцы транспортерного подборщика ППТ-3А как и сам транспортерный подборщик ППТ-3А уже сняты с производства и больше не используются при уборке зерновых культур [53, 76, 94].

Проведённый анализ показал, что широкое применение нашли пружинные пальцы транспортерного подборщика РСМ-10.08.07 зерноуборочных комбайнов семейств «ДОН», «ACROS», «TORUM» и «VECTOR». Но они обладают меньшей контактной площадью подбирающих поверхностей при взаимодействии с растительной массой валка.

Таким образом, в результате анализа установлено, что по конструктивному исполнению пальцы транспортерного подборщика можно условно раз-

бить на два вида: это однопальцевые и двухпальцевые. При этом двухпальцевые изготовлены в виде пружинных пальцев. С целью повышения эффективности процесса подбора хлебной массы из валка было уменьшено расстояние между пальцами, что привело к увеличению их количества на транспортной ленте, а, следовательно, и к увеличению механических воздействий на хлебную массу валка, а это влияние и на потери зерна за транспортерным подборщиком. Кроме того, это приводит к возрастанию металлоёмкости транспортерного подборщика, что существенно сказывается на энергоемкости процесса подбора растительной массы валка.

1.4 Обзор влияния конструктивно-технологических параметров и режима работы подборщиков на качество подбора валка хлебной массы

Существующие конструкции подборщиков для подбора валков зерновых культур допускают значительные потери, которые составляют 75,0 – 85,0 % в общем балансе потерь зерна за комбайном, достигая иногда 5,0 – 8,0 % урожая [43, 121]. Причем, основная часть приходится на неподобренные колосья [17].

Бушев Л.И. [23, 24] установил, что с увеличением высоты подъема валка создаются условия для выскальзывания наиболее коротких стеблей. Наличие высокой скорости пальцев подборщиков в момент их контактирования с растениями способствуют разбрасыванию валка, разрушению колоса и стебля зерновых культур.

Жалнин Э.В. [49, 50, 51] обосновал условие неразрывности подбора валка хлебной массы подборщиком комбайна, которое характеризуется неравенством:

$$\pi \cdot D_n n \psi - V_K t \leq \delta_{ПР}, \quad (1.1)$$

где D_n – диаметр окружности, описываемой концами пальцев подборщика, м;

n – количество оборотов транспортера подборщика, с^{-1} ;

ψ – коэффициент проскальзывания пальцев по валку;

V_K – поступательная скорость движения комбайна, м/с;

t – время, за которое транспортер подборщик сделает (n) оборотов, с;

$\delta_{\text{ПР}}$ – предельное смещение солоmistых частиц в слое относительно друг друга, зависящее от средней длины стеблей в валке хлебной массы и угла внутреннего трения сцепления стеблей, м.

Исходя из анализа уравнения (1.1) условия неразрывности валка хлебной массы, Жалнин Э.В. приходит к выводу, что для подбора валков короткостебельных культур наиболее эффективны транспортерные подборщики, у которых (D_n) меньше, чем у барабанных подборщиков, и при их работе условие неразрывности валка хлебной массы обеспечивается надежнее [50, 51].

Будко А.И. [17] обосновал условие отсутствия выпадения стеблей из валка хлебной массы:

$$P_{\text{сц}} > P \left(1 + \frac{w}{g} \right), \quad (1.2)$$

где $P_{\text{сц}}$ – сила сцепления между стеблями, Н;

P – сила тяжести, Н;

w – ускорение при отрыве валка хлебной массы от стерни, м/с²;

g – ускорение свободного падения, $g = 9,81$ м/с².

Из формулы (1.2) следует, что потери зерна за подборщиком можно уменьшить двумя путями: образованием валков хлебной массы с прочной силой сцепления стеблей и уменьшением ускорения массы при её отрыве от стерни, которое зависит от диаметра окружности пальцев подборщика (D_n) и расположения их над почвой [17].

Чубиков Н.Е. [137] считает, что величина потерь зерна за подборщиком определяется величиной зон неподбора, то есть площадью, необрабатываемой пальцами подборщика. Чтобы увеличить степень полноты обрабатываемой площади и пространства поля, занятого валком хлебной массы, необходимо оптимизировать конструкционный шаг пальцев и изменить геометрию пальца. Оптимальные значения конструкционного шага пальцев (t_k) определяются с учетом угла отклонения пальца в плоскости вращения, длины пальца и параметров: высотой (h_{MAX}) зон подбора и отношением (ε) скорости пальца подборщика к скорости движения

зерноуборочного комбайна. Практически, величина (t_K) транспортерного подборщика, исходя из условия обеспечения $h_{MAX} = 10 - 40$ мм, будет [137]:

$$t_K = (0,7...1,25) \cdot D_n, \quad (1.3)$$

где D_n – диаметр окружности, описываемой концами пальцев подборщика, м.

Площадь зон неподбора определяется по следующей формуле [19, 20]:

$$S_H = 2R \left[\left(V_K \frac{\varphi}{\omega} - \frac{1}{2} R \varphi \right) + \frac{R\omega - V_K}{\omega} \sin \varphi - \frac{R}{4} \sin 2\varphi \right], \quad (1.4)$$

где R – радиус вращения концов пальцев, м;

V_K – поступательная скорость движения зерноуборочного комбайна, м/с;

φ – угол поворота пальца за время (t), град;

ω – частота вращения подбирающих пальцев, c^{-1} .

Анализ уравнения (1.4) показывает, что площадь зон неподбора, а, следовательно, и потери зерна неподбранным колосом, сокращаются с уменьшением радиуса вращения концов пальцев при оптимальном соотношении окружной и поступательной скоростей.

Рыбкин И.П. [121] при аналитическом исследовании вероятных потерь зерна за подборщиками (транспортерным и барабанным), рассматривает случай их работы с учетом микронеровностей поля: подборщик жестко закреплен и движется поперек предыдущей пахоты равномерно, при этом предполагается, что валок под действием силы тяжести получает осадку и копирует все неровности поля. На основе данной предпосылки установлено, что совершенствование конструкций подборщиков зерноуборочного комбайна должно идти по пути уменьшения радиуса вращения подбирающих пальцев.

Анализ работ [18, 20, 21, 23, 24, 49, 50, 51, 146], посвященных исследованию работы подборщиков зерноуборочного комбайна, показывает, что качество подбора валка определяется не только конструктивными особенностями подборщиков и параметрами валка хлебной массы, но и режимом их работы.

Кинематический режим работы транспортерного подборщика зерноуборочного комбайна определяется соотношением [18, 20, 21, 50, 51, 146]:

$$\lambda = V_n / V_K, \quad (1.5)$$

где V_n – относительная скорость пальца подборщика, м/с;

V_K – поступательная скорость движения комбайна, м/с;

Баранов А.А. [18] рекомендует при малых скоростях движения зерноуборочного комбайна с транспортерным подборщиком (3,9 – 5 км/ч) принимать (λ) равным 2,0 – 2,5, а при больших скоростях (6 – 7 км/ч) – 1,5 – 2,0.

Офат Е.А. [101] рекомендует определять показатель режима работы подборщика – «частоту подбора» – исходя из состояния и вида подбираемого материала.

Милованов Е.Д. [82] рекомендует отношение скорости зерноуборочного комбайна к скорости движения пальцев транспортерного подборщика, при котором отсутствует разрыв валка хлебной массы, назвать коэффициентом неразрывности валка хлебной массы:

$$K_n = \frac{V_k \cdot t}{\pi \cdot D_n \cdot n \cdot \delta_{IP}}, \quad (1.6)$$

где V_K – поступательная скорость движения комбайна, м/с;

t – время, за которое транспортер подборщика делает (n) оборотов, с;

D_n – диаметр окружности, описываемой концами пальцев подборщика, м;

n – количество оборотов транспортера подборщика, с⁻¹;

$\delta_{IP} = \psi$ – коэффициент проскальзывания пальцев по валку хлебной массы.

Если $K_n = 1$, то исключается сжатие и разрыв валка хлебной массы и подбор валка происходит без потерь зерна.

Для характеристики устойчивости валка хлебной массы против разрыва, Милованов Е.Д. вводит понятие коэффициента устойчивости [82]:

$$K_y = \frac{h_B}{D_n + \Delta h}, \quad (1.7)$$

где h_B – просвет между почвой и валком, м;

Δh – просвет между концами подбирающих пальцев и почвой, м.

Установлено, что валок хлебной массы подбирается без разрыва, если коэффициент устойчивости будет $K_y > 0,45$ [82].

Осипов А.Н. [99] рекомендует при поступательных скоростях движения зерноуборочного комбайна принимать значения кинематического параметра (λ), исходя из следующего условия:

$$\frac{1}{\sin \gamma - \cos \gamma} \leq \lambda \leq 2,7, \quad (1.8)$$

откуда (γ) определяется следующим выражением:

$$\gamma = \arccos \left[\frac{R - (H - \Delta h)}{R} \right], \quad (1.9)$$

где R – радиус конца пальца, м;

H – высота расположения валка хлебной массы над землей, м;

Δh – просвет между концом пружинного пальца и поверхностью поля, м.

Чубиков Н.Е. [3, 138], анализируя отношения (λ) окружной скорости основания пальца (скорости полотна подборщика) к поступательной скорости зерноуборочного комбайна, приходит к выводу, что, с точки зрения снижения абсолютной скорости конца пальца подборщика и силы удара по валку, увеличение (λ) больше 1 нецелесообразно. Проведенные данным автором исследования позволяют сделать вывод, что одним из основных параметров валка, оказывающих влияние на скорость движения при подборе, является просвет между почвой и валком, а снижение абсолютной скорости конца пальца подборщика и силы удара по валку можно добиться, уменьшив радиус вращения конца пальца или длины, либо диаметра окружности пальцев транспортера подборщика.

Карпуша А. П. [60, 61] предлагает определять скорость поступательного движения зерноуборочного комбайна, исходя из условия прочности колоса:

$$V_K = V_D \frac{1}{\sqrt{\lambda^2 - 1}}, \quad (1.10)$$

где V_K – поступательная скорость движения комбайна, м/с;

V_D – допускаемая скорость удара по колосу из условия прочности, определяемая опытным путем и зависящая от многих факторов, м/с;

λ – кинематическое соотношение, $\lambda = V_n / V_k$.

Антоненко А. А. [8] считает, что основной причиной возникновения потерь неподобранным колосом является несовершенство конструкций подборщиков, которые не в состоянии копировать поверхность поля. Отношение максимально допустимой критической скорости движения подборщика (V_{KP}), при которой приспособляемость равна 1, а потери неподобранным колосом отсутствуют, к действительной скорости движения (V_D) Антоненко А. А. называет скоростным коэффициентом:

$$K_V = V_{KP} / V_D. \quad (1.11)$$

Допустимая критическая скорость (V_{KP}) определяется высотой неровностей поля и расстоянием между ними [9].

Сикоркас В. И. [122, 123] отличает, что оптимальная величина отношения скорости полотна транспортерного подборщика к скорости самого подборщика колеблется в пределах 1,1 – 1,4, причем меньшие значения этого отношения отмечены при использовании ведомого валика диаметром 250 мм, расстоянии между пальцами по длине полотна 67 мм.

Для конкретных условий работы Сикоркас В. И. предлагает определять оптимальную величину (λ), исходя из уравнения:

$$\lambda_{опт} - 1 = S_{опт}, \quad (1.12)$$

где $S_{опт}$ – относительное проскальзывание пальцев, при котором обеспечивается минимальная разрыхленность валка. Данная величина зависит от геометрических параметров пружинного пальца.

Одной из причин потерь зерна Гячева В. Н. [41] считает изгибные воздействия подборщика на валок хлебной массы. Поэтому для уменьшения потерь зерна необходимо обеспечить рациональное движение подбираемого валка хлебной массы, то есть неразрывность и отсутствие колебания, что обеспечивается применением минимального радиуса ведомого вала транс-

портера подборщика и выбором такого угла отклонения пальцев, при котором пальцы отделяют основание валка от стерни и, в дальнейшем, проскальзывают под ним, создавая необходимую силу сцепления.

В ходе исследований Гячевой В.Н. [40, 41, 44] установлено, что форма средней линии валка хлебной массы должна соответствовать конструктивно-кинематическим параметрам всего подбирающего-подающего устройства подборщика зерноуборочного комбайна, а силы инерции являются решающими факторами образования потерь зерна. Сравнительную оценку потерь зерна она производит по величине показателя инерционных воздействий ($K_{ин}$) на участке провисания валка хлебной массы от точки опоры на стерне до точки перегиба:

$$K_{ин} = \frac{\theta^2}{\rho_{min}^2}, \quad (1.13)$$

где θ – постоянный коэффициент;

ρ_{min} – минимальное значение радиуса кривизны траектории средней линии валка хлебной массы.

Значение коэффициента (θ) зависит от типа подбирающего устройства, его кинематического режима. Лучшим будет считаться тот подборщик зерноуборочного комбайна, для которого показатель инерционных воздействий ($K_{ин}$) будет меньшим.

Уменьшение диаметра вала транспортера подборщика вызывает быстрое снижение искривлённости валка хлебной массы, но при этом быстро возрастает значение (θ). Причем ($K_{ин}$) сначала уменьшается, а при дальнейшем уменьшении вала диаметра – начинает увеличиваться. Наиболее рациональным диаметром вала транспортера подборщика будет такое значение, при котором ($K_{ин}$) минимально [44].

На основании вышесказанного можно сделать следующие выводы:

1) на качество подбора валков хлебной массы значительное влияние оказывают параметры валков, основными из которых являются: длина стеблей в валке, связность валка, высота расположения валка над поверхностью поля;

2) конструктивными параметрами подборщиков, оказывающими

наибольшее влияние на величину потерь зерна неподобренным колосом, является диаметр окружности, описываемой концами пальцев подборщика и высота их установки над поверхностью поля;

3) оптимальный режим подбора с точки зрения минимума потерь зерна зависит как от параметров валка, так и конструктивных параметров подборщиков зерноуборочного комбайна и, в частности, от геометрических параметров пружинного пальца транспортерной ленты.

1.5 Выводы по главе и задачи исследований

В современных условиях уборка зерновых культур может осуществляться двумя основными способами: это прямое комбинирование и отдельный способ уборки. Отдельный способ уборки позволяет повысить производительность современных зерноуборочных комбайнов путем применения на подборе валков хлебной массы подборщиков.

Анализ научно-технической литературы показал, что на устойчивость валка хлебной массы на стерне будут влиять следующие факторы, такие как густота стеблестоя, высота стерни и структура решетки из стеблей в валке хлебной массы. При уборке короткостебельных валков хлебной массы потери неподобренным колосом за транспортерным подборщиком достигают до 12,6 %, а при подборе более мощного валка хлебной массы потери неподобренным колосом составляют в четыре раза меньше, чем при подборе одиночных валков [39].

Проведенный обзор показал, что широкое применение нашли пружинные пальцы транспортерного подборщика РСМ-10.08.07 зерноуборочных комбайнов семейств «ДОН», «ACROS», «TORUM» и «VECTOR». Но они обладают меньшей контактной площадью подбирающих поверхностей при взаимодействии с растительной массой валка. Поэтому для дальнейшего применения данных пружинных пальцев на транспортерном подборщике необходимо увеличивать контактную площадь взаимодействия подбирающих поверхностей с растительной массой валка для сокращения потерь зерна при подборе.

Результаты обзора теоретических исследований свидетельствуют о том, что подбирающую способность пружинных пальцев транспортерного подборщика характеризуют посредством коэффициентов ($\delta_{пп}$, ψ) проскальзывания пальцев по валку хлебной массы и относительного проскальзывания пальцев ($S_{опт}$) по валку хлебной массы. При этом не рассматриваются вопросы по обоснованию геометрических параметров подбирающей поверхности пружинных пальцев транспортера подборщика зерноуборочного комбайна.

Совершенствование конструкции транспортерного подборщика для подбора валков хлебной массы возможно при условии обеспечения движения подбираемого валка с минимальными изгибными деформациями в момент отрыва его от стерни и подъема на транспортерный подборщик, а также минимального воздействия пружинных пальцев на валок в процессе его подбора и транспортирования к дальнейшим рабочим органам зерноуборочного комбайна.

На основе анализа научно-технических литературных источников была сформулирована **научная гипотеза**, которая заключается в том, что потери зерна за транспортерным подборщиком зерноуборочного комбайна можно уменьшить за счет совершенствования подбирающей поверхности пружинного пальца транспортера.

Результаты анализа состояния вопроса, а также сформированная научная гипотеза будут определять цель работы.

Целью работы является снижение потерь зерна при подборе валков хлебной массы путем совершенствования подбирающей поверхности пружинного пальца транспортерного подборщика зерноуборочного комбайна.

Исходя из поставленной цели, были сформулированы следующие **задачи исследования**:

1. Провести обзор и обосновать направления повышения эффективности процесса подбора хлебной массы транспортерным подборщиком зерноуборочного комбайна;

2. Обосновать и установить закономерности для определения подбирающей поверхности пружинного пальца транспортерного подборщика зерноуборочного комбайна, обеспечивающие снижение потерь зерна при подборе хлебной массы валка;

3. Установить закономерности, характеризующие изменение потерь зерна за транспортерным подборщиком при взаимодействии пружинного пальца с изменённой геометрией подбирающей поверхности с хлебной массой валка;

4. Подтверждение результатов исследования лабораторными и производственными экспериментами с расчетом показателей экономической эффективности от использования предлагаемого совершенствования подбирающей поверхности пружинного пальца на основе транспортерного подборщика зерноуборочного комбайна «ACROS-530» при подборе хлебной массы валка.

ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПОДБИРАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРУЖИННОГО ПАЛЬЦА ПОДБОРЩИКА КОМБАЙНА

2.1 Обоснование изменения геометрии подбирающей поверхности пружинного пальца транспортерного подборщика

В ходе выполнения технологического процесса подбора валка хлебной массы зерноуборочным комбайном подбирается скорость движения транспортерной ленты таким образом, чтобы хлебная масса не сгружалась впереди подборщика и переносилась концами пружинных пальцев. Исходя из этого положения, скорость транспортерной ленты (V_{TP}) должна быть равна поступательной скорости движения комбайна (V_K) [29, 39, 65]. Тогда число оборотов (c^{-1}) вала транспортерной ленты можно найти из выражения (2.1) [40, 41]:

$$n_B = \frac{60 \cdot V_K}{\pi \cdot D_B}, \quad (2.1)$$

или из выражения (2.2):

$$n_B = \frac{60 \cdot V_K}{\pi \cdot R_{Л}}, \quad (2.2)$$

где V_K – поступательная скорость движения комбайна, м/с;

D_B – начальный диаметр вала транспортерной ленты подборщика, м;

$R_{Л}$ – радиус траектории движения транспортерной ленты подборщика на валу, м.

Радиус траектории движения транспортерной ленты подборщика на валу определяется выражением (2.3):

$$R_{Л} = \frac{D_B}{2} + \Delta_{Л}, \quad (2.3)$$

где $\Delta_{Л}$ – толщина ленты, м.

При этом число встреч пружинных пальцев ($Z_{П}$) с хлебной массой валка за одну секунду равно:

$$z_{II} = i \cdot \frac{V_{TP}}{2 \cdot \pi \cdot R_{II}}, \quad (2.4)$$

где i – число рядов пружинных пальцев на транспортной ленте подборщика,
 $i = 20$ шт.;

V_{TP} – окружная скорость транспортной ленты подборщика, м/с;

R_{II} – радиус конца пружинного подбирающего пальца, м.

Взаимодействие пружинного подбирающего пальца с валком хлебной массы представлено на рисунке (2.1). Где R_{II} – радиус конца пружинного пальца, м; Δl – длина пружинного пальца, выступающего над транспортной лентой подборщика, м; D_B – диаметр вала транспортной ленты подборщика м; H_{II} – высота расположения вала транспортной ленты над поверхностью поля, м; z_{II} – число рядов пружинных пальцев, шт.; S – окружной шаг расположения пружинных пальцев, м; β – угол отклонения пружинного пальца от его радиального расположения, град.; α_{TP} – угол наклона транспортной ленты к горизонтальной плоскости, град. $\alpha_{TP} = \gamma$; ω – частота вращения вала транспортной ленты, с⁻¹; V_{II} – рабочая скорость транспортного подборщика, м/с; $V_{II} = V_K$; V_{KII} – скорость конца пружинного пальца, м/с; b – шаг расстановки пружинных пальцев ряда по ширине захвата транспортного подборщика, $b = 0,02$ м; B – ширина захвата транспортного подборщика, м; Δh – минимальный зазор между концом пальца и поверхностью поля.

Из рисунка (2.1) видно, что если ряд пружинных пальцев находится в точке (А), то следующий ряд будет расположен в точке (В).

Движение пружинных пальцев транспортной ленты подборщика складывается из поступательного и вращающегося движений, что обеспечивает подъем хлебной массы вала со стерни и подачи её в питающие органы зерноуборочного комбайна.

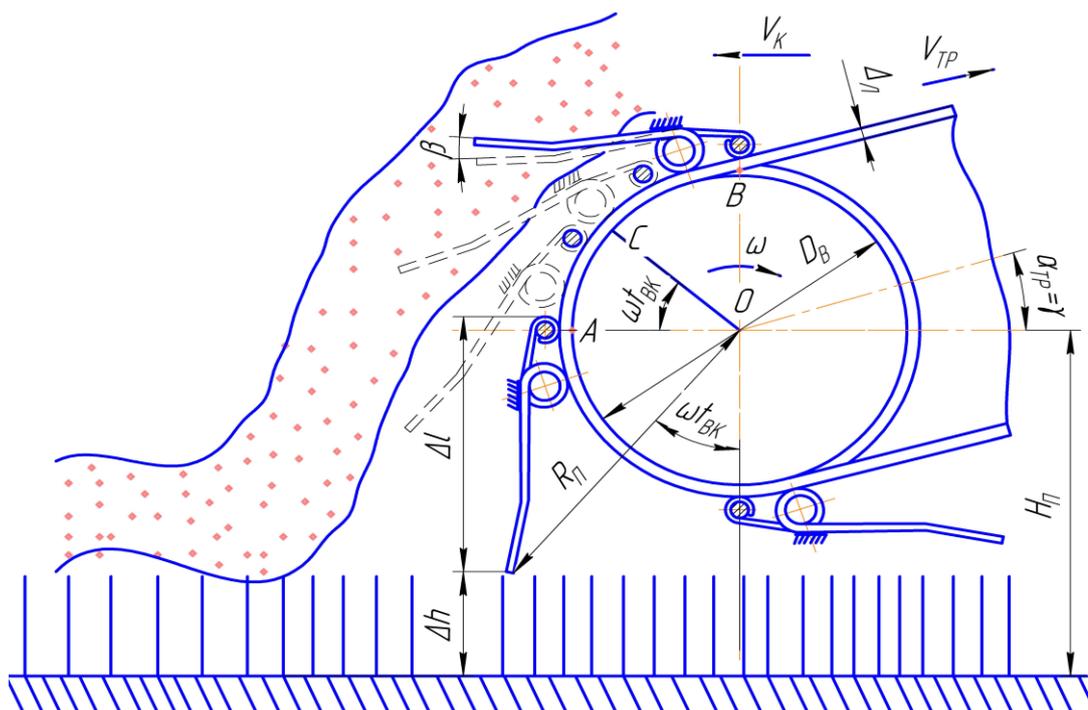


Рисунок 2.1 – Схема взаимодействия пружинного подбирающего пальца транспортерной ленты подборщика с хлебной массой валка [5]

При этом, можно выделить три фазы взаимодействия пружинного пальца с хлебной массой валка:

- 1) встреча пружинного пальца с валком и начало подъема растительной массы на соответствующую высоту;
- 2) начало транспортирования хлебной массы лентой до момента ухода пружинных пальцев под нижнюю ветвь ленты;
- 3) возврат пружинного пальца в точку встречи с валком хлебной массы и начала подъема растительной массы, после чего цикл движения пальцев повторяется.

В процессе одного оборота транспортерной ленты можно различить два периода работы:

- 1) период взаимодействия пружинного пальца с валком хлебной массы. При этом растительная масса перемещается пружинным пальцем в вертикальной плоскости, то есть поднимается и затем перемещается транспортерной лентой до момента ухода пружинного пальца под нижнюю часть транспортерной ленты;
- 2) холостой ход пружинного пальца, который состоит из ухода под нижнюю часть транспортерной ленты до повторной встречи с валком хлебной массы.

В этом случае траектория абсолютного движения конца пружинного пальца может быть описана в параметрической форме выражениями (2.5) [40, 65]:

$$\begin{aligned}x &= V_o \cdot t + R \cdot \sin \omega \cdot t, \\y &= H_{II} - R \cdot \cos \omega \cdot t.\end{aligned}\quad (2.5)$$

Скорость конца пружинного пальца на участке его поворота (точка А и В) определяется следующим выражением:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= V_{II} + \omega \cdot R \cdot \cos \omega \cdot t, \\ \dot{y} &= \omega \cdot R \cdot \sin \omega \cdot t.\end{aligned}\quad (2.6)$$

Тогда ускорение будет определено выражением (2.7):

$$\begin{aligned}\ddot{x} &= -\omega^2 R \sin \omega t, \\ \ddot{y} &= \omega^2 R \cos \omega t.\end{aligned}\quad (2.7)$$

Абсолютная скорость (V) и ускорение (a) конца пружинного пальца (d) можно определить по следующим выражениям [25, 71]:

$$\begin{aligned}V &= \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} = \sqrt{V_{II}^2 + \omega^2 R^2 + 2V_{II}\omega R \cos \omega t}, \\ a &= \sqrt{\ddot{x}^2 + \ddot{y}^2} = \omega^2 R_{II}.\end{aligned}\quad (2.8)$$

В процессе подъема растительной массы вала существенное значение имеет параметр (R_{II}), который определяется выражением (2.9):

$$R_{II} = \sqrt{\Delta l^2 + R_{II}^2 + 2\Delta l R_{II} \cos \beta},\quad (2.9)$$

где Δl – длина пружинного пальца, выступающего над транспортерной лентой подборщика, м;

R_{II} – радиус транспортерной ленты подборщика, м;

β – угол отклонения пальца от его радиального расположения, град.

Окружной путь пружинных пальцев, тогда равен:

$$S = \frac{2\pi R_{II}}{N},\quad (2.10)$$

где N – число рядов пружинных пальцев, расположенных на вале транспортерной ленты, $N = 2$ шт.

В зависимости от значения безразмерного параметра $\lambda = V_n / V$, ($1 < \lambda < 1$), траектория пружинного пальца будет как удлиненной, так и укороченной циклоидой. При отклонении пружинного пальца вперед по направлению вращения транспортной ленты циклоида смещается в сторону отставания, а при отклонении в обратном направлении – несколько опережает след нормального расположения пружинного пальца.

Траектории пружинных пальцев, расположенных на двух соседних рядах, можно описать с помощью следующих выражений (2.11) и (2.12):

$$\begin{aligned} x_1 &= V_{\Pi} t + R_{\Pi} \sin \omega t; \\ y_1 &= H_{\Pi} - R_{\Pi} \cos \omega t. \end{aligned} \quad (2.11)$$

$$\begin{aligned} x_2 &= V_{\Pi} t + R_{\Pi} \cdot \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{N}\right); \\ y_2 &= H_{\Pi} - R_{\Pi} \cdot \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{N}\right). \end{aligned} \quad (2.12)$$

Разность $(x_1 - x_2)$, есть линейный шаг транспортерного подборщика, который характеризует расстояние по горизонтали между соответствующими точками на траекториях двух последовательно работающих пальцев:

$$L = x_2 - x_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot V_{\Pi}}{N \cdot \omega} = \frac{2\pi \cdot R_{\Pi} \lambda}{N \cdot \omega} = S \cdot \lambda, \quad (2.13)$$

где $\lambda = \frac{V_{\Pi}}{\omega \cdot R_{\Pi}}$.

Высота расположения пружинного пальца в момент начала подъема валка растительной массы будет равна:

$$y_o = \Delta h + R_{\Pi} (1 - \cos \omega t_{НАЧ}), \quad (2.14)$$

где $\omega t_{НАЧ}$ – угол поворота радиус-вектора конца пружинного пальца, соответствующий моменту начала подъема хлебной массы валка, град.

Когда угол поворота радиус-вектора (R_{Π}) конца пружинного пальца составит $\omega t_{BP} = 70 - 75^{\circ}$ [71, 81], то в этом случае происходит вкалывание пальца в хлебную массу валка.

Из уравнения (2.12) следует, что качество работы пружинных пальцев транспортерного подборщика зависит от длины участка, который не перекрывается траекториями двух последовательно работающих соседних пальцев, то есть остается незахваченная площадь пальцами, с которых растительный материал подбирается только благодаря связности валка хлебной массы.

Помимо этого, выражение (2.8) свидетельствует, что в момент ($\omega t_{НАЧ}$), то есть от начала подъема хлебной массы валка и до момента ($\omega t_{БК}$) на хлебную массу, находящуюся на пружинном пальце, во время его поворота, действует центробежная сила $F = a \cdot m_{ХЛ}$, которая стремится сбросить растительный материал с пружинного пальца. Однако, в результате набегания валка хлебной массы на транспортерный подборщик за счет поступательной скорости движения комбайна (V_K) образуются силы инерции, направленные горизонтально и способствующие его захвату. Соотношение этих сил определяет, будет валок хлебной массы либо подниматься со стерни, либо сгруживаться впереди подборщика.

Отрицательное влияние центробежной силы (F) во время взаимодействия пружинного пальца с хлебной массой валка можно уменьшить за счет изменения соотношения противодействия двух сил: это силы тяжести (G) хлебной массы и силы (P_{II}), действующей со стороны пружинных пальцев. Поскольку за счет их противодействия, происходит сжатие слоя хлебной массы. При этом, за каждую встречу ряда пружинных пальцев, слой хлебной массы испытывает импульс силы:

$$F_{II} = P_{II} \cdot \Delta t, \quad (2.15)$$

где $P_{II} = P_H(f_{II} - f_c)$ – равнодействующая, равная разности сил трения ряда пружинных пальцев об хлебную массу и стеблей друг о друга валка хлебной массы;

P_H – нормальное давление в сжатом слое хлебной массы;

Δt – время продолжительности встречи, с.

f_{II} и f_c – коэффициенты трения пальцев о стебли валка и стебель о стебель хлебной массы;

Величину силы (P_{II}), действующей со стороны пружинных пальцев, а

также качество их работы, можно улучшить за счет изменения геометрии подбирающей поверхности пружинного пальца.

В общем виде изменение геометрии подбирающей поверхности пружинного пальца представлено на рисунке (2.2), а его расположение на транспортной ленте подборщика показано на рисунке (2.3).

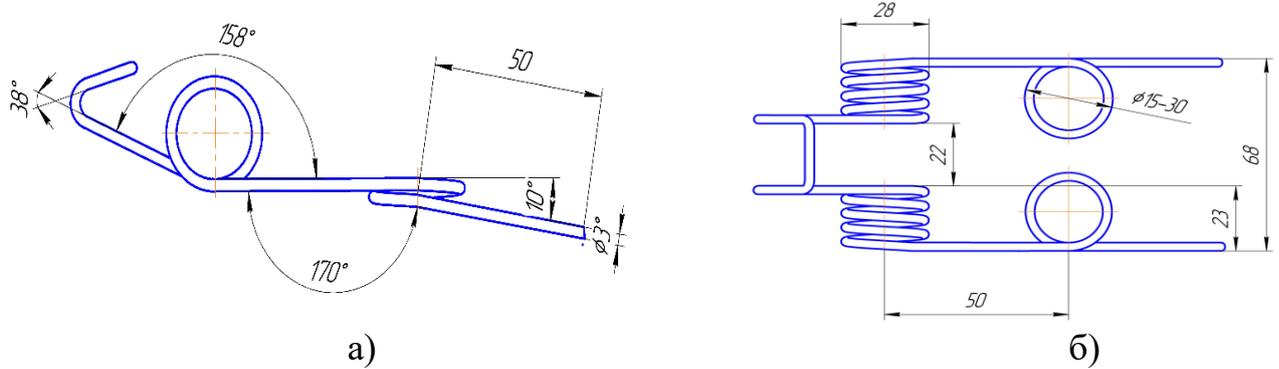


Рисунок 2.2 – Общий вид изменения геометрии пружинного пальца

а – вид сбоку; б – вид сверху

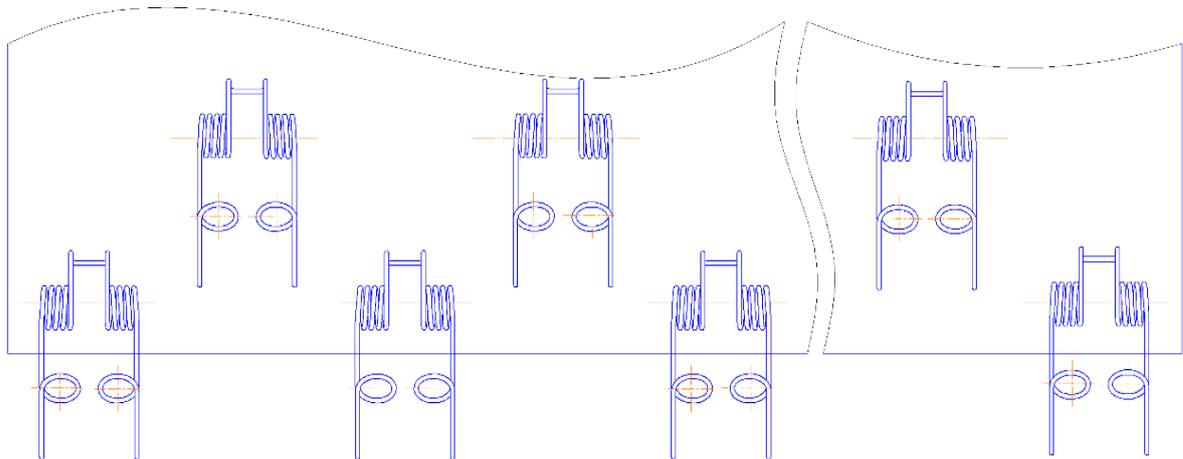


Рисунок 2.3 – Расположение пружинных пальцев с измененной геометрией на транспортной ленте подборщика

Из рисунка (2.2) видно, что за счет образования кольцевого витка на подбирающей поверхности пружинного пальца изменяется площадь контакта с растительным материалом, что будет способствовать уменьшению отрицательного воздействия центробежной силы пружинного пальца на хлебную массу валка, а, следовательно, отразится и на потерях зерна за транспортерным подборщиком.

Таким образом, результаты анализа взаимодействия пружинного пальца транспортной ленты подборщика с хлебной массой валка свидетельствует о целесообразности уменьшения отрицательного воздействия центробежной силы, которая стремится сбросить растительную массу валка с подбирающей поверхности пружинного пальца. Практически, это можно осуществить за счет увеличения площади контакта подбирающей поверхности пружинного пальца с хлебной массой, посредством образования кольцевого витка. В следствие чего, далее и рассмотрим изменение геометрических параметров кольцевого витка на подбирающей поверхности пружинного пальца транспортера подборщика.

2.2 Теоретические расчеты пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности

2.2.1 Расчет геометрических параметров кольцевого витка на подбирающей поверхности пружинного пальца

Кольцевой виток на подбирающей поверхности пружинного пальца можно представить, как элемент витковой пружины (рисунок 2.4).

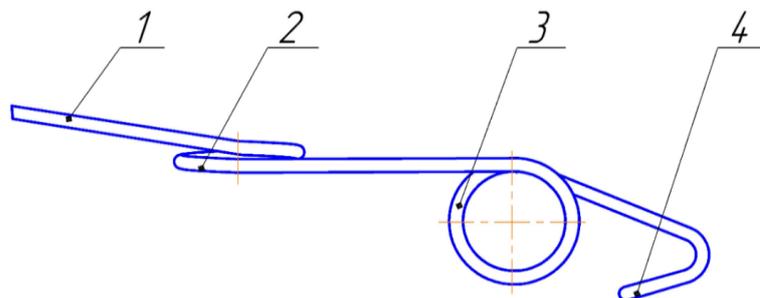


Рисунок 2.4 – Пружинный палец с кольцевым витком на подбирающей поверхности:

1 – подбирающая часть; 2 – кольцевой виток; 3 – пружина; 4 – опорная часть

В общем случае, кольцевой виток может рассматриваться как пространственно изогнутый брус с осью, изогнутой по винтовой линии. В зависимости от вида рабочей нагрузки кольцевой виток пружинного пальца может

работать как пружина растяжения и пружина сжатия [14, 15].

Нагружение кольцевого витка пружинного пальца производится, как правило, силами, направленными вдоль оси кольцевого витка. Шаг кольцевого витка, связанный с углом подъема, можно найти по следующему выражению:

$$S = \pi \cdot D \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (2.16)$$

где D – средний диаметр кольцевого витка подбирающей поверхности, м;

α – угол подъема винтовой линии, град.

Рассмотрим подбирающую поверхность пружинного пальца, на которую при подбore действует сила ($F_{\text{ВАЛКА}}$). Сила ($F_{\text{ВАЛКА}}$) действует вдоль оси кольцевого витка пружинного пальца (рисунок 2.5).

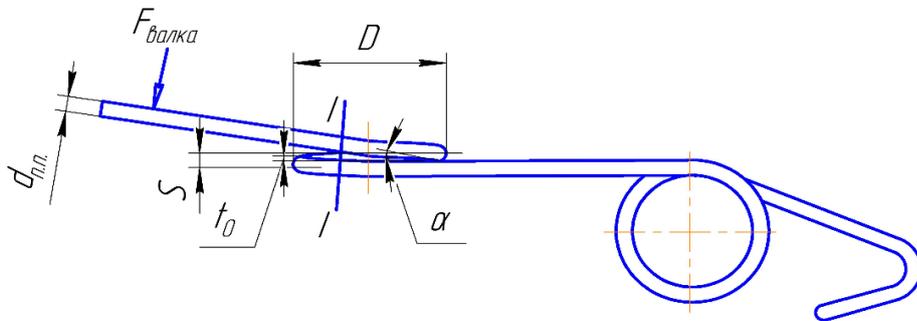


Рисунок 2.5 – Схема определения внутренних силовых факторов, действующих на пружинный палец [15]

Для определения внутренних силовых факторов необходимо рассечь кольцевой виток пружинного пальца плоскостью I – I, перпендикулярной оси пружинного пальца, и рассмотреть равновесие отсеченной части [15].

Нижняя часть будет находиться в равновесии под действием внешней силы действия валка хлебной массы ($F_{\text{ВАЛКА}}$) и внутренних сил, возникающих в поперечном сечении кольцевого витка пружинного пальца. Из условия равновесия следует, что внутренние силы в сечении должны дать равнодействующую, направленную параллельно оси кольцевого витка, равную внешней силе ($F_{\text{ВАЛКА}}$) относительно центра тяжести сечения. Тогда крутящий момент (M) может быть определен из выражения (2.17):

$$M = \frac{F_{\text{ВАЛКА}} \cdot D}{2}. \quad (2.17)$$

Плоскость действия крутящего момента (M) будет образовывать с сечением кольцевого витка угол α . На рисунке (2.6) изгибающий момент представлен вектором моментом (\bar{M}).

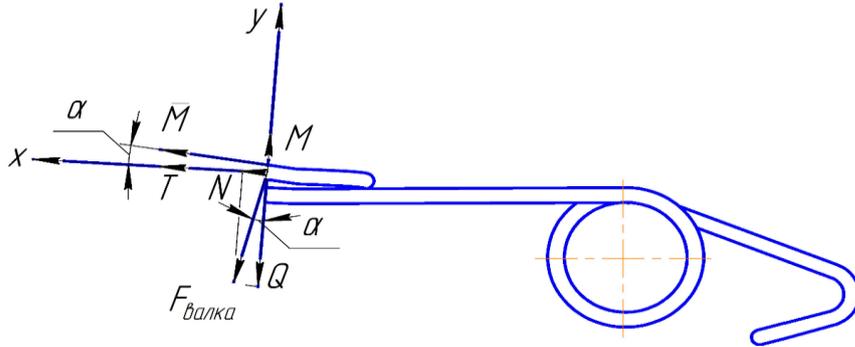


Рисунок 2.6 – Схема действия крутящего и изгибающего моментов и силовых усилий [15]

Если разложить силу и момент на составляющие относительно осей, связанных с сечением, то можно получить:

$$\begin{aligned} T &= M \cdot \cos \alpha = \frac{F_{\text{ВАЛКА}} \cdot D}{2} \cdot \cos \alpha; \quad Q = F_{\text{ВАЛКА}} \cdot \cos \alpha; \\ M_{\text{ИЗГ}} &= M \cdot \sin \alpha = \frac{F_{\text{ВАЛКА}} \cdot D}{2} \cdot \sin \alpha; \quad N = F_{\text{ВАЛКА}} \cdot \sin \alpha, \end{aligned} \quad (2.18)$$

где N – составляющая силы ($F_{\text{ВАЛКА}}$), действующей со стороны валка хлебной массы, направленная по оси X;

Q – составляющая силы ($F_{\text{ВАЛКА}}$), действующей со стороны валка хлебной массы, направленная по оси Y;

T – нормаль, действующая по оси X.

Таким образом, проволока кольцевого витка пружинного пальца может работать на кручение, изгиб, сдвиг и растяжение, если виток растягивается, или на сжатие, если виток работает на сжатие [15].

Так как угол подъема (α) – величина малая, то можно принять, что плоскость кольцевого витка, примерно, лежит в плоскости, перпендикулярной к оси кольцевого витка подбирающего пальца, то есть $\cos \alpha = 1,0$ и $\sin \alpha = 0$.

Тогда

$$T = \frac{F_{\text{ВАЛКА}} \cdot D}{2}; M_{\text{ИЗГ}} = 0; Q = F_{\text{ВАЛКА}}; N = 0 \quad (2.19)$$

и проволока кольцевого витка будет работать только на кручение и на сдвиг [14].

Примем допущение, что касательные напряжения от крутящего момента распределяются по поперечному сечению кольцевого витка так же, как и при кручении прямого бруса круглого поперечного сечения (рисунок 2.7, а), а касательные напряжения от поперечной силы распределяются по сечению равномерно (рисунок 2.7, б).

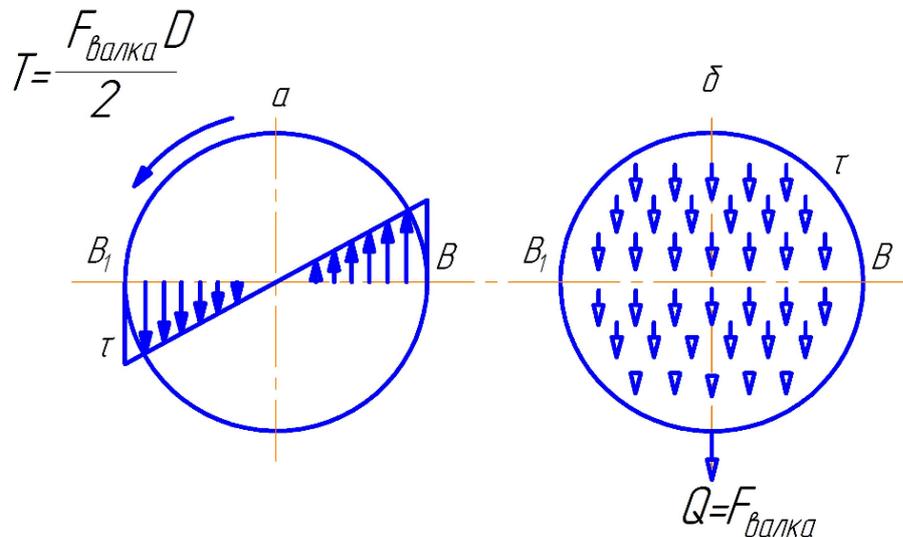


Рисунок 2.7 – Направления действий касательных напряжений [15]

Опасной будет являться точка на контуре, в которой направление касательных напряжений будут совпадать (рисунок 2.7 точка B_1).

Наибольшие касательные напряжения в сечении будут равны:

$$\tau_{\text{MAX}} = \frac{8 \cdot F_{\text{ВАЛКА}} \cdot D}{\pi \cdot d_{\text{n.n.}}^3} + \frac{4 \cdot F_{\text{ВАЛКА}}}{\pi \cdot d_{\text{n.n.}}^2} = \frac{8 \cdot F_{\text{ВАЛКА}} \cdot D}{\pi \cdot d_{\text{n.n.}}^3} \cdot \left(1 + \frac{d_{\text{n.n.}}}{2D} \right), \quad (2.20)$$

где $F_{\text{ВАЛКА}}$ – сила, действующая со стороны валка хлебной массы, Н;

$d_{\text{n.n.}}$ – диаметр проволоки пружинного пальца, м;

D – наружный диаметр кольцевого витка подбирающей поверхности, м.

Выражение в скобках представляет собой влияние поперечной силы на величину максимальных касательных напряжений.

На практике отношение $(d_{n.n.} / 2D)$ изменяется в пределах $1/20 - 1/40$, что значительно меньше единицы [14, 15]. Поэтому можно пренебречь вторым слагаемым в скобках. Исходя из этого, можно считать, что кольцевой виток пружинного пальца будет работать только на кручение.

Тогда формула (2.20) примет следующий вид

$$\tau_{MAX} = \frac{8 \cdot F_{ВАЛКА} \cdot D}{\pi \cdot d_{n.n.}^3}. \quad (2.21)$$

Из выражения (2.21) видно, что увеличение диаметра кольцевого витка подбирающей поверхности снижает прочность пружинного пальца, а увеличение диаметра проволоки пружинного пальца увеличивает его прочность.

Когда диаметр проволоки ($d_{n.n.}$) пружинного пальца соизмерим с диаметром кольцевого витка (D) подбирающей поверхности пружинного пальца, то необходимо вводить поправку, учитывающую влияние кривизны витка на величину и распределения касательных напряжений. В этом случае наибольшие касательные напряжения будут определяться по более точной формуле [14, 15, 67]:

$$\tau_{MAX} = k \frac{8 \cdot F_{ВАЛКА} \cdot D}{\pi \cdot d_{n.n.}^3}, \quad (2.22)$$

где k – поправочный коэффициент, зависящий от индекса пружины $D / d_{n.n.}$

Значение поправочного коэффициента может быть взято в соответствующих справочниках [14, 67] или вычислено по выражению (2.23):

$$k = \frac{4 \frac{D}{d_{n.n.}} + 1}{4 \frac{D}{d_{n.n.}} - 1}. \quad (2.23)$$

Условие прочности для витка пружины подбирающей поверхности пружинного пальца можно записать в следующем виде:

$$\tau_{MAX} = k \frac{8 \cdot F_{ВАЛКА} \cdot D}{\pi \cdot d_{n.n.}^3} \leq [\tau], \quad (2.24)$$

где $[\tau]$ – допускаемое напряжение на сдвиг.

Обозначим через (λ) изменение длины кольцевого витка подбирающей поверхности пружинного пальца вдоль оси под действием внешней силы $(F_{ВАЛКА})$, действующей со стороны вала хлебной массы. Зависимость перемещения (λ) от внешней нагрузки $(F_{ВАЛКА})$ найдется, если приравнять потенциальную энергию деформации кольцевого витка подбирающей поверхности пружинного пальца (U) , вызванную кручением, и работу (W) внешней силе $(F_{ВАЛКА})$. При этом нагружение можно считать статическим.

Потенциальная энергия деформации при кручении будет равна

$$U = \frac{T^2 \cdot l}{2 \cdot GI_P} = \frac{4 \cdot F_{ВАЛКА}^2 \cdot D^3 \cdot n}{G \cdot d_{n.n.}^4}, \quad (2.25)$$

где $l = \pi Dn$ – длина витка подбирающего пальца; G – модуль сдвига, Па.

Работа внешней силы $(F_{ВАЛКА})$ будет определяться следующим выражением:

$$W = \frac{F_{ВАЛКА} \cdot \Delta k}{2}. \quad (2.26)$$

Приравнивая на основании закона сохранения энергии $U = W$, то можно получить выражение (2.27):

$$\frac{F \cdot \Delta k}{2} = \frac{4 \cdot F_{ВАЛКА}^2 \cdot D^3 \cdot n}{G \cdot d_{n.n.}^4} \quad (2.27)$$

откуда:

$$\Delta k = \frac{8 \cdot F_{ВАЛКА} \cdot D^3 \cdot n}{G \cdot d_{n.n.}^4}. \quad (2.28)$$

Так как в формуле (2.28) все величины, кроме силы $(F_{ВАЛКА})$, постоянны, то зависимость (Δk) от $(F_{ВАЛКА})$ будет линейной.

Жесткость кольцевого витка подбирающей поверхности пружинного пальца можно найти по выражению (2.29):

$$\Delta k = \frac{F_{ВАЛКА}}{\frac{G \cdot d_{n.n.}^4}{8 \cdot D^3 \cdot n}} \quad (2.29)$$

Из анализа формул (2.28) и (2.29) следует, что увеличение числа витков (n) и диаметра витка (D) уменьшают жесткость, а увеличение диаметра проволоки ($d_{н.н.}$) повышает как жесткость кольцевого витка подбирающей поверхности, так и жесткость пружины пружинного пальца.

На основании вышесказанного, можно прийти к выводу, что во время взаимодействия с хлебной массой кольцевой виток на подбирающей поверхности будет иметь свойства пружины. Если диаметр кольцевого витка будет слишком большим, то произойдет уменьшение жесткости пружины, что может привести к большим нагрузкам и перелому подбирающего пальца, тогда в этом случае придется увеличивать диаметр проволоки пружинного пальца.

2.2.2 Расчет контактной площади пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности

Подбирающую часть пальца с образованным кольцевым витком на подбирающей поверхности можно условно разбить на несколько участков (рисунок 2.8).

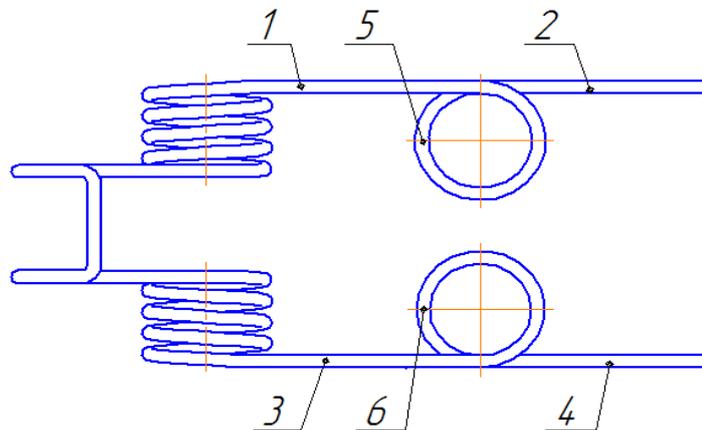


Рисунок 2.8 – Схема разделения подбирающей части пружинного пальца на условные участки: 1,2,3,4 – прямолинейный цилиндрический; 5,6 – кольцевая поверхность

Участки под номерами 1-2-3-4 представляют собой цилиндрические поверхности. Участки под номерами 5-6 можно представить, как кольцевую поверхность.

Общая контактная площадь подбирающих частей пальца будет складываться из суммы всех прямолинейных цилиндрических участков и участков кольцевой поверхности:

$$S_{\text{общ.пл.}} = S_{\text{цил.уч.пол}} + S_{\text{к.п.пол}}, \quad (2.30)$$

где $S_{\text{цил.уч.пол}}$ – контактная площадь всех прямолинейных цилиндрических участков, м²;

$S_{\text{к.п.пол}}$ – контактная площадь кольцевых поверхностей, м².

Контактную площадь прямолинейного цилиндрического участка можно определить следующим уравнением [48]:

$$S_{\text{цил.уч.}} = 2\pi r(h + r), \quad (2.31)$$

где r – радиус основания окружности прямолинейного цилиндрического участка подбирающей поверхности пружинного пальца м;

h – высота цилиндрической поверхности,

Так как таких участков на пружинном пальце будет четыре, то уравнение (2.31) примет следующий вид [48]:

$$S_{\text{цил.уч.пол}} = 8\pi r(h + r). \quad (2.32)$$

Для участка кольцевой поверхности контактная площадь определится уравнением (2.33) [48]:

$$S_{\text{кол.уч.}} = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2), \quad (2.33)$$

где D – внешний диаметр кольца, м;

d – внутренний диаметр кольца, м; $d = D - 0,003$ м;

0,003 – диаметр проволоки, из которой изготовлен пружинный палец, м.

На пружинном пальце имеются два участка кольцевой поверхности. Тогда общая контактная площадь кольцевых участков выразится уравнением (2.34):

$$S_{\text{к.п.пол}} = \frac{\pi}{2}(D^2 - d^2). \quad (2.34)$$

Общая контактная площадь подбирающих частей пальца определится уравнением (2.35):

$$S_{\text{общ.пл.}} = (8\pi r(h+r)) + \left(\frac{\pi}{2}(D^2 - d^2) \right). \quad (2.35)$$

Полученное уравнение контактной площади подбирающих поверхностей пальца позволяет определить общую контактную площадь пружинного пальца с кольцевым витком, которая зависит от изменения внешнего диаметра кольцевого витка. Практически, контактная площадь пружинного пальца с наличием кольцевого витка увеличивается от 1,06 до 1,18 раза в сравнении со стандартным пружинным пальцем при изменении наружного диаметра (D) в пределах 15 – 40 мм. Наружный диаметр (D) кольцевого витка из-за геометрических параметров и конструктивных соображений будет находиться в пределах 15 – 26 мм и окончательно определится экспериментальным путем.

На основании вышесказанного, можно прийти к выводу, что для дальнейших расчетов контактной площади пружинного пальца, необходимо вводить поправочный коэффициент контактной площади, учитывающий изменение внешнего диаметра кольцевого витка на подбирающей поверхности пружинного пальца.

2.2.3 Определение коэффициента, учитывающего контактную площадь пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности

Контактная площадь пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности прямо пропорциональна внешнему и внутреннему диаметру кольцевого витка. Поэтому можно ввести коэффициент, характеризующий контактную площадь пружинного пальца в зависимости от увеличения кольцевого витка, который выразится следующим уравнением (2.36):

$$k_{\text{к.п.}} = \frac{\frac{\pi}{2}(D^2 - d^2) + 8\pi r(h+r)}{8\pi r(h+r)}. \quad (2.36)$$

Зависимость коэффициента ($k_{к.п.}$), характеризующего контактную площадь подбирающей поверхности пружинного пальца в зависимости от увеличения внешнего кольцевого витка (D), дана на рисунке (2.9).

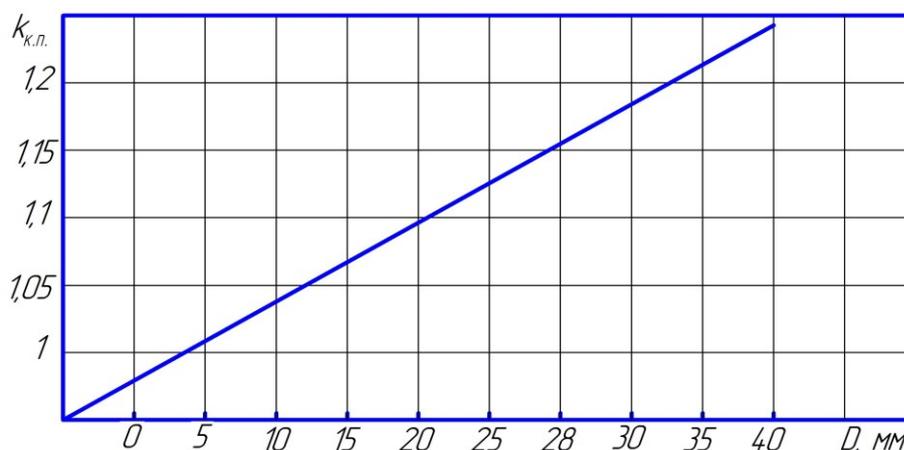


Рисунок 2.9 – Зависимость коэффициента контактной площади ($k_{к.п.}$) от внешнего диаметра (D) кольцевого витка на подбирающей поверхности пружинного пальца

Из анализа уравнения (2.36) и рисунка (2.9) следует, что при увеличении внешнего диаметра (D) кольцевого витка, образованного на подбирающей поверхности пружинного пальца, повышаются и значения коэффициента ($k_{к.п.}$).

Коэффициент ($k_{к.п.}$), учитывающий контактную площадь, будет прямо пропорционально влиять на величину силы ($F_{ВАЛКА}$), действующей со стороны вала хлебной массы. Поэтому, далее, рассмотрим их взаимосвязь.

2.2.4 Определение усилия, действующего на пружинный палец с кольцевым витком на подбирающей поверхности со стороны вала хлебной массы

На пружинный палец с кольцевым витком на подбирающей поверхности во время подбора хлебной массы со стороны подбираемого вала будет действовать усилие ($F_{ВАЛКА}$). Проанализировав уравнения (2.28) и (2.36), можно определить усилие, действующее со стороны вала хлебной массы:

$$F_{ВАЛКА} = \frac{8 \left(\sqrt{2k_{к.п.} r(h+r) + d^2} \right)^3 n}{\lambda G d_{n.n.}^4}, \quad (2.37)$$

где n – количество витков на кольцевом витке образованного на подбирающей поверхности пружинного пальца; $n = 1$ шт.;

$k_{к.н.}$ – коэффициент, учитывающий контактную площадь;

r – радиус основания окружности, м;

h – высота цилиндрической поверхности, м;

d – внутренний диаметр кольцевого витка, $d = D - 0,003$ м;

Δk – жесткость кольцевого витка, образованного на подбирающей поверхности пружинного пальца, Н/м;

G – модуль сдвига Па;

$d_{н.н.}$ – диаметр проволоки пружинного пальца, м.

Так как количество витков (n) равно одному, тогда уравнение (2.38) примет следующий вид:

$$F_{ВАЛКА} = \frac{8 \left(\sqrt{2k_{к.н.} r(h+r) + d^2} \right)^3}{\Delta k G d_{н.н.}^4} \quad (2.38)$$

Анализируя уравнение (2.38), можно прийти к выводу, что значение усилия, действующего на пружинный палец с кольцевым валком на подбирающей поверхности со стороны вала хлебной массы ($F_{ВАЛКА}$), прямо пропорционально изменению внутреннего диаметра кольцевого витка (d).

2.3 Определение общего усилия, затрачиваемого на подъем вала хлебной массы пружинным пальцем с кольцевым витком на подбирающей поверхности

Рассмотрим общий случай воздействия пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности на валок хлебной массы в процессе подбора растительной массы (рисунок 2.10).

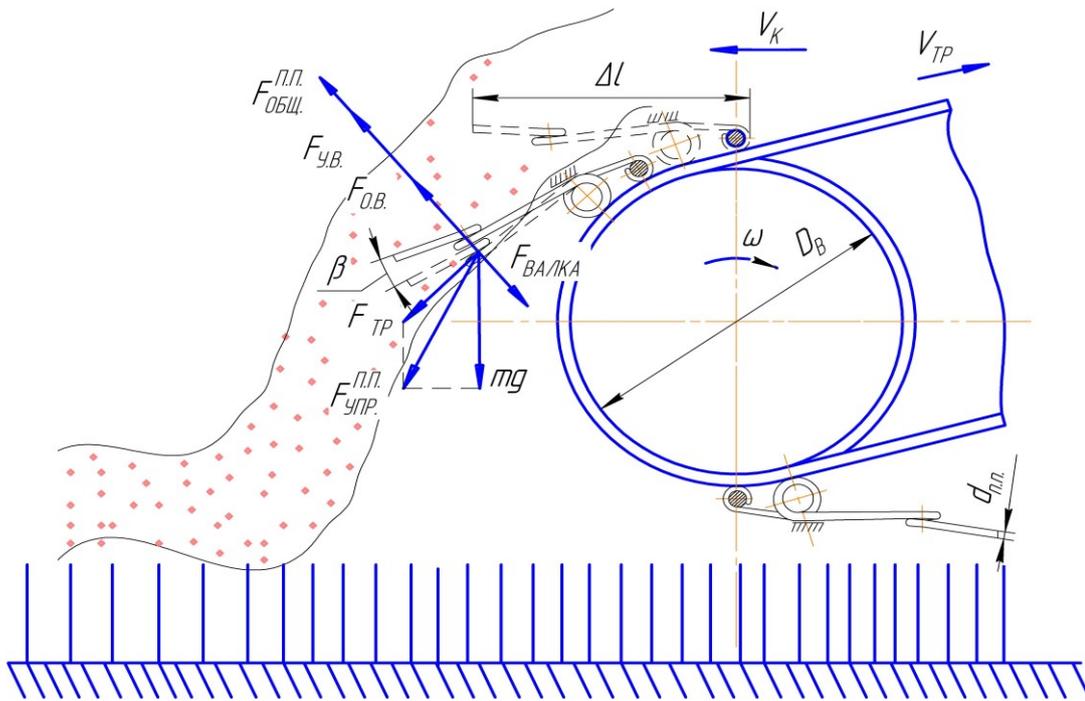


Рисунок 2.10 – Основные силы при взаимодействии пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности с валком хлебной массы

При этом введем условные обозначения:

$F_{ОБЩ.}^{П.П.}$ – общее усилие, действующее на хлебную массу валка, Н

$F_{У.В.}$ – сила ударного воздействия, Н;

$F_{О.В.}$ – усилие, затрачиваемое на отрыв валка хлебной массы, Н;

$F_{ТР.}$ – сила трения валка хлебной массы о пружинный палец, Н;

$F_{УПР.}^{П.П.}$ – сила упругости пружинного пальца, Н;

m – масса валка хлебной массы, кг;

g – ускорение свободного падения, м/с²; $g = 9,8$ м/с²;

$F_{ВАЛКА}$ – сила, действующая со стороны валка хлебной массы, Н;

$d_{п.п.}$ – диаметр проволоки пружинного пальца, м;

β – угол отклонения пружинного пальца от его радиального расположения, град;

Δl – длина пружинного пальца, м;

ω – частота вращения вала транспортной ленты, с⁻¹;

$V_{ТР.}$ – скорость перемещения транспортного подборщика, м/с;

D_B – диаметр вала транспортной ленты подборщика, м.

Процесс подбора валка хлебной массы можно рассматривать как совокупность двух операций. Это, во-первых, внедрение подбирающей части пальца в валок хлебной массы от действия силы упругости ($F_{УПР.}^{П.П.}$) и, во-вторых, подъем валка хлебной массы в результате воздействия усилия пружинного пальца ($F_{О.В.}$).

Усилие, создаваемое одним пружинным пальцем, будет складываться из двух составляющих: силы упругости и усилия отрыва валка хлебной массы с поверхности стерни.

Рассмотрим общий случай воздействия пружинного пальца с образованным кольцевым витком на валок хлебной массы (рисунок 2.11)

$$F_{ОБЩ.}^{П.П.} = F_{УПР.}^{П.П.} + F_{О.В.} \quad (2.39)$$

Согласно рисункам (2.11) и (2.12) пружинный палец с образованным кольцевым витком на подбирающей поверхности можно представить, как упругую балку. В связи с чем необходимо определить прогиб, форму изогнутой оси пружинного пальца и динамический коэффициент удара.

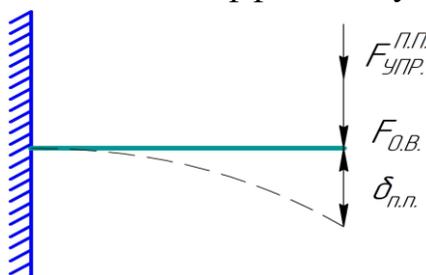


Рисунок 2.11 – Определение величины изгиба пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности [15, 88]

Используя формулы Верещагина А.К. [116], можно найти величину прогиба пружинного пальца ($\delta_{n.n}$):

$$\delta_{n.n} = \int \frac{M(U) \cdot M'(U)}{EJ_x} du, \quad (2.40)$$

где $M(U)$ – аналитическое выражение изгибающего момента от всей внешней нагрузке;

$M'(U)$ – аналитическое выражение изгибающего момента при снятой внешней нагрузке;

U – переменная величина, принимающая значение от 0 до L .

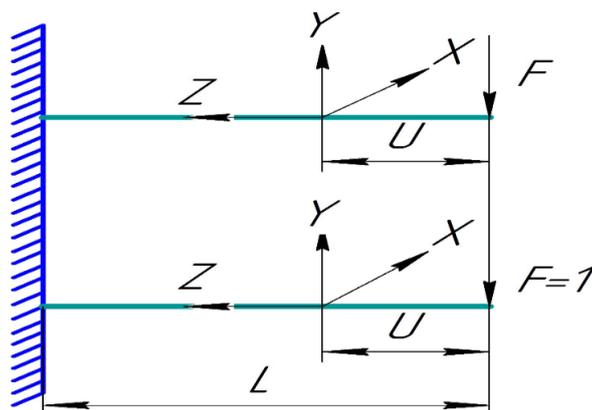


Рисунок 2.12 – Определение момента инерции пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности [88]

Из выражения (2.38) находим статическую силу упругости пружинного пальца ($F_{УПР.}^{П.П.}$):

$$\delta_{n.n.} = \int_0^L \frac{(F \cdot U)(1 \cdot U)}{EJ_X} du = \frac{F}{EJ_X} \cdot \int_0^L \frac{U^2 dU}{EJ_X} = \frac{F \cdot \Delta l^3}{3EJ_X} \Rightarrow$$

$$F_{УПР.}^{П.П.} = \frac{\delta_{n.n.} \cdot 3EJ_X}{\Delta l^3}, \quad (2.41)$$

где $\delta_{n.n.}$ – прогиб пружинного пальца, м;

E – модуль упругости материала, Па;

J_X – момент инерции пружинного пальца, м⁴;

Δl – длина пружинного пальца, м.

Так как сечение проволоки пружинного пальца будет иметь вид круга (рисунок 2.13, б), то момент инерции сечения подбирающего пальца найдется по следующему выражению [14, 15]:

$$J_X = \frac{\pi d_{n.n.}^4}{64}, \quad (2.42)$$

где $d_{n.n.}$ – диаметр проволоки пружинного пальца, м.

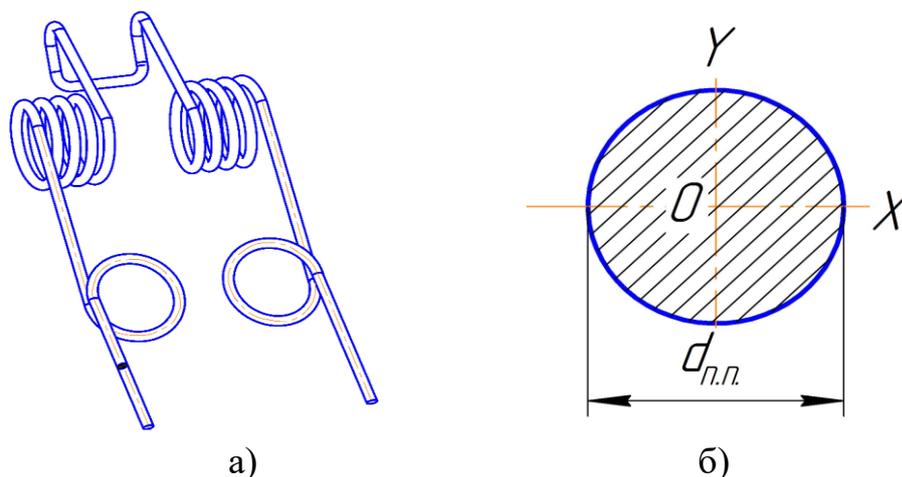


Рисунок 2.13 – Поперечное сечение подбирающего пальца:
а – общий вид; б – сечение

Анализируя уравнения (2.41) и (2.42), можно прийти к выводу, что подъем будет происходить посредством уплотнения и отрыва валка хлебной массы от стерни подбирающим пальцем, поэтому необходимо определить усилие, развиваемое пружинным пальцем при взаимодействии с валком хлебной массы ($F_{\text{ВПР.}}^{\text{П.П.}}$), которое выразится следующим уравнением:

$$F_{\text{ВПР.}}^{\text{П.П.}} = \frac{\delta_{\text{н.н.}} \cdot 3E\pi d_{\text{н.н.}}^4}{64\Delta l^3}. \quad (2.43)$$

Пружинный палец может создавать динамический удар по валку хлебной массы, поэтому, далее, необходимо найти динамический коэффициент удара по валку хлебной массы (k_d), который выразится следующим уравнением:

$$k_d = \sqrt{1 + \frac{V_{\text{КП}}^2 + V_{\text{ТП}}^2}{g \cdot \delta_{\text{н.н.}}}}, \quad (2.44)$$

где $V_{\text{КП}}$ – линейная скорость конца пружинного пальца, м/с;

$V_{\text{ТП}}$ – скорость перемещения транспортерного подборщика, м/с;

g – ускорение свободного падения, м/с². $g = 9,8$ м/с²;

Проанализировав уравнения (2.43) и (2.44), получим окончательное уравнение силы упругости пружинного пальца:

$$F_{\text{УПР.}}^{\text{П.П.}} = \frac{\delta_{\text{н.н.}} 3E\pi d_{\text{н.н.}}^4}{64\Delta l^3} \cdot \sqrt{1 + \frac{V_{\text{КП}}^2 + V_{\text{ТП}}^2}{g \cdot \delta_{\text{н.н.}}}} \quad (2.45)$$

Далее, необходимо определить силу, необходимую для отрыва вала хлебной массы. Она будет складываться из двух составляющих: силы трения ($F_{\text{ТР.}}$) и силы ударного воздействия по валку хлебной массы ($F_{\text{УВ.}}$)

$$F_{\text{О.В.}} = F_{\text{ТР.}} + F_{\text{УВ.}}, \quad (2.46)$$

где $F_{\text{УВ.}}$ – сила ударного воздействия, Н.

Сила трения определяется уравнением (2.47):

$$F_{\text{ТР.}} = fN, \quad (2.47)$$

где f – коэффициент трения вала хлебной массы о сталь пружинного пальца; $f = 0,39 - 0,83$ [65, 71, 112];

N – реакция опоры.

Окончательное уравнение усилия, которое затрачивает пружинный палец на подъем вала хлебной массы без учета коэффициента контактной площади, определится следующим выражением:

$$F_{\text{УПР.}}^{\text{П.П.}} = \frac{\delta_{\text{н.н.}} 3E\pi d_{\text{н.н.}}^4}{64\Delta l^3} \cdot \sqrt{1 + \frac{V_{\text{КП}}^2 + V_{\text{ТП}}^2}{g \cdot \delta_{\text{н.н.}}}} \cdot n_{\text{н.ч.}}, \quad (2.48)$$

где $n_{\text{н.ч.}}$ – количество подбирающих элементов на пальце, шт; $n_{\text{н.ч.}} = 2$.

Отсюда следует, что уравнение (2.48) примет окончательный вид:

$$F_{\text{УПР.}}^{\text{П.П.}} = \frac{\delta_{\text{н.н.}} 3E\pi d_{\text{н.н.}}^4}{64\Delta l^3} \cdot \sqrt{1 + \frac{V_{\text{КП}}^2 + V_{\text{ТП}}^2}{g \cdot \delta_{\text{н.н.}}}} \cdot 2. \quad (2.49)$$

Уравнение общего усилия, затрачиваемого на подъем вала хлебной массы пружинным пальцем с кольцевым витком на подбирающей поверхности, запишется в следующем виде (2.48):

$$F_{\text{ОБЩ.}}^{\text{П.П.}} = F_{\text{УПР.}}^{\text{П.П.}} - F_{\text{ВАЛКА}}. \quad (2.50)$$

где $F_{\text{ВАЛКА}}$ – сила, действующая со стороны вала хлебной массы, Н;

Подставив все значения, получим окончательное уравнение затрачиваемого усилия на осуществление подъема вала хлебной массы:

$$F_{ОБЩ.}^{П.П.} = \left(\frac{\delta_{n.n.} \cdot 3E \pi d_{n.n.}^4}{64 \Delta l^3} \cdot \sqrt{1 + \frac{V_{КП}^2 + V_{ТР}^2}{g \cdot \delta_{n.n.}}} \right)^2 - \frac{8 \left(\sqrt{2k_{к.п.} \cdot r(h+r) + d^2} \right)^3}{\Delta k G d_{n.n.}^4}. \quad (2.51)$$

Таким образом, на основании выражения (2.51) можно рассчитать, какое усилие затрачивается на подъем вала хлебной массы пружинным пальцем с кольцевым витком на подбирающей поверхности. Полученное усилие можно прикладывать на пружинный палец и с помощью компьютерного моделирования производить расчет на прочность и внутренние деформации участков подбирающей поверхности.

2.3.1 Определение прочности и внутренних деформаций пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности

В вышеизложенных исследованиях (подраздел 2.3) было определено усилие ($F_{ВАЛКА}$), которое характеризует взаимодействие поверхности кольцевого витка со стеблями хлебной массы. Для определения воздействия усилия ($F_{ВАЛКА}$) на подбирающую поверхность пружинного пальца была создана 3-D модель пружинного пальца с кольцевым витком в программном обеспечении SolidWorks 2014. Для проведения расчетов на прочность и внутренние деформации рабочей поверхности пружинного пальца с кольцевым витком приложение усилия ($F_{ВАЛКА}$) осуществлялось посредством программного обеспечения ANSYS – v 15.0 (рисунок 2.14 – 2.16). Силовое нагружение изменялось от 20 Н до 60 Н с первоначальным нагружением в 20 Н.

Результаты расчетов на прочность и внутренние деформации пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности отражены в Приложении 1.

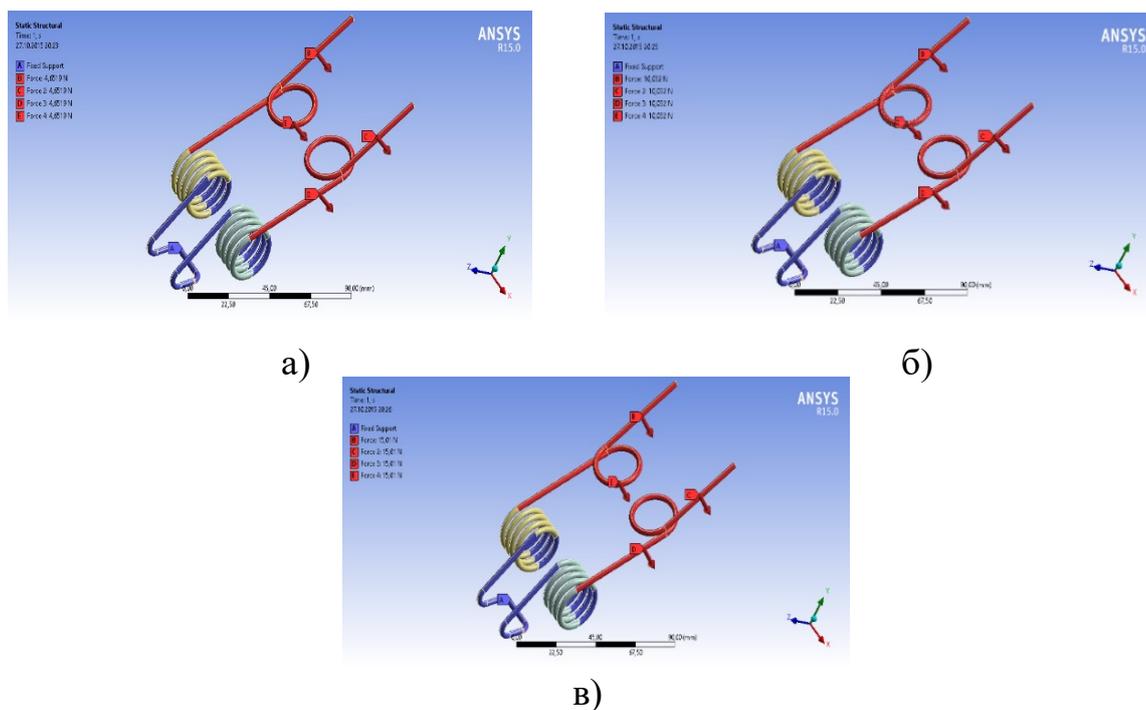


Рисунок 2.14 – Приложение сил, действующих на подбирающую поверхность пружинного пальца с расположением кольцевого витка в средней части подбирающей поверхности: а) – нагружение 20 Н; б) – нагружение 40 Н; в) – нагружение 60 Н

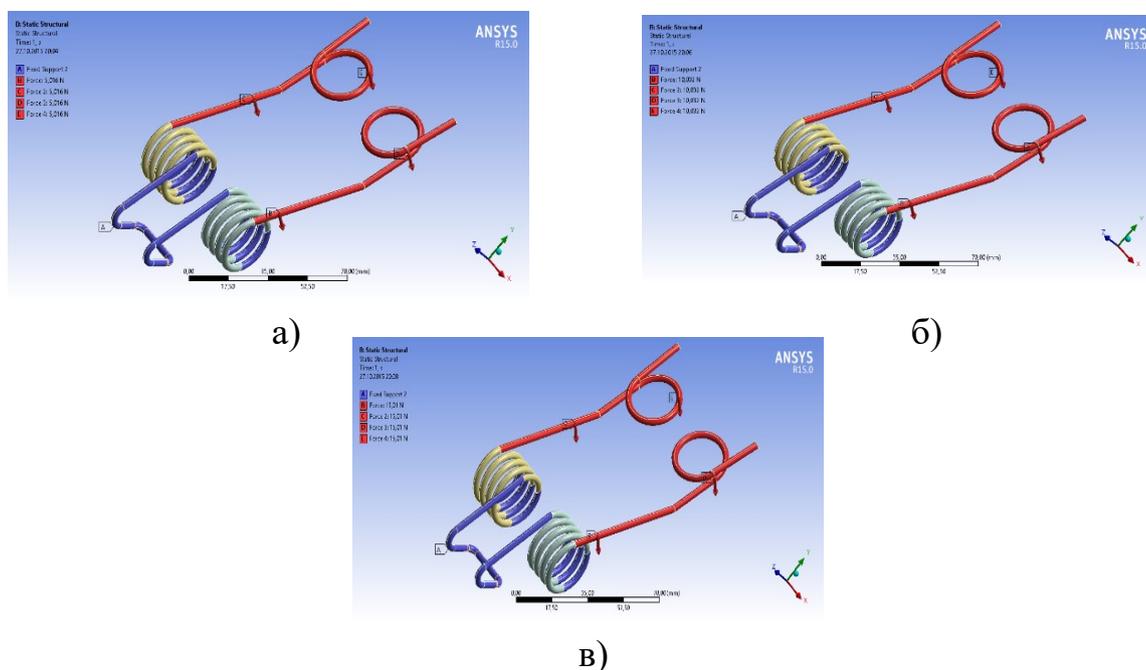


Рисунок 2.15 – Приложение сил, действующих на подбирающую поверхность пружинного пальца с расположением кольцевого витка в верхней части подбирающей поверхности: а) – нагружение 20 Н; б) – нагружение 40 Н; в) – нагружение 60 Н

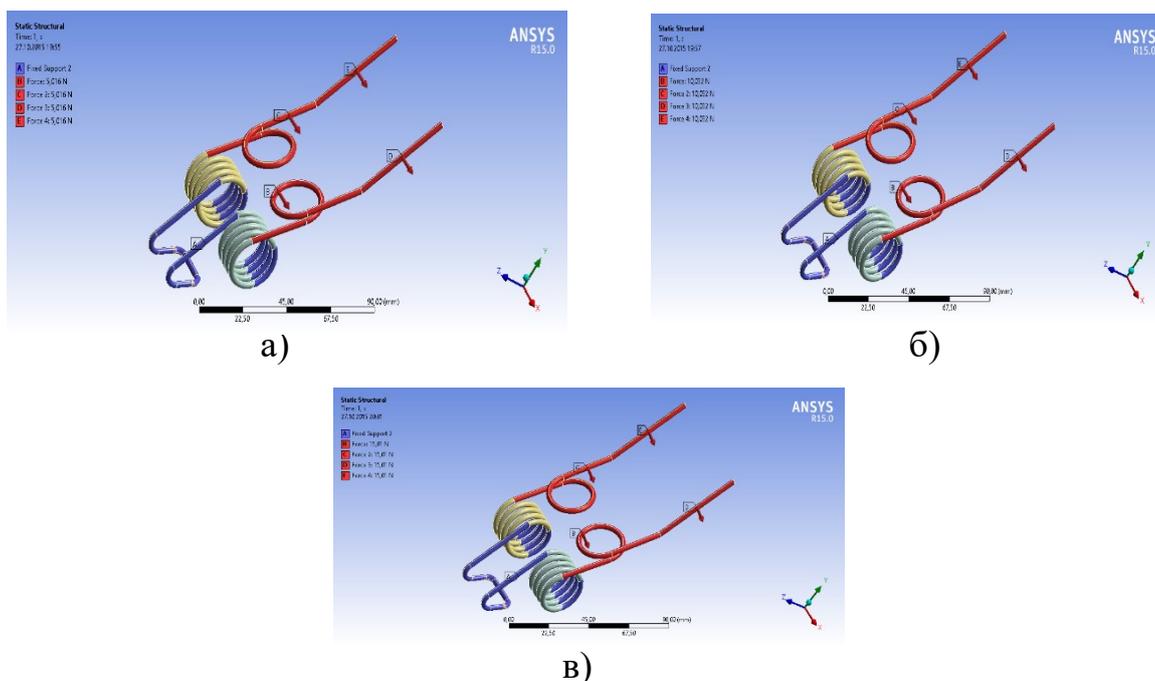


Рисунок 2.16 – Приложение сил, действующих на подбирающую поверхность пружинного пальца с расположением кольцевого витка в нижней части подбирающей поверхности: а) – нагружение 20 Н; б) – нагружение 40 Н; в) – нагружение 60 Н

На основе полученных результатов компьютерного моделирования (Приложение 2) было произведено обобщение диаграмм нагружения, которое представлено в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты расчета пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности в программном обеспечении ANSYS - v15.0

Показатель	Результаты расчета пружинного пальца								
	Пружинный палец с расположением кольцевого витка в верхней части подбирающей поверхности			Пружинный палец с расположением кольцевого витка в центральной части подбирающей поверхности			Пружинный палец с расположением кольцевого витка в нижней части подбирающей поверхности		
Нагрузка, Н	20	40	60	20	40	60	20	40	60
Эквивалентные напряжения, МПа	359,86	719,73	1082,7	375,39	806,14	1217,9	370,1	740,2	1106,3
Деформации, мм	5,29	10,59	16,12	6,20	13,28	20,27	7,6	15,21	23

Из анализа данных таблицы 2.1 видно, что наименьшие эквивалентные напряжения и деформации будет иметь пружинный палец с расположением

кольцевого витка в верхней части подбирающей поверхности (рисунок 2.15). Однако данный палец не будет отвечать агротребованиям технологического подбора валка хлебной массы. Во-первых, при неправильной настройке транспортерного подборщика кольцевой виток будет входить в почву, что приведет к его стиранию о поверхность почвы. Во-вторых, кольцевой виток не даст подбирающей поверхности пружинного пальца подбирать качественно хлебную массу валка из-за образования динамического удара, вследствие чего будут образовываться большие потери свободным зерном.

Наиболее эффективно будут действовать пружинные пальцы с расположением кольцевого витка в центральной части подбирающей поверхности (рисунок 2.14).

Таким образом, компьютерное моделирование 3-D пружинного пальца с наличием кольцевого витка свидетельствует о целесообразности расположения его в центральной части подбирающей поверхности. При этом величина внешнего диаметра (D) кольцевого витка, исходя из конструктивных соображений, должна составлять не более 0,015 – 0,028 м.

2.4 Установление закономерности изменения потерь зерна при подборе хлебной массы в зависимости от динамического удара пружинного пальца

При взаимодействии пружинного пальца с хлебной массой валка, как следует из выражений (2.43) и (2.44), образуется динамический удар, который описывается выражением:

$$k_d = \sqrt{1 + \frac{V_{КП}^2 + V_{ТП}^2}{g \cdot \delta_{н.н.}}}, \quad (2.52)$$

Из выражения (2.52) видно, что параметр ($V_{ТП}$) характеризует скорость перемещения транспортерного подборщика, то есть связан скоростью движения зерноуборочного комбайна при подборе хлебной массы валка, поэтому можно записать равенство $V_{ТП} = V_K$.

В свою очередь, скорость движения зерноуборочного комбайна (V_K) при

подборе хлебной массы валка определяется соотношением:

$$V_K = \frac{q}{m}, \quad (2.53)$$

где q – пропускная способность молотилки зерноуборочного комбайна, кг/с;

m – масса погонного метра валка хлебной массы, кг/пог. м.

В уравнении (2.53) имеется параметр (m), который, как показывают исследования [8, 49, 50, 51, 60, 61, 96], влияет на потери зерна за транспортерным подборщиком. Взаимосвязь между потерями зерна (ψ_{cp}), массой погонного метра (m , кг/пог. м) и другими параметрами, такими как угол наклона транспортерной ленты к горизонтальной плоскости (γ , град.) и высота расположения хлебной массы валка на стерне (h , м), описывается уравнением вида:

$$\psi_{cp} = a_1 + b_1 m + a_2 \gamma + a_3 h + b_2 m^2 - a_4 \gamma^2 - a_5 h^2, \quad (2.54)$$

где m – масса погонного метра валка хлебной массы, кг/пог. м;

γ – угол наклона транспортерной ленты подборщика к горизонтальной плоскости, град.;

h – высота расположения хлебной массы валка на стерне, м;

$a_1, b_1, a_2, a_3, b_2, a_4, a_5$ – коэффициенты пропорциональности, определенные экспериментальным путем.

Далее, из выражения (2.54) найдем параметр (m), для чего произведем преобразования:

$$m(b_1 + b_2 m) = \psi - a_1 - a_2 \gamma - a_3 h + a_4 \gamma^2 + a_5 h^2$$

Введем условное обозначение, что $c = a_1 - a_2 \gamma - a_3 h + a_4 \gamma^2 + a_5 h^2$.

Тогда

$$m(b_1 + b_2 m) = \psi_{cp} - c. \quad (2.55)$$

Решение уравнения (2.55) имеет вид:

$$m = \psi_{cp} - c \text{ и } m = (\psi_{cp} - c - b_1) / b_2$$

Данные решения подставим в выражение (2.53) и произведем преобразования:

$$V_K = \frac{q}{\psi_{cp} - c} \quad \text{и} \quad V_K = \frac{b_2 q}{\psi_{cp} - c - b_2}.$$

Исходя из того, что $V_{TP} = V_K$, тогда выражение $V_K = \frac{q}{\psi_{cp} - c}$ подставим в уравнение (2.52) и произведем преобразования:

$$k_d^2 = 1 + \frac{V_{KP}^2 + \left(\frac{q}{\psi_{cp} - c} \right)^2}{g\delta_{n.n.}},$$

далее

$$V_{KP}^2 + \left(\frac{q}{\psi_{cp} - c} \right)^2 = g\delta_{n.n.} (k_d^2 - 1),$$

После чего преобразуем в следующий вид:

$$\left(\frac{q}{\psi_{cp} - c} \right)^2 = g\delta_{n.n.} (k_d^2 - 1) - V_{KP}^2,$$

затем

$$\frac{q^2}{(\psi_{cp} - c)^2} = g\delta_{n.n.} (k_d^2 - 1) - V_{KP}^2,$$

и в окончательном виде запишем:

$$(\psi_{cp} - c)^2 = \frac{q^2}{g\delta_{n.n.} (k_d^2 - 1) - V_{KP}^2}.$$

Для получения решения функции $\psi_{cp} = f(k_d)$ введем допущение, что $c = 0$, тогда получим:

$$\psi_{cp}^2 = \frac{q^2}{g\delta_{n.n.} (k_d^2 - 1) - V_{KP}^2}. \quad (2.56)$$

Тогда для решения уравнения (2.56) в упрощенном виде примем допущение, что $q = 1,0$; $g\delta_{n.n.} = 1,0$ и $V_{KP}^2 = 1,0$, тогда выражение (2.56) примет следующий вид:

$$\psi_{cp} = \sqrt{\frac{1}{(k_d^2 - 1) - 1}}. \quad (2.57)$$

Графическая интерпретация выражения (2.57) представлена на рисунке 2.17.

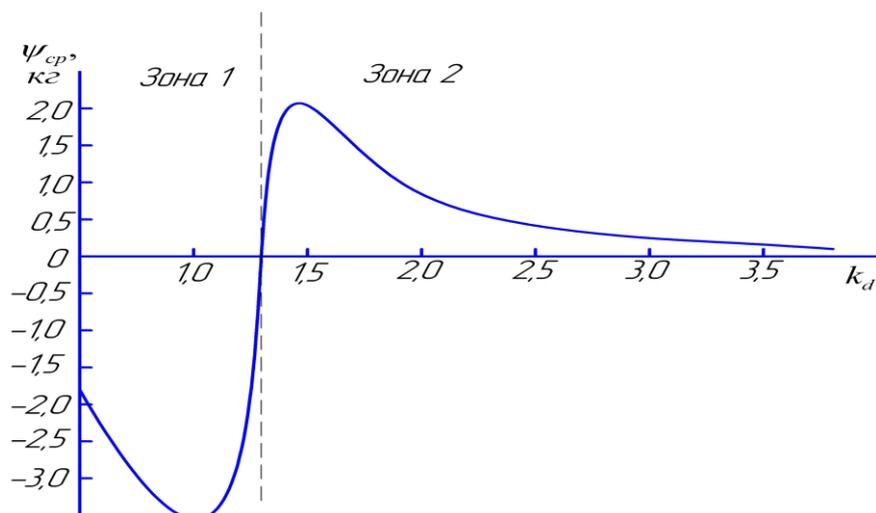


Рисунок 2.17 – Изменение потерь зерна за транспортерным подборщиком в зависимости от динамического удара по хлебной массе пружинными пальцами с кольцевым витком на подбирающей поверхности

Из рисунка 2.17 видно, что изменение потерь зерна ($\psi_{сп}$) при подборе хлебной массы вала, в зависимости от динамического коэффициента (k_d) удара по хлебной массе со стороны пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности, условно можно разбить на две зоны, одна из которых будет зоной (0-1,3), где, практически, отсутствуют потери зерна ($\psi_{сп}$) от динамического удара. При этом график рисунка 2.17 показывает, что потери зерна ($\psi_{сп}$) резко возрастают до величины $k_d = 1,5$ и далее снижаются по кривой 2-го порядка. Характер изменения потерь зерна ($\psi_{сп}$) во второй зоне свидетельствует о том, что динамический удар пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности отрицательно влияет на процесс его взаимодействия с хлебной массой вала. В этой зоне возможно резкое «прошивание» пространственной структуры хлебной массы вала, вплоть до «рубки» стебля пружинным пальцем. Данное отрицательное явление можно свести к минимуму за счет более «мягкого» режима подбора хлебной массы вала, который обеспечивается снижением частоты вращения вала транспортера подборщика зерноуборочного комбайна.

2.5 Выводы по главе

Проведенные теоретические исследования позволили сделать следующие выводы.

1) В результате теоретического анализа взаимодействия пружинного пальца транспортной ленты подборщика зерноуборочного комбайна с хлебной массой установлено, что в определенный момент начинает действовать центробежная сила, которая стремится сбросить растительный материал с подбирающей поверхности пружинного пальца. Отрицательное воздействие центробежной силы возможно уменьшить посредством образования кольцевого витка на подбирающей поверхности пружинного пальца.

2) В результате теоретических изысканий получены аналитические зависимости, характеризующие изменение геометрических параметров кольцевого витка, образованного на подбирающей поверхности пружинного пальца. Установлена взаимосвязь между наружным диаметром (D) кольцевого витка и диаметром проволоки ($d_{н.п.}$), а также определена аналитическая зависимость, характеризующая жесткость кольцевого витка от данных геометрических параметров. Кроме того был введен и определен коэффициент ($k_{к.п.}$), характеризующий контактную площадь пружинного пальца в зависимости от его геометрических параметров. Установлена прямая зависимость между коэффициентом ($k_{к.п.}$) и внешним диаметром кольцевого витка (D) подбирающей поверхности пружинного пальца.

3) Установлено, что наличие кольцевого витка на подбирающей поверхности пружинного пальца обеспечивает увеличение контактной площади с хлебной массой от 1,06 до 1,18 раза, в сравнении со стандартным пружинным пальцем. Кроме того, определено, что с увеличением наружного диаметра (D) кольцевого витка контактная площадь подбирающей поверхности пружинного пальца возрастает в 1,12 – 1,13 раз, при диаметре $D = 28 - 30$ мм. Однако, исходя из конструктивных соображений, наружный диаметр (D) принимаем в пределах 15 – 26 мм, который окончательно уточним экспериментальным путем.

4) В результате теоретических исследований было определено уравнение,

характеризующее изменение затрачиваемого усилия на подъем хлебной массы валка в зависимости от геометрических параметров пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности и кинематическим режимом работы транспортерного подборщика зерноуборочного комбайна.

5) Компьютерное моделирование механических деформаций на 3-D модели пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности свидетельствует о том, что наименьшие эквивалентные напряжения и деформации будет иметь пружинный палец с расположением кольцевого витка в верхней части подбирающей поверхности. Однако, исходя из конструктивных особенностей транспортерного подборщика и агротехнических требований, предъявляемых к подбору хлебной массы валка, кольцевой виток целесообразно расположить в центральной части подбирающей поверхности пружинного пальца.

6) Выявленная закономерность изменения потерь зерна от динамического удара при взаимодействии пружинного пальца с хлебной массой свидетельствует о том, что от величины коэффициента динамического удара (k_d) образуются две зоны. Одна из которых (первая – 0-1,3) характеризует отсутствие образования потерь зерна от динамического удара (k_d), а вторая – наоборот. Графическая интерпретация данной закономерности показывает скачкообразный переход из одной зоны в другую. Отрицательное влияние динамического удара (k_d) на потери зерна можно свести к минимуму за счет «мягкого» режима подбора хлебной массы валка посредством снижения частоты вращения вала привода транспортера подборщика зерноуборочного комбайна.

ГЛАВА 3 МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Общая методика исследований

Для решения поставленных в данной работе задач была разработана общая методика исследований (рисунок 3.1). Из схемы рисунка 3.1 видно, что на первоначальном этапе исследования осуществляется теоретическое обоснование изменения геометрических параметров подбирающей (рабочей) поверхности пружинного пальца транспортерного подборщика зерноуборочного комбайна. Теоретическое обоснование включает в себя как аналитические изыскания, так и элементы расчетов посредством компьютерного моделирования. По завершению теоретических исследований, далее, проводятся экспериментальные исследования, включающие в себя как исследования на лабораторной установке, так и проверки в производственных условиях, то есть использование активного и пассивного экспериментов. В ходе которых определялись значения факторов, характеризующих параметры технологического процесса подбора валка хлебной массы пружинными пальцами с измененной геометрией подбирающей поверхности и описание их количественной связью.

Целью экспериментальных исследований является получение данных для подтверждения теоретических предпосылок и проведение агротехнической оценки работы транспортерного подборщика, оснащенного пружинными пальцами с измененной геометрией подбирающей поверхности на примере зерноуборочного комбайна «ACROS-530» при подборе хлебной массы валков в производственных условиях.

Для подтверждения ряда положений теоретических исследований по обоснованию выбора пружинного пальца с проектной геометрией необходимо разработать методику планирования эксперимента и обосновать пределы изменения основных факторов.

Во время проведения экспериментальных работ следует спроектировать и изготовить лабораторную установку и, при необходимости, провести настройку и регулировку.

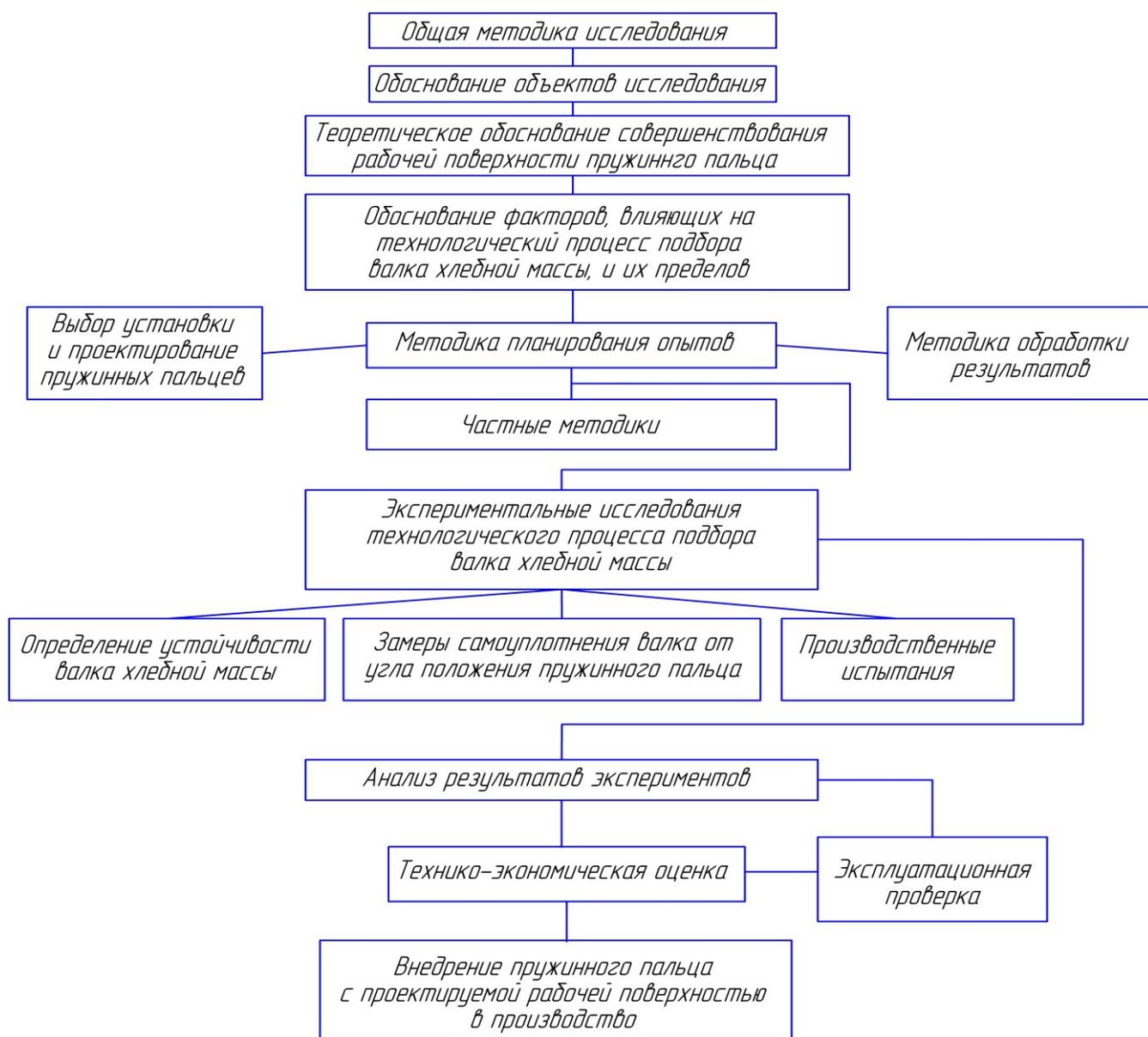


Рисунок 3.1 – Общая схема проведения исследований

Проведение экспериментов, обработка полученных результатов и их анализ осуществляются после выполнения выше назначенных этапов.

На заключительном этапе работы следует произвести технико-экономическую оценку полученных результатов исследования.

Метод исследования определяют наблюдения и опыт. Основой проведения экспериментальных исследований служит программа проведения работ, а также методика измерений параметров исследуемых закономерностей и их оценка. В ходе экспериментальных исследований используются общепринятые методические положения и рекомендации [12, 13, 28, 32, 38, 45, 54, 87, 117, 118, 133].

В соответствии с поставленной целью была разработана программа экспериментальных исследований, включающая в себя:

- лабораторные исследования с целью определения подбирающей и транспортирующей способности пружинного пальца с измененной геометрией;
- производственные эксперименты с целью проверки результатов теоретических исследований и уточнения рациональных конструктивных параметров пружинного пальца с измененной геометрией транспортерного подборщика на примере зерноуборочного комбайна «ACROS-530» и эксплуатационно-технологических параметров технологического процесса подбора хлебной массы валка;
- оценку экономической эффективности использования предлагаемого пружинного пальца с измененной геометрией.

Для выполнения программы исследований решались частные задачи:

- выбор имеющегося стандартного оборудования для проведения исследований;
- изготовление лабораторной установки для проведения опытов;
- разработка частных методик для проведения исследований.

Частные методики исследований определяют способ и необходимые средства для решения задач, а, следовательно, и погрешность замеров параметров технического устройства (рабочего органа) и технологического процесса.

3.1.1 Погрешность замеров параметров сельскохозяйственных машин и технологического процесса, число измерений

Измерительная аппаратура должна обеспечивать измерение величин с погрешностями, не превышающими указания, приведённые в таблице 3.1 [115].

Таблица 3.1 – Погрешность аппаратуры

Наименование измеряемой величины	Допустимая погрешность измерения, %
Время	$\pm 0,5$
Масса	$\pm 1,0$
Частота вращения	$\pm 0,5$
Влажность растений	$\pm 2,0$
Другие линейные размеры	$\pm 2,0$

Погрешность замеров и диапазон параметров сельскохозяйственных машин и технологического процесса представлена в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Погрешность параметров сельскохозяйственных машин и технологического процесса

Управляемый Параметр	Диапазон измерения	Допустимая погрешность измерения, %	Характер используемого сигнала
Наличие растений, шт./м ²	Зерновые 15-20	3-5	Дискретный
Скорости рабочих органов: линейные, м/с угловые, м/с	0,03-0,05 До 300	5-10 5-10	Непрерывно-дискретный
Положение рабочих органов, м	0,1-1,8	10,0	Дискретный

Погрешность параметров сельскохозяйственных машин и технологического процесса должна быть увязана с числом измерений, которое устанавливается в зависимости от характера его практического применения.

3.1.2 Определение числа измерений

В виду того, что допуски на контроль сельскохозяйственных процессов очень большие (2,0 % – 10,0 %, иногда до 25,0 %) [145], число измерений получается меньше. Необходимое число (n) измерений показателя устанавливается на основе теории вероятности с учётом надёжности вычислений и допустимой ошибки, взятой в долях от стандартной, а также сложностью и трудностью операции. Число (n) измерений показателя с вероятностью $P = 0,9$ при ошибке средней величины измерений в 2,0 % и 1,0 % соответственно 3 и 5 замеров. Это означает, что показатели, характеризующие биометрические (агробиологические) параметры зерновых культур и работу технических устройств, определяем в 3 – кратной повторности и в каждом опыте с 5 – кратным измерением, а также в отдельных случаях 10 – кратным измерением.

3.2 Методика экспериментальных исследований

Методикой экспериментальных исследований предусматривалось определение подбирающей и транспортирующей способности пружинного пальца с измененной геометрией. В основу методики экспериментальных исследований подбора валка хлебной массы транспортерным подборщиком на примере зерноуборочного комбайна «ACROS-530» был положен ГОСТ 28301 -2007 [35, 39].

3.2.1 Определение основных технологических параметров валка хлебной массы

Основными параметрами хлебного валка является его ширина, толщина, концентрация хлебной массы в валке и её влажность, и масса погонного метра.

Масса погонного метра валка хлебной массы определялась в пятикратной повторности посредством отбора проб с одного погонного метра. Расстояние между соседними точками для взятия проб бралось 15 метров. Далее, пробы взвешивались с точностью до 0,01 кг с помощью безмена (электронных весов) модели IRIT IR-7450 с дискретностью 10 г (рисунок 3.2).



Рисунок 3.2 – Определение массы погонного метра хлебной массы валка

Толщина валка хлебной массы определяется по торцевому сечению через 0,5 м. Так же замеряется расстояние от основания валка и его верхней границы до относительной поверхности поля.

Полученные результаты регистрируются в журнале учета экспериментальных данных, которые, в последующем, обрабатываются методами статистической теории.

3.2.2 Описание лабораторной установки

Для исследования взаимодействия предлагаемого пружинного пальца с измененной геометрией, согласно программе, была разработана лабораторная установка (рисунок 3.3), состоящая из следующих основных элементов: 1 – подвижной доски, имитирующей поверхность поля, 2 – пружинных пальцев, 3 – ведомой звездочки привода цепи, 4 – цепи, 5 – ведущей звездочки привода цепи, 6 – асинхронного двигателя, 7 – стерня. Для привода шкивов на установке применялась приводная станция, которая позволяла регулировать частоту вращения шкива в широком диапазоне.

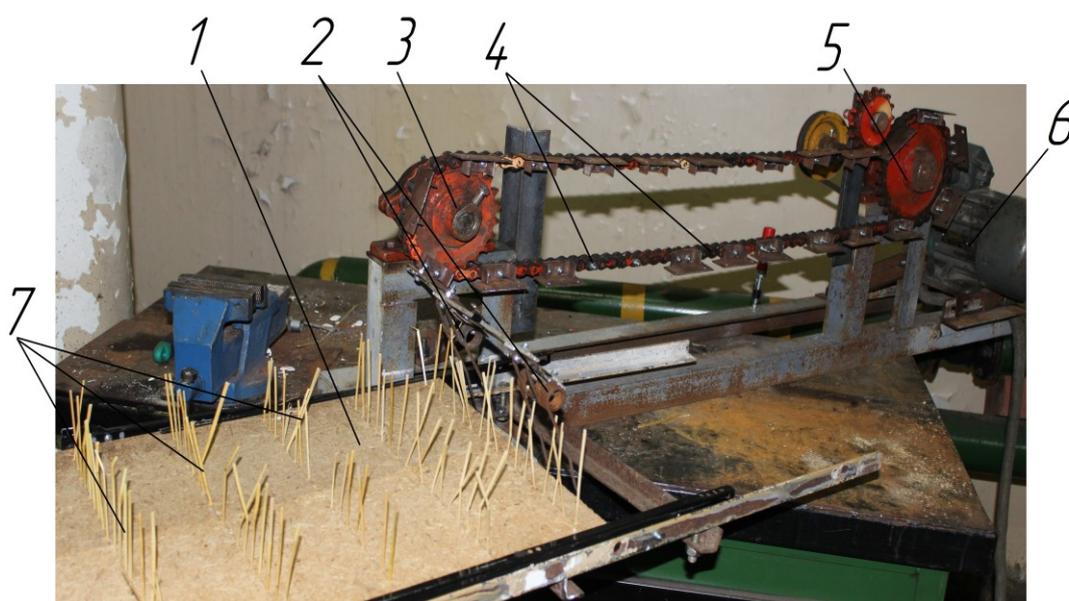


Рисунок 3.3 – Общий вид лабораторной установки:

1 – подвижная доска, имитирующая поверхность поля; 2 – пружинные пальцы;
3 – ведомая звездочка привода цепи; 4 – цепь; 5 – ведущая звездочка привода
цепи; 6 – асинхронный двигатель; 7 – стерня

Приводная станция включает в себя асинхронный электродвигатель 6 мощностью 2,2 кВт и частотный преобразователь E2-8300 «Веспер» (рисунок 3.4).



Рисунок 3.4 – Малогабаритный преобразователь частоты E2-8300 «Веспер»

Техническая характеристика данного прибора представлена в Приложении 2.

Принцип работы установки заключается в следующем. Валок хлебной массы ложится на подвижную доску 1, имитирующую поверхность поля, и с помощью полозьев, прикрепленных к доске, перемещается в горизонтальной плоскости навстречу пружинным пальцам 2 лабораторной установки.

С помощью асинхронного двигателя 6 и цепи 4, пружинные пальцы 2 ленточного транспортера начинают подхватывать и поднимать валок хлебной массы. После проведения опытов, валок убирается с доски 1, и доска 1 отсоединяется от лабораторной установки. После чего, на полиэтиленовую пленку высыпается образованная полова, из которой выделяется свободное зерно. В последующем выделенное зерно взвешивается на электронных весах модели ВСП-15.2-ЗТ (ТК) (рисунок 3.5).



Рисунок 3.5 – Электронные весы модели ВСП-15.3-ЗТ (ТК)

Кроме того, определялось наличие обломанного колоса от стебля, из которого выделялось зерно, и так же взвешивалось на электронных весах модели ВСП-15.2-ЗТ (ТК). Повторность опытов – трехкратная.

Полученные результаты регистрировались в журнале учета экспериментальных данных, которые, в последующем, обрабатываются методами теории вероятности. Результаты обработки данных представлены в 4 главе и в приложении 5.

3.2.3 Методика исследования взаимодействия пружинного пальца транспортного подборщика с хлебной массой валка на лабораторной установке

Непосредственно перед основным экспериментом проводится серия предварительных опытов по уточнению рабочих режимов лабораторной установки.

В начале, путем изменения частоты вращения вала электродвигателя приводной станции, было подобрано такое количество оборотов цепи, которое соответствовало скорости перемещения транспортного подборщика зерноуборочного комбайна «ACROS-530» – 1,1 – 1,5 м/с (4,2 – 5,6 км/ч).

Необходимая частота вращения вала электродвигателя ($n_{дв}$) вычисляется по формуле (3.1) и задается с помощью частотного преобразователя частоты Е2-8300 «Веспер».

$$n_{дв} = \frac{v_{тп} \cdot i}{3,14 \cdot D_B}, \quad (3.1)$$

где $v_{тп}$ – скорость перемещения транспортного подборщика зерноуборочного комбайна «ACROS-530», м/с;

i – передаточное отношение;

D_B – диаметр вала транспортной ленты подборщика, м.

Для проверки и контроля частоты вращения вала электродвигателя используется тахометр ТЧ-10Р.

Далее, настраивается угол наклона прямолинейного участка транспортера лабораторной установки.

В процессе предварительных опытов визуальным наблюдением оценивается качество подбора хлебной массы пружинными пальцами, уплотнение валка в момент взаимодействия пружинного пальца с хлебной массой валка, ведется фотосъемка технологического процесса подбора валка хлебной массы.

Основной эксперимент проводится с использованием теории планирования экспериментальных исследований при изменяемом одном факторе и постоянстве остальных.

Варьировались масса одного погонного метра валка, высота расположения валка на стерне, геометрические параметры пружинных пальцев, а также угол наклона прямолинейного участка транспортера лабораторной установке. Для варьирования конструктивными параметрами пружинных пальцев на лабораторной установке была предусмотрена возможность их смены (рисунок 3.6).

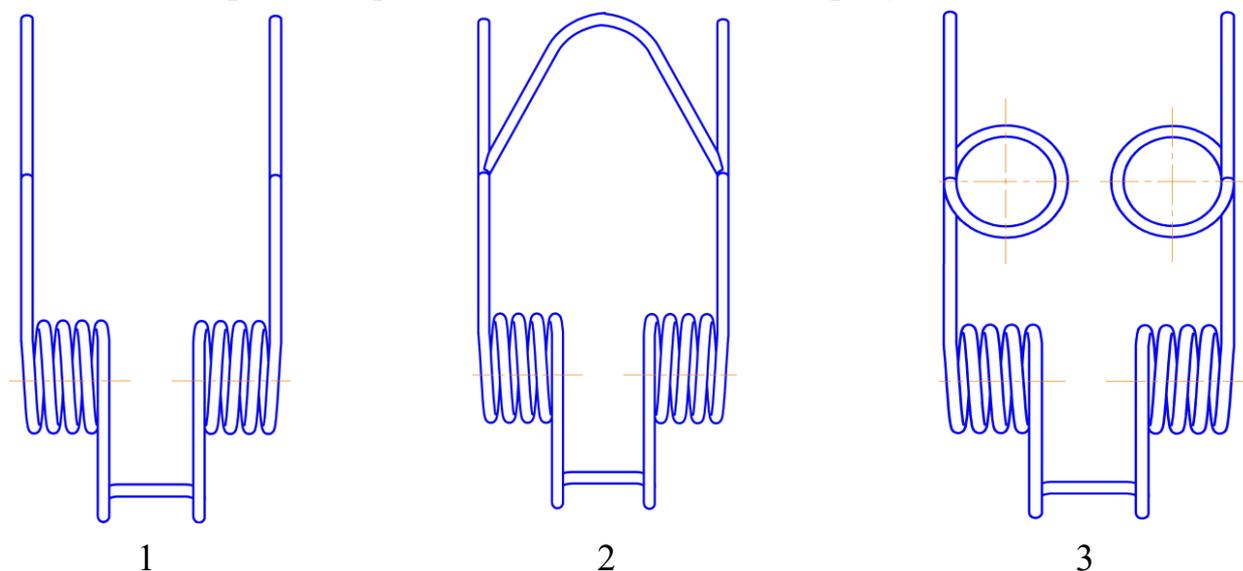


Рисунок 3.6 – Сменные пружинные пальцы лабораторной установки:
 1 – стандартные пружинные пальцы; 2 – пружинные пальцы с дугой на подбирающей поверхности; 3 – пружинный палец с кольцевым витком на подбирающей поверхности (Пат. № 158040 RU МПК А 01 D 89/00)

В качестве подбираемого материала используется хлебная масса пшеницы Челябинская 2, как наиболее распространенной зерновой культуры в регионе Южного Урала. Повторность опытов – трехкратная.

Каждый опыт проводится в последовательности. Сначала подготавливался пружинный палец (для более качественного наблюдения крепилось 5 пружинных пальцев), затем включался электродвигатель и устанавливалась необходимая частота вращения (обороты) вала привода лабораторной установки. Во время опытов производились измерения толщины хлебной массы валка в момент начала подбора, то есть начала частоты вращения вала электродвигателя. Затем взаимодействие пружинных пальцев с различными конструктивными параметрами с хлебной массой. Во время процесса взаимодействия пружинных пальцев с раз-

личными конструктивными параметрами с хлебной массой велась фотосъемка. По окончании каждого опыта выделялось свободное зерно и обломанный колос от стебля. Полученные потери зерна в результате имитации подбора валка хлебной массы взвешиваются на электронных весах модели ВСП-15.2-ЗТ (ТК).

Потери зерна при имитации технологического процесса подбора валка хлебной массы сменными пальцами на лабораторной установке определялись в соответствии с ГОСТ 28301 – 2007 [35].

Результаты экспериментов заносились в журнал учета и регистрации, которые, в последующем, обрабатываются методами статистической теории и приведены в главе 4, а также в Приложении 4.

3.2.4 Методика замера толщины валка хлебной массы от угла положения подбирающей поверхности пружинного пальца

К подвижной доске 1, имитирующей поверхность поля, прикреплялась деревянная линейка 3, которая крепилась строго перпендикулярно к поверхности доски (рисунок 3.7).

Далее на подвижную доску 1, имитирующую поверхность поля, лабораторной установки, укладывался валок хлебной массы 3. Пружинные пальцы 5 устанавливались на 0 градусов. Градация угла подъема бралась в пределах от 0 до 45 градусов. С помощью измерительной линейки 3 замерялась верхняя кромка положения валка от поверхности подвижной доски 1 и нижняя кромка положения валка хлебной массы над поверхностью подвижной доски 1 в зависимости от угла положения пружинных пальцев 5.

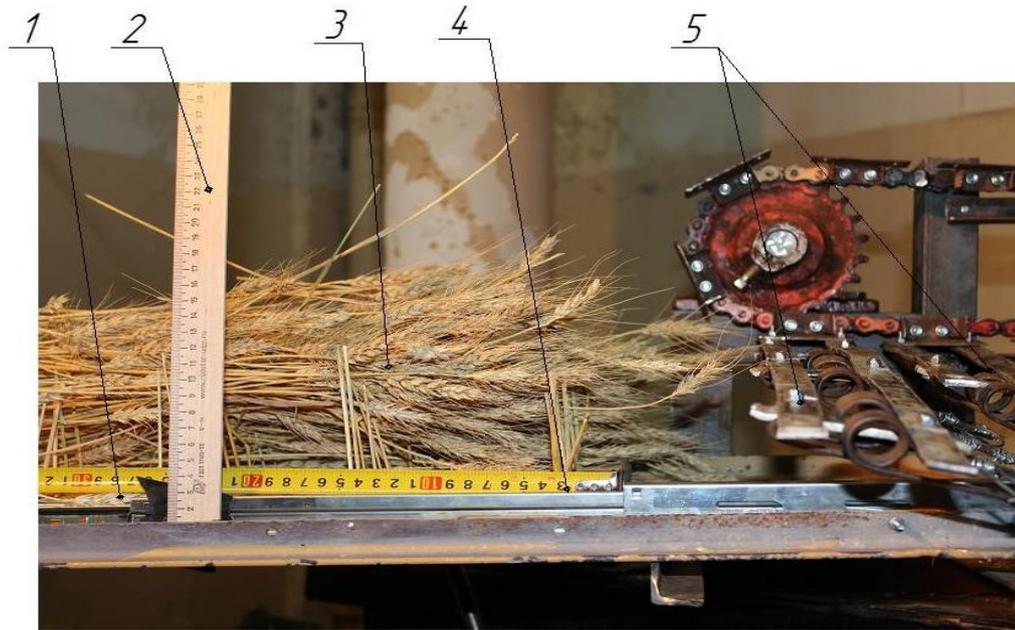


Рисунок 3.6 – Схема замера толщины валка хлебной массы:

- 1 – подвижная доска, имитирующая поверхность поля;
 2 – измерительная линейка; 3 – хлебная масса валка; 4 – рулетка;
 5 – пружинные пальцы

На основании полученных замеров верхней и нижней кромок, определялась толщина валка хлебной массы. Угол положения пружинных пальцев измерялся с помощью транспортира. Повторность опытов была взята пятикратной. Замеры толщины валка проводились для стандартного пружинного пальца (контроль) и экспериментальных пальцев. Стебли в валке хлебной массы укладывались по оси движения доски 1 продольно. В соответствии с агротехническими требованиями [49, 66, 68, 70, 75], возможно их смещение до 20 градусов от оси движения доски 1. Структура валка не варьировалась и была принята как однородная. Во время проведения опытов проводилась фотосъемка процесса уплотнения хлебной массы валка в зависимости от угла положения пружинного пальца.

Полученные результаты регистрировались в журнале учета экспериментальных данных, которые, в последующем, обрабатываются методами статистической теории и приведены в главе 4.

3.3 Методика проведения полнофакторного эксперимента по определению рациональных геометрических параметров подбирающей поверхности пружинного пальца транспортерного подборщика

Технологический процесс подбора валка хлебной массы происходит под действием большего количества факторов. На основе сбора априорной информации [13, 32 45, 54, 133] об объекте исследований факторы по общим признакам были разделены на три группы (рисунок 3.8).

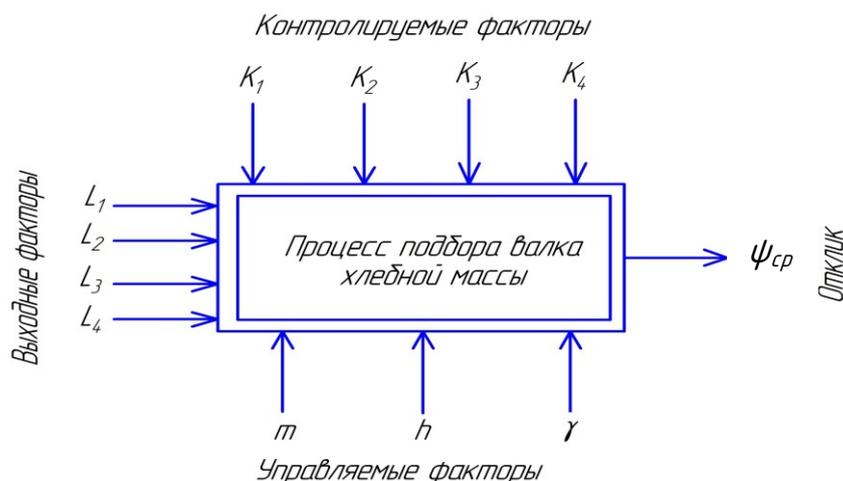


Рисунок 3.8 – Схема технологического процесса подбора валка хлебной массы транспортерного подборщика зерноуборочного комбайна

Входные факторы определяются состоянием валка хлебной массы, используемого в эксперименте:

L_1 – влажность валка, %;

L_2 – урожайность, ц/га;

L_3 – средняя длина стеблей в валке, м;

L_4 – ширина валка, м.

Контролируемые факторы, отражающие изменение состояния валка хлебной массы:

K_1 – колебание влажности валка, %;

K_2 – колебание урожайности, ц/га;

K_3 – колебание средней длины стеблей в валке, м;

K_4 – колебание ширины валка, м.

К управляемым факторам были отнесены:

m – масса одного погонного метра, кг/пог. м;

h – высота расположения хлебной массы валка на стерне, м.;

γ – угол наклона транспортной ленты подборщика к горизонтальной плоскости, град.

В качестве отклика в эксперименте были приняты потери зерна (ψ_{cp}). Таким образом, задача экспериментальных исследований сводится к определению наименьшего значения (ψ_{cp}):

$$\left. \begin{aligned} \psi_{cp}(m, h, \gamma) \rightarrow \min \\ m \in [3...5], h \in [6...10], \gamma \in [0...10] \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

Для реализации программы полнофакторного эксперименты были выбраны три основных фактора, которые влияют на процесс подбора валка хлебной массы: $m (X_1)$ – масса одного погонного метра, кг/пог. м; $\gamma (X_2)$ – угол наклона транспортной ленты подборщика к горизонтальной плоскости, град.; $h (X_3)$ – высота расположения хлебной массы валка на стерне, м. Интервалы и уровни варьирования факторов приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Уровни и интервалы варьирования факторов

Фактор	Кодированное обозначение	Уровень варьирования			Интервал
		-1	0	+1	
Масса одного погонного метра (m), кг/пог. м	x_1	3	4,5	6	1,5
Угол наклона транспортной ленты подборщика к горизонтальной плоскости, (γ), град.	x_2	0	5	10	5
Высота расположения хлебной массы валка на стерне, (h), м	x_3	0,06	0,08	0,1	0,02

Для определения степени влияния факторов на критерий оптимизации (степени их значимости) был проведен полнофакторный эксперимент.

На основе сбора априорной информации [13, 32 45, 54, 133] было установлено, что подбор валка хлебной массы в зависимости от конструктивных и технологических параметров подчиняется нелинейной зависимости. В этой связи для описания поверхности отклика использовали полином второго порядка:

$$Y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i \cdot x_i + \sum_{\substack{i=1 \\ j=1 \\ i \neq j}}^n a_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + \sum_{i=1}^n a_{ii} \cdot x_i^2, \quad (3.3)$$

где x_i, x_j – значения факторов;

a_0 – свободный член;

a_i – коэффициенты регрессии соответствующих факторов;

a_{ij} – коэффициенты регрессии соответствующего взаимодействия факторов;

a_{ii} – коэффициенты регрессии соответствующего фактора в квадрате.

Для трех факторов уравнение (3.4) примет следующий вид:

$$Y = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_3 \cdot x_3 + a_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + a_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + a_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + a_{11} \cdot x_1^2 + a_{22} \cdot x_2^2 + a_{33} \cdot x_3^2. \quad (3.4)$$

Для перехода к кодированным значениям факторов использовалась следующая формула:

$$x_i = \frac{X_i - X_{i0}}{\Delta X_i}, \quad (3.5)$$

где X_i – натуральное значение фактора; X_{i0} – натуральное значение фактора на основном уровне; ΔX_i – натуральное значение интервала варьирования фактора.

Натуральное значение интервала варьирования фактора определяется по выражению:

$$\Delta X = \frac{X_i^B - X_i^H}{2}, \quad (3.6)$$

где X_i^B, X_i^H – соответственно значение фактора на верхнем и нижнем уровнях.

Для достижения необходимой точности лабораторных исследований

каждый опыт проводился в трех повторностях, усредненное значение которых принималось за результат опыта.

Количество факторов и рекомендации по выбору планов [28] предопределили при проведении эксперимента использование ортогонального центрально-композиционного плана второго порядка (ОЦКП), матрица которого представлена в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Матрица плана эксперимента

№ опыта	Фактор										Y _{ср}
	x ₀	x ₁	x ₂	x ₃	x ₁ x ₂	x ₁ x ₃	x ₂ x ₃	x ₁ ² -β	x ₂ ² -β	x ₃ ² -β	
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	1-β	1-β	1-β	Y ₁
2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	1-β	1-β	1-β	Y ₂
3	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	1-β	1-β	1-β	Y ₃
4	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	1-β	1-β	1-β	Y ₄
5	+1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	1-β	1-β	1-β	Y ₅
6	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	1-β	1-β	1-β	Y ₆
7	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	1-β	1-β	1-β	Y ₇
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	1-β	1-β	1-β	Y ₈
9	+1	-α	0	0	0	0	0	α ² -β	-β	-β	Y ₉
10	+1	+α	0	0	0	0	0	α ² -β	-β	-β	Y ₁₀
11	+1	0	-α	0	0	0	0	-β	α ² -β	-β	Y ₁₁
12	+1	0	+α	0	0	0	0	-β	α ² -β	-β	Y ₁₂
13	+1	0	0	-α	0	0	0	-β	-β	α ² -β	Y ₁₃
14	+1	0	0	+α	0	0	0	-β	-β	α ² -β	Y ₁₄
15	+1	0	0	0	0	0	0	-β	-β	-β	Y ₁₅

где α – плечо «звездных» точек, α = 1,215 [28];

β – величина, зависящая от числа факторов, β = 0,73 [28].

Обработка результатов эксперимента проводилась по общепринятой методике [54, 87, 133].

Оценка дисперсии ошибок наблюдений вычислялась по формуле:

$$S_n^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{l=1}^m (Y_{gn} - Y_{ср.n})^2, \quad (3.7)$$

где Y_{gn} – результат g-го повторения n-го опыта;

Y_{ср.n} – среднее арифметическое значение всех повторностей n-го опыта.

Проверку однородности дисперсии и воспроизводимости результатов эксперимента проводили по G-критерию Кохрена:

$$G_{\max \text{расч}} = \frac{S_{n.\max}^2}{\sum_{n=1}^N S_n^2}, \quad (3.8)$$

где $S_{n.\max}^2$ – наибольшее значение дисперсии ошибок наблюдений.

Полученное по выражению (3.8) значение критерия Кохрена сравнивается с табличным $G_{\max \text{табл}}$. Вывод об однородности дисперсии и воспроизводимости результатов эксперимента делается на основании следующего условия:

$$G_{\max \text{расч}} \leq G_{\max \text{табл}}. \quad (3.9)$$

После подтверждения гипотезы о воспроизводимости эксперимента, непосредственно были обработаны опытные данные. Коэффициенты уравнения регрессии рассчитываются по следующим формулам:

$$a_0 = N^* \sum_{u=1}^N Y_u + a^* \sum_{i=1}^n \sum_{u=1}^N x_{ui}^2 Y_u; \quad (3.10)$$

$$a_{ii} = a^* \sum_{u=1}^N Y_u + (r^* - p^*) \sum_{u=1}^N x_{ui}^2 Y_u + p^* \sum_{i=1}^n \sum_{u=1}^N x_{ui}^2 Y_u; \quad (3.11)$$

$$a_i = a^{-1} \sum_{u=1}^N x_{ui}^2 Y_u; \quad (3.12)$$

$$a_{ij} = p^{-1} \sum_{u=1}^N x_{ui} x_{uj} Y_u, \quad (3.13)$$

где N^* , r^* , a^{-1} , p^{-1} – диагональные элементы, определены из справочника в соответствии с типом плана [27].

Проверки значимости коэффициентов уравнения регрессии проводят по t-критерию Стьюдента, при этом дисперсии для коэффициентов регрессии определяются следующим образом:

$$S_{a_0}^2 = N^* \cdot S_n^2; \quad (3.14)$$

$$S_{a_{ii}}^2 = r^* \cdot S_n^2; \quad (3.15)$$

$$S_{a_i}^2 = a^{-1} \cdot S_n^2; \quad (3.16)$$

$$S_{a_{ij}}^2 = p^{-1} \cdot S_n^2. \quad (3.17)$$

Доверительный интервал оценок коэффициентов определяется по формуле:

$$\Delta a_i = t \sqrt{S_{a_i}^2}, \quad (3.18)$$

где t – критерий Стьюдента, который определяется по таблицам в зависимости от числа степеней свободы $f = N(m - 1)$ и уровня значимости (принимается равным 5%).

Коэффициент уравнения регрессии a_i считается статистически значимым при условии:

$$A_i \geq \Delta a_i. \quad (3.19)$$

В математическую модель оптимизации включаются только статистически значимые коэффициенты.

Адекватность полученной модели проверяется по критерию Фишера. Для этого определяется дисперсия неадекватности по формуле:

$$S_{\text{неад}}^2 = \frac{m}{N - C} \sum_{n=1}^N (Y_{\text{ср}} - Y_n)^2, \quad (3.20)$$

где $Y_{\text{ср}}$, Y_n – значения отклика в n -ом опыте, соответственно рассчитанные по уравнению регрессии и определенные экспериментальным путем;

C – количество значимых факторов.

Критерий Фишера определяется по формуле:

$$F = \frac{S_{\text{неад}}^2}{S_n^2}. \quad (3.21)$$

Если соблюдается условие $F \leq F_{\text{табл}}$, то принимается гипотеза об адекватности математической модели, описывающей процесс. Табличное значение ($F_{\text{табл}}$) принимается исходя из числа степеней свободы и уровня значимости.

Проведение полнофакторного эксперимента позволяет определить изменение параметра процесса подбора хлебной массы валка – потерь зерна в зависимости от конструктивно-геометрических параметров подбирающей поверхности пружинного пальца транспортерного подборщика, его наклона к поверхности поля и мощности валка хлебной массы.

На основе данной методики проводятся сравнительные испытания на лабораторной установке взаимодействия стандартных и экспериментальных пружинных пальцев с хлебной массой валка.

Полученные результаты в ходе лабораторных исследований регистрируются в журналах учета экспериментальных данных, которые в последующем обрабатываются методами статистической теории с использованием программных продуктов Microsoft Excel, MathCAD 10, Statistica 10 Enterprise и приведены в главе 4.

3.4 Методика производственных экспериментов по определению потерь свободным зерном за транспортерным подборщиком зерноуборочного комбайна «ACROS – 530»

Для проверки теоретических предпосылок и результатов лабораторных экспериментов по определению потерь зерна за стандартными подбирающими пальцами и экспериментальными были проведены исследования в производственных условиях.

Экспериментальные исследования в производственных условиях проводились в ООО «Светлогорское зерно» Агаповского района, Челябинской области на базе зерноуборочного комбайна «ACROS-530» оснащенного транспортерным подборщиком (рисунок 3.9).

Исходя из доверительной вероятности 0,95, кратность опыта берется трехкратной, то есть осуществляется подбор трех контрольных валков, на которых определяются три контрольных участка длиной 50 метров.



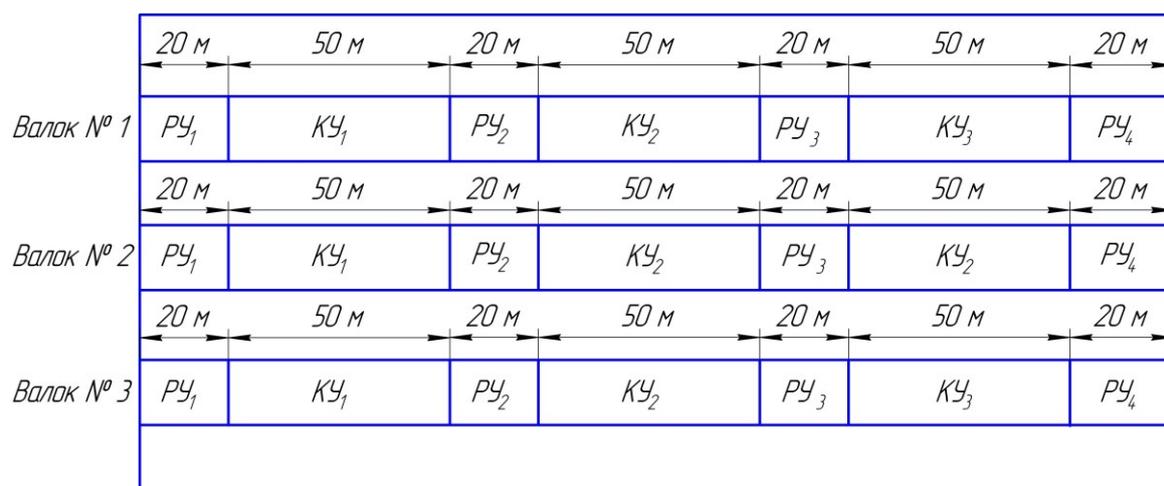
Рисунок 3.9 – Зерноуборочный комбайн «ACROS-530» с транспортерным подборщиком на контрольном поле

В качестве объекта воздействия являются валки хлебной массы пшеницы Челябинская 2 (рисунок 3.10).



Рисунок 3.10 – Расположение валков хлебной массы на контрольном поле

На экспериментальном поле случайным образом определяются три контрольных валка хлебной массы длиной 250 – 300 метров. На каждом из трех валков хлебной массы общая длина разбивается на три контрольных участка длиной по 50 метров и на три разгонных участка длиной 20 метров, используемых для разгона зерноуборочного комбайна «ACROS-530» при подборе валков хлебной массы. В общем виде схема расположения контрольных и разгонных участков на валках хлебной массы представлена на рисунке 3.11.



РЧ – разгонный участок вала хлебной массы;
КЧ – контрольный участок вала хлебной массы

Рисунок 3.11 – Схема расположения разгонных и контрольных участков на валке хлебной массы

На контрольных участках вала хлебной массы определяется масса погонного метра через каждые 15 метров в соответствии с ГОСТ 28301-2007 [35]. Перед определением потерь зерна за транспортерным подборщиком зерноуборочного комбайна «ACROS-530» в полевых условиях, ширина 3,4 метрового транспортера подборщика условно разбивается на две технологические зоны (левая и правая). В правой технологической зоне транспортера подборщика комбайна «ACROS-530» стандартные (серийные) пружинные пальцы заменяются на экспериментальные (рисунок 3.12).



Рисунок 3.11 – Схема условного деления ширины захвата транспортера подборщика на технологические зоны:

1 – стандартные пальцы; 2 – экспериментальные пальцы

После замены стандартных пружинных пальцев на экспериментальные на транспортере подборщика зерноуборочного комбайна «ACROS-530» осуществляется подбор хлебной массы контрольных участков валка. На каждом валке подбор хлебной массы контрольных участков осуществляется на различных скоростных режимах работы комбайна. Так, на первом (контрольный участок – KY_1) скорость подбора составляет – 1,0 м/с (3,6 км/ч), на втором (KY_2) – 1,5 м/с (5,4 км/ч) и на третьем (KY_3) – 2,0 м/с (7,2 км/ч).

После прохода зерноуборочного комбайна «ACROS-530», потери свободным зерном и колосом за транспортером подборщика в технологических зонах определяются в соответствии с ГОСТ 28301-2007 [35]. Для этих целей используется рамка площадью – 0,25 м² (0,5 x 0,5 м)

Полученные потери зерна, далее, взвешиваются на электронных весах модели ВСП-15.2-3Т (ТК) и заносятся в журнал учета и регистрации экспериментальных данных.

Обработка экспериментальных данных осуществляется на основе известных методов математической статистики [12, 13, 32, 38, 54, 83]. В ходе обработки данных, исходя из пределов доверительного интервала из статистического ряда величин исключают выскакивающие значения (грубые ошибки). Результаты обработки приведены в главе 4.

3.5 Выводы по главе

1. Для реализации экспериментальных исследований была разработана как общая методика, так и программа их выполнения, из которых следует, что в исследованиях используется как активный, так и пассивный эксперимент.

2. Предлагаемые методики экспериментальных исследований, подобранное оборудование и средства измерения позволяют описать технологический процесс работы транспортерного подборщика и оценить адекватность полученных теоретических предпосылок.

3. Создание лабораторной установки позволило адекватно воспроизведе-

сти реальные условия работы пружинного пальца, а также сократить затраты труда и средств при проведении эксперимента.

4. Разработанная методика проведения полнофакторного эксперимента позволила выделить входные и выходные, а также контролируемые и управляемые факторы, что обеспечивает в процессе реализации плана эксперимента получить уравнения регрессии и проверить их на адекватность.

5. Методика экспериментов в лабораторно-производственных условиях позволяет в значительной степени воспроизвести реальные условия работы пружинного пальца на подборщике, при этом достаточно точно охарактеризовать процесс взаимодействия пружинного пальца с хлебной массой и оценить потери зерна за транспортерным подборщиком зерноуборочного комбайна.

ГЛАВА 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Результаты по определению основных технологических параметров валка хлебной массы

В соответствии с разработанными методиками и программами исследований в ООО «Светлогорское зерно», Агаповского района, Челябинской области в 2015 году проводились наблюдения и определялись агробиологические характеристики (биометрические параметры) зерновых культур (сорт пшеница Челябинская 2) в период уборки урожая (рисунок 4.1).



Рисунок 4.1 – Зерновые культуры (пшеница Челябинская 2) на контрольном поле в ООО «Светлогорское зерно», Челябинской области

Поскольку высота стеблестоя и другие параметры зерновых культур образуются под влиянием многочисленных случайных факторов (семенной материал, агротехника, природно-климатические условия и другие), то мера переменности высоты стеблестоя и других параметров оценивается статистически

Экспериментальные исследования переменности свойств растений, в частности высоты стеблестоя зерновых культур (пшеница) показывают, что высота стеблестоя хлебной массы в полевых условиях достаточно широко варьирует (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Распределение частоты ярусности стеблей по интервалам в условиях Челябинской области, шт.

Место испытания: ООО «Светлогорское зерно», Агаповский район, Челябинская область							
Культура: пшеница Челябинская 2							
Дата: 2015 г.							
Интервал, м	повторность опыта					вероятность события	
	1	2	3	4	5	доля	процент, %
0,5-0,6	-	-	20	10	-	0,06	6,0
0,6-0,7	-	10	-	-	-	0,02	2,0
0,7-0,8	60	60	60	80	10	0,54	54,0
0,8-0,9	40	30	10	10	90	0,38	38,0

Из таблицы 4.1 видно, что в массиве хлебной массы преобладает стеблейстой высотой в интервале 0,7-0,8 м (вероятность события составляет 54,0 %). Общая характеристика пшеницы сорта Челябинская 2 отражена в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Агробиологическая характеристика пшеницы Челябинская 2

Показатели	Повторность опыта					Статистические показатели		
	1	2	3	4	5	\bar{x}	σ	$v, \%$
Длина стебля, м	0,796	0,782	0,734	0,740	0,858	0,782	0,05	6,4
Масса зерна колоса, г	14,2	13,2	9,0	10,6	15,2	12,44	2,6	20,9
Соломистость хлебной массы	0,62	0,62	0,63	0,62	0,62	0,62	0,025	4,03

Результаты скашивания зерновых культур (пшеница Челябинская 2) прицепной жаткой ЖВП-9.1 свидетельствуют о том, что до рабочей скорости жатвенного агрегата МТЗ-80 + ЖВП-9.1 (Рисунок 4.2) – 1,25 м/с (4,5 км/ч), структура валка хлебной массы соответствует агротехническим требованиям, то есть стебли в валке располагаются вдоль оси валка и отклонены от оси валка до 20 градусов (рисунок 4.3, а).



Рисунок 4.2 – Жатвенный агрегат МТЗ-80 +ЖВП-9.1 на контрольном поле



а)



б)

Рисунок 4.3 – Расположение стеблей в валке хлебной массы с расположением вдоль оси валка (а) и с расположением в хаотичном порядке (б)

С увеличением рабочей скорости свыше 1,4 м/с (5,0 км/ч) жатвенного агрегата формирования валка хлебной массы, его структура видоизменяется в сторону хаотичности расположения стеблей (рисунок 4.3, б).

Основные параметры валка хлебной массы на контрольном поле при скашивании зерновых культур жаткой ЖВП-9.1 приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Технологические параметры и устойчивость валка хлебной массы на стерне (культура: пшеница Челябинская 2)

Показатели	Ширина валка, м						\bar{x}	σ	v, %	Δ , %	Δ_1 , %
	0	0,2	0,4	0,8	1,1	1,2					
Опыт № 1. $m = 3,0$ кг/пог. м; $B_0 = 9,0$ м											
Просвет под валком, м	0,140	0,146	0,166	0,170	0,172	0,163	0,158	0,012	7,5	36,0	0
Верхний уровень валка, м	0,293	0,293	0,288	0,337	0,325	0,323	0,311	0,019	6,1		
Толщина валка, м	0,153	0,147	0,152	0,167	0,168	0,169	0,159	0,009	5,5		
Опыт № 2. $m = 5,3$ кг/пог. м; $B_0 = 9,0$ м											
Просвет под валком, м	0,141	0,144	0,168	0,168	0,168	0,152	0,157	0,012	7,6	66,0	0
Верхний уровень валка, м	0,323	0,320	0,325	0,337	0,332	0,352	0,331	0,011	3,3		
Толщина валка, м	0,182	0,176	0,173	0,169	0,170	0,200	0,178	0,011	6,1		
Опыт № 3. $m = 7,5$ кг/пог. м; $B_0 = 9,0$ м											
Просвет под валком, м	0,140	0,141	0,141	0,15	0,155	0,150	0,146	0,006	4,2	69,0	0
Верхний уровень валка, м	0,323	0,346	0,356	0,388	0,372	0,378	0,361	0,022	6,0		
Толщина валка, м	0,183	0,205	0,215	0,217	0,221	0,235	0,213	0,016	7,5		

где B_0 – межвалковое расстояние, м;

m – мощность валка хлебной массы, кг /пог. м;

\bar{x} – среднее арифметическое отклонение, м;

σ – среднеквадратическое отклонение, м;

v – коэффициент вариации, %;

Δ – коэффициент осадки, %;

Δ_1 – коэффициент усадки, %.

На основании данных таблицы 4.3 были построены графики зависимости толщины валка от ширины валка, которые представлены на рисунке 4.5:

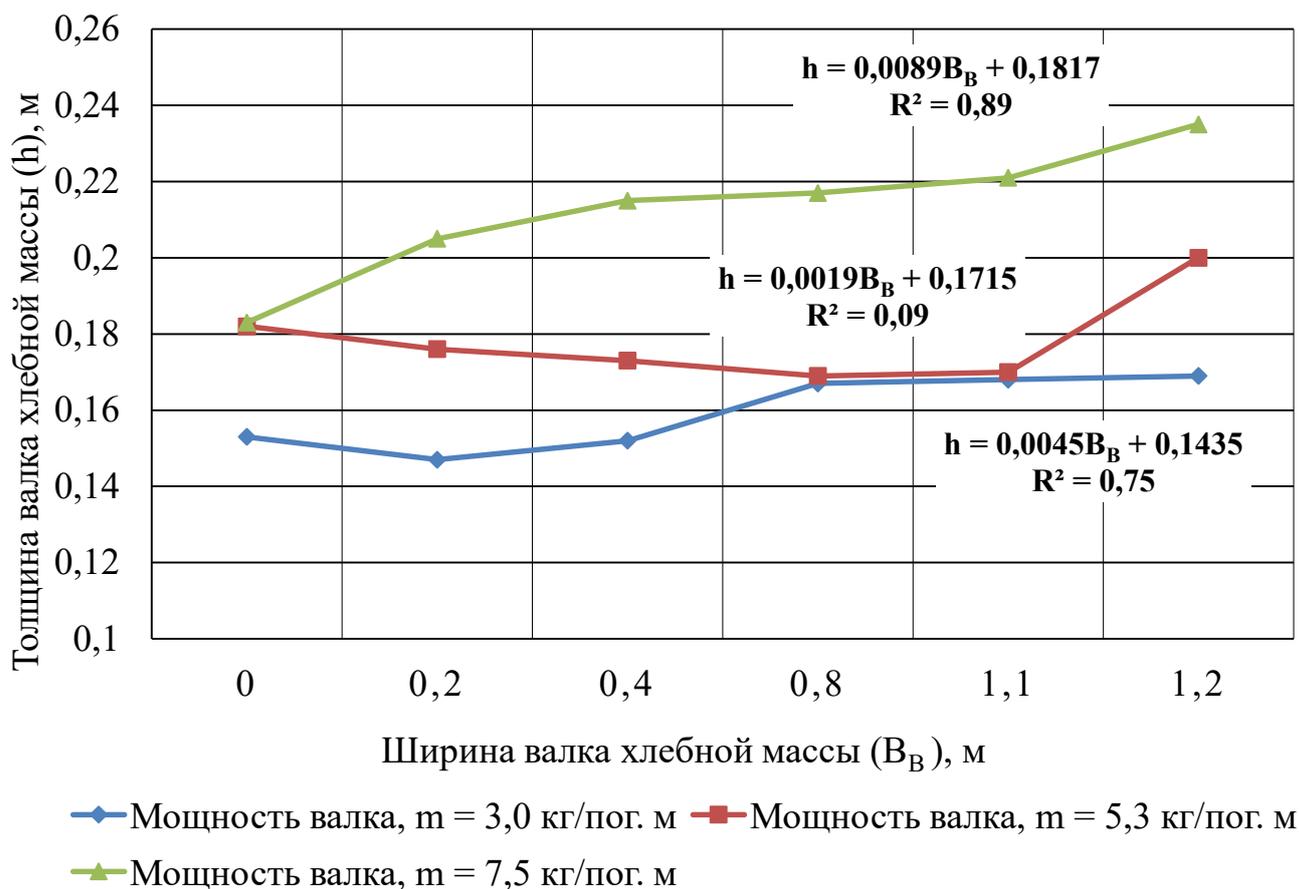


Рисунок 4.5 – Изменение толщины (h) вала хлебной массы в зависимости от его ширины (B_B)

Анализируя данные таблицы 4.3 и рисунок 4.5, можно прийти к выводу что при увеличении мощности вала хлебной массы на 0,03 кг (таблица 4.3, опыт № 2 при мощности вала хлебной массы $m = 5,3$ кг/пог. м) толщина хлебной массы увеличивается в 1,14 раза. При увеличении мощности вала до 7,5 кг/пог. м – толщина хлебной массы вала увеличивается в 1,4 раза. При этом осадка хлебной массы вала при мощности $m = 7,5$ кг/пог. м и при мощности $m = 5,3$ кг/пог. м составят, соответственно, 69,0 % и 66,0 %, что будет влиять на процесс подбора хлебной массы вала. Полученные значения мощности вала хлебной массы в последующем используются в лабораторных опытах, связанных с исследованием взаимодействия пружинных пальцев с различной геометрией подбирающей поверхности с хлебной массой вала.

4.2 Результаты исследования взаимодействия пружинного пальца транспортного подборщика с хлебной массой валка на лабораторной установке

Проведение предварительных опытов позволило уточнить эксплуатационные режимы работы установки, при которых в дальнейшем проводились эксперименты. В ходе предварительных опытов было определено, что технологический процесс взаимодействия пружинного пальца транспортного подборщика с хлебной массой валка на лабораторной установке происходит при массе одного погонного метра валка хлебной массы от 3 кг и более, и угле наклона прямолинейного участка транспортера лабораторной установки к горизонтальной плоскости до 10 градусов. Исходя из предварительных опытов, для последующих экспериментов были установлены следующие пределы варьирования эксплуатационных режимов работы установки: высота расположения валка на стержне закрепленной подвижной доски, имитирующей поверхность поля, была 0,06 и 0,1 м, масса одного погонного метра валка хлебной массы 3 кг/пог. м и 5 кг/пог. м, соответственно, и угол наклона прямолинейного участка транспортера лабораторной установки 0 градусов и 10 градусов, что соответствует условиям работы транспортного подборщика зерноуборочного комбайна на поле при уборке хлебной массы валка.

В процессе лабораторных опытов оценивались характеристики взаимодействия пружинного стандартного (серийного) пальца и экспериментального с различными геометрическими параметрами с хлебной массой валка.

Для это на транспортере лабораторной установки устанавливались стандартные пружинные пальцы и с различными геометрическими конфигурациями подбирающей поверхности, которые были приняты в виде образованной дуги (рисунок 4.3, 2) и кольцевого витка (рисунок 4.3, 3) Во время работы транспортера лабораторной установки производилась фотосъемка технологического процесса подъема валка хлебной массы пружинными пальцами.

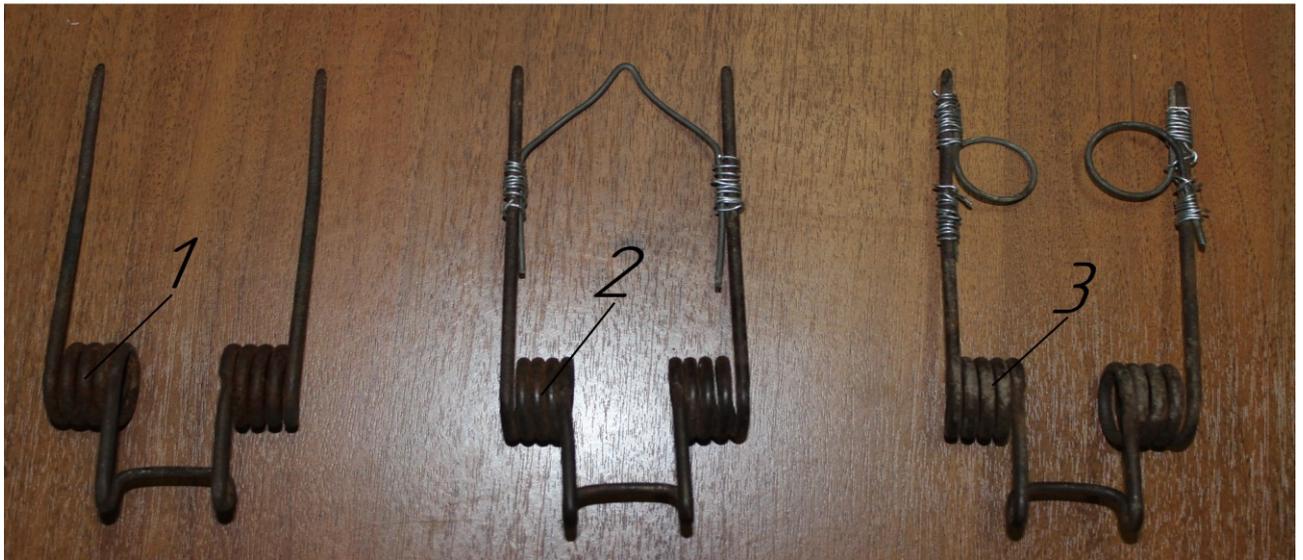


Рисунок 4.6 – Пружинные пальцы с различными геометрическими конфигурациями подбирающей поверхности: 1 – стандартный палец; 2 – палец с дугой на подбирающей поверхности; 3 – палец с кольцевым витком на подбирающей поверхности

Результаты взаимодействия стандартного пружинного пальца (берется за контроль) и с измененной геометрией подбирающей поверхности с хлебной массой представлены фотосъемкой на рисунках 4.7, 4.8 и 4.9



а)



б)

Рисунок 4.7 – Установка стандартных пружинных пальцев на лабораторную установку (а) и результат взаимодействия стандартных пружинных пальцев с хлебной массой валка (б)

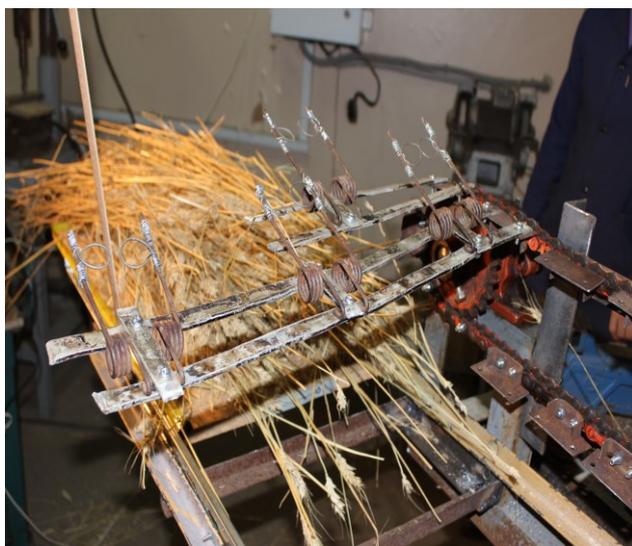


а)



б)

Рисунок 4.8 – Установка пружинных пальцев с дугой на подбирающей поверхности на лабораторную установку (а) и результат взаимодействия пружинных пальцев с дугой на подбирающей поверхности с хлебной массой валка (б)



а)



б)

Рисунок 4.9 – Установка пружинных пальцев с кольцевым витком на подбирающей поверхности на лабораторную установку (а) и результат взаимодействия пружинных пальцев с кольцевым витком на подбирающей поверхности с хлебной массой валка (б)

Из рисунков видно, что наибольшие потери зерна колосом образуются при взаимодействии стандартных пружинных пальцев с хлебной массой. Наименьшие

потери зерна колосом образуются при взаимодействии хлебной массы и пружинных пальцев с кольцевым витком на подбирающей поверхности (рисунок 4.9).

В результате обработки потерь зерна колосом определено, что они за стандартными пружинными пальцами составляют – 0,017 кг. При взаимодействии хлебной массы и пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности получены потери зерна колосом в количестве 0,012 кг, что в 1,4 раза меньше, чем за стандартными пружинными пальцами и в 1,26 раза меньше по сравнению с пружинными пальцами с дугой на подбирающей поверхности. Результаты экспериментов сведены в таблицу 4.4.

Таблица 4.4 – Потери зерна колосом при взаимодействии пружинных пальцев с хлебной массой на лабораторной установке (в граммах).

Показатели	Повторность опыта					Статистические показатели*				
	1	2	3	4	5	\bar{x}	σ	$v, \%$	s	$s, \%$
Стандартный пружинный палец	17	17	16	17	16	16,6	0,49	2,95	0,68	4,10
Пружинный палец с дугой на подбирающей поверхности	15	14	15	14	15	14,6	0,49	3,36	0,68	4,66
Пружинный палец с кольцевым витком на подбирающей поверхности	12	11	12	10	11	11,2	0,75	6,68	1,04	9,28

*– где \bar{x} – среднее арифметическое отклонение, г.; σ – среднеквадратическое отклонение, г; v – коэффициент вариации, %; s – абсолютная ошибка, г; s – относительная ошибка, %.

На основе данных таблицы 4.4 была построена гистограмма, которая показывает изменение потерь зерна колосом от использования различных пружинных пальцев (рисунок 4.10).

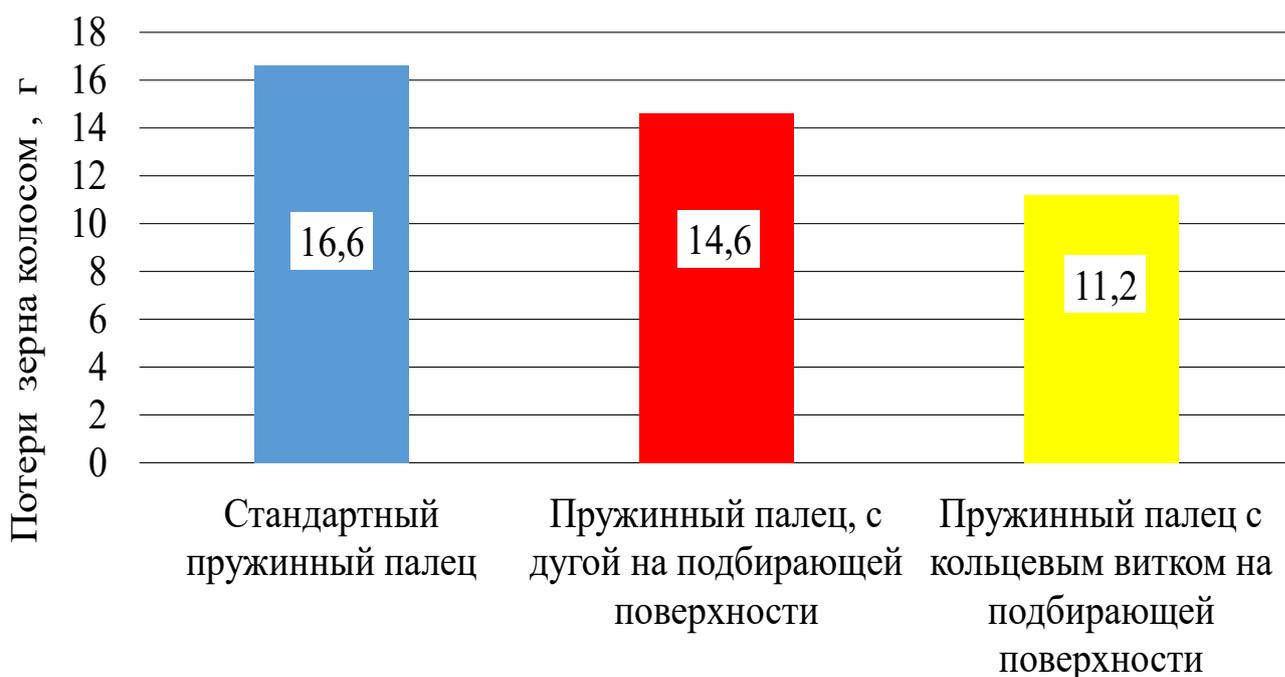


Рисунок 4.10 – Количество потерь зерна колосом от применения различных пружинных пальцев

В результате проведенных экспериментов по изучению взаимодействия пружинных пальцев с различной геометрией их подбирающей поверхности с хлебной массой валка установлено, что наиболее эффективным и более отвечающим агротехническим требованиям подбора валка хлебной массы будет пружинный палец с кольцевым витком на подбирающей поверхности (рисунок 4.9). Так как подбирающая способность пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности на 33 % лучше, по сравнению с подбирающей способностью стандартного пружинного пальца, и на 20 % лучше пружинного пальца с дугой на подбирающей поверхности.

4.3 Определение толщины валка хлебной массы от угла положения подбирающей поверхности пружинного пальца

В соответствии с программой экспериментальных исследований были проведены опыты замера уплотнения валка хлебной массы в зависимости от угла положения пружинного пальца. Оценка выполнялась по трем вариантам: в первом варианте

на лабораторную установку крепились стандартные пружинные пальцы, во втором – экспериментальные пальцы с дугой на подбирающей поверхности, в третьем – экспериментальные пальцы с кольцевым витком на подбирающей поверхности. Пружинные стандартные пальцы рассматривались в эксперименте как контрольные.

Предварительными опытами с фотосъемкой процесса уплотнения хлебной массы валка от угла положения пружинного пальца в вертикальной плоскости во время взаимодействия с хлебной массой валка было установлено, что экспериментальные пальцы с дугой и кольцевым витком на подбирающей поверхности работают удовлетворительно. Режимы работы транспортёра лабораторной установки в трех вариантах были одинаковыми, (масса одного погонного метра валка хлебной массы – $m = 4$ кг/пог. м). Результаты экспериментов приведены в таблицы 4.5 – 4.7.

Таблица 4.5 – Толщина валка хлебной массы от угла положения пружинного стандартного пальца

Угол положения подбирающей поверхности пальца, град.	Толщина хлебной массы валка, м							
	повторность опыта					статистические характеристики		
	1	2	3	4	5	\bar{x}	σ	$\nu, \%$
0	0,150	0,148	0,152	0,144	0,149	0,149	0,003	1,79
10	0,146	0,145	0,141	0,142	0,143	0,143	0,002	1,29
15	0,140	0,140	0,133	0,141	0,136	0,138	0,003	2,20
20	0,138	0,139	0,14	0,136	0,136	0,138	0,002	1,16
25	0,135	0,138	0,132	0,133	0,133	0,134	0,002	1,59
30	0,132	0,13	0,132	0,129	0,130	0,131	0,001	0,92
35	0,13	0,128	0,130	0,126	0,128	0,128	0,001	1,17
40	0,132	0,128	0,132	0,128	0,129	0,130	0,002	1,41
45	0,133	0,129	0,132	0,129	0,129	0,130	0,002	1,34

Таблица 4.6 – Толщина валка хлебной массы от угла положения пружинного пальца с дугой на подбирающей поверхности

Угол положения подбирающей поверхности пальца, град.	Толщина хлебной массы валка, м							
	повторность опыта					статистические характеристики		
	1	2	3	4	5	\bar{x}	σ	$\nu, \%$
0	0,140	0,140	0,138	0,138	0,138	0,139	0,001	0,71
10	0,140	0,142	0,140	0,138	0,138	0,140	0,001	1,07
15	0,142	0,145	0,137	0,137	0,137	0,140	0,003	2,38
20	0,140	0,143	0,139	0,138	0,137	0,139	0,002	1,48
25	0,139	0,142	0,137	0,136	0,136	0,138	0,002	1,65
30	0,139	0,143	0,140	0,141	0,141	0,140	0,002	1,40
35	0,138	0,141	0,141	0,139	0,137	0,139	0,002	1,15
40	0,135	0,137	0,139	0,139	0,139	0,138	0,002	1,16
45	0,132	0,139	0,139	0,139	0,140	0,138	0,003	2,12

Таблица 4.7 – Толщина хлебной массы валка от угла положения пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности

Угол положения подбирающей поверхности пальца, град.	Толщина хлебной массы валка, м							
	повторность опыта					статистические характеристики		
	1	2	3	4	5	\bar{x}	σ	$\nu, \%$
0	0,096	0,094	0,095	0,095	0,094	0,095	0,001	0,79
10	0,095	0,096	0,095	0,091	0,093	0,094	0,002	1,09
15	0,099	0,10	0,10	0,099	0,098	0,099	0,001	0,75
20	0,10	0,10	0,10	0,098	0,10	0,100	0,001	0,80
25	0,10	0,11	0,11	0,099	0,10	0,104	0,004	4,05
30	0,094	0,097	0,095	0,099	0,096	0,096	0,002	1,79
35	0,093	0,097	0,095	0,094	0,092	0,094	0,002	1,83
40	0,093	0,095	0,094	0,092	0,093	0,093	0,001	1,09
45	0,094	0,094	0,094	0,093	0,092	0,093	0,001	0,86

На основании данных таблиц 4.5 – 4.7 была построена гистограмма, показывающая изменение толщины валка хлебной массы от угла положения подбирающей поверхности пружинного пальца. Данная гистограмма приведена на рисунке 4.11.

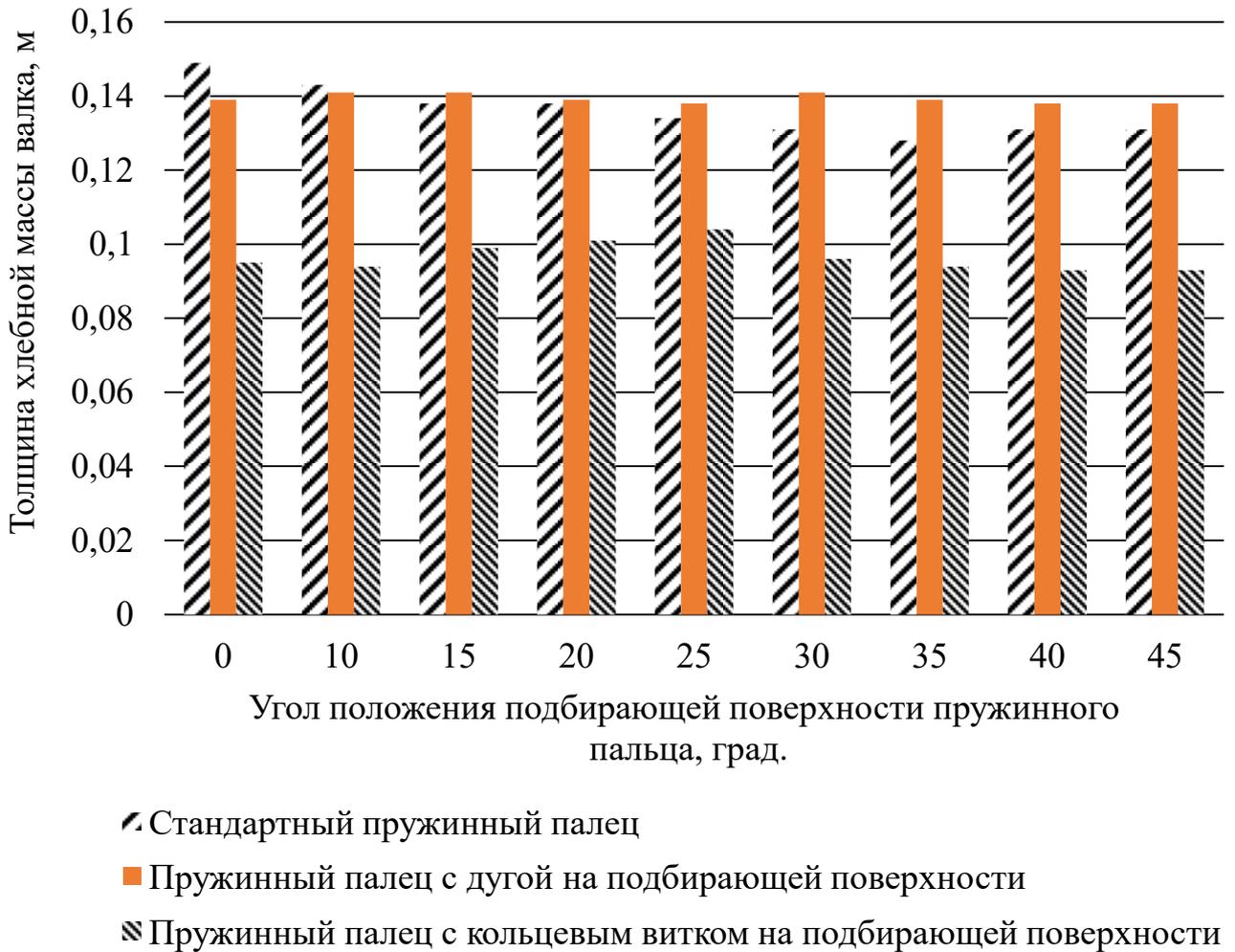


Рисунок 4.11 – Гистограмма изменения толщины хлебной массы валка в зависимости от угла положения подбирающей поверхности пружинного пальца

Из анализа полученных результатов следует, что использование пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности позволяет уплотнить хлебную массу по сравнению со стандартными пружинными пальцами на 20,0 – 30,0 %, то есть, практически в 0,71 раза.

Таким образом, использование подбирающего пальца, выполненного с кольцевым витком на подбирающей поверхности, позволяет быстрее уплотнять хлебную массу валка и тем самым уменьшить вероятность образования потерь зерна при подборе хлебной массы валка.

4.4 Результаты полнофакторного эксперимента по определению рациональных геометрических параметров пружинного пальца транспортерного подборщика

В соответствии с программой экспериментальных исследований был реализован полнофакторный эксперимент. Повторность опытов была принята трехкратной. В качестве подбираемого материала использовалась пшеница Челябинская 2.

Исходя из проведения лабораторных опытов, на транспортере лабораторной установки устанавливались стандартные пружинные пальцы и с различными геометрическими конфигурациями подбирающей поверхности, которые были приняты в виде образованной дуги и кольцевого витка.

В качестве факторов, в большей степени влияющих на отклик, были выбраны: масса одного погонного метра (m , кг/пог. м), высота расположения вала хлебной массы на стерне (h , м), угол наклона транспортерной ленты подборщика к горизонтальной плоскости (γ , град.), Интервалы и уровни варьирования факторов представлены в таблице 3.4 (глава 3 «Методика экспериментальных исследований», страница 80).

Опыты проводились в соответствии с матрицей планирования эксперимента (таблица 3.5). Результаты экспериментов приведены в таблицах Приложения 4

В соответствии с методикой обработки результатов полнофакторного эксперимента [54, 87, 133] по каждому опыту рассчитана построчная дисперсия и вычислено значение критерия Кохрена. Расчетные и табличные значения критерия Кохрена приведены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Расчетные и табличные значения критерия Кохрена

Стандартный пружинный палец		Пружинный палец с дугой на подбирающей поверхности		Пружинный палец с кольцевым витком на подбирающей поверхности	
Расчетное значение критерия Кохрена	Табличное значение критерия Кохрена	Расчетное значение критерия Кохрена	Табличное значение критерия Кохрена	Расчетное значение критерия Кохрена	Табличное значение критерия Кохрена
0,2710	0,3218	0,1247	0,3218	0,2633	0,3218

На основании таблицы 4.8 и условия воспроизводимости опыта ($G_{\max\text{расч}} \leq G_{\max\text{табл}}$) можно принять гипотезу о воспроизводимости экспериментов.

На основе расширенных матриц эксперимента (Приложение 4) были произведены расчеты коэффициентов уравнения регрессии, по формулам главы 3 (3.6), (3.7), (3.8) и (3.9) для стандартного пружинного пальца, для пружинного пальца с дугой на подбирающей поверхности и пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности. Полученные результаты сведены в Приложение 5.

Тогда математическая модель процесса взаимодействия подбирающих поверхностей пружинных пальцев с хлебной массой валка выразится следующими уравнениями:

1) Для стандартного пружинного пальца уравнение регрессии примет следующий вид:

$$Y = 18,238 + 1,441 \cdot x_1 + 0,563 \cdot x_2 + 0,621 \cdot x_3 - 0,684 \cdot x_1^2 - 0,558 \cdot x_2^2 - 0,315 \cdot x_3^2 + 0,034 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,08 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,016 \cdot x_2 \cdot x_3. \quad (4.1)$$

2) Для пружинного пальца с дугой на подбирающей поверхности уравнение регрессии примет следующий вид:

$$Y = 14,735 + 1,273 \cdot x_1 - 0,513 \cdot x_2 + 0,336 \cdot x_3 + 0,339x_1^2 - 0,442 \cdot x_2^2 - 0,254 \cdot x_3^2 - 0,022 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,017 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,072 \cdot x_2 \cdot x_3. \quad (4.2)$$

3) Для пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности уравнение регрессии примет следующий вид:

$$Y = 11,198 + 0,914 \cdot x_1 + 0,292 \cdot x_2 + 0,217 \cdot x_3 + 0,371 \cdot x_1^2 - 0,243 \cdot x_2^2 - 0,461 \cdot x_3^2 + 0,021 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,032 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,039 \cdot x_2 \cdot x_3. \quad (4.3)$$

Для оценки значимости коэффициентов регрессии по формулам (3.14), (3.15), (3.16), (3.17) и (3.18) (раздел 3.3 «Методика проведения полнофакторного эксперимента» страница 84) были определены их доверительные интервалы, которые представлены в таблицах 4.9 – 4.11.

Таблица 4.9 – Результаты расчета доверительных интервалов для коэффициентов регрессии

(стандартный пружинного палец)

Значение дисперсии коэффициентов регрессии	Значение t-критерия Стьюдента	Значение доверительного интервала
$S_{a_0}^2 = 0,06$	$t_{0,05} = 0,204$	$\Delta a_0 = \pm 0,06$
$S_{a_i}^2 = 0,01$	$t_{0,05} = 0,204$	$\Delta a_0 = \pm 0,01$
$S_{a_{ij}}^2 = 0,01$	$t_{0,05} = 0,204$	$\Delta a_0 = \pm 0,01$
$S_{a_{ii}}^2 = 0,02$	$t_{0,05} = 0,204$	$\Delta a_0 = \pm 0,02$

Таблица 4.10 – Результаты расчета доверительных интервалов для коэффициентов регрессии

(пружинный палец с дугой на подбирающей поверхности)

Значение дисперсии коэффициентов регрессии	Значение t-критерия Стьюдента	Значение доверительного интервала
$S_{a_0}^2 = 0,160$	$t_{0,05} = 0,204$	$\Delta a_0 = \pm 0,160$
$S_{a_i}^2 = 0,018$	$t_{0,05} = 0,204$	$\Delta a_0 = \pm 0,018$
$S_{a_{ij}}^2 = 0,025$	$t_{0,05} = 0,204$	$\Delta a_0 = \pm 0,025$
$S_{a_{ii}}^2 = 0,046$	$t_{0,05} = 0,204$	$\Delta a_0 = \pm 0,046$

Таблица 4.11 – Результаты расчета доверительных интервалов для коэффициентов регрессии

(пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности)

Значение дисперсии коэффициентов регрессии	Значение t-критерия Стьюдента	Значение доверительного интервала
$S_{a_0}^2 = 0,228$	$t_{0,05} = 0,204$	$\Delta a_0 = \pm 0,228$
$S_{a_i}^2 = 0,026$	$t_{0,05} = 0,204$	$\Delta a_0 = \pm 0,026$
$S_{a_{ij}}^2 = 0,036$	$t_{0,05} = 0,204$	$\Delta a_0 = \pm 0,036$
$S_{a_{ii}}^2 = 0,065$	$t_{0,05} = 0,204$	$\Delta a_0 = \pm 0,065$

Сравнение значений коэффициентов полученных уравнений регрессий со значениями их доверительных интервалов показало, что незначимыми для стандартного пружинного пальца являются следующие коэффициенты:

$$a_{12} = 0,034; a_{13} = -0,08; a_{23} = -0,016.$$

Для пружинного пальца с дугой на подбирающих поверхностях незначительными факторами являются следующие:

$$a_{12} = -0,022; a_{13} = 0,017; a_{23} = 0,072.$$

Для пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности незначительными факторами являются следующие:

$$a_{12} = 0,021; a_{13} = 0,032; a_{23} = -0,039.$$

Исключив незначимые факторы, окончательно запишем уравнения регрессии следующим образом:

1) для стандартного подбирающего пальца

$$Y = 18,238 + 1,44X_1 + 0,563X_2 + 0,621X_3 - 0,684X_1^2 - 0,558X_2^2 - 0,315X_3^2. \quad (4.4)$$

2) для пружинного пальца с дугой на подбирающей поверхности

$$Y = 14,735 + 1,273X_1 - 0,513X_2 + 0,336X_3 + 0,339X_1^2 - 0,442X_2^2 - 0,254X_3^2. \quad (4.5)$$

3) для пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности

$$Y = 11,198 + 0,914X_1 + 0,292X_2 + 0,217X_3 + 0,371X_1^2 - 0,243X_2^2 - 0,461X_3^2. \quad (4.6)$$

Для проверки адекватности полученных моделей по формуле (3.20) и формуле (3.21) раздела 3.3 «Методика проведения полнофакторного эксперимента» получены расчетные значения F-критерия Фишера, которые приведены в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Расчетные значения F-критерия Фишера

Стандартный пружинный палец	Пружинный палец с дугой на подбирающей поверхности	Пружинный палец с кольцевым витком на подбирающей поверхности
$S_{\text{неад}}^2 = 0,287$	$S_{\text{неад}}^2 = 1,188$	$S_{\text{неад}}^2 = 1,708$
$F_{\text{расч}} = 1,25$	$F_{\text{расч}} = 1,98$	$F_{\text{расч}} = 2$

Табличное значение критерия Фишера для стандартного пальца и экспериментальных пальцев, при количестве степеней свободы: $\nu_1 = N - C = 15 - 8 = 7$ и $\nu_2 = N(m - 1) = 15 \cdot 2 = 30$ составляет $F_{\text{табл}} = 2,64$, что больше расчетных. Таким образом, учитывая условие $F_{\text{расч}} \leq F_{\text{табл}}$, гипотезу об адекватности моделей можно принять. Это говорит о том, что полученные модели с точностью не менее 95% описывают характер влияния факторов на отклик.

Далее уравнения регрессии (4.4) – (4.6) были обработаны в пакете программ Maple 13 с использованием пакета Optimization и команды Minimize, что позволило определить значения факторов, обеспечивающих оптимальное (минимальное) значение потерь зерна (ψ_{cp}) (Приложение 6).

Минимальное значение потерь зерна (ψ_{cp}) получено для стандартного пружинного пальца при значении факторов $x_1 = -1$; $x_2 = -1$; $x_3 = -1$. При данном сочетании факторов значение потерь зерна (ψ_{cp}) составляет 0,01405 кг.

Минимальное значение потерь зерна (ψ_{cp}) получено для пружинного пальца с образованной дугой на подбирающих поверхностях при значении факторов $x_1 = -1$; $x_2 = 1$; $x_3 = -1$. При данном сочетании факторов значение потерь зерна (ψ_{cp}) составляет 0,01225 кг.

Минимальное значение потерь зерна (ψ_{cp}) получено для пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности при значении факторов $x_1 = -1$; $x_2 = -1$; $x_3 = -1$. При данном сочетании факторов значение потерь зерна (ψ_{cp}) составляет 0,0944 кг.

В результате обработки минимального значения потерь зерна (ψ_{cp}) определено, что оно за стандартным подбирающим пальцем составляет 0,01405 кг. При этом получено минимальное значение потерь зерна (ψ_{cp}) в количестве 0,0944 кг для пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности, что, в среднем, в 1,3 раза меньше, чем за стандартным пружинным пальцем и в 0,18 раза меньше, чем за пружинным пальцем с дугой на подбирающей поверхности.

Для использования уравнений (4.4) – (4.6) в инженерно-проектных расчетах запишем их в раскодированной форме, заменив в нем кодовое значение факторов x_1, x_2, x_3 , на натуральные переменные по следующим формулам:

$$x_1 = \frac{m - 4.5}{1.5}; x_2 = \frac{\gamma - 5}{5}; x_3 = \frac{h - 8}{2}. \quad (4.7)$$

В итоге уравнения (4.4) – (4.6) в раскодированном виде можно представить следующим образом:

1) для стандартного пальца

$$\psi_{cp} = 16,979 + 0,96 \cdot m + 0,112 \cdot \gamma + 0,31 \cdot h - 0,207 \cdot m^2 - 0,012 \cdot \gamma^2 - 0,024 \cdot h^2; \quad (4.8)$$

2) для пружинного пальца с дугой на подбирающих поверхностях

$$\psi_{cp} = 10,278 + 0,848 \cdot m - 0,102 \cdot \gamma + 0,168 \cdot h + 0,051 \cdot m^2 - 0,007 \cdot \gamma^2 - 0,016 \cdot h^2; \quad (4.9)$$

4) для пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности

$$\psi_{cp} = 9,517 + 0,609 \cdot m + 0,058 \cdot \gamma + 0,108 \cdot h + 0,061 \cdot m^2 - 0,002 \cdot \gamma^2 - 0,053 \cdot h^2. \quad (4.10)$$

где m – масса одного погонного метра, кг/пог. м;

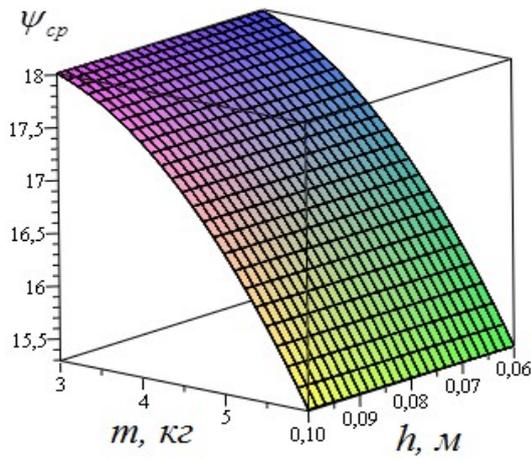
γ – угол наклона транспортерной ленты подборщика к горизонтальной плоскости, град.

h – высота расположения хлебной массы валка на стерне, м;

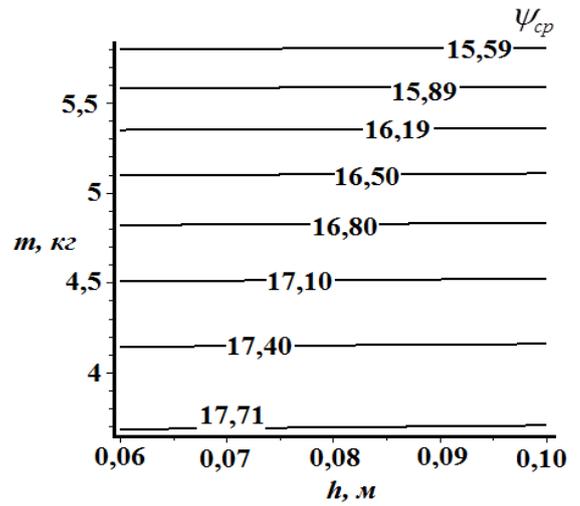
Полученные уравнения регрессии в раскодированном виде позволили построить поверхности откликов критерия оптимизации – потерь зерна (ψ_{cp}) от факторов ($m; h; \gamma$), то есть $\psi_{cp} = f(m, h, \gamma)$, что отображено на рисунках 4.13 – 4.21.

Для построения поверхностей отклика критерия оптимизации от факторов использовались средства пакета программ Maple 13. (Приложение 7).

Для стандартного пружинного пальца поверхности отклика критерия оптимизации и контурные графики поверхностей на плоскость имеют следующий вид (рисунок 4.13 – 4.15):

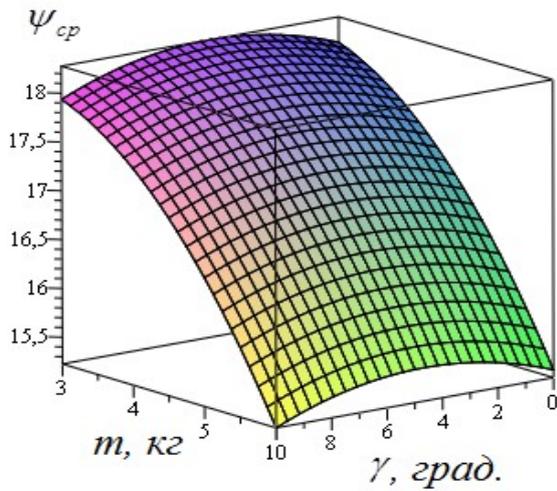


а)

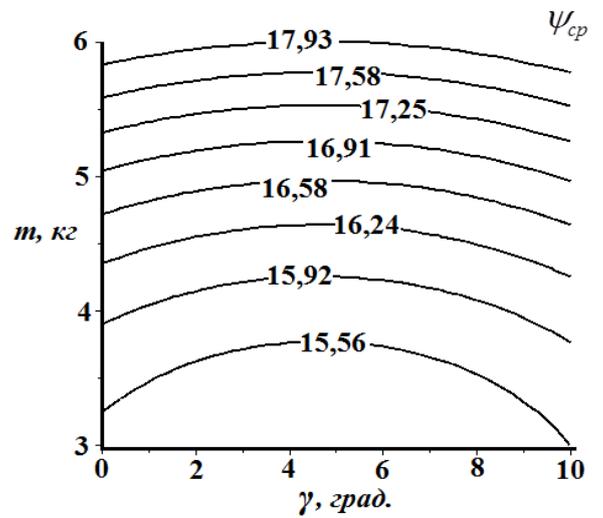


б)

Рисунок 4.13 – Поверхность отклика критерия оптимизации потерь зерна ($\Psi_{ср}$) от факторов: массы одного погонного метра (m) и высоты расположения хлебной массы валка на стерне (h) – (а); контурный график – (б)

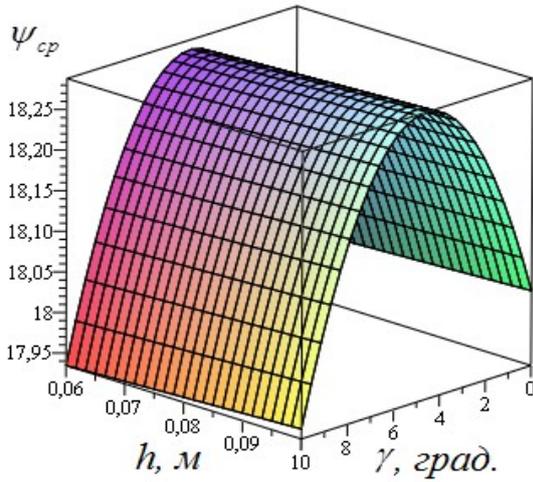


а)

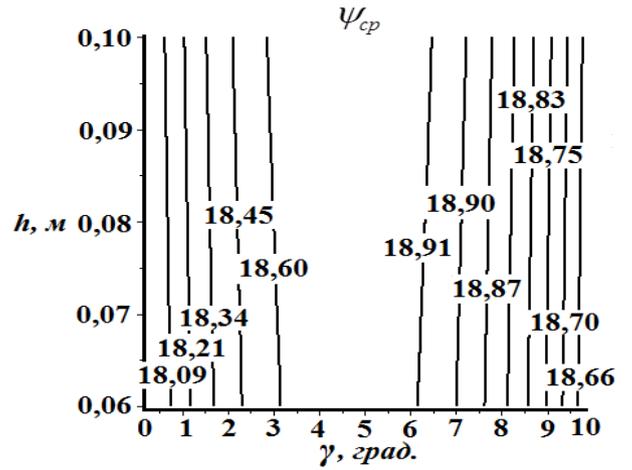


б)

Рисунок 4.14 – Поверхность отклика критерия оптимизации потерь зерна ($\Psi_{ср}$) от факторов: массы одного погонного метра (m) и угла наклона транспортной ленты подборщика к горизонтальной плоскости (γ) – (а); контурный график – (б)



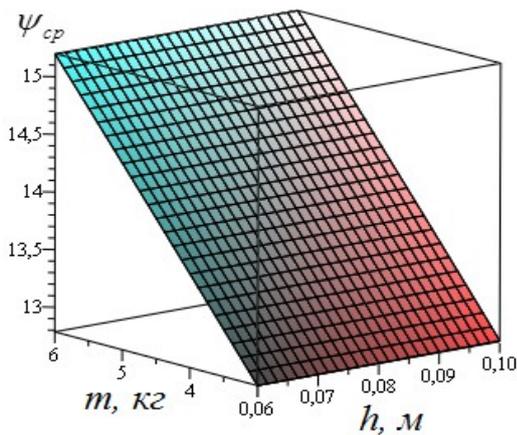
а)



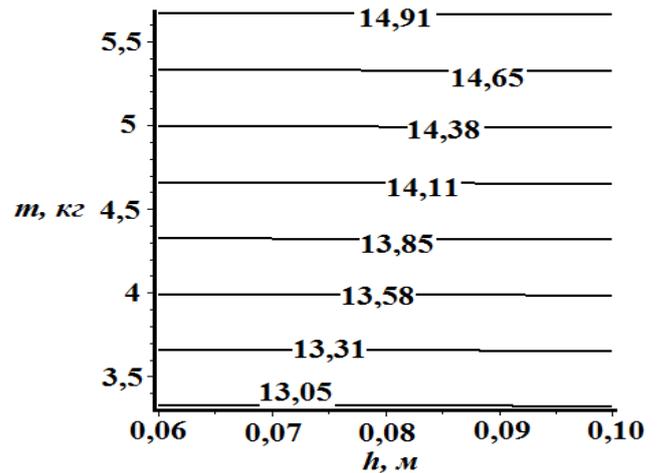
б)

Рисунок 4.15 – Поверхность отклика критерия оптимизации потерь зерна (ψ_{cp}) от факторов: высоты расположения хлебной массы валка на стерне (h) и угла наклона транспортной ленты подборщика к горизонтальной плоскости (γ) – (а); контурный график – (б)

Для пружинного пальца с дугой на подбирающей поверхности поверхности отклика и проекции данных поверхностей на плоскость имеют следующий вид (рисунок 4.16 – 4.18):

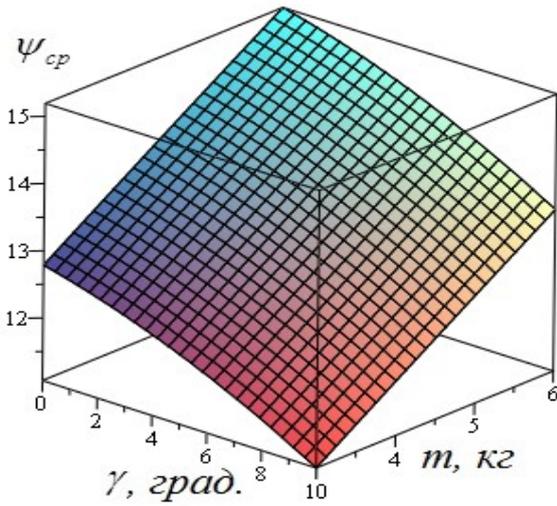


а)

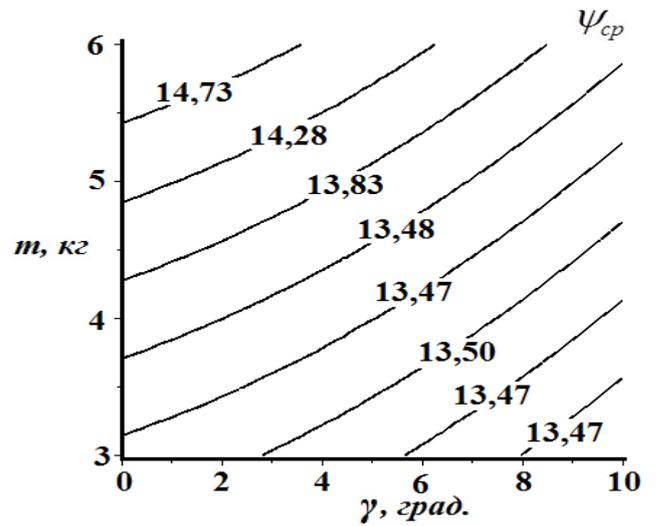


б)

Рисунок 4.16 Поверхность отклика критерия оптимизации потерь зерна (ψ_{cp}) от факторов: массы одного погонного метра (m) и высоты расположения хлебной массы валка на стерне (h) – (а); контурный график – (б)

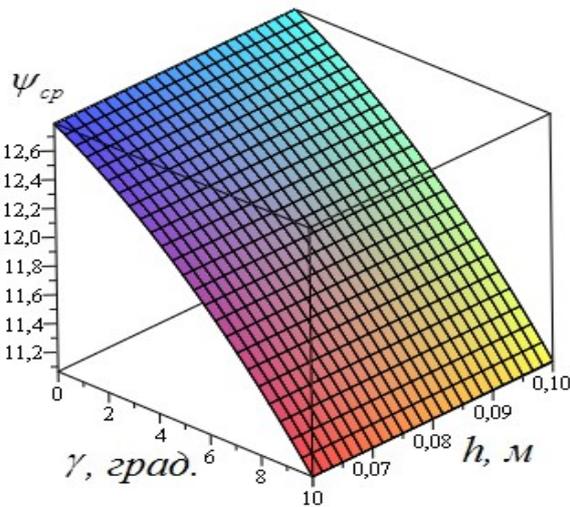


а)

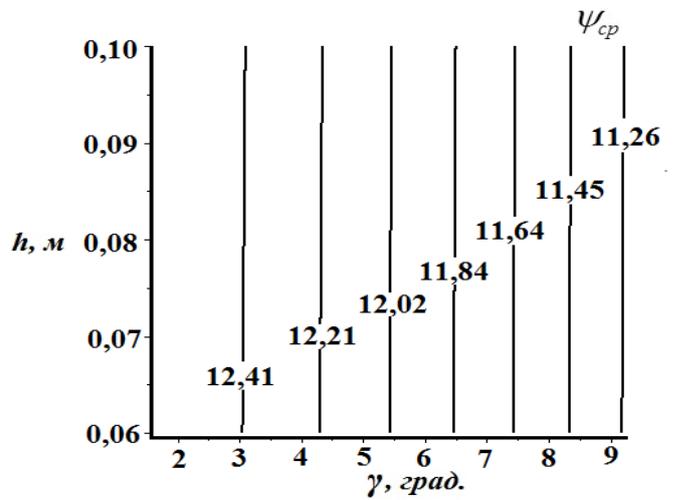


б)

Рисунок 4.17 – Поверхность отклика критерия оптимизации потерь зерна (ψ_{cp}) от факторов: массы одного погонного метра (m) и угла наклона транспортной ленты подборщика к горизонтальной плоскости (γ) – (а); контурный график – (б)



а)



б)

Рисунок 4.18 – Поверхность отклика критерия оптимизации потерь зерна (ψ_{cp}) от факторов: высоты расположения хлебной массы вала на стерне (h) и угла наклона транспортной ленты подборщика к горизонтальной плоскости (γ) – (а); контурный график – (б)

Для пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности, поверхности отклика и проекции данных поверхностей на плоскость имеют следующий вид (рисунок 4.19 – 4.21):

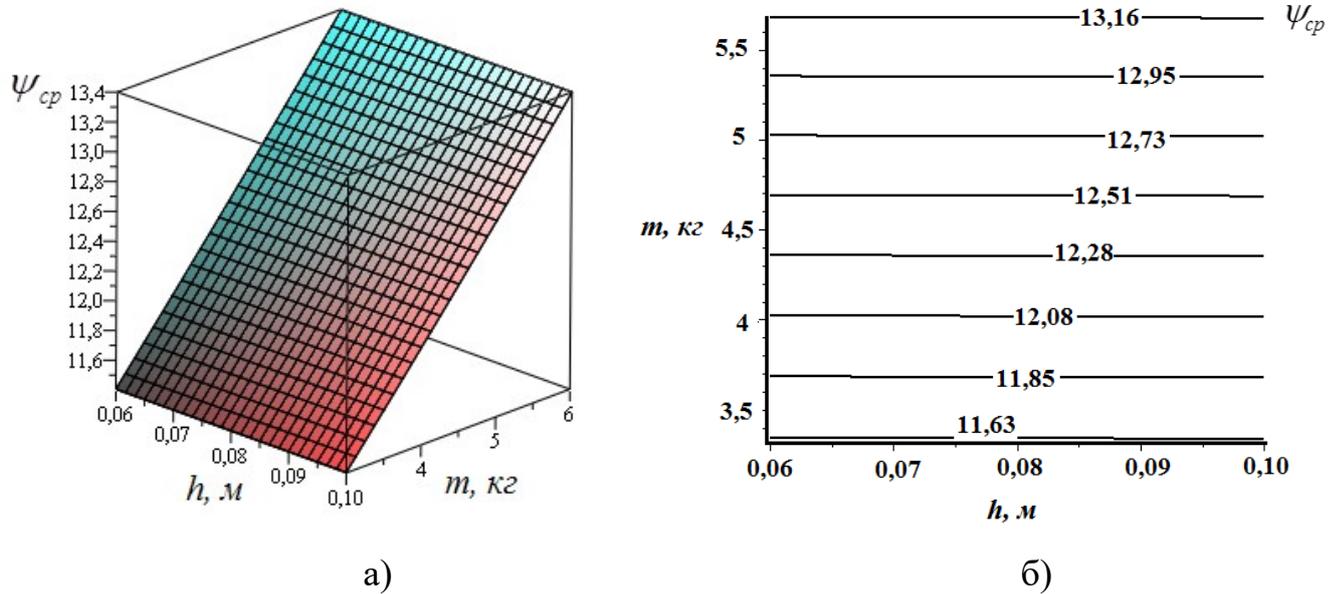


Рисунок 4.19 – Поверхность отклика критерия оптимизации потерь зерна (ψ_{cp}) от факторов: массы одного погонного метра (m) и высоты расположения хлебной массы валка на стерне (h) – (а); контурный график – (б)

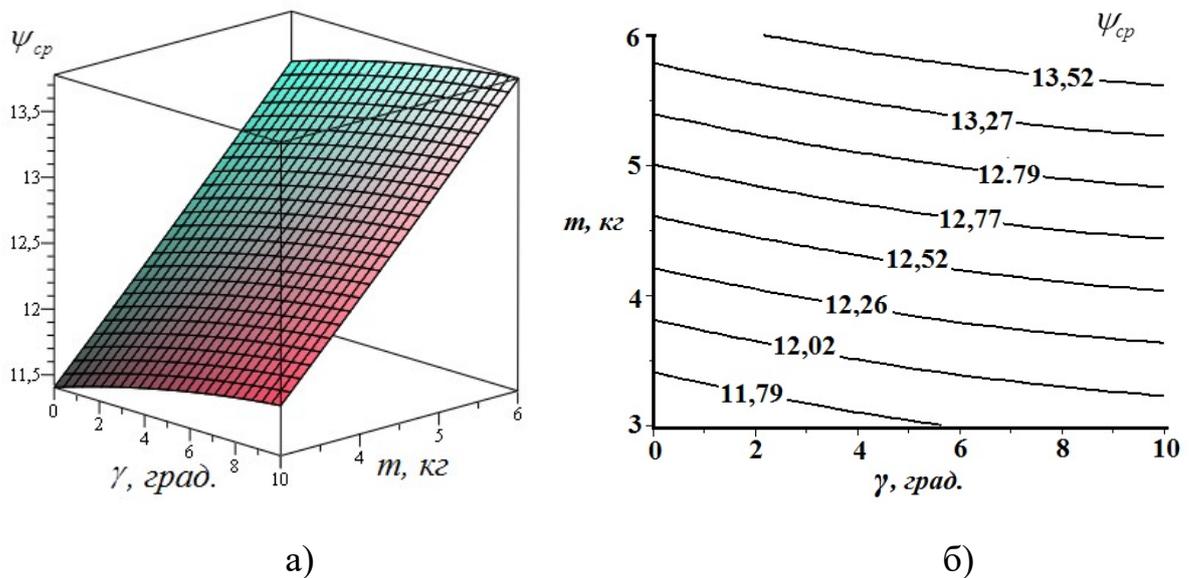


Рисунок 4.20 – Поверхность отклика критерия оптимизации потерь зерна (ψ_{cp}) от факторов: массы одного погонного метра (m) и угла наклона транспортной ленты подборщика к горизонтальной плоскости (γ) – (а); контурный график – (б)

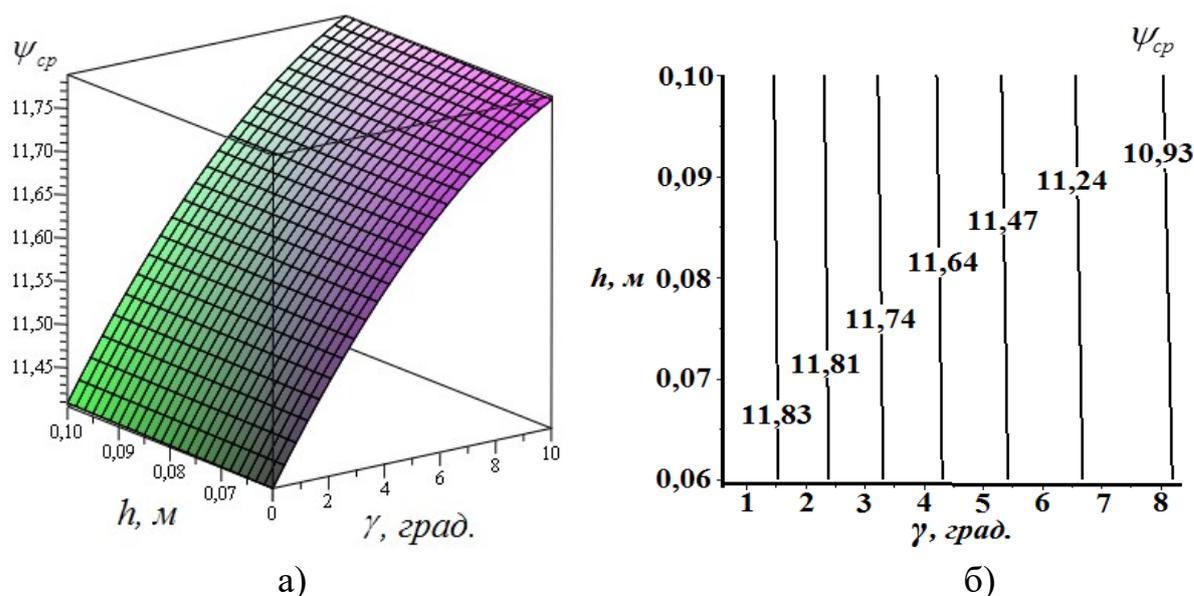


Рисунок 4.21 – Поверхность отклика критерия оптимизации потерь зерна ($\psi_{ср}$) от факторов: высоты расположения хлебной массы вала на стерне (h) и угла наклона транспортной ленты подборщика к горизонтальной плоскости (γ) – (а); контурный график – (б)

Исследованиями на лабораторной установке определено, что минимальные потери зерна при подборе хлебной массы вала обеспечивают пружинные пальцы с кольцевым витком на подбирающей поверхности (потери зерна снижаются на 32,0 % в сравнении со стандартным (серийным) пальцем и на 19,0 % в сравнении с пружинным пальцем с дугой на подбирающей поверхности), что так же подтверждает графическая интерпретация полученных регрессионных моделей.

4.5 Результаты производственных испытаний транспортерного подборщика, оснащенного пружинными пальцами с кольцевым витком на подбирающей поверхности

Опыты по определению потерь зерна за транспортерным подборщиком зерноуборочного комбайна «ACROS-530» проводились в производственных условиях ООО «Светлогорское зерно», Агаповского района, Челябинской области.

Зерноуборочный комбайн «ACROS-530», оснащенный транспортерным

подборщиком, на котором были установлены стандартные (серийные) пружинные пальцы и экспериментальные, подбирал валки хлебной массы на контрольных участках с различными скоростными режимами работы.

После подбора хлебной массы контрольных участков валков, сформированных жатвенным агрегатом МТЗ-80+ЖВП-9.1, определялись потери зерна за подборщиком в технологических зонах транспортера, где были установлены стандартные и экспериментальные пружинные пальцы (рисунок 4.22)



Рисунок 4.22 – Определение потерь зерна за транспортерным подборщиком при подборе хлебной массы контрольных участков валка

Результаты производственной проверки в ООО «Светлогорское зерно», Агаповского района, Челябинской области подбора и обмолота хлебной массы валков комбайном «ACROS-530», оснащенным подборщиком стандартными и экспериментальными пальцами приведены в таблице 4.13 и в Приложении 8.

Таблица 4.13 – Потери зерна за подборщиком комбайна «ACROS-530», кг/га

Место испытания: ООО «Светлогорское зерно», Агаповского района, Челябинской области						
Культура: пшеница Челябинская 2, Урожайность 17,0 – 19,7 ц/га						
Дата 24.08.2015 г. – 10.09.2015 г.						
Рабочая скорость комбайна, м/с (км/ч)	Стандартный пружинный палец			Экспериментальный пружинный палец		
	\bar{x}	σ	$\nu, \%$	\bar{x}	σ	$\nu, \%$
1,0 (3,6)	20,82	5,58	26,81	14,92	3,49	23,38
1,5 (5,4)	21,48	2,44	11,37	16,20	1,60	9,85
2,0 (7,2)	21,88	3,77	17,22	17,38	3,20	18,40
Итого в среднем	21,39	4,03	18,84	16,16	2,76	17,07

На основании данных таблицы 4.13 была построена гистограмма потерь зерна от применения стандартных пружинных пальцев и пружинных пальцев с кольцевым витком на подбирающей поверхности, которая приведена на рисунке 4.23.

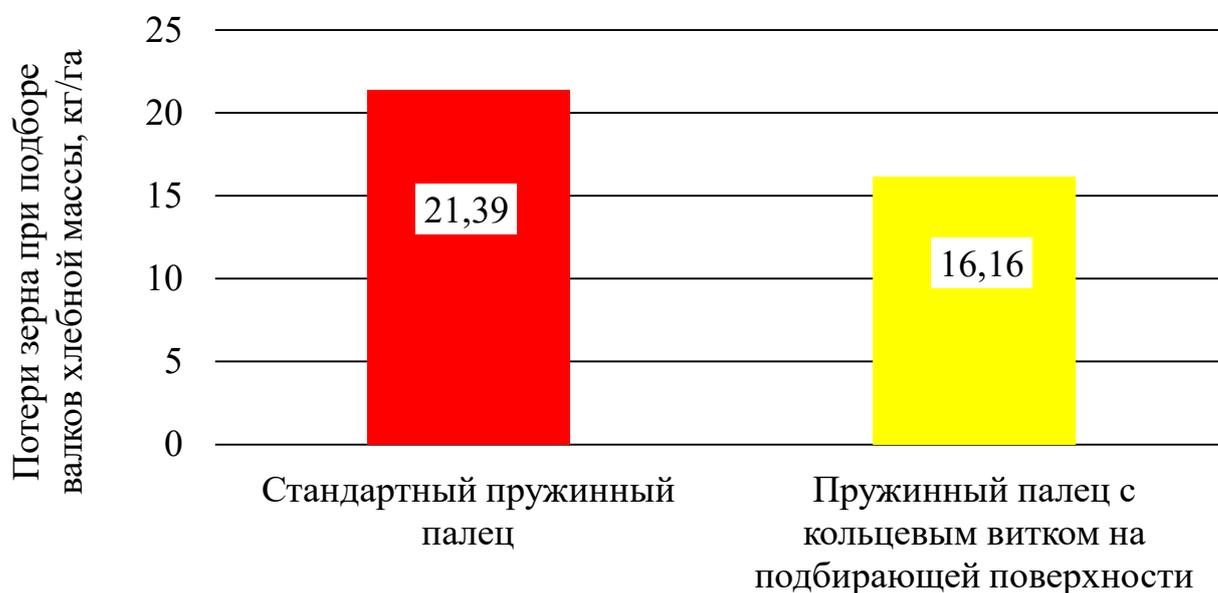


Рисунок 4.23 – Потери зерна при подборе валка хлебной массы подборщиком зерноуборочного комбайна «ACROS-530»

Агротехническая оценка потерь зерна за подборщиком комбайна «ACROS-530» показала, что с увеличением скорости движения машины возрастают потери зерна за подборщиком (находятся в агротехнических допустимых пределах – 0,5 %), независимо от типа пружинного пальца (таблица 4.13 и рисунок 4.23). При этом определено, что применение пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности обеспечивает снижение потерь зерна за подборщиком на 25,0 %, за счет более «мягкого» режима работы пружинных пальцев транспортера подборщика комбайна.

4.6 Оценка достоверности теоретической гипотезы работы

В производственных условиях проводились экспериментальные исследования, наблюдения за работой транспортерного подборщика зерноуборочного комбайна; при необходимости, вносились корректировки в скоростные ре-

жимы их движения при подборе хлебной массы валков.

В исследуемых хозяйствах Челябинской области был внедрен подбор хлебной массы транспортерным подборщиком с усовершенствованными пружинными пальцами. Результаты внедрения позволили снизить потери зерна за транспортерным подборщиком зерноуборочного комбайна. При этом наблюдалось повышение потерь зерна за транспортерным подборщиком зерноуборочного комбайна с повышением рабочей скорости движения машины в пределах агротехнических допустимых значений. Тем самым подтвердили правильность основных теоретических положений работы и позволили дать сравнительную оценку по потерям зерна за транспортерным подборщиком зерноуборочного комбайна.

4.6.1 Адекватность теоретических и экспериментальных данных

Погрешность обоснования возникает вследствие неточности исходной информации, а также в результате несоответствия теоретических предпосылок реальным взаимосвязям, имеющим место в практике использования транспортерных подборщиков зерноуборочного комбайна.

Правильность методического подхода в работе проверялась путем сопоставления теоретических и фактических данных.

Как видно из данных результатов исследования, основная исходная информация об объекте воздействия – хлебная масса валка (пшеница), была получена с погрешностью до 2,7 – 6,8 %, а ошибка функции (Ψ – потери зерна) находилась на уровне 7,3 – 10,2 %. Расхождения (15,8 – 21,8 %), полученные по потерям зерна за транспортерным подборщиком зерноуборочного комбайна объясняются, главным образом, имеющимся расхождением между теоретическими данными и фактическими по урожайности и влажности хлебной массы.

Небольшая величина расхождений свидетельствует об удовлетворительном соответствии принятых методических положений реальным взаимосвязям факторов процесса подбора хлебной массы валка транспортерным подборщиком зерноуборочного комбайна.

4.7 Выводы по главе

1. Определено, что при скашивании зерновых культур (пшеница Челябинская 2) урожайностью 1,7-2,0 т/га в степных районах региона Южного Урала (на примере ООО «Светлогорское зерно», Агаповского района, Челябинской области) прицепной жаткой ЖВП-9.1 мощность валка хлебной массы изменяется от 3,0 кг/пог.м до 7,5 кг/пог.м, что обеспечивает технологическую загрузку на 70,0 – 80,0 % зерноуборочного комбайна с пропускной способностью молотилки, равной 8,5 кг/с и выше (зерноуборочный комбайн «ACROS-530» и аналогичные зерноуборочные комбайны). При этом просвет валка хлебной массы с почвой составляет 0,146 – 0,158 м, то есть в момент скашивания валок хлебной массы находится во взвешенном состоянии на стерне. Полученные значения мощности валка хлебной массы в последующем используются в лабораторных исследованиях взаимодействия пружинного пальца с хлебной массой транспортерного подборщика зерноуборочного комбайна.

2. В результате лабораторных исследований взаимодействия пружинных пальцев с различной геометрией подбирающей поверхности (стандартные пальцы, пружинные пальцы с дугой на подбирающей поверхности, пружинные пальцы с кольцевым витком на подбирающей поверхности) установлено, что наиболее эффективным является пружинный палец с кольцевым витком на подбирающей поверхности, поскольку такая геометрия подбирающей поверхности пружинного пальца обеспечивает более «мягкий» режим подбора хлебной массы валка, а следовательно, и снижение потерь зерна при подборе хлебной массы валка.

3. В ходе лабораторных экспериментов установлено, что рациональными геометрическими параметрами кольцевого витка является наружный диаметр, равный 20 мм, а внутренний диаметр – 17 мм. При этом кольцевой виток должен быть расположен на расстоянии 50 мм от витков пружины пальца, то есть перед переходом на участок длиной 50 мм, который расположен под углом 170 градусов к горизонту.

4. Исследования взаимодействия пружинного пальца с хлебной массой свидетельствуют о том, что наличие кольцевого витка на подбирающей поверхно-

сти приводит к интенсификации процесса самоуплотнения хлебной массы во время её подъема со стерни. Так замеры толщины хлебной массы валка, в зависимости от угла положения подбирающей поверхности пружинного пальца относительно горизонтальной плоскости, показывают, что наличие кольцевого витка на подбирающей поверхности ускоряет уплотнение хлебной массы в 1,2-1,3 раза быстрее в сравнении со стандартными (серийными) пружинными пальцами.

5. В результате реализации полнофакторного эксперимента исследования взаимодействия пружинного пальца с различной геометрией подбирающей поверхности с хлебной массой получены регрессионные модели, описывающие связь между результирующим критерием – потери зерна (ψ_{cp}) и такими факторами, как масса одного погонного метра (m), угол наклона прямолинейного участка транспортера к горизонтальной плоскости (γ), высота расположения валка хлебной массы (h) на стерне. Из регрессионных моделей следует, что потери зерна (ψ_{cp}) при подборе хлебной массы зависят, прежде всего, от мощности хлебной массы валка, что согласуется с другими исследованиями. Кроме того, выявлено, что потери зерна при подборе хлебной массы валка изменяются в зависимости от геометрии подбирающей поверхности пружинного пальца. Посредством графической интерпретации регрессионных моделей установлено, что минимальные потери зерна при подборе хлебной массы обеспечивает пружинный палец с кольцевым витком на подбирающей поверхности.

6. Полевые испытания в производственных условиях транспортерного подборщика зерноуборочного комбайна «ACROS-530», оснащенного пружинными пальцами с наличием кольцевого витка на его подбирающей поверхности, показали снижение потерь зерна до 25,0 % при подборе валков хлебной массы в зависимости от выбранной скорости подбора хлебной массы валка. При этом обеспечивается более «мягкий» режим работы транспортерного подборщика, поскольку за счет наличия кольцевого витка на подбирающей поверхности увеличивается площадь контакта пружинных пальцев с хлебной массой, что дает возможность снизить обороты вращения вала привода транспортера подборщика зерноуборочного комбайна.

ГЛАВА 5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экономическую эффективность новых технологий и техники устанавливают путем оценки размера экономического эффекта по новому варианту в сравнении с базовым.

Согласно ГОСТ Р 53056-2008 «Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки» [37], если новая машина предназначена для замены конкретной другой машины, то экономическая оценка проводится в сравнении с заменяемой машиной. В качестве базы сравнения принят стандартный пружинный подбирающий палец транспортерного подборщика РСМ-10.08.07.601.

5.1 Расчет экономической эффективности

Годовой экономический эффект новой техники (изобретений и рационализаторских предложений) представляет собой суммарную экономию всех производственных ресурсов (живого труда, материалов и других вложений), которую получает народное хозяйство в результате производства и использования новой техники, и которая, в конечном счете, выражается в увеличении национального дохода и уменьшении потерь зерна при подборе валков зерновых культур. На сегодняшний день эти потери зерна составляют до 20 %. Предварительные исследования показали, что транспортерный подборщик, оснащенный пружинными пальцами с кольцевым витком на подбирающей поверхности, сократит потери зерна на 15 % относительно существующих пружинных пальцев как агротехнических допустимых, хотя по агротехническим требованиям они должны быть не более 0,5 %. [37]

В качестве базы для сравнения используем комбайн «ACROS-530» с существующим транспортерным подборщиком, снабженный стандартными пружинными пальцами.

В качестве ожидаемого эффекта предполагается уменьшение потерь зерна при подборе, что даст дополнительные тонны зерна на рынок.

Обозначим все показатели базового варианта транспортерного подборщика индексом – б, для транспортерного подборщика, оснащенного пружинными пальцами с кольцевым витком на подбирающей поверхности, все индексы будут – п.

Годовой экономический эффект от применения транспортерного подборщика валка хлебной массы, снабженного пружинными подбирающими пальцами с кольцевым витком на подбирающей поверхности, определяют по формуле:

$$\mathcal{E}_Г = (I_Б - I_П) \cdot W_{СЕЗ} + \Delta Д, \quad (5.1)$$

где $I_Б, I_П$ – эксплуатационные затраты для базового и проектируемого варианта, руб./га;

$W_{СЕЗ}$ – производительность комбайна за сезон, га/сезон;

$\Delta Д$ – сезонный доход, руб./сезон.

Сезонный доход с одного комбайна с транспортерным подборщиком, оснащенным пружинными пальцами с кольцевым витком на подбирающей поверхности:

$$\Delta Д = W_{СЕЗ} \cdot Y_{СР} \cdot 0,15 \cdot Ц, \quad (5.2)$$

где $Y_{СР}$ – средняя урожайность, $Y_{СР} = 1,6$ т/га;

0,15 – снижение потерь зерна при подборе валков хлебной массы, 15%;

$Ц$ – закупочная цена на зерно 3-го класса, $Ц = 9500$ руб. / т [8].

Срок окупаемости капитальных вложений определится по следующему уравнению:

$$T = \frac{\Delta K}{\mathcal{E}_Г} \leq T_H, \quad (5.3)$$

где T – срок окупаемости капитальных вложений, лет;

ΔK – капиталовложения, руб.;

T_H – нормативный срок окупаемости капитальных вложений.

Капиталовложения определяются следующим выражением:

$$\Delta K = C_{ПР} + C_{ИЗГ} + C_{ПРОЧ}, \quad (5.4)$$

где $C_{ПР}$ – затраты на приобретение материала и оборудования, руб.;

$C_{изг}$ – затраты на изготовление деталей, руб.;

$C_{проч}$ – затраты на прочие расходы (транспортные, накладные), руб.

Прочие затраты составляют 20,0 % от суммы затрат на приобретение материала и изготовление деталей и определяются по формуле (5.5):

$$C_{проч} = 0,2 \cdot (C_{пр} + C_{изг}). \quad (5.5)$$

Затраты на приобретение материала и оборудования, на изготовление, сборку и монтаж, накладные расходы – представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 - Смета затрат на приобретение материала и оборудования

Наименование материала, детали	Количество	Цена за единицу с НДС; руб./шт.	Сумма, руб.
Проволока Б-3-3 ГОСТ 9389-75, кг	250	60	15000
Итого			15000
Дополнительные расходы:			
Снабженческие (15%)			2250
Транспортные (8-11%)			1200
Затраты на изготовление, сборку и монтаж (~ 45%)			6750
Всего:			25200

Часовую производительность зерноуборочного комбайна можно рассчитать по следующей формуле:

$$W_q = 0,1 \cdot B_p \cdot V_{зук}, \quad (5.6)$$

где B_p – межвалковое расстояние, $B_p = 9$ м, $B_p = 18$ м [18];

$V_{зук}$ – скорость движения зерноуборочного комбайна, $V_{зук} = 5,0$ км/ч [95];

Так как основные параметры работы зерноуборочного комбайна с базовым транспортерным подборщиком и транспортерным подборщиком, оснащённым пружинными пальцами с кольцевым витком на подбирающих поверхностях, будут одинаковы, производительность часовая, сменная, сезонная, трудоемкость и энергоёмкость процесса, затраты на заработную плату и ТСМ будут одинаковы для обоих вариантов.

Определим сменную производительность зерноуборочного комбайна, которая выразится выражением (5.7):

$$W_{CM} = W_{\text{ч}} \cdot t_{CM} \cdot E_{CM}, \quad (5.7)$$

где t_{CM} – время смены, $t_{CM} = 10$ часов [39];

E_{CM} – коэффициент использования времени смены, $E_{CM} = 0,65-0,7$ [93].

Сезонная производительность зерноуборочного комбайна определяется следующим выражением:

$$W_{CEZ} = W_{CM} \cdot 40, \quad (5.8)$$

где 40 – количество смен за сезон [97].

Трудоемкость процесса уборки зерновых культур определяется выражением (5.9):

$$ЗТ = \frac{P_{\text{У}} + P_{\text{ОБ}}}{W_{\text{ч}}}, \quad (5.9)$$

где $ЗТ$ – затраты труда, чел. ч/га [39, 65];

$P_{\text{У}}$ – количество рабочих, занятых управлением комбайна, $P_{\text{У}} = 1$ чел. [39];

$P_{\text{ОБ}}$ – количество рабочих, занятых обслуживанием комбайна, $P_{\text{ОБ}} = 1$ чел. [39].

Затраты на заработную плату с отчислениями определяется по выражению (5.10):

$$З_{\text{ПЛ}}^H = \frac{E_{\text{ЗПЛ}}^H \cdot C_T}{W_{\text{ч}}}, \quad (5.10)$$

где $E_{\text{ЗПЛ}}^H$ – коэффициент начислений на заработную плату;

C_T – часовая тарифная ставка механизатора соответствующего разряда, руб/ч;

Коэффициент начислений на заработную плату выразится уравнением (5.11):

$$З_{\text{ЗПЛ}}^H = K_H \cdot K_{\text{РЕГ}}, \quad (5.11)$$

где K_H – коэффициент, учитывающий социальный налог, $K_H = 1,26$ [39];

$K_{\text{РЕГ}}$ – региональный коэффициент (для Урала $K_{\text{РЕГ}} = 1,15$) [39].

Часовая тарифная ставка механизатора соответствующего разряда выразится выражением (5.12):

$$C_T = \frac{З_{\text{мин}} \cdot E_{\text{УТ}} \cdot E_P}{T_{\text{МЕС}}}, \quad (5.12)$$

где Z_{\min} – минимальный размер оплаты труда в РФ, $Z_{\min} = 6204$ руб./месяц [142];

E_{VT} – коэффициент, учитывающий условия труда механизатора, работающего на соответствующей марке зерноуборочного комбайна, $E_{VT} = 1,8$ [39, 65];

E_P – коэффициент, учитывающий разряд механизатора, $E_P = 2,047$ [65];

T_{MEC} – месячный часовой фонд рабочего времени, $T_{MEC} = 180$ ч [65].

Амортизационные отчисления определяются следующим образом:

$$A^{B,П} = \frac{B_{CЗУК} \cdot a_{ЗУК} \cdot E_{ЗЗУК} + B_{СП}^{B,П} \cdot a_{П}}{W_{CEЗ} \cdot 100}, \quad (5.13)$$

где $A^{B,П}$ – амортизационные отчисления зерноуборочного комбайна с базовым транспортерным подборщиком и транспортерным подборщиком, оснащенным пружинными пальцами с кольцевым витком на подбирающей поверхности, руб./га;

$B_{CЗУК}$ – балансовая цена зерноуборочного комбайна, руб.;

$a_{ЗУК}$ – норма амортизационных отчислений по комбайну, $a_{ЗУК} = 15,0\%$ [39, 65]

$E_{ЗЗУК}$ – коэффициент, учитывающий время загрузки зерноуборочного комбайна в работе с транспортерным подборщиком, $E_{ЗЗУК} = 0,7$ [39];

$B_{СП}^{B,П}$ – балансовая стоимость базового транспортерного подборщика и транспортерного подборщика, оснащенного пружинными пальцами с кольцевым витком на подбирающей поверхности, руб.;

$a_{П}$ – норма амортизационных отчислений по подборщику, $a_{П} = 14,0\%$ [65].

Балансовая цена зерноуборочного комбайна находится по выражению (5.14):

$$B_{CЗУК} = O_{ЦЗУК} \cdot E_C^H, \quad (5.14)$$

где $O_{ЦЗУК}$ – оптовая цена зерноуборочного комбайна, руб., $O_{ЦЗУК} = 4900000$ руб. (стоимость комбайна на балансе хозяйства в ценах за 2010 г) [53];

E_C^H – наценка снабженческой организации, $E_C^H = 25,0\%$.

Балансовая цена базового транспортерного подборщика определится выражением (5.15):

$$B_{СП}^B = O_{ЦП} \cdot E_C^H, \quad (5.15)$$

где $O_{ЦП}$ – оптовая цена транспортерного подборщика, руб., $O_{ЦП} = 288750$ руб. (стоимость подборщика на балансе хозяйства в ценах за 2010 г);

E_C^H – наценка снабженческой организации, $E_C^H = 25,0$ %.

Затраты на техническое обслуживание, ремонт и хранение вычисляются следующим образом:

$$Z_{ТОРХ}^{Б,П} = \frac{B_{СЗУК} \cdot \delta_{ЗУК} \cdot E_{ЗЗУК} + B_{СП}^{Б,П} \cdot \delta_{П}}{W_{СЕЗ} \cdot 100}, \quad (5.16)$$

где $Z_{ТОРХ}^{Б,П}$ – отчисления на ТОРХ зерноуборочного комбайна с базовым транспортерным подборщиком и транспортерным подборщиком, оснащённым пружинными пальцами с кольцевым витком на подбирающей поверхности, руб.;

$\delta_{ЗУК}$ – норма отчислений на ТОРХ зерноуборочного комбайна, $\delta_{ЗУК} = 12,0$ %;

$\delta_{П}$ – норма отчислений на ТОРХ транспортерного подборщика, $\delta_{П} = 14,0$ %.

Затраты на топливно-смазочные материалы определяются следующим выражением:

$$Z_{ТСМ} = \frac{q \cdot Ц_{ТМС}}{W_{Ч}}, \quad (5.17)$$

где q – часовой расход топлива, $q = 39,7$ кг/ч;

$Ц_{ТСМ}$ – оптовая стоимость 1 кг комплексного горючего, руб./кг, $Ц_{ТСМ} = 36,0$ руб./кг.

Эксплуатационные затраты определяются следующим образом:

$$I_{Б,П} = Z_{ЗП} + A^{Б,П} + Z_{ТОРХ}^{Б,П} + Z_{ТСМ}, \quad (5.18)$$

где $I_{Б,П}$ – эксплуатационные затраты для базового транспортерного подборщика и транспортерного подборщика, оснащённого пружинными пальцами с кольцевым витком на подбирающей поверхности, руб./га.

Результаты расчетов экономической эффективности сведены в таблицу 5.2.

Таблица 5.2 – Результаты расчета экономической эффективности

Составляющие прямых эксплуатационных затрат	Транспортерный подборщик с серийными подбирающими пальцами при подборе валка хлебной массы с межвалковым расстоянием 9 м	Транспортерный подборщик с серийными подбирающими пальцами при подборе валка хлебной массы с межвалковым расстоянием 18 м	Транспортерный подборщик с предлагаемыми подбирающими пальцами при подборе валка хлебной массы с межвалковым расстоянием 9 м	Транспортерный подборщик с предлагаемыми подбирающими пальцами при подборе валка хлебной массы с межвалковым расстоянием 18 м
Заработная плата, руб./га	40,6	20,3	40,6	20,3
Амортизационные отчисления, руб./га	10,98	5,49	11,07	5,50
Затраты на ТОРХ, руб./га	8,95	4,41	8,98	4,49
Затраты на ТСМ, руб./га	317,6	158,8	317,6	158,8
Суммы эксплуатационных затрат, руб./га	378,1	189	378,25	189,09
Годовой экономический эффект, руб.	-	-	28539	57229,2
Срок окупаемости, год	-	-	0,91	0,45

Таким образом, результаты расчета экономической эффективности свидетельствуют о том, что предлагаемые пружинные пальцы с кольцевым витком на подбирающей поверхности позволяют сократить потери зерна при подборе валков хлебной массы, которые перекрывают превышение эксплуатационных затрат по сравнению с базовым транспортерным подборщиком. Годовой экономический эффект с учетом дополнительного дохода от снижения потерь зерна составит 28539 руб. на одну машину (зерноуборочного комбайна с транспортерным подборщиком), а срок окупаемости одного транспортерного подборщика составит 0,91 года, что значительно меньше нормативного при подборе валка хлебной массы с межвалковым расстоянием 9 м. Годовой экономический эффект с учетом дополнительного дохода от снижения потерь зерна при уборке спаренных валков (межвалковое расстояние – 18 м.) составит 57229,2 руб., а

срок окупаемости одного транспортерного подборщика составит 0,45 года. Практически, техническое решение окупается за один сезон работы зерноуборочного комбайна «ACROS-530» при уборке хлебной массы валка.

Отсюда следует, что применение пружинных пальцев с кольцевым витком на подбирающей поверхности на транспортере подборщика зерноуборочного комбайна «ACROS-530» обеспечивает более высокую эффективность производства продукции растениеводства по сравнению со стандартными пружинными пальцами транспортера подборщика зерноуборочного комбайна «ACROS-530».

5.2 Выводы по главе

1) Установлено, что экономический эффект от применения транспортерного подборщика, снабженного предлагаемыми пружинными подбирающими пальцами при уборке валка хлебной массы с межвалковым расстоянием равным 9 м, составляет 28539 руб., а при уборке спаренных валков (межвалковое расстояние – 18 м) хлебной массы – 57229,2 руб.

2) Срок окупаемости подборщика, снабженного одним комплектом пружинных пальцев с кольцевым витком на подбирающей поверхности, составит, соответственно, 0,91 и 0,45 года.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Результаты обзора и анализ научно-технической информации (литературы) показал, что существующие пружинные пальцы транспортерного подборщика зерноуборочного комбайна являются основным источником потерь зерна при уборке хлебной массы валка. Поскольку при взаимодействии их с хлебной массой образуется центробежная сила, которая стремится сбросить растительный материал с подбирающей поверхности пружинного пальца. Отрицательное влияние данной силы можно уменьшить за счет изменения геометрии и увеличения площади контакта подбирающей поверхности пружинного пальца.

2. В ходе теоретических изысканий получены закономерности, из которых следует, что наличие кольцевого витка на подбирающей поверхности пружинного пальца обеспечивает увеличение его контактной площади взаимодействия с хлебной массой на 6,0 – 8,0 %, в сравнении со стандартным пружинным пальцем. При увеличении наружного диаметра (D) кольцевого витка до 28,0 мм, контактная площадь подбирающей поверхности пружинного пальца возрастает до 13,0 %. Кроме того, на основе данных закономерностей была получена аналитическая зависимость, раскрывающая взаимосвязь между коэффициентом, характеризующим контактную площадь подбирающей поверхности ($k_{к.п.}$) пружинного пальца, с его геометрическими параметрами.

3. Силовой расчет с учетом коэффициента ($k_{к.п.}$) и компьютерное моделирование механических деформаций на 3-D модели пружинного пальца показали, что кольцевой виток на подбирающей поверхности лучше всего будет расположить в верхней части пружинного пальца. Однако, исходя из особенностей процесса подбора хлебной массы валка и работы транспортера подборщика, кольцевой виток целесообразно расположить в центральной части подбирающей поверхности пружинного пальца.

4. Выявленная закономерность изменения потерь зерна ($\psi_{сп}$) от динамического удара при взаимодействии пружинного пальца с хлебной массой валка свиде-

тельствует о том, что в зависимости от величины коэффициента динамического удара (k_d) образуются две зоны. Одна из них характеризует отсутствие образования потерь зерна от динамического удара (k_d), другая – наоборот. Графическая интерпретация данной закономерности показывает скачкообразный переход из одной зоны в другую. Отрицательное влияние динамического удара (k_d) на потери зерна при взаимодействии пружинного пальца с хлебной массой можно свести к минимуму за счет «мягкого» режима подбора хлебной массы валка, который обеспечивается посредством снижения частоты вращения вала привода транспортера.

5. В результате лабораторных исследований (на основе полнофакторного эксперимента) взаимодействия пружинных пальцев различной геометрии подбирающей поверхности (стандартные, с дугой и кольцевым витком на подбирающей поверхности) с хлебной массой валка были получены регрессионные модели, описывающие связь между результирующим критерием – потери зерна (ψ_{cp}) и такими факторами, как масса одного погонного метра (m), угол наклона прямолинейного участка транспортера к горизонтальной плоскости (γ), высота расположения хлебной массы валка на стерне (h). В результате их решения и анализа определено, что наиболее эффективным является пружинный палец с кольцевым витком на подбирающей поверхности, поскольку такая геометрия подбирающей поверхности пальца обеспечивает более «мягкий» режим подбора хлебной массы валка, а это снижение потерь за транспортерным подборщиком зерноуборочного комбайна.

6. Полевые испытания в производственных условиях транспортерного подборщика зерноуборочного комбайна «ACROS-530», оснащенного пружинными пальцами с кольцевым витком на подбирающей поверхности, показали снижение потерь зерна до 25,0 % при подборе хлебной массы валков. При этом обеспечивается более «мягкий» режим работы транспортерного подборщика, поскольку за счет наличия кольцевого витка на подбирающей поверхности увеличивается площадь контакта пружинного пальца с хлебной массой, что дает возможность снизить обороты вращения вала привода транспортера подборщика.

7. Определено, что экономический эффект от применения транспортерного подборщика зерноуборочного комбайна «ACROS-530», снабженного предлагаемыми пружинными пальцами при уборке валка хлебной массы с межвалковым расстоянием – 9 м, составляет 28539,0 руб., а при уборке спаренных валков (межвалковое расстояние – 18 м) – 57229,2 руб. Срок окупаемости одного подборщика комбайна, снабженного одним комплектом пружинных пальцев с кольцевым витком на подбирающей поверхности, составит, соответственно, 0,91 и 0,45 года.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПОИЗВОДСТВУ

Полученные результаты теоретических и экспериментальных исследований будут полезны для повышения эффективности использования зерноуборочных комбайнов во время уборки зерновых культур, а также при проектировании новых подбирающих пальцев транспортерных подборщиков.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

На основе проведенных исследований и полученных данных, в дальнейшем, планируется провести исследования разработанного пружинного пальца при выполнении технологического процесса подбора хлебной массы сорных, пророщенных и «рыхлых» валков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. с. 1197587 СССР, МПК⁴ А 01 D 89/00. Транспортный подборщик / В. В. Марков, Б. П. Гавриленко, Л. П. Миненко, И. К. Мещеряков, А. М. Гусев, Л. В. Бобрышева (СССР). - № 3742410/30-15 ; заявл. 17.05.84 ; опубл. 15.12.1985, Бюл. № 46.
2. А. с. 1530135 СССР, МПК⁷ А 01 D 57/20, 34/00, 34/125, 57/02. Способ формирования хлебной массы в валок и устройство для его осуществления / З.И. Воцкий, Н. П. Боровинских (СССР). - №4390038/30-15 ; заявл. 11.03.88 , опубл. 23.12.1989, Бюл. № 47.
3. А. с. 193811 СССР, МПК⁶ А 01 D 89/00. Граблина для полотняно-грабельных подборщиков / Н. Е. Чубиков (СССР). - № 724923/30-15 ; заявл. 03.04.1961 ; опубл.01.01.1967, Бюл. № 7.
4. А. с. 388711 СССР, МПК⁶ А 01 D 89/00. Пружинный палец транспортного подборщика / Б. А. Чумаченко, В. Н. Обухов, А. А. Евхута (СССР) - № 1703800/30-05 ; заявл. 01.10.1971 ; опубл. 05.07.1973, Бюл. № 29.
5. А. с. 858643 СССР, МПК⁵ А 01 D 89/00. Подборщик к уборочной сельхозмашине / В. В. Марков, Л. П. Миненко, Б. П. Гавриленко, И. К. Мещеряков (СССР). – № 2713932/30-15 ; заявл. 17.01.1979 ; Опубл. в Б.И. 1981, № 32.
6. Агафонов, В. В. Влияние зоны расположения колосьев озимой пшеницы на величину потерь при уборке урожая / Агафонов В. В. // Совершенствование машин и механизмов при производстве продуктов растениеводства : сб. науч. тр. / УСХА. – Киев, 1985. – С. 8-13.
7. Агарков, В. И. Исследование физико-механических свойств зерновых культур / В. И. Агарков // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1969. - № 2. - С. 41-42.
8. Агроинвестор [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.agroinvestor.ru/analytics/news/18687-inselkhoz-ustanovil-minimalnye-zakupochnye-tseny-na-zerno-2015-goda.html>.
9. Антоненко, А. А. К теории подбора валка без его деформации / Анто-

ненко А. А. // Механизация работ в полеводстве : науч. тр. / Саратовский СХИ. – Саратов, 1973. – Т. 8. – С. 205-207.

10. Антоненко, А. А. Приспособленность подборщика и неровности поля и потери урожая в неподбранном колосе / Антоненко А. А. // Механизация работ в полеводстве : науч. тр. / Саратовский СХИ. – Саратов, 1973. - Т. 8. – С. 198-201.

11. Антоненко, Ф. А. О работе подборщика валков на повышенной поступательной скорости / Ф. А. Антоненко, А. А. Антоненко, С. И. Калинин // Тракторы и сельхозмашины. – 1972. - № 1. – С. 25-26.

12. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Адлер Ю. П., Макарова Е. В., Грановский Ю. В. - М. : Машиностроение, 1976. – 279 с.

13. Адлер, Ю. П. Введение в планирование эксперимента [Текст] / Адлер Ю. П. - М. : Metallurgy, 1969. – 157 с.

14. Александров, А. В. Основы теории упругости и пластичности / Александров А. В., Потапов В. Д. - М. : Высш. шк., 1990. – 398 с.

15. Александров, А. В. Сопротивление материалов : учебник / А. В. Александров, В. Д. Потапов, Б. П. Державин. - М. : Высш. шк., 2004. – 559 с.

16. Артоболевский, И. И. Теория механизмов и машин : учебник для вузов / Артоболевский И. И. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Наука, 1988. – 640 с.

17. Будко, А. Н. К теории работы подборщика барабанного типа / А. Н. Будко // Вестник сельскохозяйственной науки. - 1960. - № 5. – С. 137-140.

18. Баранов, А. А. Методика определения оптимальной ширины захвата валковых жаток / А. А. Баранов // Тракторы и сельхозмашины. – 1967. - № 5. - С 23-24.

19. Труды Саратовского института механизации сельского хозяйства имени М. И. Калинина / Саратовский ИМСХ. – Саратов , 1969. - Вып. 44, ч. 1 : Научные основы совершенствования технологии отдельной уборки зерновых колосовых культур и сочетания ее с прямым комбайнированием в условиях Юго–Востока РСФСР. - 104 с.

20. Баранов, А. А. О выборе оптимального соотношения окружной и поступательной скоростей подборщика хлебных валков / Баранов А. А. // Тракторы и сельхозмашины. – 1967. - № 12. – С. 23-24.

21. Баранов, Л. А. Исследование условий устойчивости хлебного валка и процесса его оседания на стерне / Баранов Л. А., Сибильков А. Н., Дикарев Ю. А. // Сборник научных работ СИМЭСХ. - Саратов, 1981. - С. 81-85.
22. Боровинских, Н. П. Совершенствование процесса формирования валка жаткой-накопителем при скашивании зерновых культур : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Боровинских Н. П. – Челябинск, 1990. – 16 с.
23. Бушев, Л. И. К вопросу исследования работы подборщиков / Бушев Л. И. // Известия Куйбышевского сельскохозяйственного института. – Куйбышев, 1966. - Т. 18.
24. Бушев, Л. И. К вопросу исследования работы подборщиков : автореф. ... дис. канд. техн. наук / Бушев Л. И. – Куйбышев, 1965. – 30 с.
25. Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин : учебник для вузов / под ред. Е. С. Босого. – 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Машиностроение, 1978. – 568 с.
26. Будко, А. Н. К теории работы подборщика барабанного типа / А. Н. Будко // Вестник сельскохозяйственной науки.- 1960. - № 5. – С. 137-140.
27. Будко, А. И. Опыт раздельной комбайноуборки / А. И. Будко. - М. : Сельхозгиз, 1958. - 72 с.
28. Бродский, В.З. Таблицы планов эксперимента для факторных и полиномиальных моделей / Бродский В.З. – М.: Металлургия, 1982.- 758 с.
29. Важенин, А.Н. Исследование влияния параметров валка на показатели работы зерноуборочного комбайна : дис. . канд. техн. наук / Важенин А.Н. – Челябинск: Б.и., 1966 – 182 с.
30. Воцкий, З. И. Классификация и анализ способов формирования хлебных валков / Воцкий З. И. // Совершенствование способов уборки и послеуборочной обработки зерна : сб. науч. тр. / ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1979. – Вып. 151. – С. 4-12.
31. Воцкий, З. И. Основные направления совершенствования технологий формирования хлебных валков и результаты исследований широкополосный хлебных валков для зерноуборочных комбайнов производительностью до 15...20 кг/с / Воцкий З. И. // Научно-технический бюллетень / Сиб. отд-ние ВАСХНИЛ. - Новосибирск: 1979. - Вып. 3 : Перспективные технологии и ком-

плексы машин для уборки зерновых культур. - С. 25-28.

32. Веденяпин, Г. В. Общая методика экспериментальных исследований и обработки опытных данных / Веденяпин Г. В. - 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Колос, 1973. – 194 с.

33. Васильевич, М. Г. К вопросу уборки низкорослых хлебов отдельным способом / Васильевич М. Г. // Тракторы и сельхозмашины. - 1960. - № 6. – С. 30-33.

34. Вольф, Т. Т. Резервы повышения производительности зерноуборочных комбайнов / Вольф Т.Т., Чепурин Г. Е., Коротких В. Р // Сборник научных трудов сибирского отделения ВАСХНИЛ. - Новосибирск, 1980. - С. 39-45

35. ГОСТ 28301-2007. Комбайны зерноуборочные. Методы испытаний. – Введ. 2010-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 2010.

36. ГОСТ 30483-97. Зерно. Методы определения общего и фракционного содержания сорной и зерновой примесей; содержания мелких зерен и крупности; содержания зерен пшеницы, поврежденных клопом-черепашкой; содержания металломагнитной примеси. – Введ. 1998-07-01. - Минск : ИПК Изд-во стандартов, 2001. - 19 с.

37. ГОСТ Р 53056-2008. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. – Введ. 2009-01-01. - М. : Стандартиформ, 2009. – 23 с.

38. Грачев, Ю. П. Математические методы планирования экспериментов : учебник для вузов / Грачев Ю. П. - М. : Пищевая пром-сть, 1979. – 199 с.

39. Глушков, И. Н. Обоснование параметров и режимов работы порционной жатки с устройством образования кулис : дис. ... канд. тех. наук : 05.20.01 / Глушков Иван Николаевич. – Оренбург, 2013. – 141 с.

40. Гячева, В. Н. Основы механико-технологической теории подборщиков : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Гячева В. Н. – Челябинск, 1983. – 36 с.

41. Гячева, В. Н. О механико-технологических основах теории подборщиков / Гячева В.Н. // Вопросы механизации и электрификации сельскохозяйственного производства : науч. тр. / ВНИИМЭСХ. – Ростов-на-Дону, 1972. - Вып. 45. – С. 77-83.

42. Гячева, В. Н. Свободные колебания пружинного пальца подборщика / Гячева В. Н. // Уравновешивание рабочих органов и снижение вибраций сельскохозяйственных машин : сб. статей / РИСХМ. – Ростов-на-Дону, 1972. – С. 99-103.

43. Гячева, В. Н. Об интегрировании дифференциального уравнения упругой линии вала / Гячева В. Н. // Конструирование и производство сельскохозяйственных машин : сб. статей / РИСХМ. – Ростов-на-Дону, 1974. – С. 79-83.

44. Дворкин, М. М. Пути повышения эффективности использования зернокомбайнов / Дворкин М. М., Лучинский Н. И. – М. : Знание, 1977. – 64 с.

45. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Доспехов Б. А. – 5-е изд., доп. и перераб. - М. : Агропромиздат, 1985. – 351 с.

46. Драйпер, Н. Прикладной регрессионный анализ / Н. Драйпер, Г. Смит. - М. : Статистика, 1973. – 392 с.

47. Дрига, А. И. Снижение потерь зерновых, зернобобовых и других культур / Дрига А. И., Дрок А. И. // Совершенствование машин и механизмов при производстве продуктов растениеводства : сб. науч. тр. / УСХА. - Киев, 1985. - С. 115-116.

48. Ефимов, Н. В. Высшая геометрия : учеб. для студ. мат. спец. вузов / Н. В. Ефимов. - Изд. 7-е, стер. - М. : Физматлит, 2004. - 584 с.

49. Жалнин, Э. В. Технологии уборки зерновых комбайновыми агрегатами / Жалнин Э. В., Савченко А. Н. - М. : Россельхозиздат, 1985. - 207 с.

50. Жалнин, Э. В. Динаметрический способ оценки общей связности соломистых частиц в слое / Э. В. Жалнин // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1971. - № 8. – С. 49-52.

51. Жалнин, Э. В. Перспективные принципы совершенствования зерноуборочных комбайнов / Э. В. Жалнин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1986. - № 9. – С. 24-30.

52. Завалишин, Ф. С. Методы исследований по механизации сельскохозяйственного производства / Завалишин Ф. С., Мацнев М. Г. - М. : Колос, 1982. - 231 с.

53. ЗАО КПК «Ставропольстройопторг» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://agroline.optorg.ru/catalog/rsm/page_945.html.

54. Изаков, Ф.Я. Планирование эксперимента и обработки данных // Изаков Ф.Я. – Челябинск : ЧГАУ, 2003. – 104 с.

55. Ильин, И. А. Влияние мощности вала на потери при подборе / Ильин

И. А., Сахончик С. В. // Контроль и управление технологическим процессом комбайновой уборки зерновых культур : науч.-техн. бюл. / СО ВАСХНИЛ. – Новосибирск, 1988. – Вып. 4. – С. 42-46.

56. Камке, Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям / Э. Камке. – 5-е изд., стер. – М. : Наука, 1976. – 576 с.

57. Каталог тракторов и сельскохозяйственных машин. – М. : Внешторгиздат, 1959. – 506 с.

58. Карлов, М. Е. Устойчивость хлебного валка / М. Е. Карлов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1977. - № 8. - С. 10-12.

59. Карпенко, А. Н. Сельскохозяйственные машины / А.Н. Карпенко, В.М. Халанский. – 5-е изд., перераб. и доп. - М. : Колос, 1983. – 495 с.

60. Карпуша, А. П. Обоснование допустимой скорости воздействия рабочих элементов питающих органов жаток на стебли колосовых культур / Карпуша А. П. // Совершенствование процессов и рабочих органов сельхозмашин, организация и технология ремонта сельхозмашин : сб. науч. тр. / УСХА. – Киев, 1982. – С. 8-12.

61. Карпуша, А. П. Повышение эффективности работы питающих органов (мотовила, подборщика) зерноуборочного комбайна : автореф. ... дис. канд. техн. наук : 05.20.01 / Карпуша Александра Павловна. – Ленинград-Пушкин, 1983. – 16 с.

62. Кондауров, Д. И. Пути решения проблемы загрузки зерноуборочных комбайнов / Кондауров Д. И. // Повышение производительности и качества работы зерноуборочных и зерноочистительных машин : науч. тр. / ЧИМЭСХ. - Челябинск, 1985. - С. 8-13.

63. Константинов, М. М. К вопросу обоснования параметров хлебного валка / Константинов М. М. // Вопросы механизации сельскохозяйственного производства : тр. / ЧИМЭСХ. – Челябинск : Юж.-Уральск. кн. изд-во, 1974. – Вып. 37. - С. 41-42.

64. Константинов, М. М. О величине оптимальной мощности валка при уборке зерновых колосовых культур / Константинов М. М. // Вопросы механизации сельскохозяйственного производства : тр. / ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1974. - Вып. 77. - С. 53-56.

65. Копченков, А. А. Улучшение технологического процесса и обоснование параметров барабанного подборщика с равномерно вращающимися пальцами : дис. ... канд.

тех. наук : 05.20.01 / Копченев Алексей Александрович. – Челябинск, 1991. – 159 с.

66. Коренев, Г. В. Прогрессивные способы уборки и борьба с потерями урожая / Коренев Г. В., Тарасенко А. П. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Колос, 1983. – 175 с.

67. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Определения, теоремы, формулы / Корн Г., Корн Т. – 5-е изд. – М. : Наука, 1984. – 831 с.

68. Косилов, Н. И. Состояние и тенденции совершенствования зерноуборочных машин : учеб. пособие / Косилов Н. И. – Челябинск, 1983. – 103 с.

69. Костров, П. И. К обоснованию оптимального скоростного режима работы и параметров подборщиков валков / Костров П. И. // Механизация сельскохозяйственного производства : тр. / Новосибирский СХИ. – Барнаул, 1974. – С. 135-140.

70. Кленин, Н. И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. Элементы теории рабочих процессов. Расчет регулировочных параметров и режимов работы : учебник / Кленин Н. И., Сакун В. А. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Колос, 1980. – 671 с.

71. Крамаренко, Л. П. Уборочные машины. Теория, конструкция и расчет / Л. П. Крамаренко. - Харьков–Киев : Гос. науч.-техн. изд-во Украины, 1935. – 340 с.

72. Кутепов, Б. П. Пути снижения травмирования семян: об улучшении технологических регулировок сельскохозяйственных машин / Б. П. Кутепов, А. Н. Крахалев // Селекция и семеноводство. - 1973. - № 4. – С. 68-70.

73. Кутепов, Б. П. Результаты исследования производительности и качества работы зерноуборочных комбайнов в условиях Челябинской области / Кутепов Б. П., Назмутдинов У. А., Иванова В. Н. // Совершенствование способов уборки и послеуборочной обработки зерна : тр. / ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1979. – Вып. 151. – С. 27-30.

74. Летошнев, М. Н. Сельскохозяйственные машины: теория, расчет, проектирование и испытание / М. Н. Летошнев. – 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Сельхозгиз, 1955. – 764 с.

75. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины : учеб. пособие / Г. Е. Листопад [и др.]. – М. : Колос, 1976. – 751 с.

76. Ловчиков, А. П. Повышение качества зерна и эффективности использования комбайнов в условиях Южного Урала : монография / А. П. Ловчиков. – Челябинск, 2002. – 144 с.

77. Зерноуборочные комбайны двухфазного обмолота : учеб. пособие для студ. вузов по агроинж. спец. / Логинов Л. Н. [и др.]. – М. : Информационно-аналитический и консалтинговый центр, 1999. – 336 с.

78. Лукиных, Г. Ф. Исследование влияния распределения хлебной массы в валке на качественные показатели работы молотильного аппарата / Лукиных Г. Ф., Колганов К. Г. // Уборка и послеуборочная обработка зерна : тр. / ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1973. – Вып. 62. - С. 32-37.

79. Лукиных, Г. Ф. К неравномерности загрузки рабочих органов по ширине молотилки / Лукиных Г. Ф., Колганов К. Г. // Механизация сельскохозяйственного производства : тр. / ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1970. – Вып. 48. - С. 52-60.

80. Магажанов, Ж. М. Оценка качества подбора валков за разными жатками / Магажанов Ж. М. // Механизация и автоматизация процессов уборки зерновых культур : науч.-техн. бюл. / СО ВАСХНИЛ. – Новосибирск, 1978. – Вып. 10. – С. 5-10.

81. Машины для уборки и обработки зерновых культур: теория, конструкция, расчет : учеб. пособие для студ. вузов / И. Н. Гуров [и др.]. – М. : Машиностроение, 1964. – 512 с.

82. Милованов, Е. Д. Условия неразрывности хлебного валка / Е. Д. Милованов // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. - 1966. - № 11. – С. 26-27.

83. Мельников, С. В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов : учебник для вузов / С. В. Мельников, В. Р. Алешкин, П. М. Рощин. - Л. : Колос, 1972. - 200 с.

84. Мещеряков, В. А. Исследование устойчивости валка на стерне и некоторых приемов повышения его качества при формировании жатками / Мещеряков В. А., Недовесов В. И., Филатов Н. В. // Труды ВНИИМЭСХ. - Ростов-на-Дону, 1963. - Вып. 6. - С. 44-50.

85. Миронов, А. А. Просыхание хлебной массы в валках разных размеров

/ А. А. Миронов // Сельское хозяйство Сибири. – 1962. - № 9. - С. 70-72.

86. Михайлов, М. В. Резервы повышения пропускной способности зерноуборочных комбайнов / Михайлов М. В., Радченко С. Я., Четыркин Б. Н. // Механизация сельскохозяйственного производства : тр. / ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1970. - Вып. 48. – С. 13-21.

87. Монтогомери, Д.К. Планирование эксперимента и анализ данных // Монтогомери Д.К. – пер. с англ. – Л. : Судостроение, 1980. – 384 с.

88. Нигматов, Л. Г. Разработка конструкции и обоснование параметров устройства для механической очистки кожного покрова КРС : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Нигматов Ленар Гамирович. – Оренбург, 2015. – 143 с.

89. Николаев, П. А. Исследование параметров хлебного валка при уборке пшеницы в условиях Казахстана : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Николаев Павел Андреевич. – Алма-Ата, 1959. – 25 с.

90. Николаев, П. А. О возникновении, величине и предупреждении потерь при образовании и подборе хлебного валка / П. А. Николаев // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1966. - № 11. – С. 22-26.

91. Никитин, Н. Н. Курс теоретической механики / Н. Н. Никитин. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1990. – 606 с.

92. Недовесов, В. И. Указатель оптимального режима работы подборщика валков / Недовесов В. И. // Сборник работ по механизации и электрификации сельскохозяйственного производства : тр. / ВНИИМЭСХ. – Ростов-на-Дону, 1965. – Вып. 8. – С. 50-56.

93. Огнев, И. И. Анализ классификации и технологических схем подборщиков / И. И. Огнев // Известия Международной академии аграрного образования. – 2011. - № 11. – С. 55-57.

94. Огнев, И. И. Причины потерь зерна при уборке урожая зерновых культур / И. И. Огнев, В. В. Кириллов // Известия Международной академии аграрного образования. - 2013. - № 18. – С. 66–68.

95. Ловчиков, А. П. Устойчивость валков хлебной массы на стерне зерновых культур / А. П. Ловчиков, И. И. Огнев // Известия Международной академии аграрного образования. – 2013. - № 18. – С. 66–68.

мии аграрного образования. – 2015. – Вып. 25, т. 1. – С. 117-119.

96. Огнев, И. И. Результаты исследования подбирающего пальца, выполненного в виде кольцевого витка, транспортерного подборщика зерноуборочного комбайна / И. И. Огнев // Известия Международной академии аграрного образования. – 2015. - Вып. 25, т. 1. – С. 123-126.

97. Окунев, Г. А. Пути снижения потерь урожая зерновых культур / Г. А. Окунев, В. Н. Бутко, В. П. Ловчиков // Совершенствование комплексной механизации целинного земледелия : сб. науч. тр. / НПО «Целинсельхозмеханизация». - Алма-Ата : Изд-во Вост. отделения ВАСХНИЛ, 1984. – С. 138-148.

98. Омуртов, А. Ф. О влиянии различных факторов на производительность зерноуборочных комбайнов / А. Ф. Омуртов, А. Н. Пугачев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1982. - № 9. - С. 16-19.

99. Орманджи, К. С. Уборка колосовых культур в сложных условиях / К. С. Орманджи. – М. : Россельхозиздат, 1985. – 144 с.

100. Орманджи, К.С. Уборка зерновых колосовых культур. Выбор способа и определение сроков уборки / К. С. Орманджи, Г. И. Барабаш // Техника в сельском хозяйстве. – 1978. - № 6. – С. 7-14.

101. Особов, В. И. Механическая технология кормов / В. И. Особов. – М. : Колос, 2009. – 333 с.

102. ОСТ 70.8.1-70. Машины зерноуборочные. Программа и методы испытаний. - Москва, 1970. – 83 с.

103. ОСТ 10.8.1- 99. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины зерноуборочные. Методы оценки функциональных показателей. - М. : Изд-во стандартов, 1999. – 120 с.

104. Офат, Е. А. Исследование технологического процесса подбора и транспортирования солоmistых материалов : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Офат, Е. А. – Минск, 1961. – 19 с.

105. Офат, Е. А. Исследование элементов технологического процесса подбора солоmistых материалов / Офат Е. А. // Сборник трудов по земледельческой механике. – Л.-М. : Сельхозиздат, 1961. – Т. 6. - С. 413-423.

106. Пат. на полезную модель 158040 Российская Федерация, МПК А 01 D 89/00. Пружинный подбирающий палец для транспортерного подборщика зерноуборочного комбайна / Ловчиков А. П., Огнев И. И. ; патентообладатель ФГБОУ ВО "Южно-Уральский государственный аграрный университет" .— № 2015118490/13 ; заявл. 18.05.2015 ; опубл. 20.12.2015, Бюл. № 35.

107. Пенкин, М. Г. Новые технологии уборки зерновых культур / Пенкин М. Г. - Алма-Ата : Кайнар, 1988. - 277 с.

108. Зерноуборочные комбайны «Дон» : учеб. пособие / Песков Ю. А. [и др.]. – М. : Агропромиздат, 1986. – 332 с.

109. Пенязев, О. А. Тенденции интенсификации основных параметров зерноуборочных комбайнов / О. А. Пенязев, А. И. Русаков // Тракторы и сельхозмашины. – 1985. - № 6. – С. 25-29.

110. Пермяков, А. Ф. Исследование структуры хлебного валка и изменения в нем влажности хлебной массы / Пермяков А. Ф. // Совершенствование способов уборки и послеуборочной обработки зерна : тр. / ЧИМЭСХ. - Челябинск, 1980. – Вып. 164. - С. 43-54.

111. Пермяков, А. Ф. Результаты исследований динамики сушки хлебной массы в широкополосных валках / Пермяков А. Ф. // Совершенствование способов уборки и послеуборочной обработки зерна : тр. / ЧИМЭСХ. - Челябинск, 1979. – Вып. 151. – С. 13-16.

112. Подборщики к зерноуборочным комбайнам // Результаты испытаний новых тракторов и сельхозмашин. – 1963. - № 11. – С. 32-42.

113. Погодин, Н. Г. О результатах испытаний подборщиков / Н. Г. Погодин, И. И. Погодина // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1964. - № 4. – С. 48-51.

114. Портнов, М. Н. Зерноуборочные комбайны : учеб. пособие / Портнов М. Н. - М. : Агропромиздат, 1985. - 304 с.

115. Пугачев, А. Н. Контроль качества уборки зерновых культур / Пугачев А. Н. – М. : Колос, 1980. – 255 с.

116. Правило Верещагина [Электронный ресурс] – Режим доступа:

<http://prosopromat.ru/sopromat/peremeshhenie-pri-izgibe/pravilo-vereshhagina-sposob-peremnozheniya-epuyur.html>.

117. Риков, О. Н. Теория вычислительного эксперимента / О. Н. Риков. – М. : Знание, 1987.

118. Рубанов, И. А. Методические указания по применению математических методов планирования эксперимента в сельском хозяйстве / Рубанов И. А., Михайлов Н. Н., Тимохина Л. А. - М. : Колос, 1973. – 40 с.

119. Русанов, А. И. Основные тенденции и проблемы развития зерноуборочных комбайнов / А. И. Русанов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1988. - № 8. - С. 21 - 25.

120. Рушев, А. Ф. О распределении растительной массы, по ширине у валков зерновых колосовых культур / Рушев А. Ф. // Труды ВИСХОМ. – М., 1969. - Вып. 57. - С. 40-45.

121. Рыбин, И. П. К вопросу совершенствования конструкции подборщиков / Рыбин И. П. // Совершенствование конструкций и методов использования машин в сельском хозяйстве : тр. / Волгоградский СХИ. – Волгоград, 1975. – Т. 58. – С. 188-193.

122. Сикоркас, В. И. О скоростном режиме полотенно-планчатого подборщика / В. И. Сикоркас // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1966. - № 6. – С. 12-14.

123. Сикоркас, В. И. Влияние деформации вала по толщине на потери зерна за подборщиком / Сикоркас В. И. // Механизация уборки зерновых культур : науч. тр. / ВАСХНИЛ. – М. : Колос, 1977. – С. 58-64.

124. Сельскохозяйственные машины. – М.: Машизд., 1979.- 219 с.

125. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин : в 2 т. / под ред. А. В. Красниченко. – М. : Машиностроительная литература, 1961.

126. Справочная информация: Минимальный размер оплаты труда в РФ [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi.html>.

127. Смагин, Н. К. Жесткость широкополосных валков / Смагин Н. К., Боровинских Н. П. // Повышение производительности и качества работы зерноуборочных и зерноочистительных машин : сб. науч. тр. / ЧИМЭСХ. - Челябинск, 1989. - С. 19-23.

128. Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин : учебник для вузов / под ред. Е. С. Босого. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1978. – 568 с.
129. Терсков, Г. Д. Расчет зерноуборочных машин : учеб. пособие / Г. Д. Терсков ; под ред. К. Г. Колганова. – Изд. 2-е, перераб. – Свердловск : Машгиз, 1961. – 215 с.
130. Федосеев, П. Н. Уборка зерновых культур в районах повышенной влажности / П. Н. Федосеев. – М. : Колос, 1969. – 175 с.
131. Федосеев, П. Н. Технология валкообразования для условий повышенного увлажнения / Федосеев П. Н., Кузнецов А. В., Чепурин Г. Е. // Совершенствование технологических процессов и системы машин для Западной и Восточной Сибири : материалы науч.-производ. конф. - Новосибирск, 1968. - С. 159-164.
132. Фиделев, А. С. Подъемно-транспортные машины : учебник / А. С. Фиделев. – 2-е изд., испр. и доп. – Киев : Вища шк., 1976. – 219 с.
133. Фирсов, М.М. Планирование эксперимента при создании сельскохозяйственной техники // М.М. Фирсов – М. : МСХА, 1999. – 128 с.
134. Цегельник, А. П. Влияние динамического фактора сходящего с транспортера потока хлебной массы на устойчивость стерни / Цегельник А. П. // Технологии и техническое обеспечение уборки зерновых и зернобобовых культур в Сибири и на Дальнем Востоке. - Новосибирск, 1987. - С. 52-62.
135. Чепурин, Г. Е. Исследование и обоснование параметров хлебного валка при раздельной уборке зерновых для лесостепной зоны Западной Сибири : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Чепурин Геннадий Ефимович. – Челябинск, 1968. – 25 с.
136. Чепурин, Г. Е. Обоснование параметров тонкослойного валка для лесостепной зоны Западной Сибири / Чепурин Г. Е. // Механизация сельскохозяйственного производства : тр. / ЧИМЭСХ. - Челябинск, 1968. – Вып. 35. – С. 126-130.
137. Чепурин, Г. Е. Факторы, определяющие устойчивое положение хлебного валка на стерне / Чепурин Г. Е. // Совершенствование технологии уборки зерновых культур в условиях Сибири : материалы науч.-произв. конф. - Новосибирск, 1969. - С. 68-72.
138. Чубиков, Н. Е. Исследование технологии подбора хлебных валков и

обоснование рациональной конструкции подборщика : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Чубиков Николай Евгеньевич. – Саратов. 1967. - 37 с.

139. Чумаченко, Б. А. Об уменьшения затаскивания хлебной массы пальцами транспортерных подборщиков / Чумаченко Б. А., Милованов А. П. // Тракторы и сельхозмашины. – 1967. - № 6. – С.28.

140. Яценко, В. А. Уборка зерновых в сложных условиях / В. А. Яценко. – 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Колос, 1977. - 272 с.

141. Перепечаев, А. Н. Эффективность применения отдельной уборки в сравнении с прямым комбайнированием / А. Н. Перепечаев, С. Г. Гриньков // Механизация и электрификация сельского хозяйства / Науч.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2013. – Вып. 47, т. 1. – С. 115-119.

142. Haifei W. Modeling and simulation of sugar cane harvester hydraulic system based on AMESim / Wang Haifei , Zhou Zhonghua, Zhang Chuanling // J. Chongqing Jiaotong Univ. Nat. Sci. – 2013. - 32, № 5. - P. 1063-1067.

143. Feiffer, A. Vorbereitung der Märvкуыспрук ist das A &O / Feiffer Andrea // Fortschr. Landwirt. – 2013. - № 12. – P. 70-72.

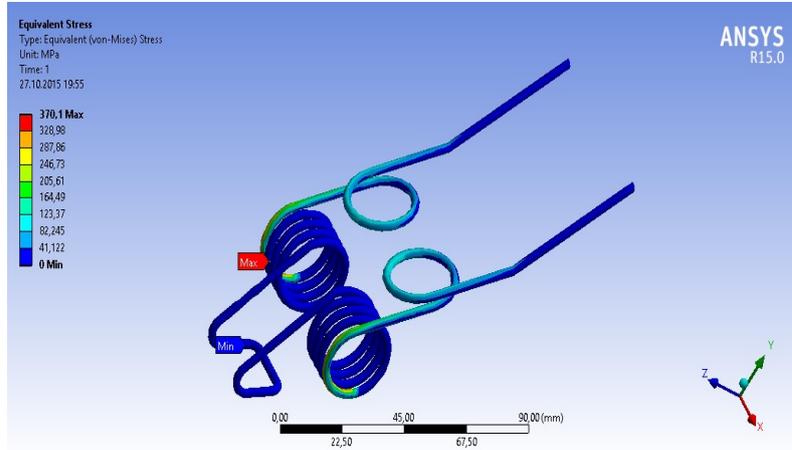
144. WHEATHEART VICTORY LP2000 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.auctiontime.com/onlineauctions/details.aspx?OHID=5442214 & LP=TH.html](http://www.auctiontime.com/onlineauctions/details.aspx?OHID=5442214&LP=TH.html)

145. Системные исследования. Методологические проблемы. - М. : Наука, 1988. – 491с.

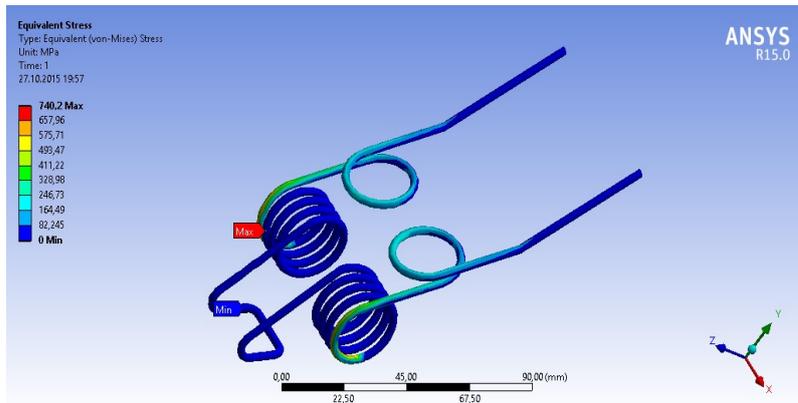
146. Лесняк, О.Н. Снижение потерь за подборщиком при комбайновой уборке урожая : дис. ... канд. тех. наук : 05.20.01 / Лесняк Ольга Николаевна. – Ростов-на-Дону, 2016. – 166 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

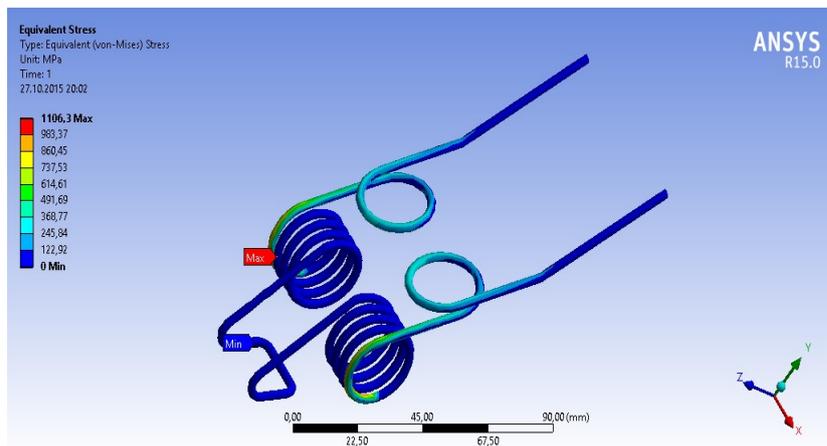
Эквивалентные напряжения пружинного пальца с расположением кольцевого витка в нижней части подбирающей поверхности при нагружении 20 Н



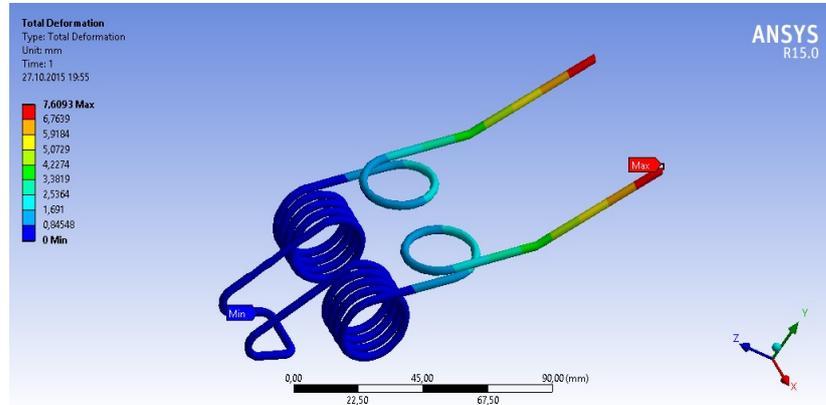
Эквивалентные напряжения пружинного пальца с расположением кольцевого витка в нижней части подбирающей поверхности при нагружении 40 Н



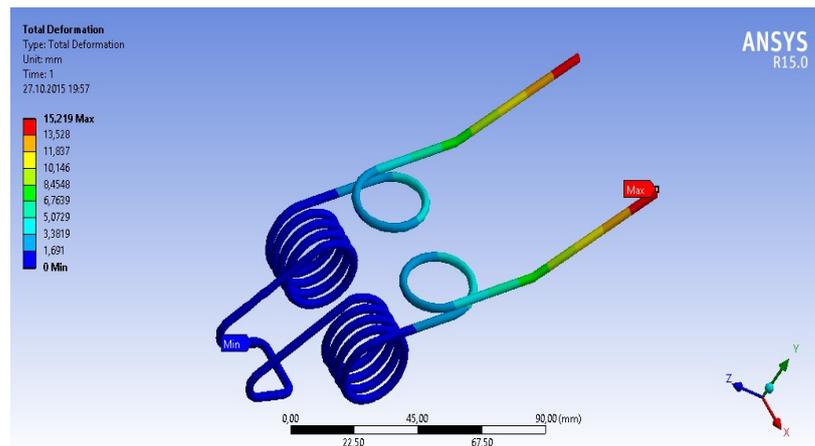
Эквивалентные напряжения пружинного пальца с расположением кольцевого витка в нижней части подбирающей поверхности при нагружении 60 Н



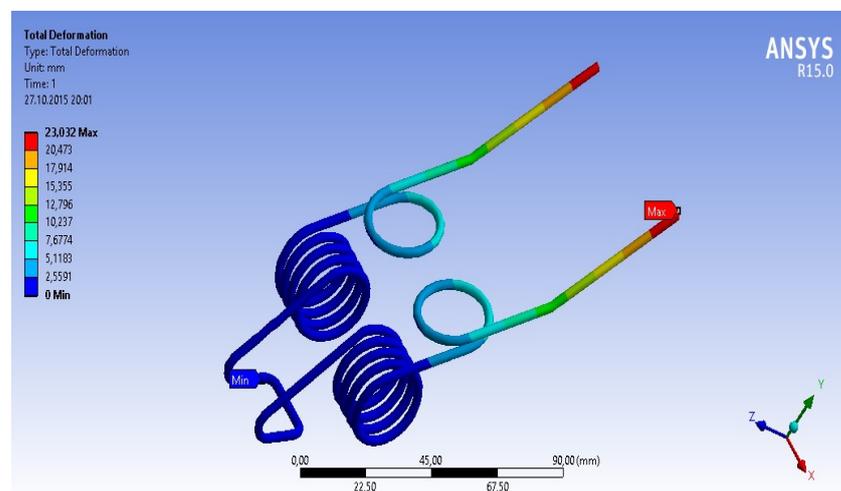
Деформации, возникающие в пружинном пальце с расположением кольцевого витка в нижней части подбирающей поверхности при нагружении 20 Н



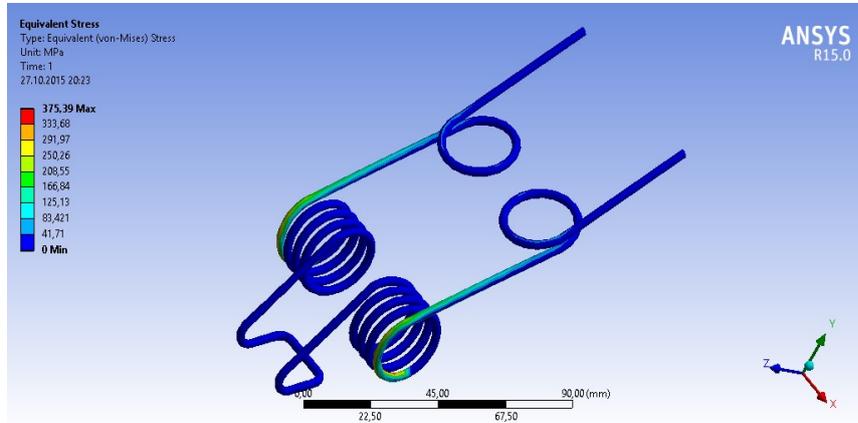
Деформации, возникающие в пружинном пальце с расположением кольцевого витка в нижней части подбирающей поверхности при нагружении 40 Н



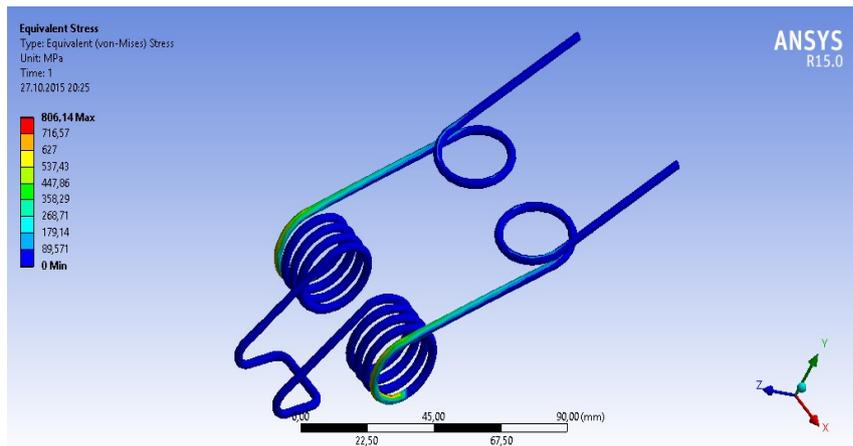
Деформации, возникающие в пружинном пальце с расположением кольцевого витка в нижней части подбирающей поверхности при нагружении 60 Н



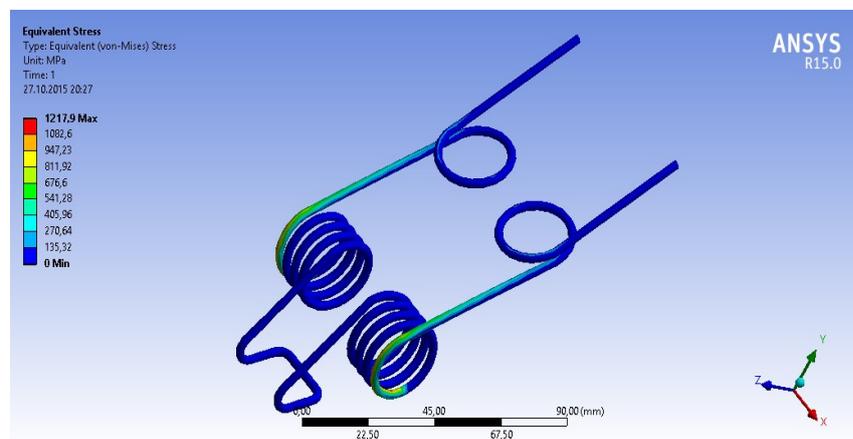
Эквивалентные напряжения пружинного пальца с расположением кольцевого витка в центральной части подбирающей поверхности при нагружении 20 Н



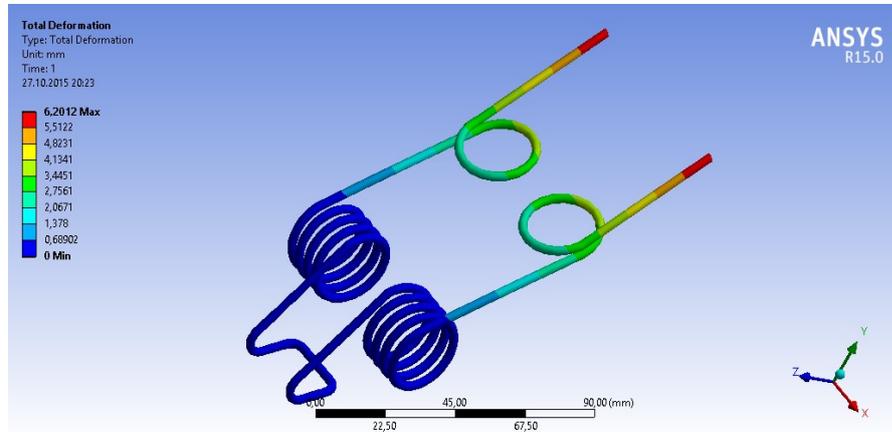
Эквивалентные напряжения пружинного пальца с расположением кольцевого витка в центральной части подбирающей поверхности при нагружении 40 Н



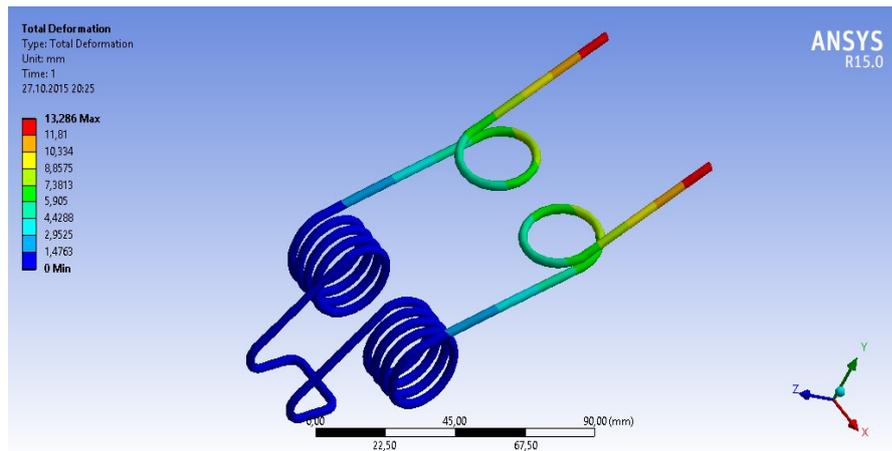
Эквивалентные напряжения пружинного пальца с расположением кольцевого витка в центральной части подбирающей поверхности при нагружении 60 Н



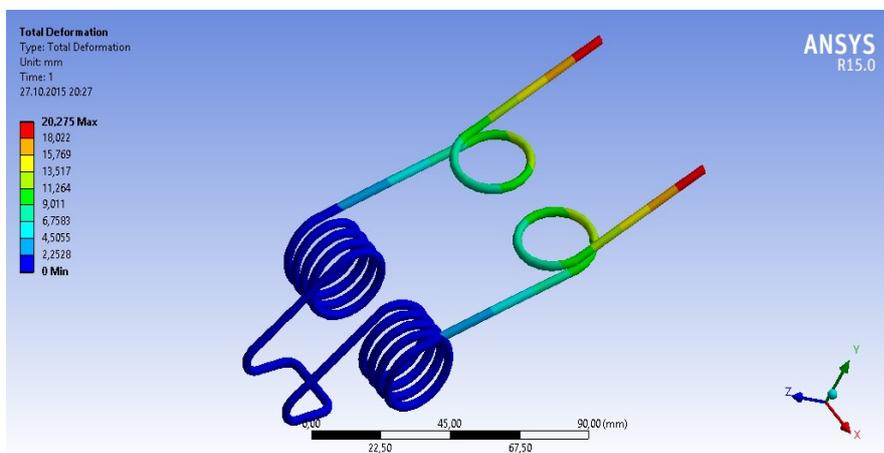
Деформации, возникающие в пружинном пальце с расположением кольцевого витка в центральной части подбирающей поверхности при нагружении 20 Н



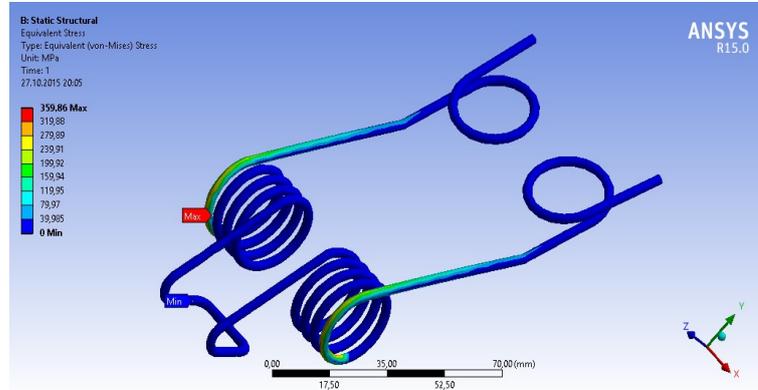
Деформации, возникающие в пружинном пальце с расположением кольцевого витка в центральной части подбирающей поверхности при нагружении 40 Н



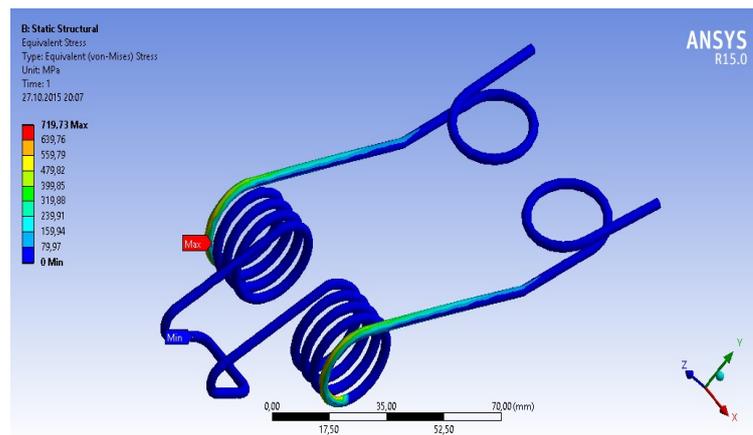
Деформации, возникающие в пружинном пальце с расположением кольцевого витка в центральной части подбирающей поверхности при нагружении 60 Н



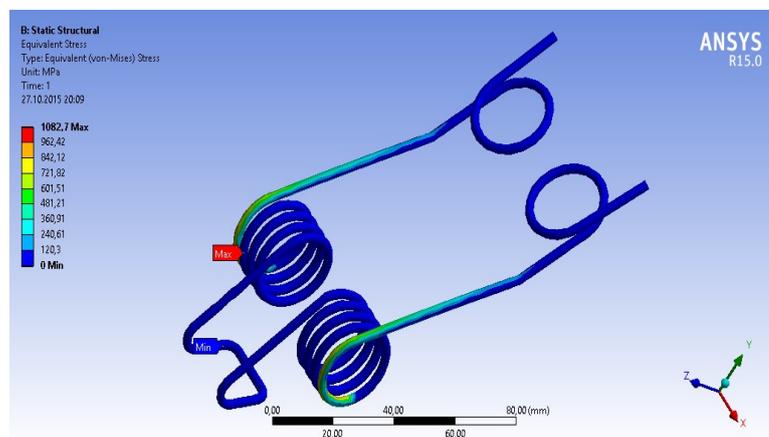
Эквивалентные напряжения пружинного пальца с расположением кольцевого витка в верхней части подбирающей поверхности при нагружении 20 Н



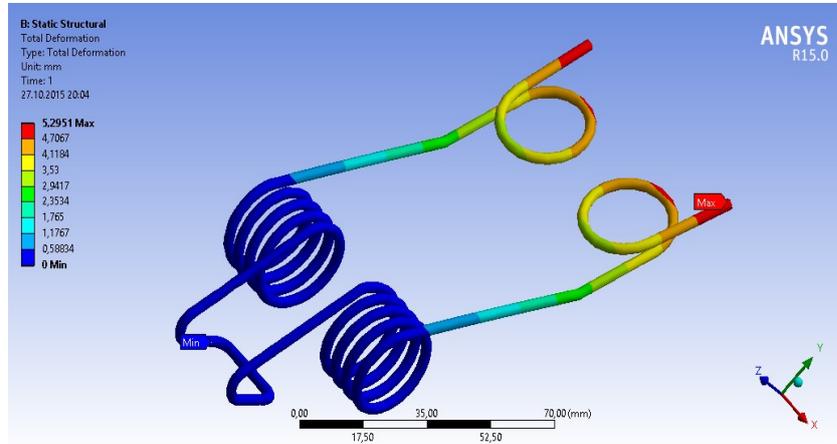
Эквивалентные напряжения пружинного пальца с расположением кольцевого витка в верхней части подбирающей поверхности при нагружении 40 Н



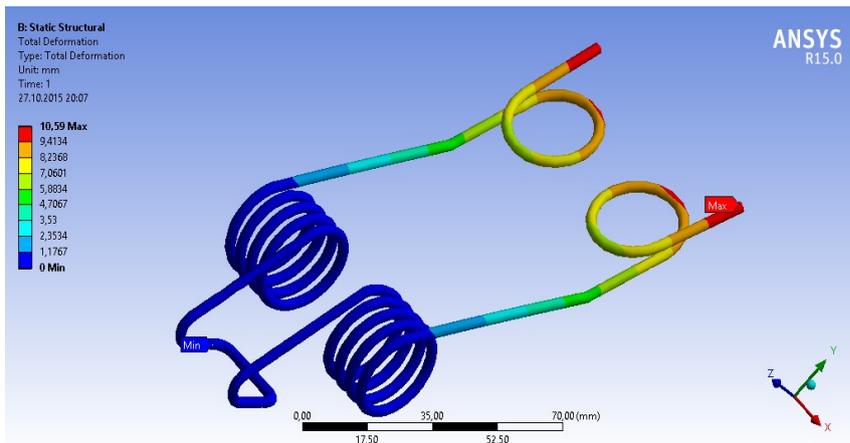
Эквивалентные напряжения пружинного пальца с расположением кольцевого витка в верхней части подбирающей поверхности при нагружении 60 Н



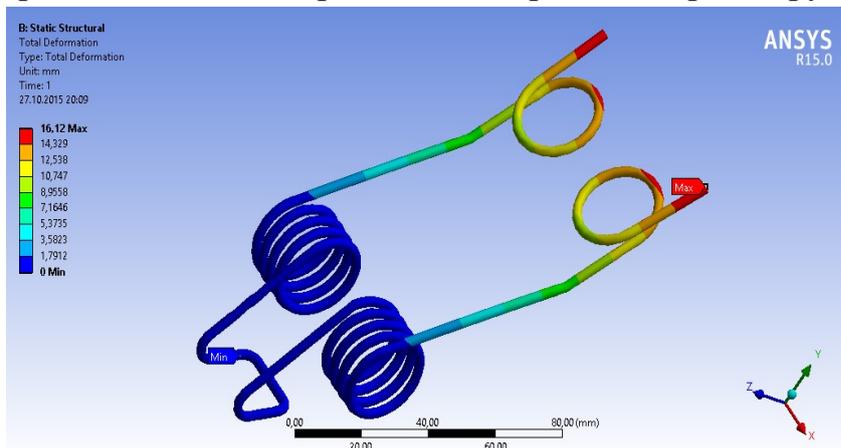
Деформации, возникающие в пружинном пальце с расположением кольцевого витка в верхней части подбирающей поверхности при нагружении 20 Н



Деформации, возникающие в пружинном пальце с расположением кольцевого витка в верхней части подбирающей поверхности при нагружении 40 Н



Деформации, возникающие в пружинном пальце с расположением кольцевого витка в верхней части подбирающей поверхности при нагружении 60 Н



Технические характеристики преобразователя частоты E2-8300 «Веспер»

Диапазон мощностей	0,4 кВт – 55 кВт
Выходная частота	0,1 – 400 Гц
Векторное управление	без обратной связи
Программирование группы преобразователей	с помощью модуля копирования
Встроенный ЭМИ фильтр класса	A
Питание	220/380 В, 50 Гц

Результаты экспериментальных исследований стандартного пружинного пальца

№ опыта	Фактор										Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y _{ср}
	x ₀	x ₁	x ₂	x ₃	x ₁ x ₂	x ₁ x ₃	x ₂ x ₃	x ₁ ² -β	x ₂ ² -β	x ₃ ² -β				
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	1-β	1-β	1-β	14,46	14,57	14,30	14,44
2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	1-β	1-β	1-β	14,52	14,15	14,58	14,42
3	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	1-β	1-β	1-β	15,14	15,14	15,08	15,11
4	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	1-β	1-β	1-β	14,34	14,70	14,48	14,51
5	+1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	1-β	1-β	1-β	14,49	14,58	14,09	14,39
6	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	1-β	1-β	1-β	14,35	15,08	15,87	15,10
7	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	1-β	1-β	1-β	13,75	15,59	15,16	14,83
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	1-β	1-β	1-β	15,09	14,60	15,67	15,12
9	+1	-α	0	0	0	0	0	α ² -β	-β	-β	14,92	14,44	14,64	14,67
10	+1	+α	0	0	0	0	0	α ² -β	-β	-β	15,67	15,68	14,80	15,38
11	+1	0	-α	0	0	0	0	-β	α ² -β	-β	14,35	15,08	15,87	15,10
12	+1	0	+α	0	0	0	0	-β	α ² -β	-β	14,46	14,57	14,30	14,43
13	+1	0	0	-α	0	0	0	-β	-β	α ² -β	15,09	14,60	15,67	15,12
14	+1	0	0	+α	0	0	0	-β	-β	α ² -β	15,11	15,14	15,08	15,11
15	+1	0	0	0	0	0	0	-β	-β	-β	15,67	15,68	14,80	15,38

где α – плечо «звездных» точек, α = 1,215 [28];

β – величина, зависящая от числа факторов, β = 0,73 [28].

Результаты экспериментальных исследований пружинного пальца с дугой на подбирающих поверхностях

№ опыта	Фактор										Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y _{ср}
	x ₀	x ₁	x ₂	x ₃	x ₁ x ₂	x ₁ x ₃	x ₂ x ₃	x ₁ ² -β	x ₂ ² -β	x ₃ ² -β				
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	1-β	1-β	1-β	13,05	14,57	14,73	14,12
2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	1-β	1-β	1-β	13,87	15,92	15,31	15,03
3	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	1-β	1-β	1-β	15,23	13,49	13,86	14,19
4	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	1-β	1-β	1-β	14,51	14,06	13,70	14,09
5	+1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	1-β	1-β	1-β	15,21	15,78	16,86	15,95
6	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	1-β	1-β	1-β	16,18	15,55	15,78	15,84
7	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	1-β	1-β	1-β	15,60	15,21	14,84	15,22
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	1-β	1-β	1-β	16,93	15,57	14,84	15,78
9	+1	-α	0	0	0	0	0	α ² -β	-β	-β	14,31	15,63	15,21	15,05
10	+1	+α	0	0	0	0	0	α ² -β	-β	-β	15,52	15,92	13,95	15,13
11	+1	0	-α	0	0	0	0	-β	α ² -β	-β	12,99	14,01	13,27	13,42
12	+1	0	+α	0	0	0	0	-β	α ² -β	-β	15,38	14,50	13,48	14,45
13	+1	0	0	-α	0	0	0	-β	-β	α ² -β	14,14	15,03	14,92	14,70
14	+1	0	0	+α	0	0	0	-β	-β	α ² -β	13,31	14,85	13,03	13,73
15	+1	0	0	0	0	0	0	-β	-β	-β	14,71	14,43	14,36	14,50

где α – плечо «звездных» точек, α = 1,215 [28];

β – величина, зависящая от числа факторов, β = 0,73 [28].

Результаты экспериментальных исследований пружинного пальца с кольцевым витком
на подбирающей поверхности

№ опыта	Фактор										Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y _{ср}
	x ₀	x ₁	x ₂	x ₃	x ₁ x ₂	x ₁ x ₃	x ₂ x ₃	x ₁ ² -β	x ₂ ² -β	x ₃ ² -β				
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	1-β	1-β	1-β	11,05	14,57	13,73	13,12
2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	1-β	1-β	1-β	13,87	15,72	15,03	15,03
3	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	1-β	1-β	1-β	14,23	13,49	13,86	13,86
4	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	1-β	1-β	1-β	14,51	14,06	13,70	14,06
5	+1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	1-β	1-β	1-β	15,21	15,78	16,86	15,95
6	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	1-β	1-β	1-β	14,18	13,47	13,11	13,58
7	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	1-β	1-β	1-β	14,60	14,21	13,84	14,21
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	1-β	1-β	1-β	13,93	14,57	13,64	14,04
9	+1	-α	0	0	0	0	0	α ² -β	-β	-β	14,31	14,63	14,21	14,38
10	+1	+α	0	0	0	0	0	α ² -β	-β	-β	10,82	11,92	13,95	12,23
11	+1	0	-α	0	0	0	0	-β	α ² -β	-β	12,91	14,01	13,27	13,40
12	+1	0	+α	0	0	0	0	-β	α ² -β	-β	15,38	14,50	13,48	14,45
13	+1	0	0	-α	0	0	0	-β	-β	α ² -β	14,14	15,03	14,92	14,70
14	+1	0	0	+α	0	0	0	-β	-β	α ² -β	13,31	14,85	13,03	13,73
15	+1	0	0	0	0	0	0	-β	-β	-β	12,81	14,43	12,36	13,20

где α – плечо «звездных» точек, α = 1,215 [28];

β – величина, зависящая от числа факторов, β = 0,73 [28].

Коэффициенты уравнения регрессии

Коэффициенты	Стандартный пружинный палец	Пружинный палец с дугой на подбирающей поверхности	Пружинный палец с кольцевым витком на подбирающей поверхности
a_0	18,238	14,735	11,198
a_1	1,441	1,273	0,914
a_2	0,563	-0,513	0,292
a_3	0,621	0,336	0,217
a_{12}	0,034	-0,022	0,021
a_{13}	-0,08	0,017	0,032
a_{23}	-0,016	0,072	-0,039
a_{11}	-0,684	0,339	0,371
a_{22}	-0,558	-0,442	-0,243
a_{33}	-0,315	-0,254	-0,461

Предварительная обработка данных лабораторных экспериментов

Стандартный пружинный палец

Показатели	Опыт № 1			Опыт № 2			Опыт № 3		
	Повторность опыта			Повторность опыта			Повторность опыта		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ψ	14,46	14,57	14,30	14,52	14,15	14,58	15,11	15,14	15,08
ψ_{CP}	14,44			14,42			15,11		
Статистические характеристики									
$\nu, \%$	0,77			1,32			0.16		
$D(x)$	0,012			0,036			0,001		
$\sigma(x)$	0,110			0,190			0.024		
s	0,337			0,579			0.075		
$s\%$	2,34			4,01			0.49		
Показатели	Опыт № 4			Опыт № 5			Опыт № 6		
	Повторность опыта			Повторность опыта			Повторность опыта		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ψ	14,34	14,70	14,48	14,49	14,58	14,09	14,75	15,08	15,17
ψ_{CP}	14,51			14,39			15,10		
Статистические характеристики									
$\nu, \%$	1.02			1.48			1.20		
$D(x)$	0.022			0.045			0.033		
$\sigma(x)$	0.148			0.213			0.181		
s	0.451			0.648			0.549		
$s\%$	3.11			4.50			3.66		
Показатели	Опыт № 7			Опыт № 8			Опыт № 9		
	Повторность опыта			Повторность опыта			Повторность опыта		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ψ	15,75	15,59	15,16	15,09	14,86	15,37	14,92	14,84	15,14
ψ_{CP}	15.14			15,11			14,96		
Статистические характеристики									
$\nu, \%$	1.61			1.30			0.85		
$D(x)$	0.062			0.039			0.016		
$\sigma(x)$	0.249			0.197			0.127		
s	0.758			0.634			0.386		
$s\%$	4.89			4.20			2.58		

Показатели	Опыт № 10			Опыт № 11			Опыт № 12		
	Повторность опыта			Повторность опыта			Повторность опыта		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ψ	15,67	15,68	15,01	14,75	15,08	15,47	14,46	14,57	14,30
ψ_{CP}	15,45			15,10			14,44		
Статистические характеристики									
$\nu, \%$	2,03			1,95			0,77		
$D(x)$	0,098			0,087			0,012		
$\sigma(x)$	0,314			0,294			0,111		
s	0,954			0,895			0,337		
$s\%$	6,17			5,93			2,34		
Показатели	Опыт № 13			Опыт № 14			Опыт № 15		
	Повторность опыта			Повторность опыта			Повторность опыта		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ψ	15,09	14,60	15,27	15,11	15,14	15,08	15,67	15,68	15,41
ψ_{CP}	14,98			15,11			15,58		
Статистические характеристики									
$\nu, \%$	1,89			0,16			0,80		
$D(x)$	0,080			0,001			0,016		
$\sigma(x)$	0,283			0,024			0,125		
s	0,861			0,075			0,380		
$s\%$	5,75			0,49			2,44		

где ψ – масса зерна, вымолоченная одним пружинным пальцем, г;

ψ_{CP} – средняя масса зерна, вымолоченная одним пружинным пальцем, г;

σ – стандартное отклонение массы зерна, вымолоченными пружинными пальцами, г;

ν – коэффициент вариации, %;

$D(x)$ – дисперсия;

s – абсолютная ошибка, г;

$s\%$ – относительная ошибка, %.

Предварительная обработка данных лабораторных экспериментов

Пружинный палец с дугой на подбирающих поверхностях

Показатели	Опыт № 1			Опыт № 2			Опыт № 3		
	Повторность опыта			Повторность опыта			Повторность опыта		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ψ	14,15	14,57	14,73	13,87	14,21	14,72	14,12	13,72	13,86
ψ_{CP}	14,48			14,26			13,9		
Статистические характеристики									
$\nu, \%$	1,69			2,45			1,19		
$D(x)$	0,060			0,122			0,027		
$\sigma(x)$	0,245			0,349			0,166		
s	0,744			1,063			0,504		
$s\%$	5,14			7,45			3,63		
Показатели	Опыт № 4			Опыт № 5			Опыт № 6		
	Повторность опыта			Повторность опыта			Повторность опыта		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ψ	14,15	14,06	13,70	15,41	15,78	16,10	16,18	15,55	15,78
ψ_{CP}	13,97			15,76			15,83		
Статистические характеристики									
$\nu, \%$	1,39			1,79			1,64		
$D(x)$	0,038			0,079			0,068		
$\sigma(x)$	0,194			0,282			0,260		
s	0,592			0,858			0,792		
$s\%$	4,23			5,44			5,00		
Показатели	Опыт № 7			Опыт № 8			Опыт № 9		
	Повторность опыта			Повторность опыта			Повторность опыта		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ψ	15,60	15,21	14,84	16,42	15,87	15,99	14,71	15,21	15,21
ψ_{CP}	15,03			16,09			15,04		
Статистические характеристики									
$\nu, \%$	1,87			1,47			1,57		
$D(x)$	0,079			0,056			0,056		
$\sigma(x)$	0,282			0,236			0,236		
s	0,462			0,718			0,717		
$s\%$	3,07			4,46			4,77		

Показатели	Опыт № 10			Опыт № 11			Опыт № 12		
	Повторность опыта			Повторность опыта			Повторность опыта		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ψ	15,52	15,62	14,79	13,45	14,01	13,27	14,62	14,21	13,76
ψ_{CP}	15,31			13,57			14,19		
Статистические характеристики									
$v, \%$	2,42			2,32			2,47		
$D(x)$	0,137			0,099			0,123		
$\sigma(x)$	0,370			0,315			0,351		
s	1,126			0,959			1,069		
$s \%$	7,35			7,06			7,53		
Показатели	Опыт № 13			Опыт № 14			Опыт № 15		
	Повторность опыта			Повторность опыта			Повторность опыта		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ψ	14,14	15,03	14,92	13,31	13,15	13,03	14,71	14,43	14,36
ψ_{CP}	14,69			13,16			14,5		
Статистические характеристики									
$v, \%$	2,70			0,74			1,04		
$D(x)$	0,157			0,013			0,023		
$\sigma(x)$	0,396			0,115			0,151		
s	1,205			0,349			0,460		
$s \%$	8,20			2,65			3,17		

где ψ – масса зерна, вымолоченная одним пружинным пальцем, г;

ψ_{CP} – средняя масса зерна, вымолоченная одним пружинным пальцем, г;

σ – стандартное отклонение массы зерна, вымолоченными пружинными пальцами, г;

v – коэффициент вариации, %;

$D(x)$ – дисперсия;

s – абсолютная ошибка, г;

$s\%$ – относительная ошибка, %.

Предварительная обработка данных лабораторных экспериментов

Пружинный палец с кольцевым витком на подбирающей поверхности

Показатели	Опыт № 1			Опыт № 2			Опыт № 3		
	Повторность опыта			Повторность опыта			Повторность опыта		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ψ	12,05	12,43	12,36	13,87	13,92	14,17	14,23	13,49	13,86
ψ_{CP}	12,28			13,98			13,86		
Статистические характеристики									
$\nu, \%$	1,34			0,94			2,18		
$D(x)$	0,027			0,017			0,091		
$\sigma(x)$	0,165			0,131			0,302		
s	0,502			0,399			0,919		
$s \%$	4,09			2,85			6,63		
Показатели	Опыт № 4			Опыт № 5			Опыт № 6		
	Повторность опыта			Повторность опыта			Повторность опыта		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ψ	14,11	14,06	13,70	15,21	15,78	15,86	18,18	17,47	17,11
ψ_{CP}	13,95			15,61			17,58		
Статистические характеристики									
$\nu, \%$	1,31			1,85			2,53		
$D(x)$	0,033			0,084			0,198		
$\sigma(x)$	0,183			0,289			0,445		
s	0,556			0,880			1,353		
$s \%$	3,98			5,64			7,69		
Показатели	Опыт № 7			Опыт № 8			Опыт № 9		
	Повторность опыта			Повторность опыта			Повторность опыта		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ψ	15,75	15,59	15,16	15,09	14,86	15,37	14,92	14,84	15,14
ψ_{CP}	15,14			15,11			14,96		
Статистические характеристики									
$\nu, \%$	1.61			1.30			0.85		
$D(x)$	0.062			0.039			0.016		
$\sigma(x)$	0.249			0.197			0.127		
s	0.758			0.634			0.386		
$s \%$	4.89			4.20			2.58		

Показатели	Опыт № 10			Опыт № 11			Опыт № 12		
	Повторность опыта			Повторность опыта			Повторность опыта		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ψ	15,67	15,68	15,01	14,75	15,08	15,47	14,46	14,57	14,30
ψ_{CP}	15,45			15,10			14,44		
Статистические характеристики									
$\nu, \%$	2,03			1,95			0,77		
$D(x)$	0,098			0,087			0,012		
$\sigma(x)$	0,314			0,294			0,111		
s	0,954			0,895			0,337		
$s \%$	6,17			5,93			2,34		
Показатели	Опыт № 13			Опыт № 14			Опыт № 15		
	Повторность опыта			Повторность опыта			Повторность опыта		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ψ	15,09	14,60	15,27	15,11	15,14	15,08	15,67	15,68	15,41
ψ_{CP}	14,98			15,11			15,58		
Статистические характеристики									
$\nu, \%$	1,89			0,16			0,80		
$D(x)$	0,080			0,001			0,016		
$\sigma(x)$	0,283			0,024			0,125		
s	0,861			0,075			0,380		
$s \%$	5,75			0,49			2,44		

где ψ – масса зерна, вымолоченная одним пружинным пальцем, г;

ψ_{CP} – средняя масса зерна, вымолоченная одним пружинным пальцем, г;

σ – стандартное отклонение массы зерна, вымолоченными пружинными пальцами, г;

ν – коэффициент вариации, %;

$D(x)$ – дисперсия;

s – абсолютная ошибка, г;

$s\%$ – относительная ошибка, %.

Определение оптимальных значений факторов в программе Maple 13

Стандартный пружинный палец

Условие

$$\text{minimize}(18.238 + 1.44 \cdot x1 + 0.563 \cdot x2 + 0.621 \cdot x3 - 0.684 \cdot x1^2 - 0.558 \cdot x2^2 - 0.315 \cdot x3^2, x1 = -1 .. 1, x2 = -1 .. 1, x3 = -1 .. 1, \text{location})$$

Решение

$$14.05700000 \{ [\{ x1 = -1., x2 = -1., x3 = -1. \}, 14.05700000] \}$$

Пружинный палец с дугой на подбирающих поверхностях

Условие

$$\text{minimize}(14.735 + 1.273 \cdot x1 - 0.513 \cdot x2 + 0.336 \cdot x3 + 0.339 \cdot x1^2 - 0.442 \cdot x2^2 - 0.254 \cdot x3^2, x1 = -1 .. 1, x2 = -1 .. 1, x3 = -1 .. 1, \text{location})$$

Решение

$$12.25600000 \{ [\{ x1 = -1., x2 = 1., x3 = -1. \}, 12.25600000] \}$$

Пружинный палец с кольцевым витком на подбирающей поверхности

Условие

$$\text{minimize} \left(11.198 + 0.914 \cdot x_1 + 0.292 \cdot x_2 + 0.217 \cdot x_3 + 0.371 \cdot x_1^2 - 0.243 \cdot x_2^2 - 0.461 \cdot x_3^2, x_1 = -1 \dots 1, x_2 = -1 \dots 1, x_3 = -1 \dots 1, \right. \\ \left. \text{location} \right)$$

Решение

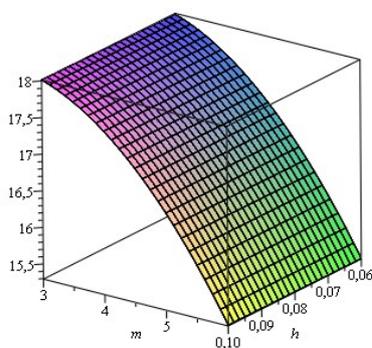
$$9.442000000 \{ [\{ x_1 = -1., x_2 = -1., x_3 = -1. \}, 9.442000000] \}$$

Построение графических зависимостей неравномерности распределения семян
в программе Maple13

Стандартный пружинный палец

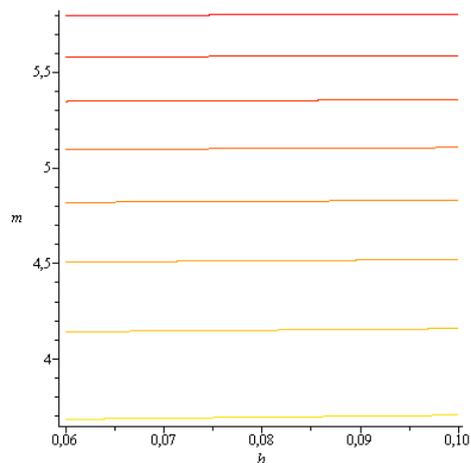
Построение поверхности отклика

$plot3d(16.979000000 + 0.960000000 m + 0.1120000000$
 $+ 0.3100000000 h - 0.2070000000 m \cdot m - 0.0120000000 h^0$
 $- 0.0240000000 h \cdot h, h = 0.06..0.10, m = 3..6)$



Построение контурного графика

$with(plots) : contourplot(16.979000000 + 0.960000000 m$
 $+ 0.1120000000 h + 0.3100000000 h - 0.2070000000 m \cdot m$
 $- 0.0120000000 h^0 - 0.0240000000 h \cdot h, h = 0.06..0.10, m = 3..6)$

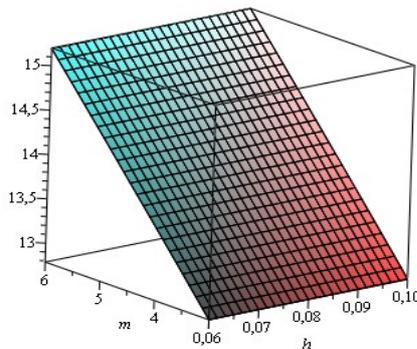


Построение графических зависимостей неравномерности распределения семян
в программе Maple13

Пружинный палец с дугой на подбирающих поверхностях

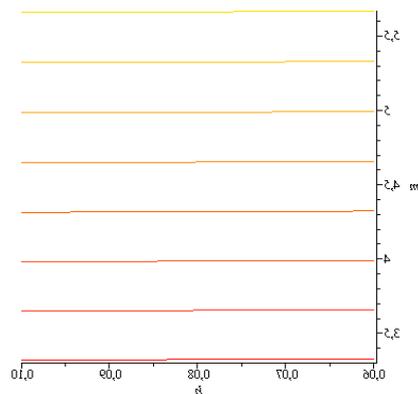
Построение поверхности отклика

$plot3d(10.278000000 + 0.848000000m - 0.1020000000$
 $+ 0.1680000000h - 0.00510000000m \cdot m - 0.0070000000^2$
 $- 0.0160000000h \cdot h, h = 0.06..0.10, m = 3..6)$



Построение контурного графика

$with(plots) : contourplot(10.278000000 + 0.848000000m$
 $- 0.1020000000 + 0.1680000000h - 0.00510000000m \cdot m$
 $- 0.0070000000^0 - 0.0160000000h \cdot h, h = 0.06..0.10, m = 3..6)$

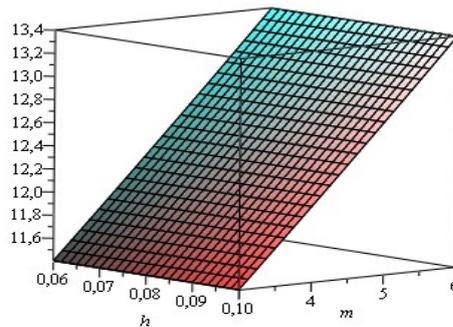


Построение графических зависимостей неравномерности распределения семян
в программе Maple13

Пружинный палец с кольцевым витком на подбирающей поверхности

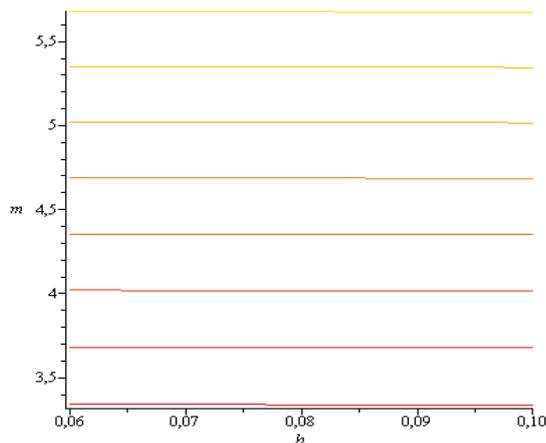
Построение поверхности отклика

$plot3d(9.517000000 + 0.609000000 m + 0.0580000000$
 $+ 0.10600000000 h + 0.00610000000 m \cdot m - 0.0020000000^2$
 $- 0.0530000000 h \cdot h, h = 0.06 .. 0.1, m = 3 .. 6)$



Построение контурного графика

$with(plots) : contourplot(9.517000000 + 0.609000000 m$
 $+ 0.0580000000 + 0.10600000000 h + 0.00610000000 m \cdot m$
 $- 0.0020000000^2 - 0.0530000000 h \cdot h, h = 0.06 .. 0.10, m = 3 .. 6)$



Потери зерна при подборе валков хлебной массы подборщиком,
оснащенным стандартными пружинными пальцами, кг/га
(зерноуборочный комбайн «ACROS-530»)

Показатели	Скорость подбора, м/с (км/ч)	Повторность опыта					Статистические показатели		
		1	2	3	4	5	\bar{x}	σ	$\nu, \%$
Опыт № 1									
Свободное зерно	1,0 (3,6)	4,4	5,6	3,8	3,6	6,3	4,74	1,05	22,07
Неподобранным колосом	1,0 (3,6)	24,5	20,6	12,3	12,1	10,9	16,08	5,45	33,87
Суммарные	1,0 (3,6)	28,9	26,2	16,1	15,7	17,2	20,82	5,58	26,81
Опыт № 2									
Свободное зерно	1,5 (5,4)	3,9	4,8	5,9	5,0	6,3	5,18	0,85	16,35
Неподобранным колосом	1,5 (5,4)	17,8	21,1	12,6	15,7	14,3	16,3	2,94	18,06
Суммарные	1,5 (5,4)	21,7	25,9	18,5	20,7	20,6	21,48	2,44	11,37
Опыт № 3									
Свободное зерно	2,0 (7,2)	3,4	3,9	3,1	3,9	4,5	3,76	0,48	12,77
Неподобранным колосом	2,0 (7,2)	20,8	19,3	23,4	15,9	11,2	18,12	4,23	23,32
Суммарные	2,0 (7,2)	24,2	23,2	26,5	19,8	15,7	21,88	3,77	17,22

где \bar{x} – среднее арифметическое отклонение, кг/га;

σ – среднеквадратическое отклонение, кг/га;

ν – коэффициент вариации, %.

Потери зерна при подборе валков хлебной массы подборщиком,
оснащенным пружинными пальцами с наличием кольцевого витка
на подбирающей поверхности, кг/га
(зерноуборочный комбайн «ACROS-530»)

Показатели	Скорость подбора, м/с (км/ч)	Повторность опыта					Статистические показатели		
		1	2	3	4	5	\bar{x}	σ	$\nu, \%$
Опыт № 1									
Свободное зерно	1,0 (3,6)	0,8	1,2	3,6	2,9	1,0	1,9	1,13	59,55
Неподобранным колосом	1,0 (3,6)	16,2	11,2	16,6	11,9	9,2	13,02	2,09	22,28
Суммарные	1,0 (3,6)	17	12,4	20,2	14,8	10,2	14,92	3,49	23,38
Опыт № 2									
Свободное зерно	1,5 (5,4)	2,6	3,5	3,0	2,0	1,8	2,58	0,63	24,32
Неподобранным колосом	1,5 (5,4)	14,7	11,9	15,7	13,4	12,4	13,62	1,41	10,38
Суммарные	1,5 (5,4)	17,3	15,4	18,7	15,4	14,2	16,2	1,60	9,85
Опыт № 3									
Свободное зерно	2,0 (7,2)	4,0	1,8	2,9	2,1	1,7	2,5	0,86	34,41
Неподобранным колосом	2,0 (7,2)	20,4	18,3	10,2	16,8	12,3	15,6	3,76	24,29
Суммарные	2,0 (7,2)	20,8	20,1	13,1	18,9	14,0	17,38	3,20	18,40

где \bar{x} – среднее арифметическое отклонение, кг/га;

σ – среднеквадратическое отклонение, кг/га;

ν – коэффициент вариации, %.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 158040

**ПРУЖИННЫЙ ПОДБИРАЮЩИЙ ПАЛЕЦ ДЛЯ
ТРАНСПОРТЕРНОГО ПОДБОРЩИКА
ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА**

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Южно-Уральский государственный аграрный университет" (ФГБОУ ВО Южно-Уральский ГАУ) (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2015118490

Приоритет полезной модели 18 мая 2015 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 25 ноября 2015 г.

Срок действия патента истекает 18 мая 2025 г.

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **158 040** (13) **U1**(51) МПК
A01D 89/00 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2015118490/13, 18.05.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
18.05.2015

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 18.05.2015

(45) Опубликовано: 20.12.2015 Бюл. № 35

Адрес для переписки:

454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 75, ФГБОУ
ВО Южно-Уральский ГАУ, кафедра
"Уборочные машины"

(72) Автор(ы):

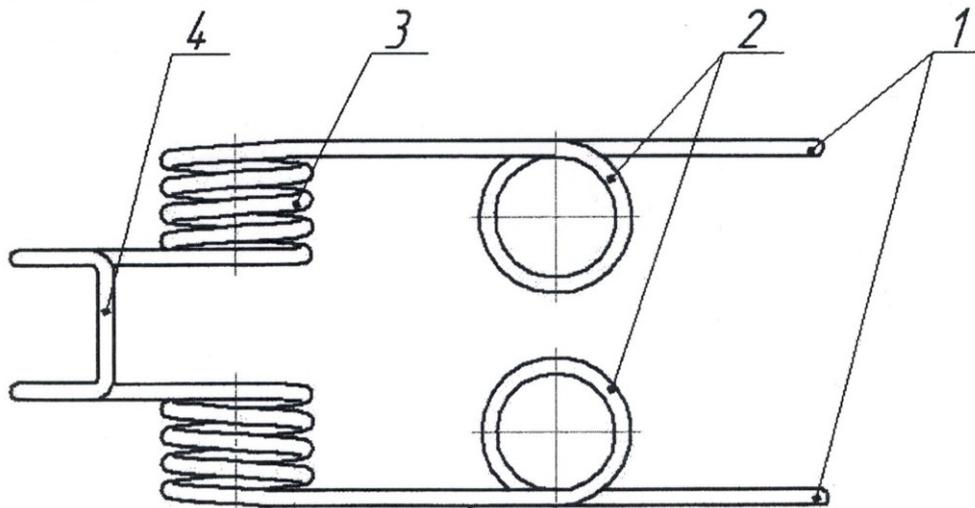
Ловчиков Александр Петрович (RU),
Огнев Игорь Игоревич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Южно-Уральский
государственный аграрный университет"
(ФГБОУ ВО Южно-Уральский ГАУ) (RU)(54) ПРУЖИННЫЙ ПОДБИРАЮЩИЙ ПАЛЕЦ ДЛЯ ТРАНСПОРТЕРНОГО ПОДБОРЩИКА
ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

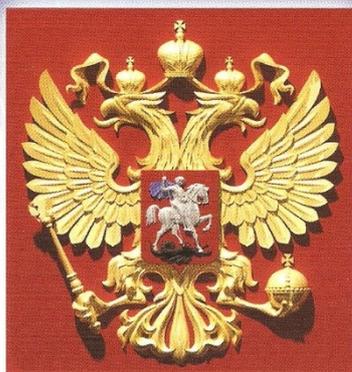
(57) Формула полезной модели

Пружинный подбирающий палец для транспортерного подборщика зерноуборочного комбайна, выполненный в виде двух граблин с пружинами, соединенных опорной частью, отличающийся тем, что граблины изогнуты в центральной части в форме витка с диаметром витка, равным 15-30 мм.



RU 158040 U1

RU 158040 U1



ФОНД СОДЕЙСТВИЯ РАЗВИТИЮ
малых форм предприятий в научно-технической сфере

ДИПЛОМ

Победитель программы “Участник молодежного
научно-инновационного конкурса” (“УМНИК”)

Огнев

Игорь

Игоревич

*Председатель
Наблюдательного совета*

*Генеральный директор
Фонда содействия развитию
малых форм предприятий
в научно-технической сфере*



И.М. Бортник

С.Г. Поляков



Сертификат участника
V Международной научно-практической конференции
«Актуальные проблемы науки XXI века»



Огнев Игорь Игоревич

Ognev Igor' Igorevich

Certificate of the participant
V International scientific conference
« Actual problems of science of the XXI century »

15.12.2015

г. Москва



Фролов В.В.

«УТВЕРЖДАЮ»
 Первый проректор по научной
 Работе ФГБОУ ВО
 «Южно-Уральский ГАУ»
 М.Ф. Юдин
 24 августа 2015г.



«УТВЕРЖДАЮ»
 Генеральный директор
 ООО «Светлогорское зерно»
 О. В. Беляев
 24 августа 2015г.



АКТ ВНЕДРЕНИЯ результатов научно-исследовательской работы

Мы, нижеподписавшиеся: представитель ООО «Светлогорское зерно» – генеральный директор О.В. Беляев с одной стороны и представители ФГБОУ ВО «Южно-Уральский ГАУ» – заведующий кафедрой «Уборочные машины» д.т.н., профессор А.П. Ловчиков; аспирант кафедры «Уборочные машины» И.И. Огнев с другой стороны, составили настоящий акт о внедрении результатов законченной научно-исследовательской работы «Совершенствование подбирающей поверхности пружинного пальца транспортера подборщика-адаптера зерноуборочного комбайна ACROS – 530».

Начало внедрения разработки: август 2015 г.

Результатом законченной научно-исследовательской работы является: Пружинный подбирающий палец с образованным кольцевым витком на подбирающей поверхности.

Внедряемая научно-исследовательская работа (сведения о патентах и изобретениях): Получен патент РФ на полезную модель № 158040 RU МПК А 01 D 89/00. «Пружинный подбирающий палец для транспортерного подборщика зерноуборочного комбайна» (№ 2015118490/13; заявл. 18.05.2015; опубл. 20.12.2015, Бюл. № 35.)

Кем и когда разработка рекомендована к внедрению: Ловчиков А.П. – д.т.н., профессор; Огнев И.И. – аспирант.

Внедрение результатов научно-исследовательской работы:

- 1) **Принято к внедрению:** в ООО «Светлогорское зерно»;
- 2) **Демонстрация на выставках, публикация в печати и т.д.:** статьи в изданиях, рекомендуемых в ВАК РФ;
- 3) **Реализовано:** результаты работы используются в учебном процессе кафедры «Уборочные машины» ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет» и в учебном процессе кафедры «Эксплуатация транспортных и технологических машин» ФГБОУ ВПО «Уральский государственный аграрный университет».

4) В результате научно-исследовательской работы:

Применение предлагаемых пружинных подбирающих пальцев с образованным кольцевым витком обеспечивает повышение качества подбора хлебной массы из валка и сокращение потерь зерна на 25 – 30 % в сравнение с серийными подбирающими пальцами.

Экономический эффект от внедрения научно-исследовательской работы получен в ООО «Светлогорское зерно» Агаповского района Челябинской области в 2015 г. и составляет при уборке валка хлебной массы с межвалковым расстоянием равным 9 м, – 29000 руб., а при уборке спаренных валков (межвалковое расстояние – 18 м) хлебной массы – 58000 руб. за сезон от применения одного транспортного подборщика, снабженного пружинными пальцами в виде кольцевого витка на подбирающей поверхности.

Предложение о дальнейшем внедрении работы: требует внедрения в производство.

Представитель
ООО «Светлогорское зерно»
Генеральный директор



О. В. Беляев

Представители от ФГБОУ ВО «Южно-Уральский ГАУ»
Заведующий кафедрой «Уборочные машины»
д.т.н., профессор



А. П. Ловчиков

Аспирант кафедры «Уборочные машины»



И. И. Огнев

«УТВЕРЖДАЮ»
 Первый проректор по научной
 Работе ФГБОУ ВО
 «Южно-Уральский ГАУ»
 М.Ф. Юдин
 31 августа 2015г.



«УТВЕРЖДАЮ»
 Генеральный директор
 ООО «Варнаагромаш»
 В.Н. Коновалов
 31 августа 2015г.



АКТ ВНЕДРЕНИЯ результатов научно-исследовательской работы

Мы, нижеподписавшиеся: представитель ООО «Варнаагромаш» – генеральный директор к.т.н., заслуженный работник с.х. РФ В. Н. Коновалов с одной стороны и представители ФГБОУ ВО «Южно-Уральский ГАУ» – заведующий кафедрой «Уборочные машины» д.т.н., профессор А. П. Ловчиков; аспирант кафедры «Уборочные машины» И. И. Огнев с другой стороны, составили настоящий акт о внедрении результатов законченной научно-исследовательской работы «Совершенствование подбирающей поверхности пружинного пальца транспортера подборщика-адаптера зерноуборочного комбайна ACROS – 530».

Начало внедрения разработки: август 2015 г.

Результатом законченной научно-исследовательской работы является: Пружинный подбирающий палец с образованным кольцевым витком на подбирающей поверхности.

Внедряемая научно-исследовательская работа (сведения о патентах и изобретениях): Получен патент РФ на полезную модель № 158040 RU МПК А 01 D 89/00. «Пружинный подбирающий палец для транспортерного подборщика зерноуборочного комбайна» (№ 2015118490/13; заявл. 18.05.2015; опубл. 20.12.2015, Бюл. № 35.)

Кем и когда разработка рекомендована к внедрению: Ловчиков А.П. – д.т.н., профессор; Огнев И.И. – аспирант.

Внедрение результатов научно-исследовательской работы:

- 1) **Принято к внедрению:** в ООО «Варнаагромаш»;
- 2) **Демонстрация на выставках, публикация в печати и т.д.:** статьи в изданиях, рекомендуемых в ВАК РФ;
- 3) **Реализовано:** результаты работы используются в учебном процессе кафедры «Уборочные машины» ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет» и в учебном процессе кафедры «Эксплуатация транспортных и технологических машин» ФГБОУ ВПО «Уральский государственный аграрный университет».

4) В результате научно-исследовательской работы:

Применение предлагаемых пружинных подбирающих пальцев с образованным кольцевым витком обеспечивает сокращение потерь зерна на 25 – 30 % в сравнение с серийными подбирающими пальцами.

Экономический эффект от внедрения научно-исследовательской работы получен в ООО «Варнаагромаш» Варненского района Челябинской области в 2015 г. и составляет при уборке валка хлебной массы с межвалковым расстоянием равным 9 м, – 29000 руб., а при уборке спаренных валков (межвалковое расстояние – 18 м) хлебной массы – 58000 руб. за сезон от применения одного транспортерного подборщика, снабженного пружинными пальцами в виде кольцевого витка на подбирающей поверхности.

Предложение о дальнейшем внедрении работы: требует внедрения в производство.

Представитель
ООО «Варнаагромаш»
Генеральный директор
к.т.н., заслуженный работник с.х. РФ



В. Н. Коновалов

Представители от ФГБОУ ВО «Южно-Уральский ГАУ»
Заведующий кафедрой «Уборочные машины»
д.т.н., профессор

А. П. Ловчиков

Аспирант кафедры «Уборочные машины»

И. И. Огнев

«УТВЕРЖДАЮ»
 Первый проректор по научной
 Работе ФГБОУ ВО
 «Южно-Уральский ГАУ»
 М.Ф. Юдин
 17 сентября 2015г.



«УТВЕРЖДАЮ»
 Индивидуальный предприниматель
 Глава крестьянского
 (фермерского) хозяйства
 Дроботенко Игорь Анатольевич
 И.А. Дроботенко
 «28» 08 2015г

АКТ ВНЕДРЕНИЯ результатов научно-исследовательской работы

Мы, нижеподписавшиеся: представитель главы крестьянского (фермерского) хозяйства Дроботенко Игоря Анатольевича – глава И.А. Дроботенко с одной стороны и представители ФГБОУ ВО «Южно-Уральский ГАУ» – заведующий кафедрой «Уборочные машины» д.т.н., профессор А.П. Ловчиков; аспирант кафедры «Уборочные машины» И.И. Огнев с другой стороны, составили настоящий акт о внедрении результатов законченной научно-исследовательской работы «Совершенствование технологического процесса подбора валков хлебной массы и обоснование конструктивных, и режимных параметров транспортерного подборщика».

Начало внедрения разработки: август 2015 г.

Результатом законченной научно-исследовательской работы является: Пружинный подбирающий палец с образованным кольцевым витком на подбирающей поверхности.

Внедряемая научно-исследовательская работа (сведения о патентах и изобретениях): Получен патент РФ на полезную модель № 158040 RU МПК А 01 D 89/00. «Пружинный подбирающий палец для транспортерного подборщика зерноуборочного комбайна» (№ 2015118490/13; заявл. 18.05.2015; опубл. 20.12.2015, Бюл. № 35.)

Кем и когда разработка рекомендована к внедрению: Ловчиков А.П. – д.т.н., профессор; Огнев И.И. – аспирант.

Внедрение результатов научно-исследовательской работы:

1) **Принято к внедрению:** в крестьянском (фермерском) хозяйстве Дроботенко Игоря Анатольевича

2) **Демонстрация на выставках, публикация в печати и т.д.:** статьи в изданиях, рекомендуемых в ВАК РФ

3) **Реализовано:** результаты работы используются в учебном процессе кафедры «Уборочные машины» ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет» и в учебном процессе кафедры «Эксплуатация

транспортных и технологических машин» ФГБОУ ВПО «Уральский государственный аграрный университет».

4) В результате научно-исследовательской работы:

Применение предлагаемых пружинных подбирающих пальцев с образованным кольцевым витком обеспечивает повышение качества подбора и сокращение потерь зерна на 25 – 30 % в сравнение с серийными подбирающими пальцами.

Экономический эффект от внедрения научно-исследовательской работы получен в крестьянском (фермерском) хозяйстве Дроботенко Игоря Анатольевича с. Варламово Чебаркульского района Челябинской области в 2015 г. И составляет при уборке валка хлебной массы с межвалковым расстоянием равным 9 м, – 28539 руб., а при уборке спаренных валков (межвалковое расстояние – 18 м) хлебной массы – 57229,2 руб. за сезон от применения одного транспортного подборщика снабженного пружинными пальцами в виде кольцевого витка на подбирающей поверхности.

Предложение о дальнейшем внедрении работы: требует внедрения в производство.

Представитель главы крестьянского
(фермерского) хозяйства
Дроботенко Игоря Анатольевича
Глава



И. А. Дроботенко

Представители от ФГБОУ ВО «Южно-Уральский ГАУ»
Заведующий кафедрой «Уборочные машины»
д.т.н., профессор



А. П. Ловчиков

Аспирант кафедры «Уборочные машины»



И. И. Огнев



Форма №

Р 6 1 0 0 2

Федеральная налоговая служба

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации крестьянского (фермерского) хозяйства

Настоящим подтверждается, что в соответствии с Федеральным законом "О крестьянском (фермерском) хозяйстве", Федеральным законом "О государственной регистрации юридических лиц и индивидуальных предпринимателей" в Единый государственный реестр индивидуальных предпринимателей внесена запись о государственной регистрации крестьянского (фермерского) хозяйства, главой которого является

Дроботенко Игорь Анатольевич

(фамилия, имя, отчество)

за основным государственным регистрационным номером записи о государственной регистрации индивидуального предпринимателя (ОГРНИП)

3	1	2	7	4	2	0	0	9	7	0	0	0	2	3
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Дата внесения записи

" 6 " " апреля " " 2012 "

(число)

(месяц (прописью))

(год)

Межрайонная инспекция Федеральной налоговой службы №5 по Челябинской области
(наименование регистрирующего органа)

Должность уполномоченного
лица регистрирующего органа

Заместитель начальника



Побегаева Татьяна
Васильевна

(подпись, Ф.И.О.)

серия 74 №004985241

УТВЕРЖДАЮ:

Декан факультета ТТМ и С
Уральского государственного
аграрного университета
М.Л. Юсупов
2016 г.



СПРАВКА

об использовании в учебном процессе кафедры «Эксплуатация транспортных и технологических машин» Уральского государственного аграрного университета материалов кандидатской диссертации Огнева И.И. на тему «Совершенствование технологического процесса подбора валков хлебной массы и обоснование конструктивных, и режимных параметров транспортерного подборщика»

Дана Огневу Игорю Игоревичу в том, что разработанные автором «Методика замера самоуплотнения валка хлебной массы от угла положения пружинного пальца» и «Расчет контактной площади пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности» используются в учебном процессе кафедры «Эксплуатация транспортных и технологических машин» Уральского государственного аграрного университета.

Заведующий кафедрой
«Эксплуатация транспортных
и технологических машин»
Уральского государственного
аграрного университета
к.т.н., профессор

 А.Н. Зеленин