

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический  
университет имени П.А. Костычева»

На правах рукописи



**ЕСЕНИН МИХАИЛ АНАТОЛЬЕВИЧ**

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАЗРАВНИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА  
ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ – МУЛЬЧИРОВЩИКА НЕЗЕРНОВОЙ ЧАСТИ УРОЖАЯ**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского  
хозяйства

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

Борычев Сергей Николаевич

Рязань 2022

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение.....                                                                                                                              | 6  |
| Глава 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА<br>ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЗЕРНОВОЙ ЧАСТИ УРОЖАЯ В КАЧЕСТВЕ<br>УДОБРЕНИЯ.....                               | 11 |
| 1.1 Обзор технологий и технических средств для проведения<br>уборочных работ.....                                                          | 11 |
| 1.2 Обзор технологий использования незерновой части урожая в<br>качестве удобрения.....                                                    | 12 |
| 1.3 Агротехнические требования к машинам и устройствам для<br>измельчения и разбрасывания соломистой массы незерновой части<br>урожая..... | 19 |
| 1.4 Анализ факторов, влияющих на эффективность использования<br>незерновой части урожая в качестве удобрения.....                          | 24 |
| 1.5 Анализ факторов, влияющих на равномерность распределения<br>измельченной массы по поверхности поля.....                                | 29 |
| 1.6 Анализ технических средств, разравнивающих соломистую массу<br>незерновой части урожая .....                                           | 33 |
| 1.7 Постановка цели и задач научного исследования.....                                                                                     | 41 |
| Выводы по главе 1.....                                                                                                                     | 42 |
| Глава 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ<br>РАЗРАВНИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА.....                                                          | 44 |
| 2.1 Конструктивно – технологическая схема разравнивающего<br>устройства.....                                                               | 44 |
| 2.2 Определение высоты установки разравнивающего<br>устройства.....                                                                        | 46 |
| 2.3 Теоретическое исследование влияния угла раствора<br>разравнивающего устройства на движение соломистой массы .....                      | 50 |

|                                                                                                                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.4 Теоретическое исследование колебаний разравнивающего устройства .....                                                                                                             | 57 |
| Выводы по главе 2.....                                                                                                                                                                | 61 |
| Глава 3. ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАЗРАВНИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА СОЛОМИСТОЙ МАССЫ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ - МУЛЬЧИРОВЩИКА.....                                                           | 63 |
| 3.1 Программа экспериментальных исследований разравнивающего устройства.....                                                                                                          | 63 |
| 3.2 Методика определения скорости воздушного потока на выходе направляющего дефлектора измельчителя - мульчировщика.....                                                              | 64 |
| 3.3 Методика определения поперечного профиля вала солоистой массы незерновой части урожая.....                                                                                        | 66 |
| 3.4 Методика определения параметров разравнивающего устройства.....                                                                                                                   | 66 |
| 3.5 Результаты исследования скорости воздушного потока на выходе направляющего дефлектора измельчителя – мульчировщика.....                                                           | 67 |
| 3.6 Результаты определения поперечного профиля вала солоистой массы незерновой части урожая.....                                                                                      | 69 |
| 3.7 Результаты определения параметров разравнивающего устройства.....                                                                                                                 | 73 |
| Выводы по главе 3.....                                                                                                                                                                | 76 |
| Глава 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАЗРАВНИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ – МУЛЬЧИРОВЩИКА.....                                                               | 78 |
| 4.1 Объект полевого исследования и характеристика опытного участка для проведения полевых экспериментальных исследований разравнивающего устройства измельчителя – мульчировщика..... | 78 |

|                                                                                                                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.2 Общие методы исследования, лабораторные приборы и оборудование, применяемые при проведении полевых экспериментальных исследований.....                  | 80  |
| 4.3 Методика определения равномерности распределения измельченной соломистой массы незерновой части урожая по поверхности поля.....                         | 84  |
| 4.4 Методика определения гранулометрического состава измельченной соломистой массы незерновой части урожая на соответствие агротехническим требованиям..... | 86  |
| 4.5 Методика планирования многофакторного эксперимента.....                                                                                                 | 87  |
| 4.6 Результаты определения неравномерности валка соломистой массы незерновой части урожая по длине.....                                                     | 92  |
| 4.7 Результаты определения гранулометрического состава измельченной массы.....                                                                              | 93  |
| 4.8 Результаты многофакторного эксперимента.....                                                                                                            | 99  |
| 4.9 Результаты хозяйственных испытаний измельчителя - мульчировщика, оснащенного разравнивающим устройством.....                                            | 104 |
| Выводы по главе 4.....                                                                                                                                      | 107 |
| Глава 5. ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗРАВНИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ – МУЛЬЧИРОВЩИКА.....                                      | 108 |
| 5.1 Определение затрат на изготовление разравнивающего устройства.....                                                                                      | 108 |
| 5.2 Расчет эксплуатационных затрат.....                                                                                                                     | 110 |
| 5.3 Расчет показателей экономической эффективности от увеличения урожайности последующих сельскохозяйственных культур.....                                  | 116 |
| 5.4 Расчет дополнительных параметров экономической эффективности.....                                                                                       | 120 |
| Выводы по главе 5.....                                                                                                                                      | 128 |

|                                               |     |
|-----------------------------------------------|-----|
| Заключение.....                               | 129 |
| Список сокращений и условных обозначений..... | 131 |
| Список литературы.....                        | 137 |
| Приложения.....                               | 164 |

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** Ежегодно в Российской Федерации собирают большой урожай зерна. По данным Минсельхоза РФ средний урожай за последние три года составил 126,8 млн. тонн. Получение такого высокого урожая невозможно без обеспечения питания для растений. В эпоху интенсивного сельского хозяйства основным источником питания для растений служат минеральные удобрения. В настоящее время цены на минеральные удобрения достигли исторического максимума, что сильно ограничило их использование сельхозтоваропроизводителями. В качестве дополнительного источника питательных элементов может служить незерновая часть урожая, заделываемая в почву и позволяющая сократить количество используемых минеральных удобрений.

**Степень разработанности темы.** По тематике исследования диссертационной работы был проведен подробный анализ работ таких ученых как: Богданчиков И.Ю., Бышов Н.В., Ягельский М.Ю., Логинов И.В., Артемов В.Е., Марадудин А.М., Тетерин В.С., Пьянов В.С., Маслов Г.Г., Ангилеев О.Г., Трубилин В.И., Присяжная И.М., Абдрахманов Р.К., Алдошин Н.В., Жалнин Э.В., Чаплыгин М.Е., Ринас Н.А., Папуша С.К.

Работа выполнена в рамках темы НИР по заданию Минсельхоза РФ в 2018 году «Исследование эффективности использования биологических удобрений и биопрепаратов, а также гуминовых продуктов для повышения урожайности сельскохозяйственных культур и улучшения качества растениеводческой продукции (в модельных, краткосрочных полевых опытах и в условиях производства)» № гос. Регистр. ААА-А18-1181003900059-3, в 2019 году «Повышение урожайности сельскохозяйственной продукции за счет обработки и заделки пожнивных остатков для получения безопасного и эффективного биологического удобрения» № гос. Регистр. АААА-А19-№119032190079-6 и в 2020 году «Повышение эффективности использования соломы и сидератов в системе органического земледелия» № гос. Регистр.

АААА-А20-120032490134-5, а также в соответствии с комплексной темой НИР №3 ФГБОУ ВО РГАТУ на 2016-2020 гг. № гос. Регитр. АААА-А16-116060910025-5 «Совершенствование технологий, средств механизации, электрификации и технического сервиса в сельскохозяйственном производстве» подраздела 2.3. «Совершенствование технологии, средств измельчения и заделки растительных остатков сельскохозяйственных культур с исследованием их влияния на показатели плодородия серых лесных почв южной Нечерноземной зоны России» и в соответствии с комплексной темой НИР №1 ФГБОУ ВО РГАТУ на 2021-2025 гг. Рег. № НИОКТР 122020200038-8 "СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ, СРЕДСТВ МЕХАНИЗАЦИИ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ И ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКИХ ТЕРРИТОРИЙ" Раздел 1.3. Совершенствование технологий, разработка и повышение надежности технических средств возделывания, уборки, транспортировки, хранения и переработки сельскохозяйственных культур в агропромышленном комплексе Подраздел 1.3.3. Совершенствование технологии, средств утилизации растительных остатков сельскохозяйственных культур для условий Рязанской области.

**Цель исследований** – повышение равномерности распределения соломистой массы при измельчении незерновой части урожая измельчителем - мульчировщиком.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи исследования:

- провести анализ конструкций разравнивающих устройств, используемых для разравнивания соломистой массы незерновой части урожая и определить перспективы развития;
- провести теоретическое обоснование параметров разравнивающего устройства;
- провести экспериментальное уточнение параметров разравнивающего устройства;

- оценить экономический эффект от внедрения измельчителя – мульчировщика, оборудованного разравнивающим устройством.

**Объект исследования** – измельчитель – мульчировщик, оснащенный разравнивающим устройством валка соломистой массы незерновой части урожая.

**Предмет исследования** – закономерности взаимодействия разравнивающего устройства с соломистой массой незерновой части урожая.

**Научную новизну работы** составляют:

- механико-математические зависимости параметров разравнивающего устройства и равномерности распределения измельченной соломистой массы;
- регрессионные модели зависимости равномерности распределения измельченной соломистой массы по поверхности поля, а также средней длины продуктов измельчения.

**Теоретическую значимость работы** составляют установленные теоретические зависимости, позволяющие определить рациональные параметры разравнивающего устройства.

**Практическую ценность работы** составляют определенные рациональные параметры разравнивающего устройства.

**Методология и методы исследования.** Основой диссертационного исследования является обобщение известных научных результатов и методик, которые использовались для определения рациональных параметров разравнивающего устройства.

Определение рациональных параметров разравнивающего устройства проводилось по известным и частным методикам с использованием программного обеспечения Microsoft Office, STATISTICA 10, Math CAD.

**Положения, выносимые на защиту:**

- теоретические исследования процесса взаимодействия разравнивающего устройства с валком незерновой части урожая;
- результаты лабораторно-полевых исследований измельчителя-мульчировщика, оборудованного разравнивающим устройством;



- экономический эффект от внедрения разравнивающего устройства.

**Достоверность результатов исследований.** При проведении лабораторных и хозяйственных исследований применялись современные методики, приборы и установки. Применялись ГОСТ Р 52759-2007, ГОСТ 20915-2011, ГОСТ ISO 6497-2014, ГОСТ ISO 6498-2014, ГОСТ Р 8.736-2011.

Результаты теоретических исследований в достаточной степени согласуются с полученными экспериментальными данными (расхождение не более 5%). Результаты, полученные в ходе выполнения работы, согласуются с результатами, опубликованными в независимых источниках по тематике исследования, и прошли апробацию в печати, на международных и всероссийских научно-практических конференциях.

**Реализация результатов исследований.** Результаты исследований получены при испытаниях в ОАО «Рязаньагрохим» и УНИЦ «Агротехнопарк» Рязанского района Рязанской области.

**Вклад автора в решение поставленных задач** состоит в разработке и формулировании цели работы, в проведении теоретических и экспериментальных исследований по определению параметров разравнивающего устройства. При этом автору принадлежит участие в постановке задач исследований, непосредственное проведение теоретических исследований и экспериментов по обоснованию параметров разравнивающего устройства, обработка результатов и их интерпретация, участие в написании статей и выводов по ним.

**Апробация результатов.** Основные положения исследований диссертации обсуждены на всероссийских и международных научно-практических конференциях ФГБОУ ВО РГАТУ (2015 – 2022 гг), Всероссийском конкурсе на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых высших учебных заведений Минсельхоза России.

**Публикации.** По теме диссертационной работы опубликовано 5 печатных работ, в том числе 2 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ для

публикации результатов диссертационных работ на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук, получен патент РФ на полезную модель.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников из 148 наименований и приложений.

## **Глава 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЗЕРНОВОЙ ЧАСТИ УРОЖАЯ В КАЧЕСТВЕ УДОБРЕНИЯ**

### **1.1 Обзор технологий и технических средств для проведения уборочных работ**

Результирующей операцией в растениеводстве является уборка урожая. Для уборки зерновых культур применяют зерноуборочные комбайны, отделяющие зерно от незерновой части урожая. Наиболее распространенная технология уборки урожая предусматривает прямое комбайнирование, когда жатвенная часть комбайна срезает растения и направляет их к молотильным рабочим органам [57, 58]. Для обеспечения наилучшей загрузки молотильных устройств производители выпускают жатки шириной до 11,2 метров [112, 131]. В процессе обмолота происходит отделение зерна от незерновой части урожая, при этом стебли растений испытывают большое количество механических воздействий. Отмечено что в комбайнах с аксиально-роторными молотильными рабочими органами наблюдается повышенное перебивание соломы [3, 5]. Такое воздействие на солоmistую массу в дальнейшем оказывает влияние на качество ее измельчения. Увеличение ширины захвата жатки увеличивает количество солоmistой массы, требующей измельчения, усложняет процесс распределения измельченной массы. Технический уровень современных зерноуборочных комбайнов позволяет работать с широкозахватными жатками и большим количеством хлебной массы, подаваемой к молотильному устройству, однако с измельчением и распределением измельченной солоmistой массы незерновой части урожая на всю ширину захвата жатки большинство комбайнов не справляется [147].

Помимо прямого комбайнирования существует несколько других технологий проведения уборочных работ. Э.В. Жалнин рекомендует сочетать прямую уборку культур с отдельной уборкой, когда зерноуборочный комбайн обмолачивает хлебный валок, предварительно сформированный жаткой и очесывание зерна на корню, когда специализированная жатка для зерноуборочного комбайна не срезает растения целиком, а только отделяет колос от стебля [145]. В статье [71] отмечено, что очесывание зерна на корню позволяет уменьшить энергоемкость уборочного процесса и является перспективным направлением развития. После прохода очесывающей жатки на поле остается незерновая часть урожая в виде высокой стерни, затрудняющей последующую почвообработку и требующую измельчения специальными машинами.

В зависимости от применяемой технологии и технических средств для уборки урожая на поверхности поля остается разное по характеру распределения и качеству количество незерновой части урожая. В ряде случаев требуется проведение дополнительных операций по утилизации незерновой части урожая перед проведением почвообрабатывающих мероприятий.

## **1.2 Обзор технологий использования незерновой части урожая в качестве удобрения**

Ежегодно в Российской Федерации собирается большой урожай зерна. По данным Минсельхоза РФ средний урожай за последние три года составил 126,8 млн. тонн. Получение такого высокого урожая невозможно без обеспечения питания для растений. В эпоху интенсивного сельского хозяйства основным источником питания для растений служат минеральные удобрения.

Однако, сложившаяся ситуация на рынке минеральных удобрений (по данным ЕМИСС Государственная статистика рост цен на минеральные удобрения в зависимости от вида составил от 23% до 116%) [104] сильно ограничила их использование сельхозтоваропроизводителями. В качестве источника питательных элементов может служить незерновая часть урожая, заделываемая в почву и позволяющая сократить количество используемых минеральных удобрений.

Высокая эффективность незерновой части урожая как удобрения доказана многолетними исследованиями и практикой. При аэробном процессе разложения незерновой части урожая уже в первые три месяца из 1000 г. образуется 46,7 г. гуминовых веществ [56]. Установлено, что 1 т незерновой части урожая по действию на гумусообразование приравнивается к 3,5 т подстилочного навоза. С 4...5 т незерновой части на 1 гектар в почву поступает органического вещества – 3...3,5 т, азота – 18...25 кг, фосфора – 6...8 кг, калия – 32...60 кг [88].

Незерновая часть урожая является источником органического вещества, в среднем в 1 тонне соломы содержится 2 кг азота, 2,3 кг фосфора, 10,3 кг калия, 3,2 кг кальция, 1 кг магния и ряд микроэлементов, которые накапливаются в незерновой части урожая [17, 18, 66, 72]. При высоких ценах на минеральные удобрения и вызванной этим тенденции к сокращению объемов используемых минеральных удобрений важно обеспечить растениям достаточное количество фосфора и калия в легкодоступной форме. Этого можно достичь при использовании незерновой части урожая в качестве удобрения, поскольку незерновая часть урожая, по содержанию в ней углерода превосходит навоз и сидераты в несколько раз [17].

Большинство стран с высокоразвитой сельскохозяйственной отраслью используют незерновую часть урожая в качестве источника восполнения органического вещества в почве [123, 124, 127, 137]. Германия использует 45

% произведенной незерновой части урожая в качестве удобрения. При этом в общем объеме используемых органических удобрений доля незерновой части урожая составляет 72 % под сахарной свеклой, 71 % под пшеницей, 58 % под ячменем. Франция перерабатывает 90 % произведенной незерновой части урожая, используя ее или как самостоятельное органическое удобрение или внося на поля соломисто – навозную массу [62, 122]. Англия использует 43 % произведенной незерновой части урожая для заделки в почву в качестве органического удобрения [122, 141]. В США доля соломы в общем объеме используемых органических удобрений превышает 53 % [121].

Ежегодно мировые производители сельскохозяйственной техники в своих презентациях все больше внимания уделяют грамотной работе с незерновой частью урожая. Представляются усовершенствованные измельчители зерноуборочных комбайнов, разрабатываются новые конструкции рабочих органов почвообрабатывающих машин, позволяющие работать с большим количеством растительных остатков, внедряются новые технологии использования незерновой части урожая [43, 114].

В настоящее время наибольшее распространение получили следующие технологии использования незерновой части урожая.

1. Сжигание незерновой части урожая. В последнее время такой прием становится все менее популярным в виду опасности возникновения неконтролируемого пожара и сильного негативного воздействия на почву, однако все же встречается в некоторых хозяйствах. Негативное воздействие сжигания соломы доказано. Солома сгорает за 30 – 40 секунд на площади в 1 квадратный метр. Поверхность почвы при этом разогревается до 360° С, температура на глубине 8 – 10 см может достигать 50° С [50, 88, 136]. При этом наблюдается выгорание гумуса в почвенном слое глубиной до 5 см и потери влаги в слое до 10 см [33, 50, 72, 87, 88]. Так при сжигании соломы на 2 день после уборки потери гумуса составляют 12,0 – 12,5 %, потери воды – 6,1 % от

исходного значения. При сжигании на 14 день потери гумуса возрастают до 30,6 %, воды – до 21,6 % [50, 56, 72]. При этом уменьшается биологическая активность почвы, ухудшаются водно – физические свойства почвы, увеличивается глыбистость и уменьшается водопрочность [20, 50, 72, 87, 88, 98].

2. Вывоз незерновой части урожая с поля для использования в животноводстве или подсобном производстве. Как правило, в этой технологии зерноуборочные комбайны работают в поле без измельчителей, незерновая часть урожая укладывается в валки. После уборки валки незерновой части урожая или скирдуют на краю поля или прессуют пресс-подборщиками и, в последствии, вывозят с поля. Данная технология популярна в хозяйствах с развитым животноводством. К недостаткам такого использования соломы можно отнести увеличенное количество проходов техники по полю, смещение сроков последующей обработки на более позднее время, количество растительных остатков, заделываемых в почву и улучшающих ее структуру в данной технологии низкое. На устранение этих недостатков направлены труды Н.А. Ринас. Ученым предложена конструкция многофункционального агрегата, совмещающего в себе функционал зерноуборочного комбайна и пресс-подборщика [92, 93, 94, 95, 134].

3. Измельчение и разбрасывание незерновой части урожая по поверхности поля зерноуборочным комбайном [3, 4, 37, 101]. В настоящее время данная технология наиболее широко применяется сельхозтоваропроизводителями. К ее достоинствам можно отнести уменьшение проходов техники по полю, более равномерное распределение растительных остатков по поверхности поля, по сравнению с измельчителями-разбрасывателями соломы из валка [34]. Из основных недостатков данной технологии можно выделить низкое качество измельчения растительных остатков, сложность настройки измельчителя разбрасывателя зерноуборочного комбайна на оптимальную ширину и равномерность

распределения массы [58, 93]. Работающий измельчитель зерноуборочного комбайна снижает его производительность на 18 – 25%, из – за чего могут затягиваться сроки уборки, увеличивает расход топлива на 10 – 15%, вызывает повышенный износ конструктивных элементов комбайна и сокращает срок службы комбайна на 25% [7, 8, 39, 53, 59, 65].

4. Использование соломистой массы незерновой части урожая в качестве удобрения [129, 138, 139, 140, 143, 148]. Зерноуборочные комбайны в данной технологии работают с отключенным измельчителем, соломистая масса укладывается в валок [74]. После прохода комбайна валок измельчается агрегатом для утилизации незерновой части урожая и распределяется по поверхности поля. В процессе измельчения соломистая масса незерновой части урожая обрабатывается биодеструкторами, ускоряющими процесс ее разложения [73, 75, 128, 144, 146]. После распределения незерновой части по поверхности поля происходит ее заделка в верхний слой почвы. Наиболее эффективна такая схема использования соломистой массы незерновой части урожая в условиях высокой влажности, а также при уборке зерновых урожайностью более 30 ц/га. Основными преимуществами данной технологии является снижение нагрузки на зерноуборочный комбайн, увеличение его производительности и уменьшение сроков уборки, а также снижение расхода топлива комбайном. При соблюдении технологии обеспечивается своевременная заделка растительных остатков в почву. Из недостатков можно выделить лишний проход техники по полю. Также к недостаткам относится то, что в процессе работы зерноуборочного комбайна в режиме укладки соломистой массы в валок возможно формирование валков различной ширины до 1,8 метра. Ширина захвата пресс-подборщиков составляет 1,2, 1,5, 1,8 метра, что соответствует ширине валка [23]. Однако измельчители незерновой части урожая выпускают шириной до 3 метров, применение подобных измельчителей эффективно при измельчении стерни после очесывающих жаток, однако использование их на измельчении валков не эффективно. У



измельчителей незерновой части урожая с меньшей шириной захвата ограничена ширина распределения измельченной массы.

5. Раздельное использование соломы и мякины. В хозяйствах с развитым животноводством особую ценность представляет мякина, как наиболее богатая кормовыми единицами фракция незерновой части урожая. Сбор мякины осуществляется специальным приспособлением в прицепную тележку, следующую за зерноуборочным комбайном. Солома при этом измельчается измельчителем – разбрасывателем зерноуборочного комбайна или укладывается в валок на поверхность поля. Применение данной технологии имеет ряд особенностей. Увеличивается количество техники, задействованной в период уборочной кампании. Усложняется логистика уборки, поскольку для обеспечения бесперебойной работы зерноуборочных комбайнов необходимо отвозить не только зерно, но и менять транспортные тележки с половой, замена которых невозможна без простоя комбайна. Увеличивается количество механизаторов, необходимых для проведения уборочной кампании. За счет агрегатирования тележки для сбора половы с зерноуборочным комбайном увеличивается нагрузка на двигатель и ухудшается маневренность комбайна. Непостоянство условий уборки, различная продолжительность простоев, несогласованность в работе технических средств увеличивают сроки уборочных работ. Оптимальная продолжительность уборочной кампании составляет двенадцать дней. При затягивании сроков уборки потери зерна на каждом гектаре с урожайностью 37 ц/га составляют до 30 кг в день [8, 72]. Таким образом, технология раздельного сбора половы и соломы не компенсирует потерь зерна из-за снижения производительности комбайнов и широкого распространения данная технология не получила.

Основными недостатками применяемых технологий использования незерновой части урожая является:

- измельчители зерноуборочных комбайнов не обеспечивают оптимальной степени измельчения и равномерности распределения измельченного материала по поверхности поля, особенно при увеличении ширины захвата жатки более 7 метров;

- повышенный износ ножей измельчающего ротора, от остроты которых зависят качественные показатели работы измельчителя комбайна;

- некачественное распределение измельченной массы по поверхности поля связанное с неравномерностью схода массы с соломотряса;

- увеличение нагрузки на зерноуборочный комбайн и снижение его производительности до 25%, а также увеличение расхода топлива до 15%, сокращение срока службы комбайна [7, 8, 39, 49, 59, 103].

Таким образом, применение прицепных измельчителей незерновой части урожая наиболее рационально в напряженные периоды уборки на культурах с высокой урожайностью. Так только 30% зерна убирается при благоприятных условиях [9]. В работе Чаплыгина М.Е. сказано: «нагрузка на один комбайн возросла с 200 га до 417 га, что, безусловно, сопровождалось увеличением более чем в 2–3 раза сроков уборки выше допустимых и повышенными потерями зерна — до 30%» [111]. В этом случае сокращаются сроки уборочной кампании, за счет увеличения производительности зерноуборочных комбайнов, работающих без измельчителя – разбрасывателя. Так же снижается вероятность отказа зерноуборочного комбайна за счет снижения нагрузки на конструктивные элементы комбайна и, как следствие, уменьшается риск простоя дорогостоящей техники в напряженный период полевых работ.

### **1.3 Агротехнические требования к машинам и устройствам для измельчения и разбрасывания соломистой массы незерновой части урожая**

Соблюдение агротехнических требований – это один из показателей качества работы сельскохозяйственной техники. Анализ существующих агротехнических требований к машинам и устройствам для измельчения и разбрасывания соломистой массы незерновой части урожая необходим для определения качественных показателей работы машины при проведении лабораторных и лабораторно-полевых исследований.

При использовании соломистой массы незерновой части урожая в качестве удобрения особую роль играет соблюдение агротехнических требований к процессу измельчения и распределения измельченной массы по поверхности поля. Величина размерной фракции измельченной массы оказывает непосредственное влияние на скорость разложения растительных частиц. Неравномерное распределение массы по поверхности поля усложняет последующую обработку почвы [64]. Сильное скопление массы в определенных местах на поле приводит к неравномерным всходам и угнетению растений в первые месяцы вегетации [107].

В работе Ягельского М.Ю. сформулированы следующие агротехнические требования: «учеными Краснодарского НИИ сельского хозяйства сформулированы основные требования к внесению соломы в качестве органического удобрения [88]:

- использовать незерновую часть урожая в качестве удобрения рекомендуется на полях с бедными почвами, на полях, удаленных от животноводческих ферм на расстояние более 5 км;

- равномерность распределения измельченной массы по поверхности поля должна составлять не менее 75%, при длине резки 5 – 10 см;
- для ускорения процесса разложения незерновой части урожая необходимо внесение азота в количестве 10 – 12 кг действующего вещества на 1 т соломы, после чего необходимо обработать поле дисковой бороной и заделать незерновую часть урожая в почву на глубину 8-10 см;
- обработка почвы под последующие культуры производится в соответствии с принятыми в хозяйстве технологиями» [131].

Положительного эффекта от использования незерновой части урожая в качестве удобрения можно ожидать только после полного разложения всей заделанной в почву массы. Микроорганизмы, участвующие в процессе разложения растительных остатков, в процессе своей жизнедеятельности потребляют азот. При низком содержании азота в почве и органическом веществе разлагающейся массы скорость разложения незерновой части урожая замедлится, а культурные растения будут испытывать дефицит питательных веществ, необходимых на начальных стадиях вегетации. Для компенсации этого эффекта при использовании незерновой части урожая в качестве удобрения рекомендуется вносить компенсирующую дозу азотных удобрений [17, 72].

Нормальный процесс разложения незерновой части урожая должен проходить в аэробных условиях. При заашке незерновой части урожая наблюдается негативное влияние на развитие растения, связанное с недостатком кислорода в нижних слоях пахотного горизонта и высокой концентрацией соединений фенольной группы, выделяемых при разложении органических веществ. В результате у культурных растений нарушается обмен веществ и угнетается корневая система [38, 51].

В последние годы установлено, что одним из ключевых факторов, влияющих на скорость разложения незерновой части урожая, является расщепление стеблей вдоль волокон. Продольное расщепление стеблей позволяет увеличить скорость гумификации незерновой части урожая в 7-8 раз [90], при этом становится возможным увеличение размерной фракции незерновой части урожая до 150 мм [60, 66, 72].



Рисунок 1.1 – Соломистая масса незерновой части урожая размерной фракции более 150 мм.



Рисунок 1.2 - Соломистая масса незерновой части с продольным расщеплением стеблей.

Учитывая многообразие культур и технологий использования незерновой части урожая в качестве удобрения агротехнические требования к машинам и устройствам для измельчения и разбрасывания соломистой массы незерновой части урожая могут отличаться. В настоящее время

агротехнические требования устанавливают несколько основных нормативных документов.

Исходные требования на базовые машинные технологические операции в растениеводстве при «Прямой комбайновой уборке зерновых культур с измельчением и разбрасыванием незерновой части урожая по поверхности поля» устанавливают содержание не менее 85% частиц длиной менее 120 мм, а также равномерное распределение измельченной массы на ширину жатки комбайна, при степени неравномерности не более 20% [41, 120].

Агротехнические требования к измельчителям соломы устанавливают содержание не менее 70 % частиц длиной 100 мм, при неравномерности распределения массы по ширине захвата жатки не более 25% [107, 120].

Исходные требования к зональной системе технологий и машин для производства продукции растениеводства рекомендуют настраивать машины на измельчение 70 – 80% массы до размерной фракции 5 – 100 мм [42, 120].

Агротехнические требования к основным технологическим операциям при адаптивных технологиях возделывания озимых колосовых культур и кукурузы регламентируют размер измельченных частиц в пределах 50 – 100 мм, неравномерность разбрасывания не более 30% [1, 120].

Агротехнические требования ВНИИПТИМЭСХ на почвообрабатывающий удобрительный посевной агрегат предполагают содержание в измельченной массе не менее 80 % частиц длиной до 70 мм [105, 118].

Научно-практическое руководство по освоению и применению технологий сберегающего земледелия предполагает размерную фракцию частиц 50 - 100 мм с возможным содержанием частиц длиной 150 – 250 мм [63].



Рисунок 1.3 - Измельченная  
соломистая масса незерновой части  
размерной фракции 50 – 100 мм



Рисунок 1.4 - Измельченная  
соломистая масса незерновой части  
размерной фракции 100 – 150 мм

Большинство источников регламентируют длину размерной фракции измельченной соломистой массы незерновой части урожая в пределах 50 – 120 мм, в то же время технологическая операция мульчирования почвы соломой допускает размер измельченных частиц до 250 – 300 мм. Во многих документах отсутствует требование к равномерности распределения измельченной массы по поверхности поля. В реальных полевых условиях наблюдается перенасыщение измельченной массой центральной части зоны распределения. Все это не оказывает положительного влияния на ускорение процесса разложения незерновой части урожая в почве, затрудняет последующие обработки почвы, негативно влияет на развитие культурных растений.

#### 1.4 Анализ факторов, влияющих на эффективность использования незерновой части урожая в качестве удобрения

Эффективность использования незерновой части урожая в качестве удобрения доказана отечественными и зарубежными учеными. Однако, применение незерновой части урожая в качестве удобрения имеет ряд особенностей. Наиболее полно положительное влияние незерновой части урожая отмечается только после ее полного разложения. На скорость разложения незерновой части урожая, и как следствие на эффективность ее применения в качестве органического удобрения, влияет ряд факторов [11, 44], представленных на рисунке 1.5.



Рисунок 1.5 - Факторы, влияющие на эффективность использования незерновой части урожая в качестве удобрения.

Одним из факторов, влияющих на скорость разложения растительных остатков в почве, является размерная фракция измельченной массы. Чем



меньше длина измельченных частиц, тем быстрее будет проходить процесс разложения. В то же время чрезмерное уменьшение размерной фракции усложняет распределение измельченной массы по поверхности поля, так как мелкие частицы сильнее подвержены сносу боковым ветром. Увеличение размерной фракции способствует лучшему сохранению влаги в почве, препятствует появлению ветровой эрозии. Однако более длинные частицы тяжелее распределить по поверхности поля в виду их большей массы, при последующей заделке их в почву могут возникнуть трудности, связанные с забиванием рабочих органов почвообрабатывающих машин. Чрезмерная длина измельченных частиц увеличивает процесс гумификации, что уменьшает эффективность незерновой части урожая как органического удобрения. Наиболее оптимальной и отвечающей всем агротехническим требованиям является длина размерной фракции измельченной соломистой массы в пределах 50 – 100 мм.

Наличие продольного расщепления стеблей повышает эффективность применения незерновой части урожая как органического удобрения. Расщепление стеблей вдоль волокон ускоряет процесс их гумификации в несколько раз, это отмечается в работах многих авторов [16, 60, 86, 99, 100, 115]. При этом снижаются требования к размерной фракции измельченной массы, возможно увеличение длины измельченных частиц до 150 мм, что в свою очередь снижает требования к измельчающим аппаратам сельскохозяйственных машин. Однако существующие сегодня измельчители незерновой части урожая не обеспечивают продольного расщепления стеблей в достаточной степени.

Одним из ключевых факторов при внесении удобрений является равномерность распределения их по поверхности поля. При использовании в качестве органического удобрения незерновой части урожая этот фактор играет немаловажную роль. Согласно большинству агротехнических требований, неравномерность распределения измельченной массы по

поверхности поля не должна превышать 25%. Достичь этого в реальных условиях достаточно трудно. Измельчители большинства зерноуборочных комбайнов не обеспечивают заданной равномерности распределения массы по поверхности поля в связи с неравномерным сходом соломистой массы с соломотряса и неравномерным движением комбайна. Из-за сложности процесса обмолота и очистки хлебной массы процесс обработки хлебной массы обладает инертностью по времени. В связи с этим при технологических остановках зерноуборочного комбайна могут наблюдаться локальные скопления измельченной соломистой массы незерновой части урожая и последующие участки с ее отсутствием. Такое же явление наблюдается при работе зерноуборочного комбайна с отключенным измельчителем. При измельчении незерновой части урожая прицепными измельчителя добиться заданной агротехническими требованиями равномерности распределения измельченной массы по поверхности поля проблематично, в виду неравномерности валка соломистой массы незерновой части урожая, формируемого зерноуборочным комбайном, и отсутствием у большинства прицепных измельчителей рабочих органов, обеспечивающих разравнивание валка соломистой массы незерновой части урожая.

Известно, что для интенсификации процесса разложения растительных остатков в почве необходимо соблюдать соотношение углерода и азота C:N равное 20:1. В соломе зерновых культур данное соотношение колеблется в пределах 60:1 – 100:1. Для поддержания соотношения углерода и азота требуется внесение компенсирующих доз азотных удобрений в количестве 8 – 12 кг в действующем веществе на 1 т соломы. В качестве азотного удобрения при использовании незерновой части урожая хорошие результаты показывает внесение жидкого навоза. При отсутствии жидкого навоза используют минеральные удобрения. Минеральные удобрения выбирают с аммонийной формой азота, так как она сильнее связывается с почвенными микроорганизмами и в большей мере ускоряет процесс разложения

незерновой части урожая. Научно-практическим центром НАН Беларуси разработаны рекомендации по количеству компенсирующих доз азотных удобрений в зависимости от состава незерновой части урожая [102].

Таблица 1.1 – Компенсирующие дозы азотных удобрений в зависимости от состава незерновой части урожая

| Солома              | Состав соломы, %  |                                    |                                 | C:N | Добавка азота<br>на 1 т соломы,<br>кг, д.в. |
|---------------------|-------------------|------------------------------------|---------------------------------|-----|---------------------------------------------|
|                     | сухое<br>вещество | углерод (C) в<br>сухом<br>веществе | азот (N) в<br>сухом<br>веществе |     |                                             |
| Озимой<br>пшеницы   | 86                | 40                                 | 0,50                            | 80  | 11                                          |
| Озимой ржи          | 86                | 38                                 | 0,45                            | 85  | 11                                          |
| Ячменя              | 86                | 40                                 | 0,50                            | 80  | 11                                          |
| Овса                | 86                | 39                                 | 0,65                            | 60  | 9                                           |
| Яровой<br>пшеницы   | 86                | 39                                 | 0,60                            | 65  | 10                                          |
| Кукурузы            | 86                | 39                                 | 0,75                            | 50  | 8                                           |
| Рапса               | 85                | 38                                 | 0,70                            | 55  | 8                                           |
| Редьки<br>масличной | 84                | 39                                 | 0,92                            | 39  | 6                                           |
| Сурепицы            | 84                | 40                                 | 0,86                            | 46  | 7                                           |
| Гречихи             | 86                | 40                                 | 0,80                            | 50  | 8                                           |
| Гороха              | 86                | 42                                 | 1,40                            | 30  | 3                                           |
| Люпина              | 86                | 40                                 | 1,10                            | 39  | 5                                           |
| Сои                 | 86                | 37                                 | 1,20                            | 30  | 3                                           |
| Вики                | 86                | 42                                 | 1,40                            | 30  | 3                                           |

Немаловажным фактором, влияющим на эффективность использования незерновой части урожая в качестве удобрения, является обработка биодеструкторами. Широкое распространение получили такие биодеструкторы как Agrinos 1, Стернифаг СП, Экорост, Биокомплекс БТУ. Данные препараты имеют в своем составе различные почвенные

микроорганизмы и грибы, участвующие в процессе разложения растительного материала. Обработку незерновой части урожая биодеструкторами проводят после ее измельчения и распределения по поверхности поля опрыскивателями, или обрабатывают измельченную массу перед распределением ее по поверхности поля через специальные форсунки, установленные на измельчитель [16]. Эффективность применения биодеструкторов незерновой части урожая доказана исследованиями, проводимыми в Рязанском государственном агротехнологическом университете имени П.А. Костычева [13, 14].

Разложение растительной массы происходит с участием почвенных микроорганизмов. Поэтому незерновая часть урожая, используемая в качестве удобрения должна заделываться в почву. От качества заделки зависит скорость разложения и, как следствие, эффективность использования незерновой части урожая как удобрения. Поскольку процесс разложения проходит в аэробных условиях, заправка незерновой части урожая в нижние слои пахотного горизонта не оказывает полезного эффекта на культурные растения. Оптимальной заделкой незерновой части урожая для использования в качестве удобрения считается равномерная заделка дисковыми орудиями на глубину 8 – 10 см.

Наиболее интересной с точки зрения дальнейшего развития технических средств является фактор равномерности распределения массы по поверхности поля. Рассмотрим более подробно факторы, влияющие непосредственно на равномерность распределения.

### **1.5 Анализ факторов, влияющих на равномерность распределения измельченной массы по поверхности поля**

Одним из основных факторов при внесении удобрений является равномерность распределения материала по поверхности поля. При использовании незерновой части урожая в качестве органического удобрения этот фактор играет немаловажную роль. На равномерность распределения измельченной массы незерновой части урожая по поверхности поля в свою очередь оказывает влияние ряд показателей.

При разбрасывании массы зерноуборочным комбайном:

- неравномерность схода массы с соломотряса [81];
- скорость движения зерноуборочного комбайна;
- конструкция измельчителя-разбрасывателя;
- воздушный поток, создаваемый системой очистки зерноуборочного комбайна.

При разбрасывании массы незерновой части урожая из валка:

- неравномерность валка незерновой части урожая по длине;
- скорость движения агрегата;
- равномерность загрузки измельчающего ротора:
  - а) высота установки разравнивающих устройств;
  - б) угол установки разравнивающих устройств.

Рассмотри подробно каждый из факторов.

При работе зерноуборочного комбайна имеет место неравномерный сход массы с соломотряса, это вызвано множеством причин. Почвы в разных частях поля неоднородны, густота стеблестоя и высота растений так же отличаются на всей площади поля. Механизмы копирования рельефа в зерноуборочном комбайне не всегда справляются со своей задачей, в результате чего наблюдается изменение высоты среза растений. Операторы зачастую ведут зерноуборочный комбайн с неполным захватом жатки. Все это вызывает неравномерное поступление хлебной массы в комбайн и, как следствие, неравномерный сход массы с соломотряса.

При распределении минеральных удобрений по поверхности поля особую роль играет скорость движения агрегата. При распределении незерновой части урожая по поверхности поля соблюдение заданной скорости оказывает влияние на равномерность распределения массы. Учитывая инертность движения массы внутри зерноуборочного комбайна по времени несоблюдение заданной скорости работы приведет к огрехам в распределении соломы и появлению мест с избытком измельченной массы.

Измельчители зерноуборочных комбайнов имеют множество отличительных особенностей [81, 82]. Каждый производитель стремится обеспечить качество измельчения и разбрасывания своими техническими решениями. Основная задача стоит в обеспечении равномерного распределения измельченного материала по ширине прохода жатки. При современной тенденции к увеличению ширины жаток эта задача становится все более сложной. Среди наиболее интересных решений, направленных на увеличение ширины разбрасывания можно выделить дополнительные элементы на измельчающем барабане в виде лопастей, применение активных разбрасывателей измельченной [46, 125, 126, 132, 133, 135].

Измельченная солоmistая масса незерновой части урожая после выхода из измельчающей камеры движется под действием кинетической энергии,

передаваемой ротором измельчителя и под действием воздушного потока, создаваемого так же ротором измельчителем. Система очистки зерноуборочного комбайна создает воздушный поток однонаправленный с воздушным потоком измельчителя. Слияние этих потоков может привести к сносу большей части измельченных частиц в центральную часть ширины прохода комбайна.



Рисунок 1.6 - Ротор измельчителя зерноуборочного комбайна КЗС-1218.



Рисунок 1.7 - Активная система разбрасывания измельченной соломы зерноуборочного комбайна CASE.

При работе прицепных измельчителей на равномерность распределения массы влияет качество укладки валка. В большинстве случаев валок незерновой части урожая отличается своей неравномерностью, связанной с инертностью движения массы внутри комбайна по времени и характером

движения комбайна. Зачастую равномерно измельчить и распределить валок без использования специальных приспособлений невозможно.

Скорость движения прицепного измельчителя так же играет немаловажную роль, от скорости движения агрегата зависит объем незерновой части урожая, поступающий на измельчающий ротор в момент времени.

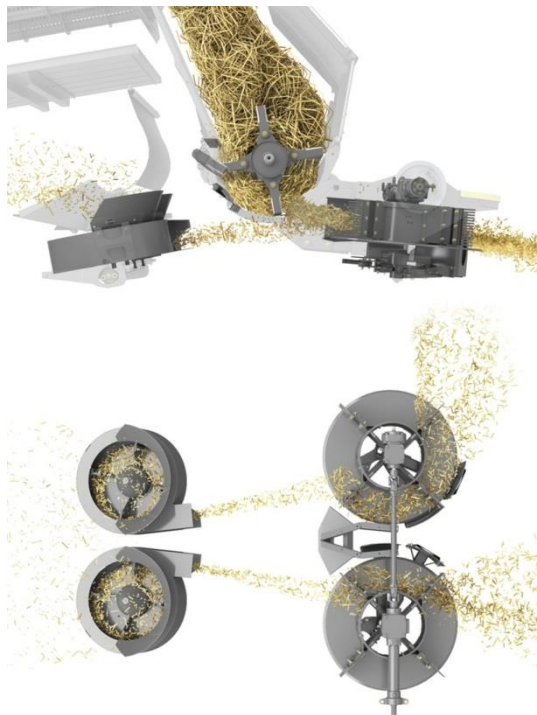


Рисунок 1.8 – Активная система распределения пожнивных остатков зерноуборочного комбайна Claas Lexion.

Большинство производителей измельчителей растительных остатков выпускают машины различной ширины захвата. При работе этих машин с незерновой частью урожая, уложенной в валок, может возникнуть ситуация, когда ширина валка меньше ширины захвата машины. В результате чего часть измельчающего ротора будет работать в холостую, а измельченная масса будет распределяться по поверхности поля неправильно. Для устранения этого явления применяют различные технические средства, разравнивающие валок незерновой части урожая до ширины захвата машины. В зависимости от



конструкции применяемых технических средств на качество разравнивания валка и, соответственно, равномерность распределения массы по поверхности поля будут оказывать влияние высота установки и угол установки относительно валка рабочих органов.

Таким образом, при дальнейших исследованиях остановим внимание на скорости движения агрегата, высоте установки рабочих органов и угле установки рабочих органов устройств для разравнивания валка как на наиболее значимых факторах, влияющих на равномерность распределения измельченной массы по поверхности поля.

### **1.6 Анализ технических средств, разравнивающих солоmistую массу незерновой части урожая**

Серийно выпускаемые измельчители растительных остатков, как правило, не оборудуются какими – либо разравнивающими устройствами. Во всех типах конструкций измельчителей присутствует только шарнирно закрепленные щитки, закрывающие питающее окно измельчающей камеры (рисунок 1.9). В продаже существует измельчитель РИС-2 [96], оборудованный устройством, расположенным на раме перед корпусом измельчителя и выполненным в виде трубы с закрепленными на ней пружинными граблинами. Граблины предназначены для сглаживания неравномерности валка, компенсации локальных сгущиваний массы. Однако данное устройство не компенсирует недостаточной ширины валка по сравнению с шириной захвата измельчителя.



1 – шарнирно закрепленные щитки; 2 – питающее окно.

Рисунок 1.9 – Измельчитель растительных остатков ПН-2,4.



Рисунок 1.10 – Роторный измельчитель соломы РИС-2.

Во Всероссийском научно-исследовательском институте риса разработана конструкция разравнивателя соломы из валков. Конструкция включает раму с закрепленной на ней грабельной решеткой. Грабельная решетка выполнена в виде бруса с зубьями. Брус выполнен из симметричных частей. Каждая симметричная часть шарнирно соединена с рамой и

установлена с возможностью поворота в горизонтальной плоскости. Зубья на плоскости установлены в два ряда. В первом по ходу движения ряду зубья отогнуты вперед, а во втором ряду – назад [77].

Конструкция обеспечивает разравнивание валков в межвалковом пространстве при движении агрегата поперек валков. Конструкция обладает возможностью монтироваться на различные сельскохозяйственные машины. Однако применение ее в агрегате с измельчителями растительных остатков, работающими по валку件 невозможно, ввиду забивания рабочих органов незерновой частью урожая.

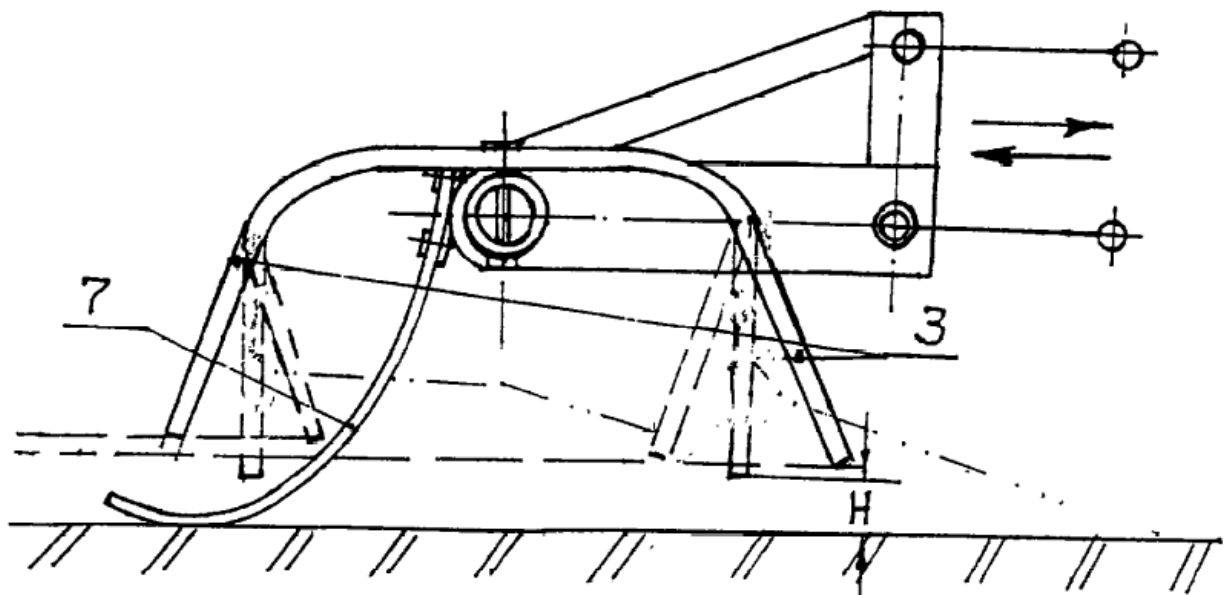
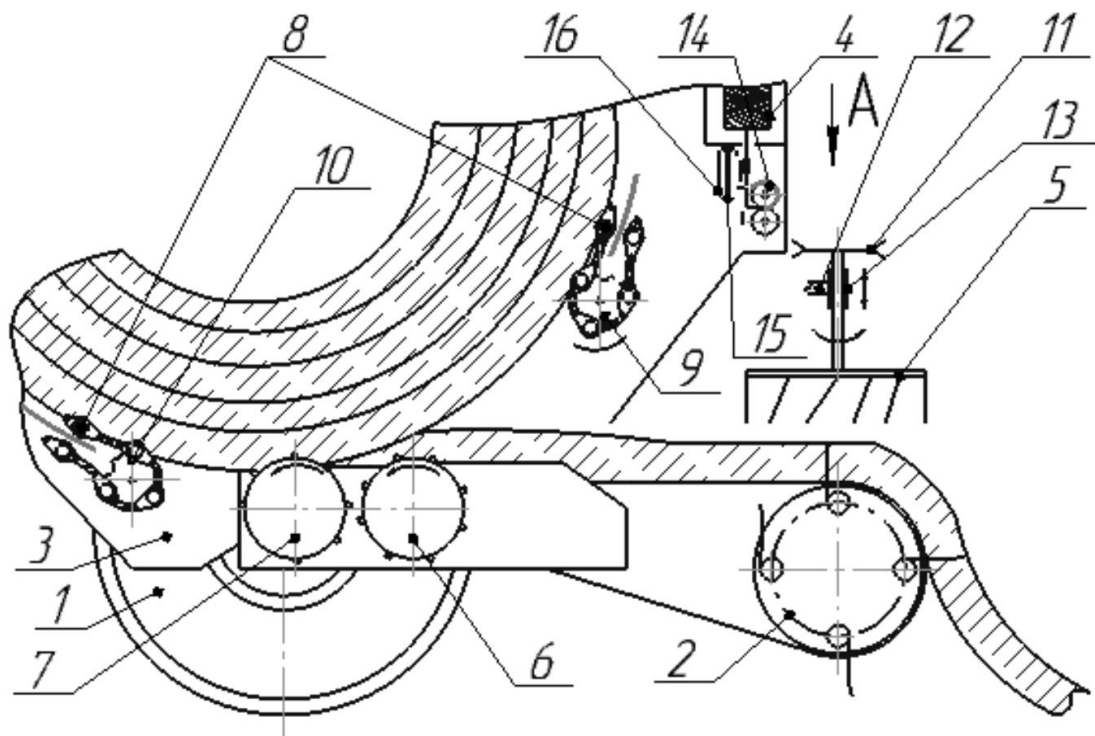


Рисунок 1.11 – Разравниватель соломы из валков (Патент №2216911).

В работе Тетерина В.С. представлена конструкция разравнивающего устройства валка сена, подаваемого в пресс-подборщик [83]. Устройство состоит из двух дисков, соединенных ременной передачей и приводящихся во вращение механизмом пресс-подборщика. При движении агрегата вращающиеся диски распределяют сено по ширине захвата пресс-подборщика. Данное устройство хорошо распределяет валок по ширине захвата машины. Применение устройства не ограничивается пресс-

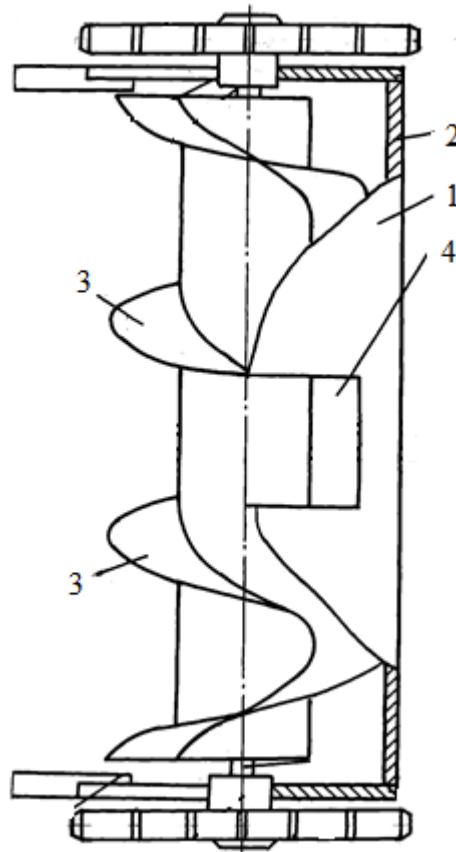
подборщиком, подобная конструкция может применяться на различных сельскохозяйственных машинах. Однако применение подобной конструкции сопряжено с дополнительными затратами мощности двигателя энергетического средства на привод разравнивающих дисков. Наличие же в любом механизме дополнительных вращающихся элементов усложняет конструкцию машины и уменьшает ее надежность.



1 – колёсный ход, 2 – подборщик, 3 – прессовальная камера, 4 – обвязывающий аппарат, 5 – дисковое горизонтальное разравнивающее устройство, 6,7 – прессующее устройство (где 6 – передний опорный валец, 7 – задний опорный валец) 8 – цепочно-планчатый транспортёр, 9 – ведущий вал, 10 – ведомый вал, 11 – ремённая передача в виде «восьмерки», 12 – кронштейн, 13 – регулировочное устройство высоты, 14 – гидромотор, 15 – поводок, 16 – нож.

Рисунок 1.12 – Схема пресс-подборщика с устройством для разравнивания подаваемого валка сена

В Саратовском государственном аграрном университете имени Н.И. Вавилова разработана конструкция почвообрабатывающе-посевного агрегата, снабженного соломонаправителем (рисунок 1.13).



1 – соломонаправитель; 2 – полуцилиндрический кожух; 3 – шнек; 4 - окно

Рисунок 1.13 – Соломонаправитель почвообрабатывающе-посевного агрегата.

Конструкция соломонаправителя 1 обеспечивает сгребание конусными пальцами измельченной соломистой массы, разбросанной по поверхности поля комбайнами. Поднятая пальцами соломистая масса направляется во внутрь кожуха 2, откуда она шнеками 3, приводимыми во вращение от приводных колес, транспортируется к выбросному окну 4 и сбрасывается на поверхность почвы в область щели, образуя над щелью соломистый валок [78]. Предлагаемая конструкция соломонаправителя работает с уже измельченной

соломой, распределенной по поверхности поля. Также для перемещения соломистой массы с помощью шнека необходим кожух, по которому будет осуществляться движение массы.

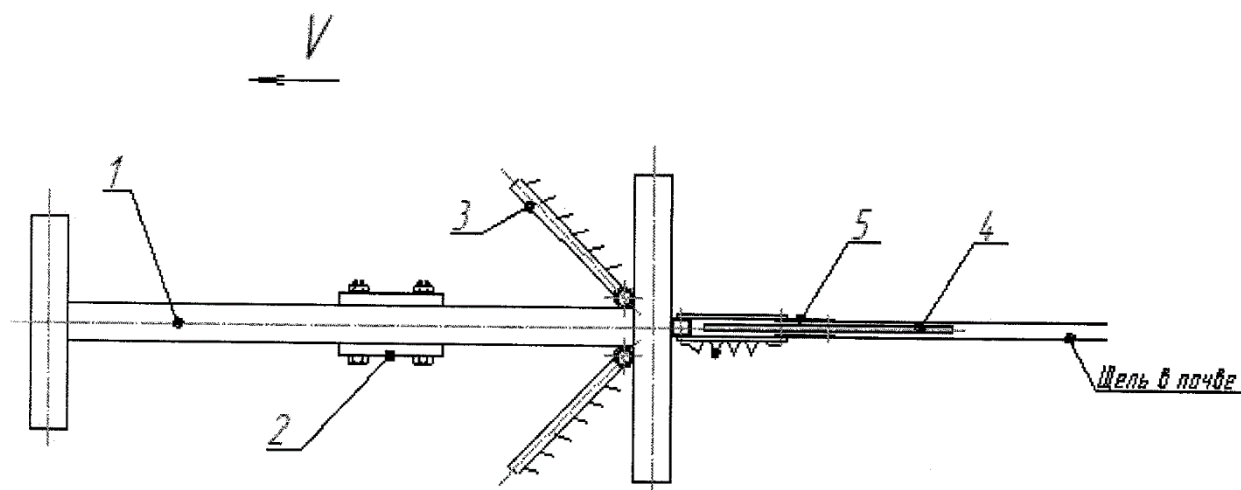
Также учеными ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ» предложена конструкция комплексного почвообрабатывающего агрегата [84], снабженного пассивным соломонаправителем (рисунок 1.14).



Рисунок 1.14 – Пассивный соломонаправитель.

Для сбора соломы и доставки ее в область щели используется пассивный соломонаправитель следующей конструкции. Основой служит полуцилиндрический отвал, имеющий в нижней части заостренные пальцы, плавно переходящие в поверхность отвала. Крепление соломонаправителя к комплексному почвообрабатывающему агрегату осуществляется при помощи подпружиненного штока [54]. Данная конструкция позволяет перемещать как солому, измельченную зерноуборочным комбайном и распределенную по поверхности поля, так и солому, находящуюся в валке.

В Оренбургском государственном аграрном университете разработана конструкция устройства для нарезки водопоглощающих щелей с одновременным заполнением их соломой (патент № 2463753).



1 – навесная рама; 2 – щелерез; 3 – граблины направителя соломы; 4 – заделывающий диск; 5 – параллелограммный механизм

Рисунок 1.15 – Направитель соломы.

Данное устройство работает следующим образом. Щелерез 2 прорезает в почве щель, при этом солома, предварительно измельченная и разбросанная во время уборки по поверхности почвы, собирается граблинами 3 и подается в область щели. Далее заделывающий диск 4 заделывает поданную граблинами 3 солому внутрь щели [76]. Применение данного устройства на валке неизмельченной соломы сильно ограничено.

Европейский производитель почвообрабатывающей техники Vaderstad оснащает свои дисковые культиваторы серии Carrier пружинной бороной [130]. Бороны располагаются в передней части дискового культиватора перед основными рабочими органами и компенсируют плохое распределение соломы зерноуборочными комбайнами. Бороны позволяют более равномерно

распределить солому измельчить ее и заделать в почву за один проход культиватора. Агрегат при этом должен двигаться под углом к проходам зерноуборочного комбайна.

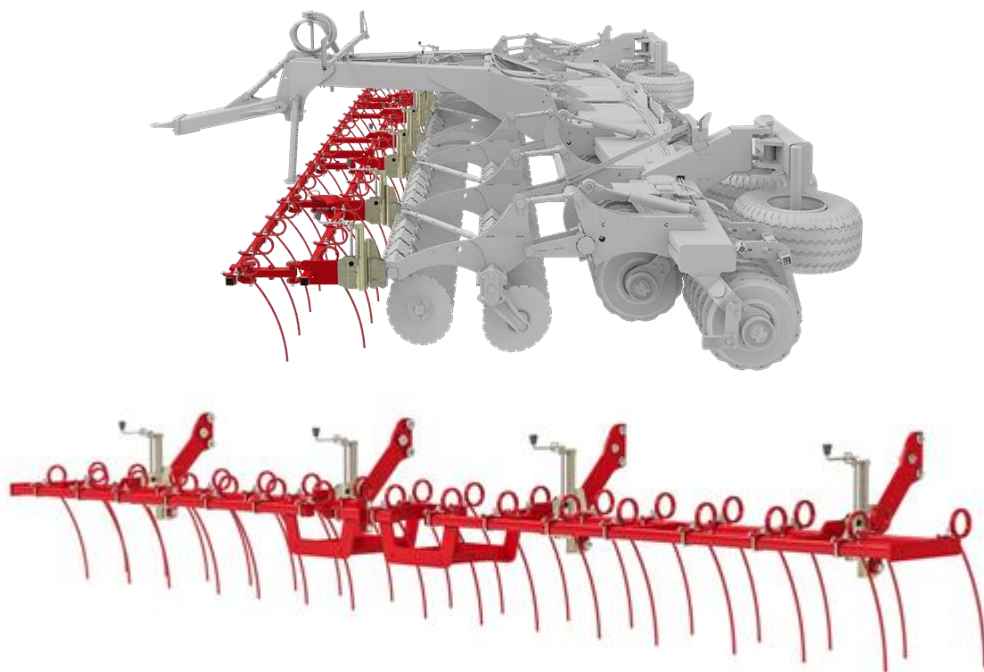


Рисунок 1.16 – Борона для распределения соломы Vaderstad.

Проведенный анализ показывает, что оптимизации подачи незерновой части к рабочим органам уделяется достаточно внимания. Ученые и производители сельскохозяйственной техники разрабатывают новые и совершенствуют имеющиеся конструкции разравнивателей. Однако конструкций, направленных на распределение валка незерновой части урожая по всей ширине захвата измельчителя, разработано мало. В связи с чем дальнейшие исследования в этой области являются актуальными и представляют научный интерес.



### **1.7 Постановка цели и задач научного исследования**

Проведённый анализ литературных источников и исследований по теме использования незерновой части урожая в качестве удобрения показал существование технологии измельчения и распределения измельченной незерновой части урожая по поверхности поля прицепными измельчителями. Для повышения качества измельчения и равномерности распределения измельченной массы по поверхности поля необходима оптимальная загрузка рабочих органов измельчителя. В связи с этим была сформулирована цель научных исследований.

Цель исследований – повышение равномерности распределения соломистой массы при измельчении незерновой части урожая измельчителем - мульчировщиком.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи исследования:

- провести анализ конструкций разравнивающих устройств, используемых для разравнивания соломистой массы незерновой части урожая и определить перспективы развития;
- провести теоретическое обоснование параметров разравнивающего устройства;
- провести экспериментальное уточнение параметров разравнивающего устройства;
- оценить экономический эффект от внедрения измельчителя – мульчировщика, оборудованного разравнивающим устройством.

## Выводы по главе 1

1. В результате обзора технологий использования незерновой части урожая в качестве удобрения установлено, что наибольшее распространение в хозяйствах с отсутствием животноводства получили технологии использования незерновой части урожая, при которых последняя измельчается и распределяется по поверхности поля непосредственно зерноуборочным комбайном или же укладывается в валок и в последствии измельчается и распределяется по поверхности поля измельчителями - мульчировщиками. Что доказывает актуальность данных технологий и вызывает интерес в дальнейших их совершенствованиях.

2. Агротехнические требования являются основой для оценки качества работы сельскохозяйственных машин. К машинам и устройствам для измельчения и разбрасывания соломистой массы незерновой части урожая различные источники предъявляют различные требования. Анализ агротехнических требований показал, что большинство источников устанавливают длину размерной фракции измельченной массы в пределах 50 – 120 мм и неравномерность распределения измельченной массы по поверхности поля в пределах 25 – 30 %. Полученные данные будут использованы при оценке качества работы машины при проведении лабораторных и полевых экспериментов.

3. Анализ факторов, влияющих на эффективность использования незерновой части урожая в качестве удобрения показал, что наиболее значимым фактором с точки зрения дальнейшего усовершенствования является равномерность распределения измельченной соломистой массы незерновой части урожая по поверхности поля.

4. На равномерность распределения измельченной соломистой массы по поверхности поля оказывает влияние ряд факторов. Наиболее значимыми из которых являются скорость движения агрегата и наличие дополнительных устройств, оптимизирующих подачу массы на измельчающие рабочие органы. При этом важную роль играют высота и угол установки дополнительных устройств.

5. Проблеме распределения соломы уделяется большое внимание. Ученые и производители сельскохозяйственной техники разрабатывают новые и совершенствуют имеющиеся конструкции различных разравнивателей. Однако конструкций устройств, направленных на распределение валка незерновой части урожая по всей ширине захвата измельчителя недостаточно, а существующие конструкции не обеспечивают равномерную загрузку измельчающего ротора. В связи представляет актуальность разработка подобных устройств.

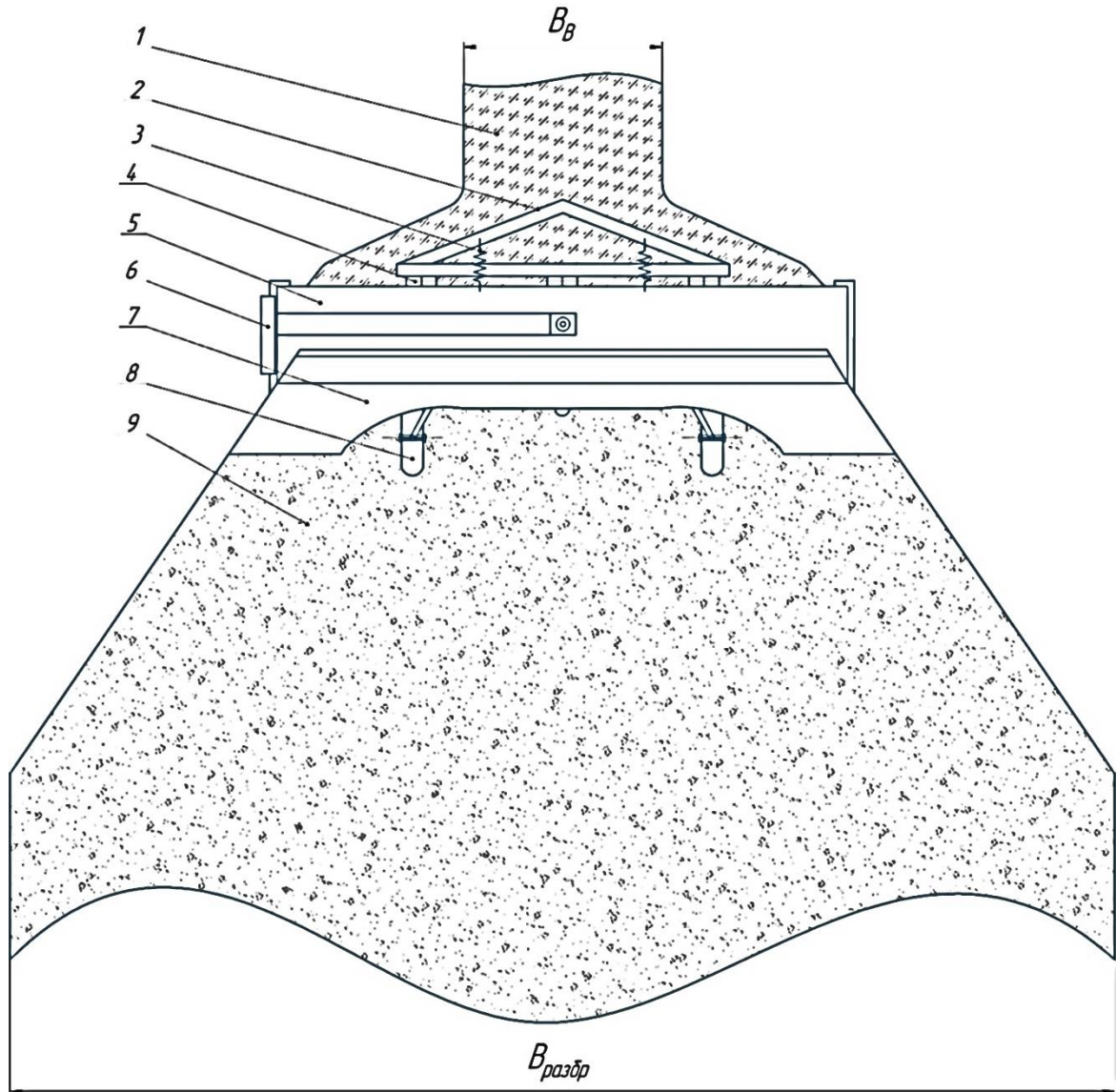
## **Глава 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАЗРАВНИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА**

### **2.1 Конструктивно – технологическая схема разравнивающего устройства**

«Одним из важнейших показателей качества работы измельчителя – мульчировщика соломистой массы незерновой части урожая является ширина и степень равномерности распределения измельченных частиц по поверхности поля. Согласно агротехническим требованиям [1, 41, 42], неравномерность разбрасывания измельченной массы должна быть не более 20%. Однако, данные полевых испытаний демонстрируют значительное превышение допустимых показателей для некоторых видов зерноуборочной техники. Так, исследованиями В.И. Скорлякова и др. [100], на некоторых марках отечественных и зарубежных зерноуборочных комбайнах установлено, что коэффициент вариации распределения соломы по ширине прокоса может составлять до 75 % и более. При этом наибольшее отклонение от среднего значения  $M_{\text{ср}}$  достигает 137%, тем самым вызывая наибольшие средние отклонения массы измельченной соломы на метровых отрезках от среднего значения [119]» [121].

При работе измельчителя - мульчировщика Kverneland FX-230 по валку соломистой массы незерновой части урожая наблюдалась неравномерная загрузка измельчающего ротора. При поступлении в камеру измельчения валок не распределялся на всю ширину захвата измельчающего ротора, а оставался в центральной его части. Такой характер распределения массы валка перед измельчителем - мульчировщиком приводит к тому, что центральная зона измельчающего ротора перегружена соломистой массой и не справляется и ее измельчением, в то время как крайние зоны измельчающего ротора практически не задействованы в процессе измельчения валка. Обеспечить равномерную загрузку измельчающего ротора измельчителя - мульчировщика

Kverneland FX-230, и тем самым повысить качественные показатели его работы можно путем распределения валка перед измельчением на всю ширину захвата измельчающего ротора используя разравнивающее устройство (рисунок 2.1).



1 – валок перед измельчением; 2 – разравнивающее устройство; 3 – пружины подвески разравнивающего устройства; 4 – шарниры крепления разравнивающего устройства; 5 – корпус измельчителя – мульчировщика; 6 – привод измельчающего ротора; 7 – направляющий дефлектор; 8 – опорные колеса; 9 – распределенная по полю измельченная солоmistая масса.

Рисунок 2.1 – Схема установки разравнивающего устройства на измельчитель – мульчировщик.

Разравнивающее устройство 2 (рисунок 2.1) представляет собой равнобедренный треугольник, выполненный из стали и установленный на передней части корпуса измельчителя - мульчировщика 5. Крепление разравнивающего устройства выполнено через шарниры 4, обеспечивающие качение в вертикальной плоскости. Дополнительно разравнивающее устройство снабжено системой пружин 3, поддерживающих устройство в горизонтальном положении и ограничивающее амплитуду его колебаний. Перед началом движения измельчителя – мульчировщика разравнивающее устройство 2 уравнивается системой пружин 3 в горизонтальном положении. При движении измельчителя - мульчировщика по неровностям поля разравнивающее устройство 2 совершает колебательные движения в вертикальной плоскости. Валок солоистой массы 1 перед поступлением в измельчитель - мульчировщик взаимодействует с колеблющимся разравнивающим устройством 2. В результате взаимодействия возвышающаяся центральная часть вала 1 равномерно смещается к краям. Смещенная к краям солома не попадает за пределы ширины захвата измельчителя - мульчировщика. Далее солома поступает в измельчающую камеру где измельчается ножами, установленными на измельчающем барабане, приводимом в движение приводом 6 от вала отбора мощности трактора, и с помощью направляющего дефлектора 7 распределяется по поверхности почвы [85].

## **2.2 Определение высоты установки разравнивающего устройства**

Определение высоты установки разравнивающего устройства произведем с учетом допущения, что сечение вала солоистой массы незерновой части урожая представляет собой параболу. Исследованиями

доказано, что сечение валка соломистой массы незерновой части урожая может быть описана зависимостью [12, 15, 47, 70, 106]:

$$H(B_B) = 0,274967 + 0,2028 \cdot B_B - 0,12997 \cdot B_B^2 \quad (2.1)$$

где  $B_B$  – ширина валка, м;

$H$  – высота валка, м

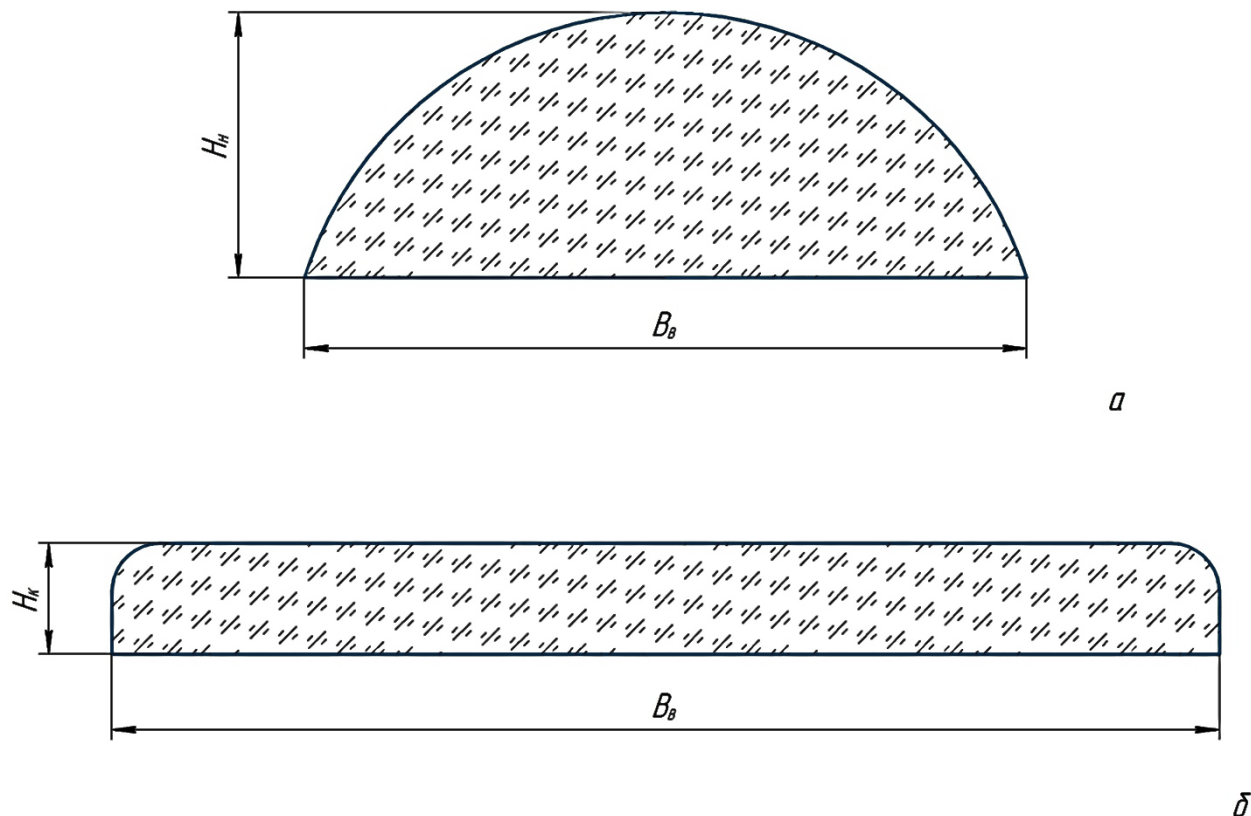


Рисунок 2.2 – Сечение валка до (а) и после (б) взаимодействия с разравнивающим устройством.

Ширина валка, по результатам многочисленных наблюдений, варьируется от 0,8... 1,8 м и зависит от урожайности возделываемой культуры, времени с момента формирования валка до его измерения. После взаимодействия валка с разравнивающим устройством поперечное сечение валка можно представлять в виде прямоугольника с основанием, равным ширине измельчающего ротора (для измельчителя - мульчировщика Kverneland FX 230 - 2,3 м), тогда площадь его поперечного сечения можно выразить как:

$$S = B_B \cdot H = 2,3 \cdot H \quad (2.2)$$

При этом площадь исходного валка определяется как [47]:

$$S = \int_0^{B_B} (0,274967 + 0,2028 \cdot B_B - 0,12997 \cdot B_B^2) \quad (2.3)$$

Учитывая, что растительный материал перемещается из вершины валка к его краям, то площадь профиля исходного валка должна быть равной площади валка после взаимодействия с разравнивающим устройством. Очевидно, что между выражением (2.2) и (2.3) можно поставить равенство обозначив в выражении (2.2) высоту валка как  $H_k$ , а в выражении (2.3) как  $H_n$ :

$$2,3 \cdot H_k = \int_0^{B_B} (0,274967 + 0,2028 \cdot B_B - 0,12997 \cdot B_B^2) \quad (2.4)$$

где  $H_n$  – высота валка до взаимодействия с разравнивающим устройством, м;  
 $H_k$  – высота валка после взаимодействия с разравнивающим устройством, м.

Из выражения (2.4) выразим значения  $H_k$ , которое определяет высоту установки разравнивающего устройства:

$$H_k = 0,119552 \cdot B_B + 0,0441 \cdot B_B^2 - 0,01884 \cdot B_B^3 \quad (2.5)$$

Используя выражение (2.5) построим с помощью программного обеспечения Math CAD 3.1 график функции  $H_k(B_B)$  на интервале от 0 до 2 (рисунок 2.3). Зависимость, представленная на рисунке 2.3 позволяет определить высоту установки разравнивающего устройства в зависимости от ширины исходного валка соломы. Так при ширине исходного валка в пределах 0,8 – 1,8 метра высота установки разравнивающего устройства должна находится в диапазоне от 0,12 до 0,25 метра.



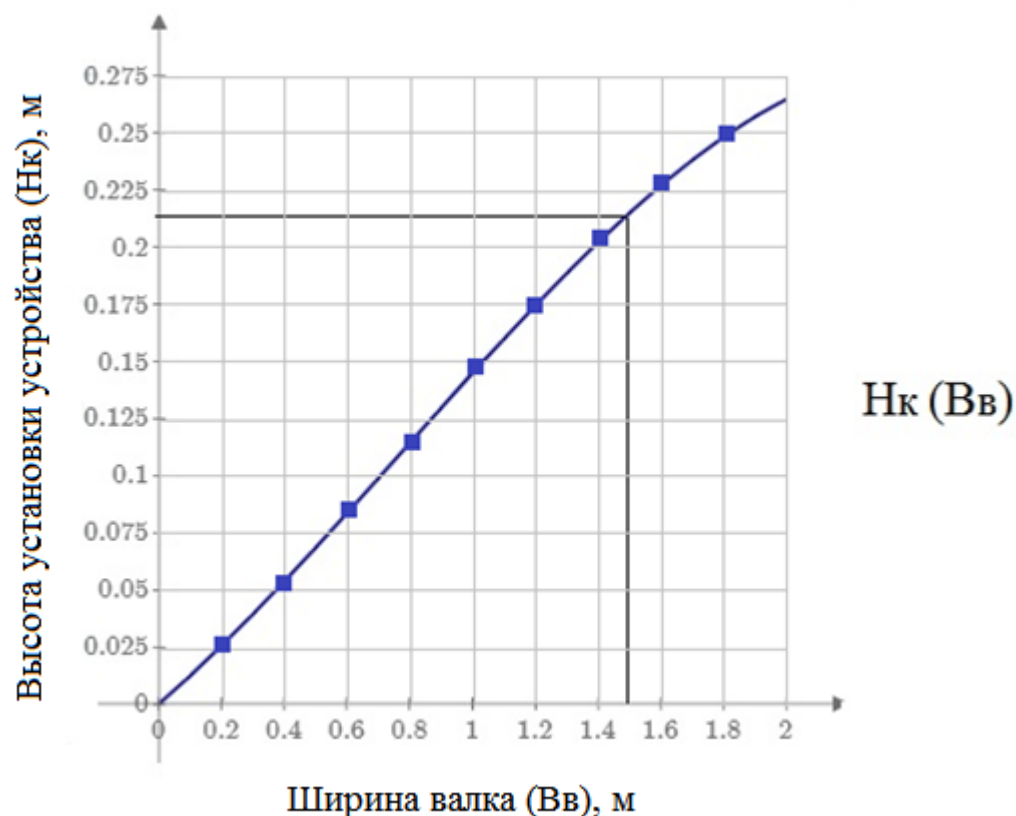


Рисунок 2.3 – Зависимость высоты установки разравнивающего устройства  $H_k$  от ширины вала  $B_v$ .

Исследуемый измельчитель - мульчировщик Kverneland FX 230 агрегатируется с трактором МТЗ-82. Трактор в процессе работы движется таким образом, что валок соломы находится между колес. Стандартная ширина колеи трактора МТЗ-82 составляет 1,4 – 1,5 метра. В связи с этим при определении высоты установки разравнивающего устройства будем отталкиваться от ширины исходного вала в 1,5 метра. Для выбранной ширины исходного вала и его формы высота установки разравнивающего устройства будет составлять  $H_k = 0,22$  метра.

### 2.3 Теоретическое исследование влияния угла раствора разравнивающего устройства на движение соломистой массы

Рассмотрим движение солоmistых частиц вдоль рабочей поверхности разравнивающего устройства (рисунок 2.4) и введем следующие допущения:

- 1) агрегат движется с равномерной скоростью;
- 2) взаимное влияние солоmistых частиц в валке не учитываем;
- 3) движение солоmistых частиц будем рассматривать как движение материальной точки.

При контакте с разравнивающим устройством на солоmistые частицы будут действовать следующие силы [36]:

$q$  – распределенная нагрузка, оказываемая массой, находящейся в валке на солоmistые частицы, Н;

$Q$  – сила динамического сопротивления массы соломы (сила динамического давления), Н;

$N$  – сила нормальной реакции опоры, Н;

$F_{тр}$  – сила трения скольжения частицы соломы о рабочую поверхность разравнивающего устройства, Н;

Под воздействием силы  $Q$ , являющейся равнодействующей распределенной нагрузки  $q$ , оказываемой солоmistой массой, находящейся в валке, солоmistые частицы будут перемещаться вдоль рабочей поверхности разравнивающего устройства из центральной части валка к его краям (рисунок 2.4).

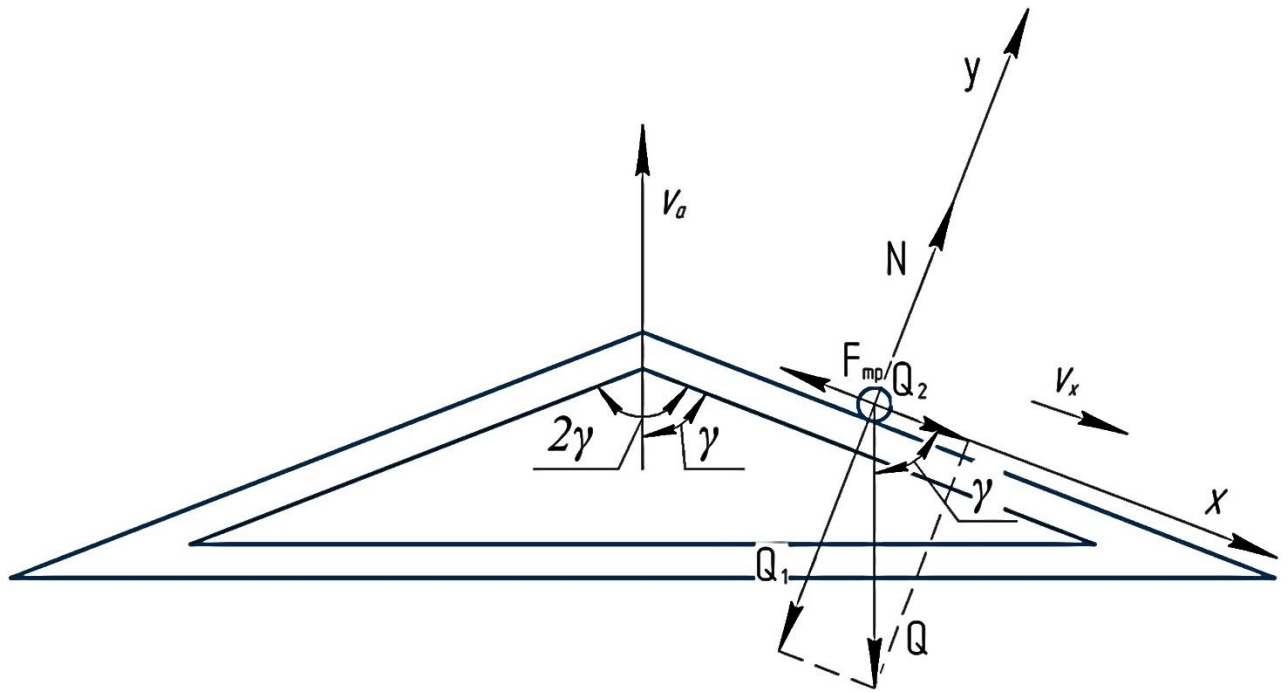


Рисунок 2.4 – Схема сил, действующих на соломистые частицы при движении вдоль рабочей поверхности разравнивающего устройства.

Введем систему координат  $x, y$  с центром, находящемся в точке середины окружности, описывающей рассматриваемую материальную точку.

Запишем дифференциальное уравнение движения соломистых частиц вдоль оси  $x$  в виде:

$$m \frac{dv_x}{dt} = Q_2 - F_{\text{тр}} \quad (2.6)$$

где  $m$  – масса соломистых частиц, кг;

$v_x$  – скорость перемещения частиц вдоль рабочей поверхности разравнивающего устройства, м/с;

$Q_2$  – составляющая силы динамического сопротивления массы соломы, Н;

$F_{\text{тр}}$  – сила трения соломистых частиц о рабочую поверхность разравнивающего устройства, Н.

Сила трения солоmistых частиц о рабочую поверхность разравнивающего устройства определяется выражением:

$$F_{\text{тр}} = Nf \quad (2.7)$$

где:  $f$  – коэффициент трения скольжения солоmistых частиц по рабочей поверхности разравнивающего устройства.

$N$  – сила нормальной реакции опоры, Н.

Для определения силы нормальной реакции опоры рассмотрим уравнение равновесия вдоль оси  $y$ :

$$N - Q_1 = 0 \quad (2.8)$$

Сила динамического сопротивления солоmistой массы при проецировании на оси координат  $x$ ,  $y$  раскладывается на составляющие:

$$Q_1 = Q \sin \gamma \quad (2.9)$$

$$Q_2 = Q \cos \gamma \quad (2.10)$$

где  $\gamma$  – угол отклонения рабочей поверхности разравнивающего устройства от направления движения агрегата, град.

Учитывая выражение (2.9) запишем выражение (2.8) в следующем виде:

$$N = Q \sin \gamma \quad (2.11)$$

Учитывая выражения (2.7), (2.10) и (2.11) преобразуем дифференциальное уравнение движения солоmistых частиц (2.6) к виду:

$$m \frac{dv_x}{dt} = Q \cos \gamma - fQ \sin \gamma \quad (2.12)$$

$$m \frac{dv_x}{dt} = Q(\cos \gamma - f \sin \gamma) \quad (2.13)$$

Согласно рациональной формуле В.П. Горячкина [24] сила динамического сопротивления соломистой массы определяется выражением:

$$Q = fG + kS + \varepsilon v_a^2 S \quad (2.14)$$

где:  $G$  – вес разравнивающего устройств, Н;

$k$  – удельная сила сопротивления частиц соломы в валке, кг/м<sup>2</sup>;

$S$  – площадь поперечного сечения вала, разравненная одной из сторон разравнивающего устройства, м<sup>2</sup>;

$v_a$  – скорость движения агрегата, м/с;

$\varepsilon$  – коэффициент, учитывающий форму рабочей поверхности разравнивающего устройства и свойства соломистой массы.

Так как разравнивающее устройство закреплено на измельчителе – мульчировщике, усилие на его перемещение не учитываем, то есть  $fG = 0$ . В результате получим:

$$Q = (k + \varepsilon v_a^2)S \quad (2.15)$$

Подставляя выражение (2.15) в выражение (2.13) получим:

$$m \frac{dv_x}{dt} = (k + \varepsilon v_a^2)S(\cos\gamma - f\sin\gamma) \quad (2.16)$$

Разделим переменные

$$\frac{m}{\cos\gamma - f\sin\gamma} \cdot \frac{dv_x}{(k + \varepsilon v_a^2)S} = dt \quad (2.17)$$

Проинтегрируем обе части уравнения (2.17)

$$\frac{m}{\cos\gamma - f\sin\gamma} \cdot \int \frac{dv_x}{(k + \varepsilon v_a^2)S} = \int dt \quad (2.18)$$

Вынесем за знак интеграла постоянные множители:

$$\frac{m}{\varepsilon S(\cos\gamma - f\sin\gamma)} \cdot \int \frac{dv_x}{\frac{k}{\varepsilon} + v_a^2} = \int dt \quad (2.19)$$

Обозначим в выражении (2.19) скорость  $v_a$  как  $v_a = v_x \cos\gamma$ . В результате получим:

$$\frac{m}{\varepsilon \cdot S \cdot (\cos\gamma - f\sin\gamma)} \cdot \int \frac{dv_x}{\frac{k}{\varepsilon} + v_x^2 \cos^2\gamma} = \int dt \quad (2.20)$$

Окончательно получим:

$$\frac{m\sqrt{\varepsilon}}{\varepsilon \cdot S \cdot \cos\gamma (\cos\gamma - f\sin\gamma) \sqrt{k}} \cdot \arctg \frac{v_x \sqrt{\varepsilon} \cos\gamma}{\sqrt{k}} = t + C \quad (2.21)$$

Предположим, что при  $t=0$ ; начальная скорость соломистых частиц  $v_0 = 0$ , тогда  $v_x = 0$ . В таком случае  $C = 0$ . Тогда выражение (2.21) примет вид:

$$\frac{m\sqrt{\varepsilon}}{\varepsilon \cdot S \cdot \cos\gamma (\cos\gamma - f\sin\gamma) \sqrt{k}} \cdot \arctg \frac{v_x \sqrt{\varepsilon} \cos\gamma}{\sqrt{k}} = t \quad (2.22)$$

Преобразуем выражение (2.22) к следующему виду

$$\frac{v_x \sqrt{\varepsilon} \cos\gamma}{\sqrt{k}} = tg \frac{t \cdot \varepsilon \cdot S \cdot \cos\gamma (\cos\gamma - f\sin\gamma) \sqrt{k}}{m \sqrt{\varepsilon}} \quad (2.23)$$

Выразив из выражения (2.23) значение  $\cos\gamma$  получим:

$$\cos\gamma = \frac{\sqrt{k}}{v_x \sqrt{\varepsilon}} \cdot tg \frac{t \cdot S \cdot \sqrt{\varepsilon} \cdot \cos\gamma (\cos\gamma - f\sin\gamma) \sqrt{k}}{m} \quad (2.24)$$

Так как в выражении (2.24) значение угла  $\gamma$  встречается и в правой и в левой части, решение будем искать с помощью метода итерации (последовательных приближений). Обозначим левую часть выражения (2.24)

как функцию  $F_1(\gamma) = \cos\gamma$ , а правую часть выражения (2.24) как функцию  $F_2(\gamma) = \frac{\sqrt{k}}{v_x \sqrt{\varepsilon}} \cdot tg \frac{tS\sqrt{\varepsilon}\cos\gamma(\cos\gamma - f\sin\gamma)\sqrt{k}}{m}$ .

Используя программное обеспечение Math CAD 3.1 построим графики функций  $F_1(\gamma)$  и  $F_2(\gamma)$ .

Значение функции  $F_2(\gamma)$  зависит от коэффициента трения солоmistых частиц о рабочую поверхность разравнивающего устройства. Согласно справочным данным [103] значение коэффициента трения солоmistых частиц о сталь равняется 0,36 при влажности соломы 6,7% и влажности воздуха 26%; 0,39 при влажности соломы 17,7% и влажности воздуха 15%; и 0,56 при влажности соломы 17,0% и влажности воздуха 81%. Выбираем значение коэффициента трения  $f = 0,56$ , как наибольшее значение при наихудших условиях работы.

Таким образом график функции  $F_2(\gamma)$  построим для следующих значений:  $m = 0,001$  кг;  $k = 7,5$  кг/м<sup>2</sup> [89];  $\varepsilon = 1$ ;  $S = 0,1364$  м<sup>2</sup>;  $v_x = 3,34$  м/с;  $t = 0,24$  с,  $f = 0.56$ .

Анализируя графические зависимости на рисунке 2.5 установлено, что наибольшее совпадение графиков функций  $F_1(\gamma)$  и  $F_2(\gamma)$  наблюдается в диапазоне углов  $\gamma$  от 63,5 до 65,5 градуса. Это соответствует наибольшей сходимости значений представленных функций. Поэтому верхний предел области рациональных значений для обоснования параметров угла раствора разравнивающего устройства будет представлен следующим диапазоном угла  $\gamma$  63,5...65,5 градусов.

Разравнивающее устройство представляет собой равнобедренный треугольник, рабочие поверхности разравнивающего устройства образуют угол раствора разравнивающего устройства, численно равный двум углам отклонения рабочей поверхности разравнивающего устройства от направления движения агрегата  $\gamma$ . Учитывая вышесказанное, значение угла

раствора разравнивающего устройства должно находиться в пределах от 127 до 131 градуса.

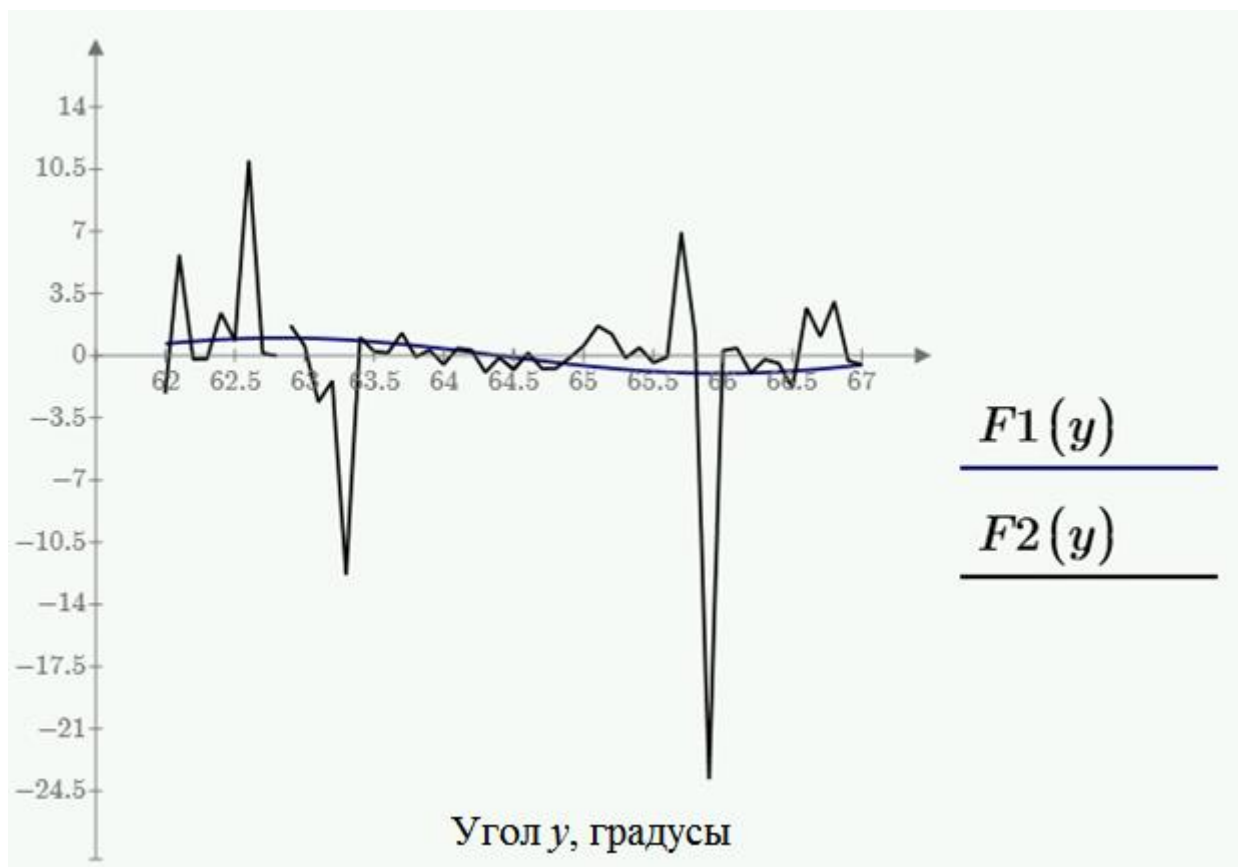


Рисунок 2.5 – Графики функций  $F_1(\gamma)$  и  $F_2(\gamma)$ .

Учитывая, что разравнивающее устройство представляет собой равнобедренный треугольник, ширина захвата разравнивающего устройства будет равна ширине основания треугольника и будет определяться выражением:

$$B_y = 2 N_y \operatorname{tg} \gamma \quad (2.25)$$

где:  $N_y$  – вылет разравнивающего устройства по направлению движения агрегата относительно корпуса измельчителя – мульчировщика, м.

Конструктивные особенности монтажа разравнивающего устройства на корпус измельчителя – мульчировщика Kverneland FX-230 не позволяют принять значение вылета разравнивающего устройства  $N_y$  более 0,4 метра.



Таким образом, ширина захвата разравнивающего устройства составит  $B = 1,640$  метра.

## 2.4 Теоретическое исследование колебаний разравнивающего устройства

Для определения закона колебаний разравнивающего устройства представим разравнивающее устройство в виде материальной точки весом  $G$ , расположенной в геометрическом центре тяжести разравнивающего устройства, находящейся на пересечении медиан треугольника на расстоянии 133 мм от основания разравнивающего устройства (рисунок 2.6)

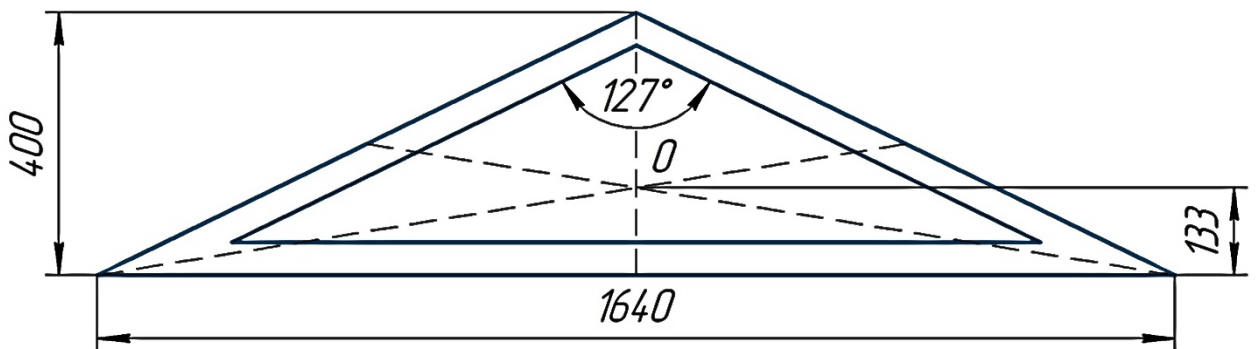


Рисунок 2.6 – Схема к определению центра тяжести разравнивающего устройства

Материальная точка весом  $G$  подвешенная к концу пружины растягивает ее на величину  $\Delta_{ст}$  (рисунок 2.7). Направим ось  $Ox$  вниз, взяв за начало отсчета точку  $O$  статического равновесия системы. Для начала колебательных движений необходимо сообщить материальной точке начальную скорость. До сообщения начальной скорости материальная точка находится в состоянии равновесия под действием веса  $G$ , направленного вниз и силы упругости пружины  $F_{упр}$ , направленной вертикально вверх.

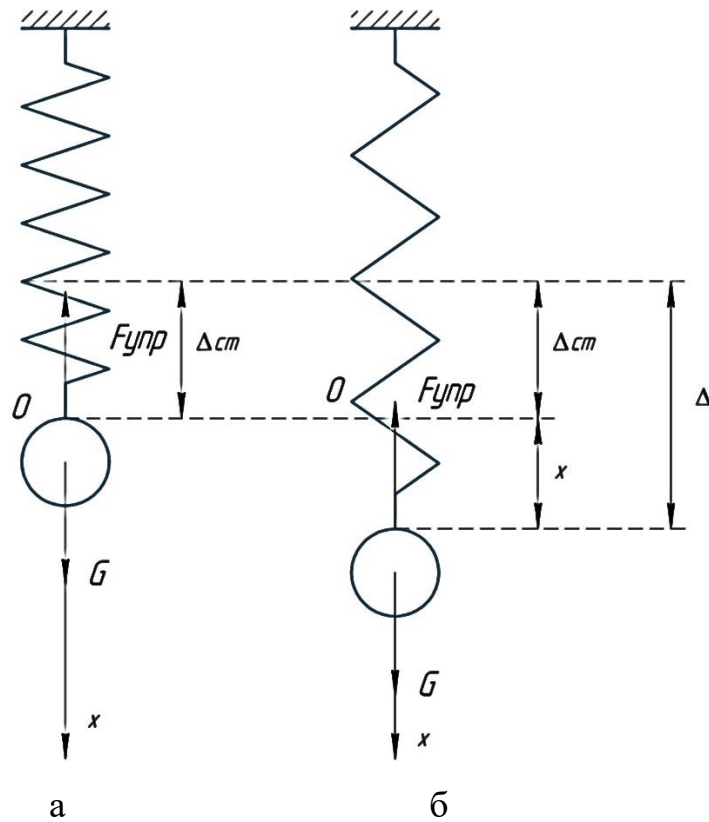


Рисунок 2.7 – Схема к определению закона колебаний  
разравнивающего устройства

Сила упругости пружины по модулю определяется выражением:

$$F_{\text{упр}} = c\Delta_{\text{ст}} \quad (2.26)$$

где:  $F_{\text{упр}}$  – сила упругости, Н;

$c$  – коэффициент жесткости пружины, Н/м;

$\Delta_{\text{ст}}$  – удлинение пружины под весом  $G$ , м.

Запишем условие равновесия системы в следующем виде:

$$G - F_{\text{ст}} = 0 \quad (2.27)$$

где  $G$  – вес материальной точки, Н.

или

$$G - c\Delta_{\text{ст}} = 0 \quad (2.28)$$

Рассмотрим материальную точку в промежуточном положении (рисунок 2.8 б). В этом положении пружина растягивается на величину

$$\Delta = \Delta_{\text{ст}} + x \quad (2.29)$$

где:  $\Delta$  - величина растяжения пружины в промежуточном положении, м;

$x$  – расстояние между положением материальной точки в состоянии статического равновесия и промежуточным положением, м.

При этом

$$F_{\text{упр}} = c(\Delta_{\text{ст}} + x) \quad (2.30)$$

Составим дифференциальное уравнение движения материальной точки в проекции на ось  $Ox$

$$m_y \ddot{x} = G + F_{\text{упр}} \quad (2.31)$$

Учитывая выражения (2.28) и (2.30) получим

$$\ddot{x} + K^2 x = 0 \quad (2.32)$$

где

$$K = \sqrt{\frac{c}{m_y}} \quad (2.33)$$

Учитывая, что  $G = m_y g$  представим выражение (2.28) в следующем виде

$$\frac{c}{m_y} = \frac{g}{\Delta_{\text{ст}}} \quad (2.34)$$

Тогда выражение (2.33) можно записать как:

$$K = \sqrt{\frac{c}{m_y}} = \sqrt{\frac{g}{\Delta_{\text{ст}}}} \quad (2.35)$$

Проинтегрируем выражение (2.31) и составим соответствующее характеристическое уравнение

$$\lambda^2 + K^2 = 0 \quad (2.36)$$

$$\lambda_{1,2} = \pm Ki \quad (2.37)$$

Поскольку корни характеристического уравнения (2.36) мнимые решение уравнения примет следующий вид

$$x = C_1 \cos Kt + C_2 \sin Kt \quad (2.38)$$

Для определения постоянных  $C_1$  и  $C_2$  найдем

$$\dot{x} = -C_1 K \sin Kt + C_2 K \cos Kt \quad (2.39)$$

Подставив в выражение (2.38)  $t = 0$  и  $x = x_0 = 0$ , а в выражение (2.39)  $t = 0$  и  $\dot{x} = \dot{x}_0$  получим

$$C_1 = 0, C_2 = \frac{\dot{x}_0}{K} \quad (2.40)$$

Подставляя выражение (2.40) в выражение (2.38) получим

$$x = \frac{\dot{x}_0}{K} \sin Kt \quad (2.41)$$

Выражение (2.41) описывает закон колебаний разравнивающего устройства, подвешенного на системе пружин при движении агрегата по неровностям поля.

Определение амплитуды колебаний и параметров пружин произведем методом итерации. Построим график зависимости амплитуды колебаний от времени (выражение 2.41) для жесткости пружины ( $x_1(t)$  при  $c=800$  Н/м;  $x_2(t)$  при  $c=900$  Н/м;  $x_3(t)$  при  $c=1000$  Н/м;  $x_4(t)$  при  $c=1100$  Н/м;  $x_5(t)$  при  $c=1200$  Н/м)

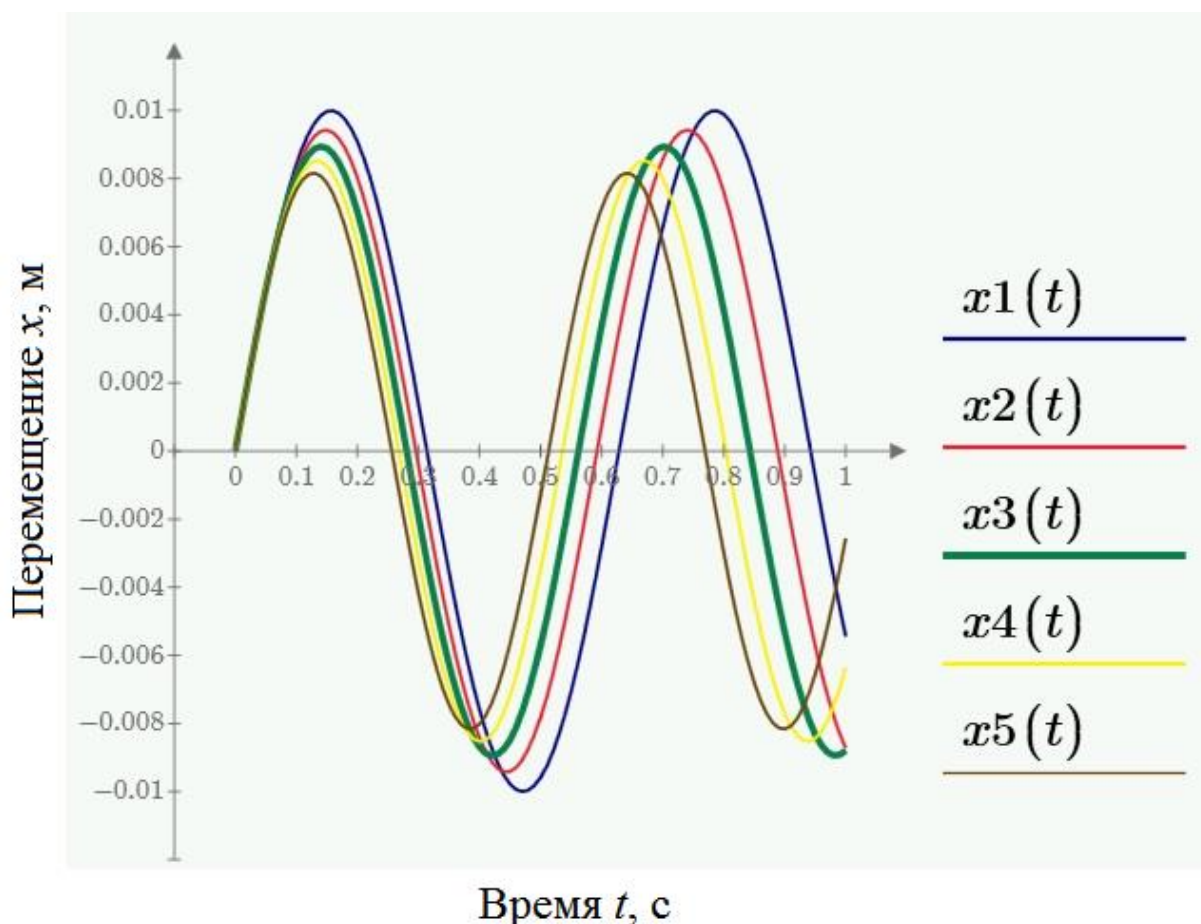


Рисунок 2.8 – График зависимости амплитуды колебаний от жесткости пружины

На основании анализа зависимости на рисунке 2.8 установили, что рациональное значение амплитуды колебаний разравнивающего устройства находится в пределах от 0,016 до 0,022 метра, что соответствует жесткости пружин находящейся в диапазоне от 800 до 1200 Н/м.

## Выводы по главе 2

1. При работе серийного измельчителя – мульчировщика Kverneland FX 230 на измельчении валков солоистой массы незерновой части урожая наблюдалось неравномерная загрузка измельчающего ротора, что снижало качественные показатели работы агрегата. Для устранения данного недостатка предложена конструкция разравнивающего устройства, позволяющая

распределить валок соломистой массы незерновой части урожая на всю ширину захвата измельчающего ротора измельчителя – мульчировщика.

2. При теоретических исследованиях влияния угла раствора разравнивающего устройства на характер движения соломистых частиц вдоль него установлено, что при влажности соломы 17,0% и влажности воздуха 81% и значении коэффициента трения  $f = 0,56$  рациональное значение угла раствора разравнивающего устройства должно находиться в пределах от 127 до 131 градуса.

3. При исследовании влияния высоты установки разравнивающего устройства для ширины исходного вала в 1,5 метра и его формы высота установки разравнивающего устройства будет составлять  $H_k = 0,22$  метра.

4. Теоретическими исследованиями колебаний разравнивающего устройства установлено, что рациональное значение амплитуды колебаний разравнивающего устройства находится в пределах от 0,016 до 0,022 метра, что соответствует жесткости пружин находящейся в диапазоне от 800 до 1200 Н/м.

### **Глава 3. ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАЗРАВНИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА СОЛОМИСТОЙ МАССЫ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ - МУЛЬЧИРОВЩИКА**

#### **3.1 Программа экспериментальных исследований разравнивающего устройства**

На основе поставленных задач и результатов теоретических исследований была составлена программа экспериментальных исследований. Программа предусматривает выполнение следующих этапов:

- разработка методики исследования;
- подбор лабораторного оборудования для проведения исследований;
- сборка установки для проведения лабораторных исследований;
- изготовление разравнивающего устройства и установка его на измельчитель - мульчировщик для проведения полевых исследований;
- проведение полевых исследований разравнивающего устройства;
- проведение хозяйственных испытаний измельчителя - мульчировщика, оборудованного разравнивающим устройством;
- обработка и анализ результатов исследований.

В результате проведенных теоретических исследований взаимодействия солоmistых частиц незерновой части урожая с рабочим органом разравнивающего устройства были обоснованы угол раствора и высота установки устройства. Для проверки полученных теоретических зависимостей был спланирован и проведен комплекс лабораторно-полевых исследований.

Основными задачами экспериментальных лабораторно-полевых исследований являлось:

- экспериментальная проверка параметров установки разравнивающего устройства;
- определение соответствия размеров измельченных частиц соломистой массы незерновой части урожая агротехническим требованиям;
- определение зависимости ширины и равномерности распределения измельченной соломистой массы незерновой части урожая по поверхности поля от параметров разравнивающего устройства;
- сравнительные испытания стандартного измельчителя - мульчировщика и оснащенного разравнивающим устройством, для оценки качественных и экономических характеристик работы.

### **3.2 Методика определения скорости воздушного потока на выходе направляющего дефлектора измельчителя - мульчировщика**

Распределение измельченных частиц соломистой массы незерновой части урожая по поверхности поля осуществляется за счет двух составляющих. При взаимодействии частиц с измельчающим ротором осуществляется процесс резания. В результате солоmistая масса незерновой части урожая измельчается, и измельченными частицам придается кинетическая энергия. В процессе вращения измельчающего ротора создается сильный воздушный поток. В результате сложения кинетической энергии и скорости воздушного потока измельченные частицы соломистой массы незерновой части урожая приходят в движение. На выходе измельчающего аппарата установлен направляющий дефлектор, который разделяет воздушный поток на части и изменяет направление потока. В результате взаимодействия измельченных частиц, движущихся в воздушном потоке, с направляющим дефлектором происходит распределение солоmistых частиц незерновой части по поверхности поля. Для анализа характера движения



воздушного потока необходимо замерить скорость движения воздуха. Замер скорости движения воздуха производился в закрытом помещении, исключая воздействие на конечный результат атмосферных масс, движущихся поперек направления движения машины. Для проведения замера измельчитель-мульчирошик Kverneland FX-230, агрегатировали с трактором МТЗ-82, устанавливали на ровную закрытую площадку. После чего включили ВОМ, увеличивая частоту вращения двигателя, вывели обороты ВОМ на отметку 540 об/мин., что соответствует скорости вращения ротора 1788 об/мин. Для определения скорости движения воздушного потока применялся крыльчатый анемометр с диаметром приемной части не менее 50 мм и рабочим диапазоном измерений от 1,0 до 20,0 м/с.



Рисунок 3.1 – Анемометр крыльчатый.

Измерения осуществлялись на всей ширине направляющего дефлектора между направляющими лопатками, количество точек измерения 10. Замер осуществлялся с трехкратной повторностью.

### **3.3 Методика определения поперечного профиля валка соломистой массы незерновой части урожая**

Для имитации валка соломистой массы незерновой части урожая в лабораторных условиях необходимо изучить его геометрические параметры, а именно профиль поперечного сечения. Измерения поперечного профиля проводили на нескольких валках. Высоту валка измеряли от поверхности поля до верхней части валка при помощи линейки в пяти местах по ширине и в десяти по длине валка с интервалом 10 метров с погрешностью измерения не более  $\pm 1$  см. В качестве контрольного измерения использовали профиломер (длиной 2 метра, состоящий из 11 реек, расположенных через каждые 0,2 м). По полученным данным рассчитывали площадь сечения валка (принимая допущение, что сечение валка представляет собой параболу).

### **3.4 Методика определения параметров разравнивающего устройства**

Для подтверждения теоретических исследований взаимодействия соломистых частиц незерновой части урожая с разравнивающим устройством требовалось провести лабораторные исследования. Основной задачей лабораторного исследования являлось получение достоверных данных о влиянии параметров разравнивающего устройства, таких как угол раствора и высота установки устройства, на параметры валка соломистой массы незерновой части урожая. Местом проведения лабораторных исследований была выбрана лаборатория кафедры «Технических систем в АПК» Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. Лаборатория оборудована почвенным каналом, на котором смонтирована передвижная тележка с системой крепления сельскохозяйственных машин.

Тележка приводится в действие электродвигателем с редуктором и системой тросов.

Для проведения исследования изготовили несколько разравнивающих устройств с рабочими углами  $90^0$ ,  $110^0$ ,  $130^0$ ,  $150^0$ . На передвижную тележку крепили разравнивающие устройства. Система крепления разравнивающих устройств позволяла изменять высоту их установки. Далее на почвенный канал раскладывался валок заранее подготовленной соломистой массы. Ширина валка составляла 1,5 метра, длина валка составляла 10 метров. После установки исходных параметров тележка приводилась в движение. В качестве рабочей скорости движения тележки была выбрана скорость 6, 8 и 10 км/ч. После прохода тележки с разравнивающим устройством оценивались параметры разровненного валка соломистой массы. В ходе эксперимента производилось наблюдение характера взаимодействия солоmistых частиц с разравнивающим устройством и фиксировалось поведение валка соломистой массы при взаимодействии с разравнивающим устройством, а также геометрические параметры валка после взаимодействия с разравнивающим устройством. На выходе определяли такие параметры разравнивающего устройства, при которых валок равномерно распределялся на максимальную ширину.

### **3.5 Результаты исследования скорости воздушного потока на выходе направляющего дефлектора измельчителя – мульчировщика**

В процессе проведения лабораторных исследований был изучен воздушный поток на выходе направляющего дефлектора стандартного измельчителя - мульчировщика. Измерения проводились по всей ширине дефлектора между направляющими лопатками в 9 зонах.

Результаты измерения скорости воздушного потока представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Результаты измерения скорости воздушного потока на направляющем дефлекторе измельчителя - мульчировщика, м/с.

| №                | Зона измерения |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                  | 1              | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
| 1                | 12,3           | 11,9 | 11,5 | 10,9 | 11,1 | 11,3 | 11,9 | 12,1 | 12,5 |
| 2                | 12,5           | 12,1 | 11,8 | 11,2 | 10,9 | 10,9 | 11,4 | 12,0 | 12,4 |
| 3                | 12,5           | 12,2 | 11,6 | 11,0 | 10,6 | 10,9 | 11,5 | 12,1 | 12,6 |
| Среднее значение | 12,4           | 12,1 | 11,6 | 11,0 | 10,9 | 11,0 | 11,6 | 12,1 | 12,5 |

Конструкция направляющего дефлектора измельчителя – мульчировщика такова, что воздушный поток, создаваемый измельчающим ротором, разделяется направляющими лопатками на потоки. Расстояние между лопатками, направленными в одну сторону, одинаковое. Однако расстояние между крайними направляющими лопатками и боковой стенкой измельчителя в несколько раз меньше расстояния между соседними лопатками. Результаты измерения скорости воздушного потока показывают, что скорость воздушного потока по ширине направляющего дефлектора находится в пределах среднего значения. Однако ближе к боковым стенкам измельчителя – мульчировщика скорость воздушного потока возрастает на 13,8%.

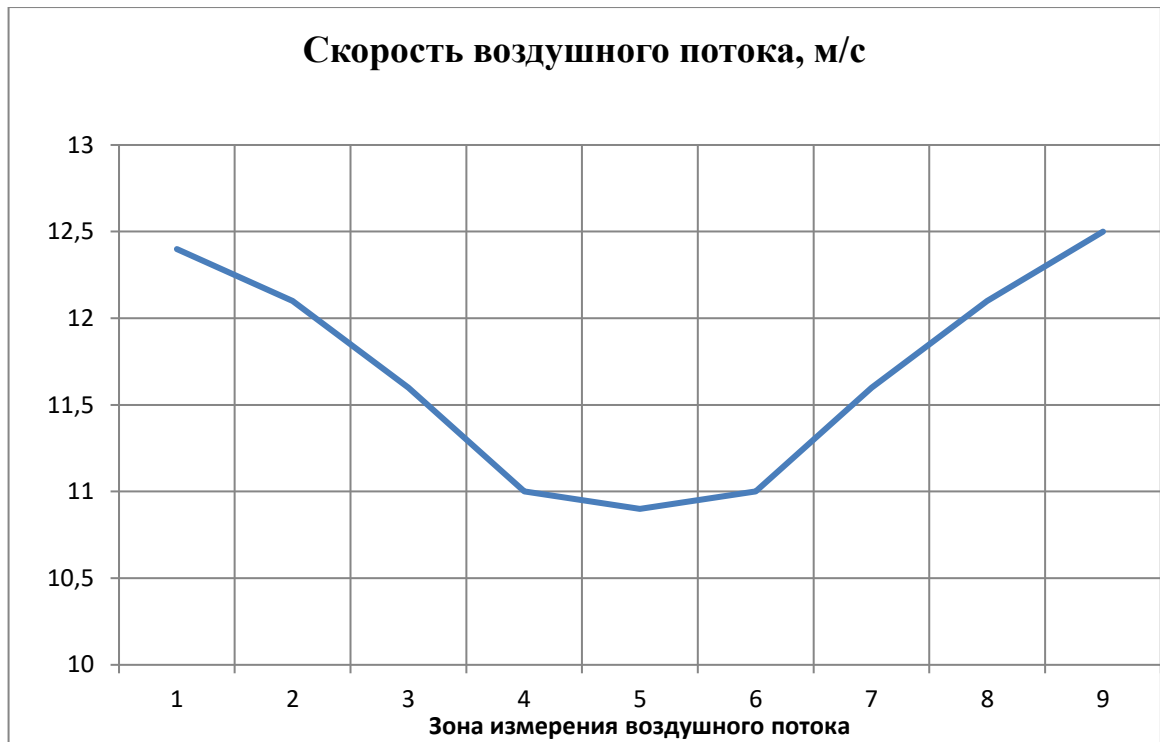


Рисунок 3.2 – График скорости воздушного потока по зонам направляющего дефлектора измельчителя – разбрасывателя.

Таким образом, большая скорость воздушного потока между крайними пластинами дефлектора будет способствовать увеличению ширины разбрасывания измельченной солоистой массы, при условии попадания вала в соответствующие зоны измельчающего ротора.

### 3.6 Результаты определения поперечного профиля вала солоистой массы незерновой части урожая

В процессе подготовки полевых экспериментальных исследований требовалось определить геометрические параметры вала солоистой массы незерновой части урожая. Для этого определяли размеры поперечного профиля вала. Измерения проводили на соломе озимой пшеницы и ярового ячменя [91].



Рисунок 3.3 – Замер параметров поперечного профиля валка соломистой массы незерновой части урожая озимой пшеницы.

Результаты замеров сведены в таблицы 3.2 и 3.3.

Для наглядности представим собранные данные в виде модели поверхности валка соломистой массы озимой пшеницы и ярового ячменя. Полученные модели поверхности валка показывают, что поперечный профиль валка можно представить в виде половины эллипса. Большая часть массы находится в средней части валка. При воздействии на верхнюю часть валка разравнивающим устройством возможно перемещение излишков массы к краям валка, что вызовет увеличение его ширины. Однако модели показывают, что по своей длине валок не равномерен. В виду разнородности густоты хлебостоя и огрехов в управлении комбайном масса валка по дине колеблется в значительных пределах.

Таблица 3.2 – Результаты измерения поперечного профиля валка соломистой массы озимой пшеницы.

| №       | Высота валка в точках, м. |      |      |      |      | Ширина валка, м. |
|---------|---------------------------|------|------|------|------|------------------|
|         | -1                        | -0,5 | 0    | 0,5  | 1    |                  |
| 1       | 0,35                      | 0,4  | 0,45 | 0,45 | 0,4  | 1,40             |
| 2       | 0,35                      | 0,4  | 0,45 | 0,45 | 0,45 | 1,60             |
| 3       | 0,35                      | 0,4  | 0,4  | 0,45 | 0,4  | 1,40             |
| 4       | 0,35                      | 0,42 | 0,42 | 0,45 | 0,4  | 1,60             |
| 5       | 0,4                       | 0,45 | 0,45 | 0,36 | 0,3  | 1,60             |
| 6       | 0,4                       | 0,5  | 0,48 | 0,35 | 0,35 | 1,60             |
| 7       | 0,35                      | 0,45 | 0,5  | 0,4  | 0,35 | 1,60             |
| 8       | 0,35                      | 0,4  | 0,6  | 0,6  | 0,45 | 1,60             |
| 9       | 0,35                      | 0,4  | 0,53 | 0,5  | 0,45 | 1,60             |
| 10      | 0,35                      | 0,4  | 0,45 | 0,45 | 0,35 | 1,40             |
| Средний | 0,36                      | 0,42 | 0,47 | 0,45 | 0,39 | 1,55             |

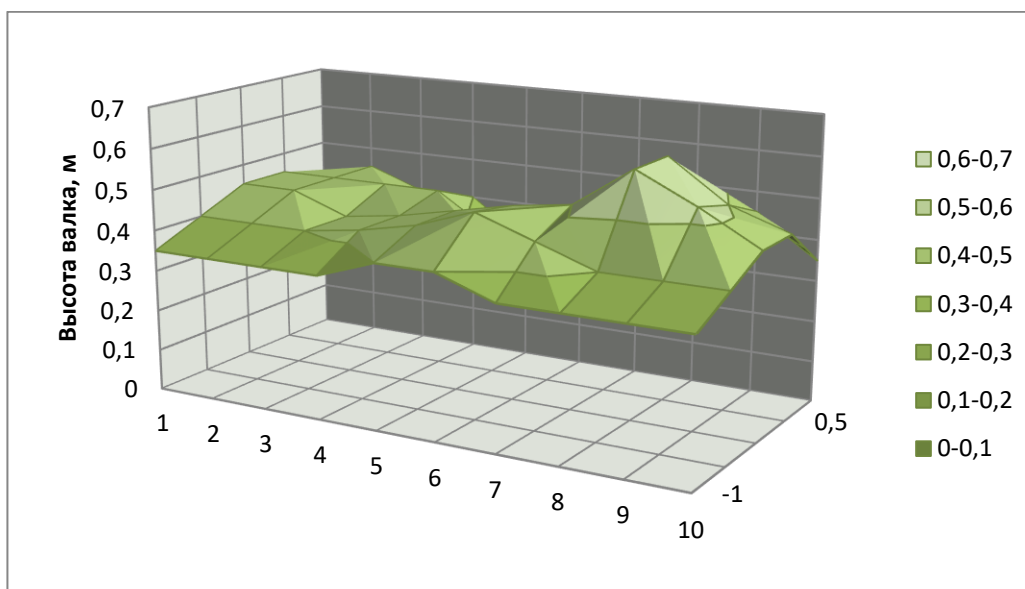


Рисунок 3.4 – Модель поверхности валка соломистой массы озимой пшеницы.

Таблица 3.3 – Результаты измерения поперечного профиля валка соломистой массы ярового ячменя.

| №       | Высота валка в точках, м. |      |      |      |      | Ширина валка, м. |
|---------|---------------------------|------|------|------|------|------------------|
|         | -1                        | -0,5 | 0    | 0,5  | 1    |                  |
| 1       | 0,15                      | 0,22 | 0,3  | 0,2  | 0,17 | 1,35             |
| 2       | 0,14                      | 0,2  | 0,3  | 0,2  | 0,15 | 1,40             |
| 3       | 0,15                      | 0,2  | 0,32 | 0,22 | 0,15 | 1,40             |
| 4       | 0,17                      | 0,25 | 0,32 | 0,25 | 0,15 | 1,30             |
| 5       | 0,15                      | 0,18 | 0,28 | 0,21 | 0,14 | 1,45             |
| 6       | 0,15                      | 0,21 | 0,29 | 0,22 | 0,16 | 1,45             |
| 7       | 0,15                      | 0,2  | 0,25 | 0,2  | 0,15 | 1,40             |
| 8       | 0,17                      | 0,25 | 0,3  | 0,24 | 0,14 | 1,35             |
| 9       | 0,15                      | 0,21 | 0,3  | 0,2  | 0,15 | 1,30             |
| 10      | 0,14                      | 0,25 | 0,31 | 0,24 | 0,15 | 1,40             |
| Средний | 0,15                      | 0,22 | 0,30 | 0,22 | 0,15 | 1,38             |

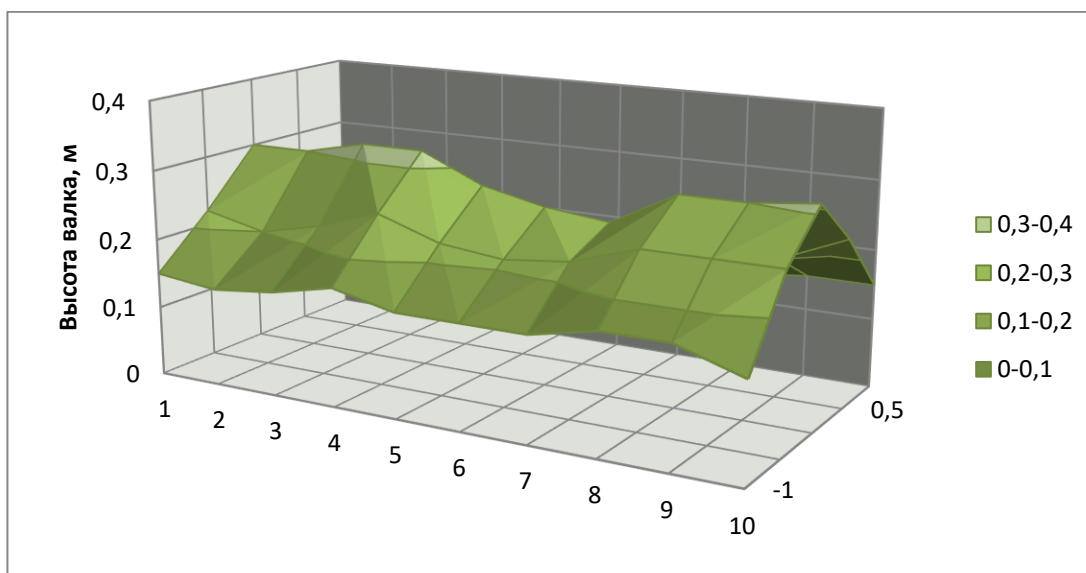


Рисунок 3.5 – Модель поверхности валка соломистой массы ярового ячменя.



На модели поверхности валка соломистой массы незерновой части урожая озимой пшеницы четко видно большое скопление массы в конце валка, после чего наблюдается снижение количества массы в валке с последующим повышением до среднего уровня. Поверхность валка соломистой массы незерновой части урожая ярового ячменя свидетельствует о двух локальных скоплениях массы в начале и конце валка и наличии ярко выраженной впадины в середине валка. При этом в виду разности в урожайности культур и коэффициентах соломистости средняя ширина валка ярового ячменя составляет 1,38 метра, в то время как у озимой пшеницы средняя ширина валка составляет 1,55 метра. Такой характер поверхности валка вызывает затруднения при последующем измельчении соломистой массы незерновой части урожая для использования в качестве удобрения, поскольку измельченная масса распределяется по длине гона не равномерно. В местах локальных скоплений соломистой массы будет наблюдаться увеличение длины измельченных частиц и уменьшение ширины разбрасывания, вызванное чрезмерной нагрузкой на измельчающий ротор.

### **3.7 Результаты определения параметров разравнивающего устройства**

Исследования параметров разравнивающего устройства проводились в лабораторных условиях. Используя заранее заготовленную и уложенную в валок соломистую массу незерновой части урожая озимой пшеницы разравнивали разравнивающим устройством с различными рабочими углами, высотой установки и рабочей скоростью движения. В результате были получены зависимости ширины валка от угла раствора разравнивающего устройства, высоты его установки и рабочей скорости движения.

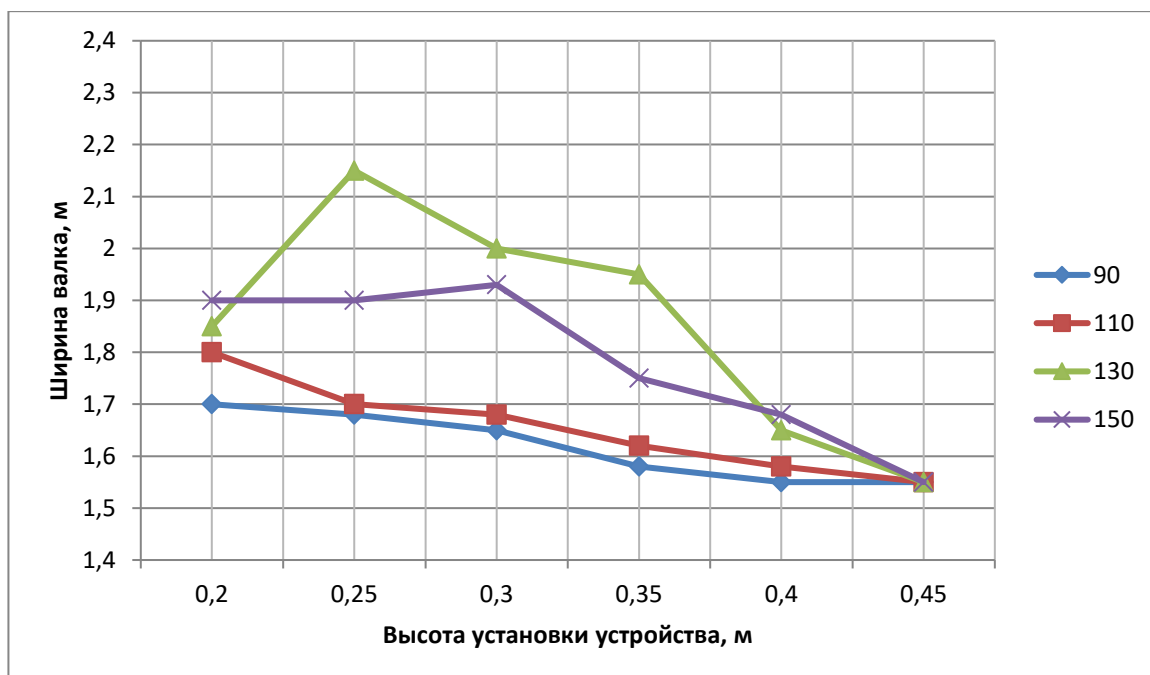


Рисунок 3.6 – Зависимость ширины валка от высоты установки разравнивающего устройства, при скорости 6 км/ч.

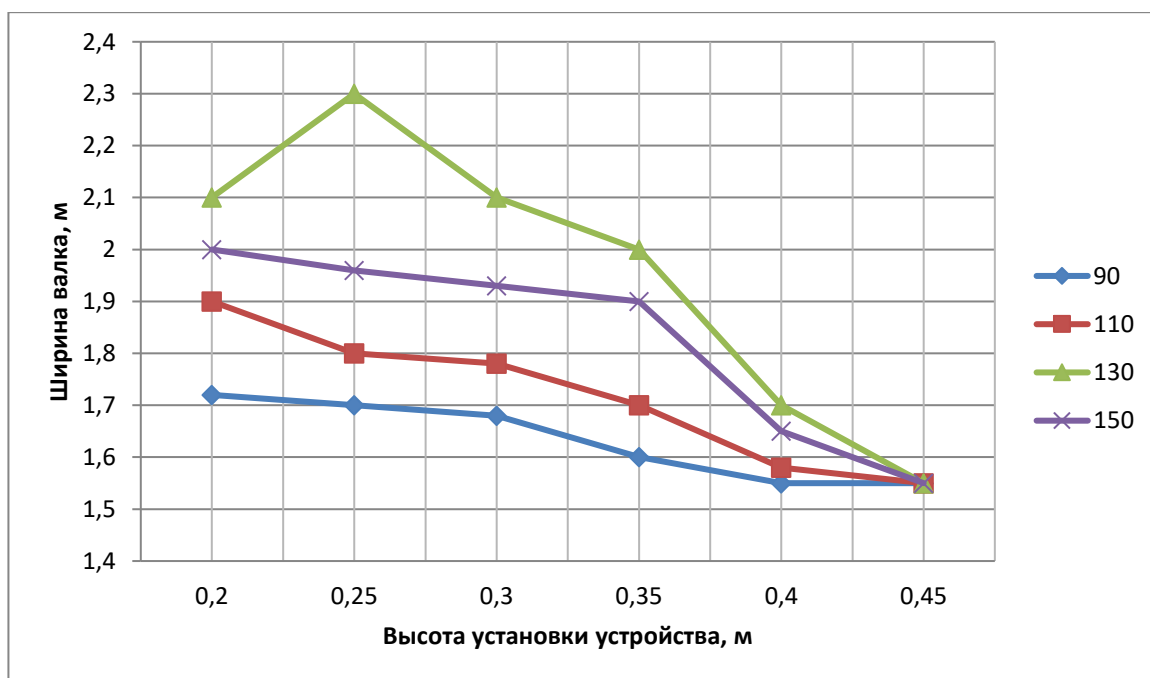


Рисунок 3.7 – Зависимость ширины валка от высоты установки разравнивающего устройства, при скорости 8 км/ч.

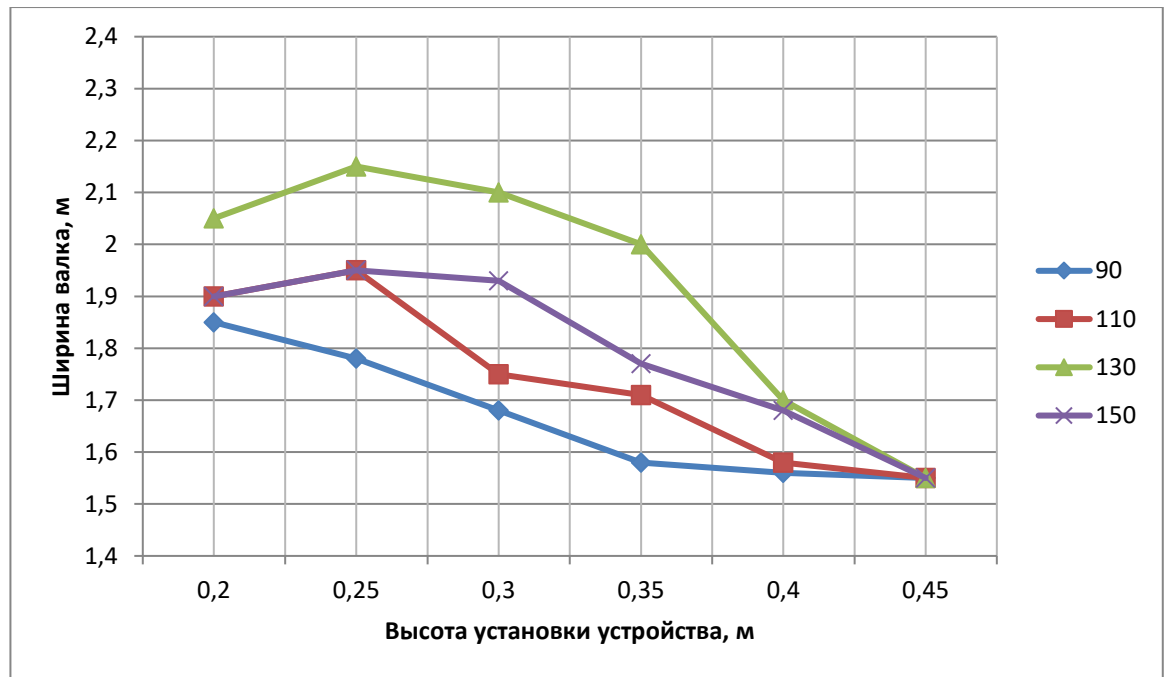


Рисунок 3.8 – Зависимость ширины вала от высоты установки разравнивающего устройства, при скорости 10 км/ч.

Анализируя полученные зависимости, было установлено, что наилучшие результаты в разравнивании вала солоистой массы незерновой части урожая показывает разравнивающее устройство с углом раствора, находящимся в диапазоне  $110^{\circ} - 130^{\circ}$ . Высота установки разравнивающего устройства, при котором обеспечивается наибольшая ширина вала незерновой части урожая, находится в пределах 0,20 – 0,25 м, что соответствует перекрытию 40 % высоты исходного вала. При этом наиболее результативно разравнивающее устройство работало с рабочей скоростью 8 км/ч. При скорости движения 6 км/ч солоистая масса не распределялась на всю ширину захвата машины, а при 10 км/ч наблюдались забивания рабочего органа разравнивающего устройства.

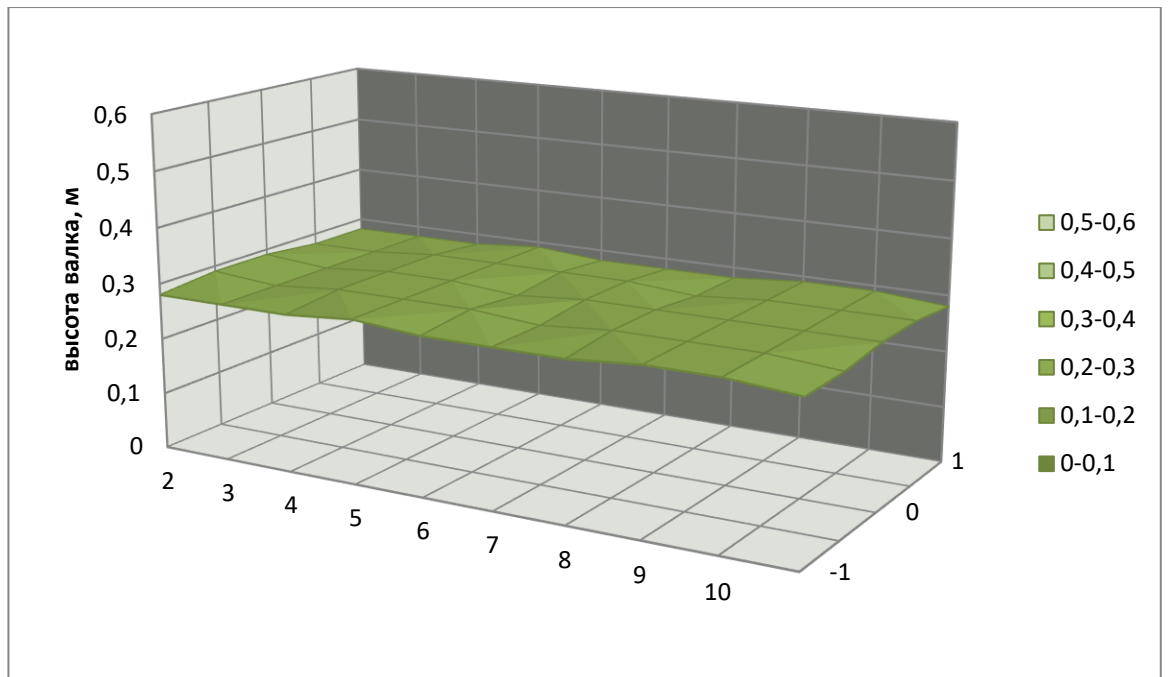


Рисунок 3.9 – Поверхность вала соломистой массы незерновой части урожая после прохождения разравнивающего устройства.

После прохода разравнивающего устройства оценивалась ширина разровненного вала и определялся его поперечный профиль. Наилучшая поверхность разровненного вала соломистой массы незерновой части урожая полученная разравнивающим устройством с углом раствора  $130^{\circ}$ , высотой установки 0,25 м и рабочей скоростью движения 8 км/ч представлена на рисунке 3.9. Данная поверхность демонстрирует что валок равномерно распределен на максимальную ширину без явных локальных скоплений соломистой массы и мест с ее недостаточным количеством.

### Выводы по главе 3

1. Разработана программа и методика экспериментальных исследований.

2. Установлено, что на крайних распределительных заслонках направляющего дефлектора скорость воздушного потока возрастает на 13,8%.
3. Определены геометрические параметры валка соломистой массы незерновой части урожая озимой пшеницы и ярового ячменя.
4. В результате лабораторных исследований установлено, что наилучшие показатели разравнивания валка соломистой массы показывает разравнивающее устройство с углом 130 градусов и скоростью движения 8 км/ч.

## Глава 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАЗРАВНИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ - МУЛЬЧИРОВЩИКА

### 4.1 Объект полевого исследования и характеристика опытного участка для проведения полевых экспериментальных исследований разравнивающего устройства измельчителя - мульчировщика

В качестве объекта исследования выбран серийный измельчитель-мульчировщик Kverneland FX-230. Конструкция данного агрегата является типовой для данного типа машин, а технические характеристики представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Технические характеристики измельчителя - мульчировщика Kverneland FX-230.

| Наименование                    | Значение |
|---------------------------------|----------|
| Ширина захвата ротора, м        | 2,3      |
| Рабочая скорость, км/ч          | 8        |
| Производительность, га/ч        | до 3,55  |
| Частота вращения ВОМ, об/мин    | 540      |
| Частота вращения ротора, об/мин | 1788     |
| Количество ножей на роторе, шт  | 52       |
| Масса, кг                       | 870      |

На рисунке 4.1 представлен серийный измельчитель - мульчировщик Kverneland FX-230.



1 – приводной редуктор; 2 – приемное окно; 3 – приводные шкивы; 4 – направляющий дефлектор; 5 – измельчающий ротор; 6 – опорные колеса.

Рисунок 4.1 – Измельчитель - мульчировщик Kverneland FX-230.

Таблица 4.2 – Характеристика опытного участка.

| Наименование                                             | Значение                                 |
|----------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Агрофон                                                  | Стерня озимой пшеницы (Виола)            |
| Тип почвы                                                | Серая лесная тяжелая и серая суглинистая |
| Микрорельеф                                              | Уклон до 3%, наличие овражных комплексов |
| Влажность почвы в слоях, %                               |                                          |
| 0-5 см                                                   | 11                                       |
| 6-10 см                                                  | 13                                       |
| 11-15 см                                                 | 14                                       |
| Твердость почвы в слое 0-15 см, кг/см <sup>2</sup> (МПа) | 29 (2,9)                                 |
| Высота стерни, м                                         | 0,3                                      |
| Влажность соломы, %                                      | 12                                       |
| Урожайность зерна, ц/га                                  | 35                                       |
| Урожайность соломы, ц/га                                 | 52,5                                     |
| Площадь поля, га                                         | 62                                       |

В таблице 4.2 представлена характеристика опытного участка для проведения полевых экспериментальных исследований усовершенствованного измельчителя - мульчировщика.

Стандартный измельчитель - мульчировщик Kverneland FX-230 дополнительно оснащается разравнивающим устройством. Данное техническое решение позволяет распределить солоmistую массу незерновой части урожая в валке равномерно по площади питающего окна измельчителя - мульчировщика для равномерной загрузки измельчающего ротора, что позволит в конечном итоге увеличить ширину распределения измельченной солоmistой массы незерновой части урожая по поверхности поля и повысить равномерность распределения.

#### **4.2 Общие методы исследования, лабораторные приборы и оборудование, применяемые при проведении полевых экспериментальных исследований**

Для проведения экспериментальных исследований использовались стандартные лабораторные приборы и оборудование. Определение температуры окружающего воздуха, влажности воздуха, скорости ветра производилось с помощью портативного струнного термоанемометра Smart Sensor AR866. Прибор измеряет скорость воздушного потока в пределах от 0 до 30 м/с с точностью  $\pm 1\% \pm 0,1$  [110].

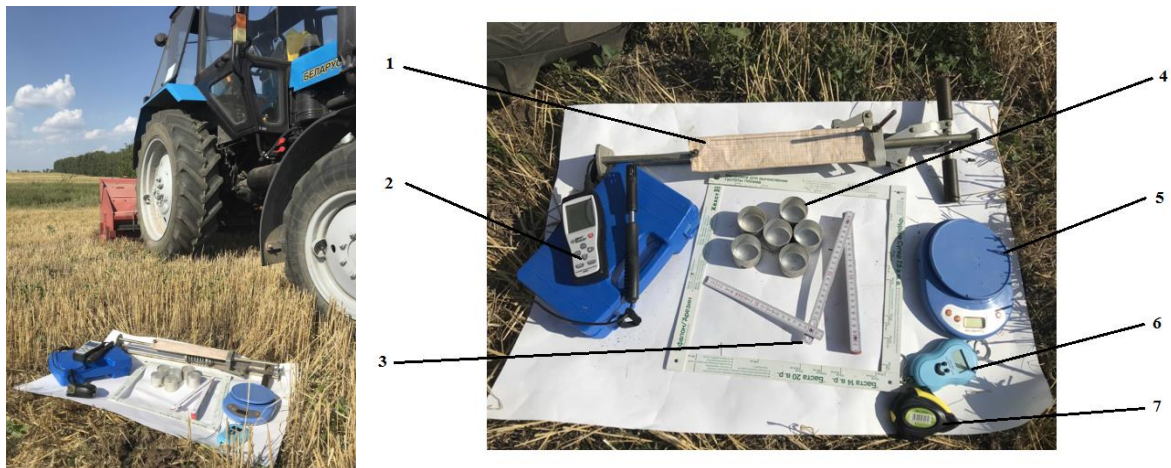
Определение твердости почвы в различных почвенных горизонтах производилось с использованием твердомера Ревякина. При вдавливании наконечника прибора в слой почвы происходит деформация пружины, которая через системы тяг соединена со скобой с закрепленным на ней карандашом. В процессе деформации пружины скоба с карандашом перемещается и на листе



бумаги рисуется диаграмма твердости почвы на различных почвенных горизонтах.

Определение параметров валка незерновой части урожая производилось с использованием складной агрономической линейки Amazone длиной 2000 мм.

Для оценки равномерности распределения материала по поверхности поля использовалась методика, описанная в ГОСТ Р 52759 [25], предусматривающая использование контрольной рамки размером 500 х 500 мм. Размеры рамки обеспечивают контрольную площадь отбора материала, равную 0,25 м<sup>2</sup>, что при четырехкратной повторности отбора проб составляет 1 м<sup>2</sup>.



1 – твердомер Ревякина, 2 – термоанемометр, 3 – складная линейка Amazone 200 см, 4 – боксы для отбора проб, 5,6 – весы, 7 - рулетка

Рисунок 4.2 - Лабораторные приборы, используемые для проведения полевого эксперимента

Определение типа почвы, микрорельефа, уклона опытного участка, влажности и твердости почвы, скорости и направления ветра по отношению к движению машины, температуры воздуха определи в соответствии с ГОСТ 20915-2001 [26].

Определение влажности незерновой части урожая и влажности почвы проводилось в лабораторных условиях. Отбор и подготовка проб почвы и незерновой части урожая производился в специальные бьюксы по действующей нормативно-технической документации и методикам выполнения измерения влажности материалов ГОСТ 17.4.3.01-2017, ГОСТ 28268-89, ГОСТ ISO 6497-2014, ГОСТ ISO 6498-2014, ГОСТ Р 57059-2016 [27, 28, 29, 30, 31].



Рисунок 4.3 - Анализатор влажности ЭВЛАС-2М с пробой соломистой массы незерновой части урожая перед замером влажности

Определение массовой доли влаги в пробах почвы и соломистой массы осуществлялось с использованием влагомера ЭВЛАС-2М. Для этого заранее

подготовленные пробы помещались в чашу взвешивающего устройства и равномерно распределялись по ее поверхности. После чего чаша помещалась на крестовину взвешивающего устройства и фиксировалась исходная масса навески. После установки чаши на взвешивающее устройство автоматически включается нагревательный элемент сушильной камеры. На экране прибора в этот момент отображаются значения массы пробы и текущее значение массовой доли влаги в %. Определение влажности материала осуществляется на основании формулы [6]:

$$W = \frac{m_x - m_{\text{сух}}}{m_x} * 100\%, \quad (4.1)$$

где  $W$  – влажность материала, %;

$m_x$  – масса пробы до сушки, кг;

$m_{\text{сух}}$  – масса пробы после сушки, кг.

По окончании измерения нагревательный элемент сушильной камеры отключается и на индикатор выводится результат измерения массовой доли влаги в %.

При обработке результатов эксперимента использовались стандартные методики математической обработки экспериментальных данных, соответствующих ГОСТ Р 8.736-2011 [32]. Математическая обработка экспериментальных данных производилась с использованием специализированных программных продуктов, таких как Math CAD, Excel, Statistika 10 позволяющих существенно облегчить процесс обработки и уменьшить вероятность появления ошибки в расчетах.

### 4.3 Методика определения равномерности распределения измельченной соломистой массы незерновой части урожая по поверхности поля

Одним из основных показателей качества работы измельчителей растительных остатков является равномерность распределения измельченного материала по поверхности поля. Согласно агротехническим требованиям равномерность распределения измельченных частиц по поверхности поля должна превышать 70-75% [1, 41, 88, 107].

Для определения качества распределения измельченной массы по поверхности поля наукой предложено большое количество различных приспособлений [79, 80, 113]. В нашем случае воспользуемся способом, предусматривающим использование контрольной рамки размером 0,5 x 0,5 метра. Рамку раскладываем на опытном загоне поперек движения агрегата на рабочей ширине разбрасывания в несколько рядов. Измельченная масса из каждой рамки собиралась в емкость и взвешивалась.

Суммарное количество измельченной массы:

$$m_1 + m_2 + \dots + m_{n_3} = \sum_{i=1}^{n_3} m_i, \quad (4.2)$$

где  $m_i$  – масса вещества в  $i$ -той зоне, кг;

$n_3$  – число зон по ширине разброса.

Среднее количество измельченной массы на единицу площади:

$$m_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{n_3} m_i}{n_3} \quad (4.3)$$

Отклонение от среднего значения:

$$\Delta m_i = m_i - m_{cp} \quad (4.4)$$

Сумма отклонений:

$$\Delta m_1 + \Delta m_2 + \dots + \Delta m_{n_3} = \sum_{i=1}^{n_3} m_i \quad (4.5)$$

Среднее отклонение:

$$\Delta m_{cp} = \frac{\sum \Delta m_i}{n_3 - 1} \quad (4.6)$$

Расчетная равномерность распределения измельченной массы по поверхности поля:

$$V_{разб} = \frac{\Delta m_{cp}}{m_{cp}} * 100\% \quad (4.7)$$

Равномерность распределения измельченной массы по поверхности поля считается удовлетворительной, если предельное отклонение массы по зонам не отличается от среднего более чем в два раза.

Исследованиями установлено, что при работе жаток валок хлебной массы по длине неравномерен. Колебание массы погонного метра валка по длине достигает 35%. Агротехническими требованиями установлено, что коэффициент вариации массы стеблей по длине валка не должен превышать 20-25% [21, 22]. Данные требования можно применить и к валку соломистой массы незерновой части урожая после обмолота комбайном.

Для определения неравномерности валка по длине на опытном участке определяли массу 1 погонного метра валка. Для этого собирали солоmistую массу в емкость и производили взвешивание. Измерение массы проводили с интервалом 10 метров. Обработку результатов измерений для определения неравномерности валка проводили по методике, описанной выше.

#### **4.4 Методика определения гранулометрического состава измельченной соломистой массы незерновой части урожая на соответствие агротехническим требованиям**

Основными гранулометрическими показателями измельченной соломистой массы незерновой части урожая являются фракционный состав, средний размер частиц, среднеквадратичное отклонение (дисперсия  $\sigma^2$ ), коэффициент вариации. Агротехнические требования в отношении фракционного состава сильно разнятся, 50-100 мм [1], 85 % до 120 мм [41], не менее 70% длиной 100 мм [107], до 70-80 % длиной 5-100 мм [42], не менее 80% длиной до 70 мм [105], 50-100 мм с возможным содержанием частиц 150-250 мм [63].

Оценка гранулометрических показателей измельченной массы производилась на соломе озимой пшеницы. Устанавливались следующие размерные фракции частиц: до 50 мм, 50 – 100 мм, 100 – 150 мм, более 150 мм. Измерение длины частиц производилось одновременно с определением равномерности распределения материала по поверхности поля. Измерения проводились для каждой отобранной пробы. Для измерения в случайном порядке отбирали 100 частиц с пробы. Длину измеряли на лабораторном столе с помощью линейки.

Среднюю арифметическую длину частиц, дисперсию и коэффициент вариации определяли по формулам:

$$\bar{l} = \frac{\sum_{i=1}^{n_3} l_i}{n_3} \quad (4.8)$$

$$\sigma_l = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_3} (\Delta l_i)^2}{n_3 - 1}} \quad (4.9)$$

$$v_l = \frac{\sigma_l}{\bar{l}} \quad (4.10)$$

где  $l_i$  – средняя длина измельченных частиц в  $i$ -той пробе, мм;

$\Delta l_i$  – отклонение средней длины соломы в  $i$ -той пробе от среднего значения, г.

Для оценки соответствия степени измельчения агротехническим требованиям использовали средневзвешенную среднюю арифметическую длины, учитывающую процентное содержание размерной фракции в общей массе. Средневзвешенную длину определяли по формуле:

$$l_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^{n_3} \bar{l}_i \omega_i}{\sum_{i=1}^{n_3} \omega_i} \quad (4.11)$$

где  $\bar{l}_i$  – средняя арифметическая длины частиц в данной размерной фракции, мм;

$\omega_i$  – массовая доля содержания данной размерной фракции в общей массе, %.

#### 4.5 Методика планирования многофакторного эксперимента

Многофакторный эксперимент проводился на базе УНИЦ Агротехнопарк федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева». Опытный участок убирался комбайном ACROS 595 Plus, оборудованным жаткой с шириной захвата 7 метров. При работе комбайна незерновая часть урожая укладывалась в валок. После прохода комбайна производился замер профиля валка. Валок соломы измельчался с использованием измельчителя – мульчировщика Kverneland FX-230, оборудованного разравнивающим устройством. При проведении эксперимента оценивалось влияние рабочей

скорости, угла и высоты установки разравнивающего устройства на ширину разбрасывания и равномерность распределения измельченной массы по поверхности поля.

В результате изучения процесса измельчения валка солоmistых частиц незерновой части урожая измельчителем - мульчировщиком было установлено, что на конечный результат влияет множество факторов. При подготовке к планированию многофакторного эксперимента были выбраны следующие наиболее существенные факторы оптимизации:

- $x_1$  – угол раствора разравнивающего устройства, град;
- $x_2$  - скорость движения агрегата, км/ч;
- $x_3$  – амплитуда колебаний разравнивающего устройства, мм.

В качестве критериев оптимизации были выбраны:

- $y_1$  – ширина разбрасывания измельченной массы, м;
- $y_2$  - равномерность распределения измельченной массы по ширине разбрасывания, %;
- $y_3$  – средняя длина продуктов измельчения, мм.

Рассмотрим более подробно уровни варьирования каждого фактора. По результатам теоретических исследований и единичных экспериментов диапазон варьирования угла раствора был установлен в пределах от 110 до 130 градусов. Также учитывалось, что при переводе агрегата в транспортное положение элементы привода измельчающего ротора могут столкнуться с разравнивающим устройством.

Амплитуду колебаний разравнивающего устройства, обеспечивающую активное перемещение солоmistой массы незерновой части урожая из центра валка к краям измельчителя - мульчировщика, выбирали на основе проведенных теоретических исследований. За нижний уровень фактора



принимали амплитуду колебаний 5 мм, за верхний уровень - амплитуду колебаний 25 мм. За основной уровень принимали амплитуду колебаний равную 15 мм.

Согласно технической характеристике стандартного измельчителя - мульчировщика рабочая скорость составляет 8 км/ч. Таким образом, минимальное значение скорости ограничим 6 км/ч в виду того, что при дальнейшем уменьшении скорости падает производительность агрегата. Максимальное значение скорости составит 10 км/ч, при дальнейшем увеличении скорости будет наблюдаться нехватка мощности двигателя.

Сведем в таблицу все факторы оптимизации и определим интервалы их варьирования.

Таблица 4.3 – Факторы и уровни их варьирования

| № | Фактор                                   | Единица измерения | Нижний уровень |    | Основной уровень |   | Верхний уровень |    | Интервал варьирования |
|---|------------------------------------------|-------------------|----------------|----|------------------|---|-----------------|----|-----------------------|
| 1 | Угол раствора разравнивающего устройства | град.             | 110            | -1 | 120              | 0 | 130             | +1 | 10                    |
| 2 | Скорость движения агрегата               | км/ч              | 6              | -1 | 8                | 0 | 10              | +1 | 2                     |
| 3 | Амплитуда колебаний                      | мм.               | 5              | -1 | 15               | 0 | 25              | +1 | 10                    |

Для оценки степени влияния каждого фактора на критерии оптимизации был проведен полный факторный эксперимент  $3^3$ . Анализ априорной информации, а также предварительные исследования показали, что

зависимость выбранных критериев оптимизации от рассматриваемых факторов не линейна и может быть описана полином следующего вида:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 + b_4(x_1^2 - a) + b_5(x_2^2 - a) + b_6(x_3^2 - a) \quad (4.12)$$

где  $y$  - среднее значение отклика (критерий оптимизации);

$b$  – коэффициенты полинома;

$x$  – независимые переменные (факторы);

$a$  – константа преобразования.

Коэффициенты полинома определяем из выражения:

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^{N_{\text{опыт}}} x_{iu}y_u}{\sum_{u=1}^{N_{\text{опыт}}} x_{iu}^2} \quad (4.13)$$

где:  $N_{\text{опыт}}$  – общее количество опытов;

$u$  – порядковый номер строки плана;

$y_u$  – значение отклика.

$$a = \sqrt{\frac{2^n}{2^{n+2 \cdot n + n_0}}} \quad (4.14)$$

где:  $n$  – количество факторов;

Для планирования эксперимента воспользуемся ортогональным центрально-композиционным планом второго порядка. Ортогональность плана обеспечивается подбором звездного плеча  $\alpha$ . Согласно [48] плечо звездных точек рассчитывают по формуле:

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{2} (\sqrt{N_{\text{опыт}} \cdot N_0 - N_0})} \quad (4.15)$$

где:  $N_0$  – количество точек в ядре плана.

Для ортогонального центрально-композиционного плана получили следующие параметры

$$N_0 = 8, N_{\text{опыт}} = 15, a \approx 0,73, \alpha \approx 1,215.$$

Используя полученные параметры плана составили матрицу планирования эксперимента  $3^3$ , которая представлена в приложении А.

Исходный полином преобразуем к следующему виду:

$$y = b'_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 + b_4x_1^2 + b_5x_2^2 + b_6x_3^2 \quad (4.16)$$

$$b'_0 = b_0 - b_4 \cdot a + b_5 \cdot a - b_6 \cdot a \quad (4.17)$$

Для дальнейшей работы со значениями факторов оптимизации необходимо перейти к кодированным значениям [19].

$$X_j = \frac{X_i - X_{0i}}{\Delta X_i}, \quad (4.18)$$

где  $X_j$  - кодированное значение фактора;

$X_i$  - натуральное значение фактора;

$X_{0i}$  - натуральное значение фактора на нулевом уровне;

$\Delta X_i$  - натуральное значение интервала варьирования фактора.

Натуральное значение интервала варьирования фактора находим по формуле:

$$\Delta X_i = \frac{X_i^B - X_i^H}{2}, \quad (4.19)$$

где  $X_i^B$  - значение фактора на верхнем уровне;

$X_i^H$  - значение фактора на нижнем уровне.

Опыты проводили с трехкратной повторностью. Результаты опытов представлены в приложении Б.

Проведение анализа полученных данных ручным способом достаточно трудоемко. Для облегчения процесса и исключения ошибок в расчетах использовали программное обеспечение Microsoft Excel и Statistica 10.

#### **4.6 Результаты определения неравномерности валка соломистой массы незерновой части урожая по длине**

Измерение массы погонного метра валка проводилось с целью подтверждения гипотезы о неравномерности валка соломистой массы незерновой части урожая по длине. В качестве объекта измерения выступал валок соломистой массы озимой пшеницы сорта Виола, сформированный после прохода комбайна Acros 595 plus. Измерения проводились с трехкратной повторностью.

Таблица 4.4 – Результаты измерения массы погонного метра валка соломистой массы озимой пшеницы, г.

| №       | Масса погонного метра |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|         | 1                     | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
| 1       | 2115                  | 2954 | 1651 | 1594 | 2393 | 1432 | 950  | 1751 | 1692 | 1362 |
| 2       | 1509                  | 1169 | 1163 | 2953 | 2766 | 1515 | 2394 | 1940 | 2255 | 2245 |
| 3       | 1058                  | 1605 | 1655 | 1128 | 2719 | 2391 | 2029 | 2701 | 2430 | 2507 |
| Среднее | 1561                  | 1909 | 1490 | 1892 | 2626 | 1779 | 1791 | 2131 | 2126 | 2038 |



Рисунок 4.4 – График изменения массы погонного метра валка солоистой массы незерновой части урожая озимой пшеницы.

Результаты измерения массы погонного метра валка солоистой массы озимой пшеницы свидетельствуют о том, что валок по своей структуре в длину неравномерен. Отклонение массы погонного метра от среднего значения достигает 36%. Таким образом обеспечить требуемую равномерность распределения материала по поверхности поля при дальнейшем измельчении без применения дополнительных воздействий на валок не представляется возможным. Применение разравнивающего устройства позволит снизить процент неравномерности валка солоистой массы по длине до требуемых 20 %.

#### 4.7 Результаты определения гранулометрического состава измельченной массы

Для определения соответствия результата работы агрегата агротехническим требованиям было проведено исследование гранулометрического состава измельченной солоистой массы незерновой

части урожая. Определение гранулометрического состава производили при работе серийного измельчителя - мульчировщика Kverneland FX-230 и измельчителя - мульчировщика, оборудованного разравнивающим устройством.

Результаты экспериментальных исследований показали, что при работе серийного измельчителя - мульчировщика распределение фракционного состава измельченной массы по ширине распределения не однородно. В результате наблюдений выявлено, что длина продуктов измельчения увеличивается к середине полосы распределения. На краях же наблюдается уменьшение длины фракционного состава. Среднее содержание каждой размерной фракции в пробах по ширине распределения серийного измельчителя - мульчировщика представлено в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Процентное соотношение продуктов измельчения по ширине разбрасывания при работе серийного измельчителя - мульчировщика.

| Размерная фракция | Номер пробы |      |      |      |      |      | В целом по ширине распределения |
|-------------------|-------------|------|------|------|------|------|---------------------------------|
|                   | 1           | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    |                                 |
| <b>До 50</b>      | 42,1        | 20,7 | 14,8 | 9,9  | 17,5 | 36,9 | 23,7                            |
| <b>50-100</b>     | 30,6        | 28,6 | 20,0 | 22,9 | 29,4 | 34,8 | 27,7                            |
| <b>100-150</b>    | 21,9        | 35,1 | 26,7 | 27,4 | 37,2 | 23,2 | 28,6                            |
| <b>Более 150</b>  | 5,4         | 15,6 | 38,5 | 39,8 | 15,9 | 5,1  | 20,1                            |

Средняя длина измельченной соломистой массы незерновой части урожая после прохода серийного измельчителя – мульчировщика составила 120 мм. При этом доля частиц длиной до 100 мм в общей массе составила 51,4%. Измельченная масса при проходе серийного измельчителя - мульчировщика распределяется на ширину не более 3,5 метров [10]. Такое качество измельчения не соответствует агротехническим требованиям.

При работе измельчителя - мульчировщика, оборудованного разравнивающим устройством наблюдалась иная картина распределения измельченной массы. Валок под действием разравнивающего устройства распределялся по ширине измельчающего ротора. Подача массы на измельчающий ротор происходила более равномерно. В результате оптимизации подачи массы к рабочим органам измельчителя увеличивается степень измельчения соломистой массы незерновой части урожая. Так измельчитель - мульчировщик, оборудованный разравнивающим устройством осуществлял измельчение до средней длины измельченной массы 79 мм. Общая доля частиц длиной до 100 мм в этом случае составила 87%. Такое качество измельчения удовлетворяет агротехническим требованиям. Оптимизация загрузки измельчающего ротора позволила увеличить ширину распределения измельченной массы до 5,7 метров, что при работе зерноуборочного комбайна с шириной жатки 7 метров, обеспечивает 81 % покрытия прохода комбайна. Среднее содержание каждой размерной фракции в пробах по ширине распределения измельчителя - мульчировщика, оборудованного разравнивающим устройством представлено в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Процентное соотношение продуктов измельчения по ширине разбрасывания при работе измельчителя - мульчировщика, оборудованного разравнивающим устройством.

| Размерная фракция | Номер пробы |      |      |      |      |      | В целом по ширине разбрасывания |
|-------------------|-------------|------|------|------|------|------|---------------------------------|
|                   | 1           | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    |                                 |
| <b>До 50</b>      | 35,2        | 33,8 | 29,1 | 28,9 | 34,3 | 36,1 | 32,9                            |
| <b>50-100</b>     | 52,7        | 53,5 | 55,0 | 56,1 | 54,4 | 52,9 | 54,1                            |
| <b>100-150</b>    | 9,9         | 10,3 | 12,7 | 11,2 | 9,0  | 8,9  | 10,3                            |
| <b>Более 150</b>  | 2,2         | 2,4  | 3,2  | 3,8  | 2,3  | 2,1  | 2,7                             |

В процессе определения гранулометрического состава измельченной массы анализировали распределение различных размерных фракций по ширине распределения серийным измельчителем - мульчировщиком и измельчителем – мульчировщиком, оборудованным разравнивающим устройством. В результате получили зависимости распределения каждой размерной фракции по ширине распределения измельченной массы. Данные зависимости представлены на рисунках 4.5 – 4.8.

Периферийная область распределения серийного измельчителя - мульчировщика насыщена преимущественно мелкой фракцией размером до 50 мм. Установлено, что скорость витания измельченных частиц крупных фракций, в 2,3 ... 3,1 раза превышает критическую скорость фракций, длиной до 50 мм [121]. Низкая скорость витания частиц данного размера способствует их лучшему их перемещению воздушным потоком.

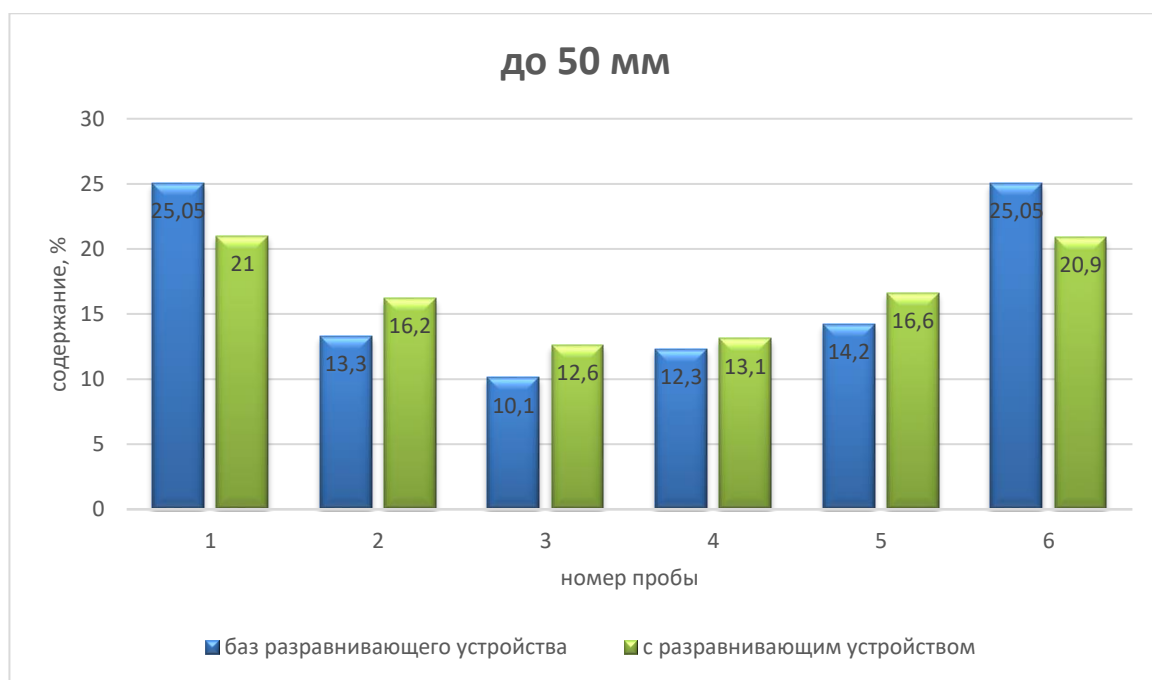


Рисунок 4.5 – Процентное содержание измельченной массы размерной фракцией до 50 мм по ширине распределения.



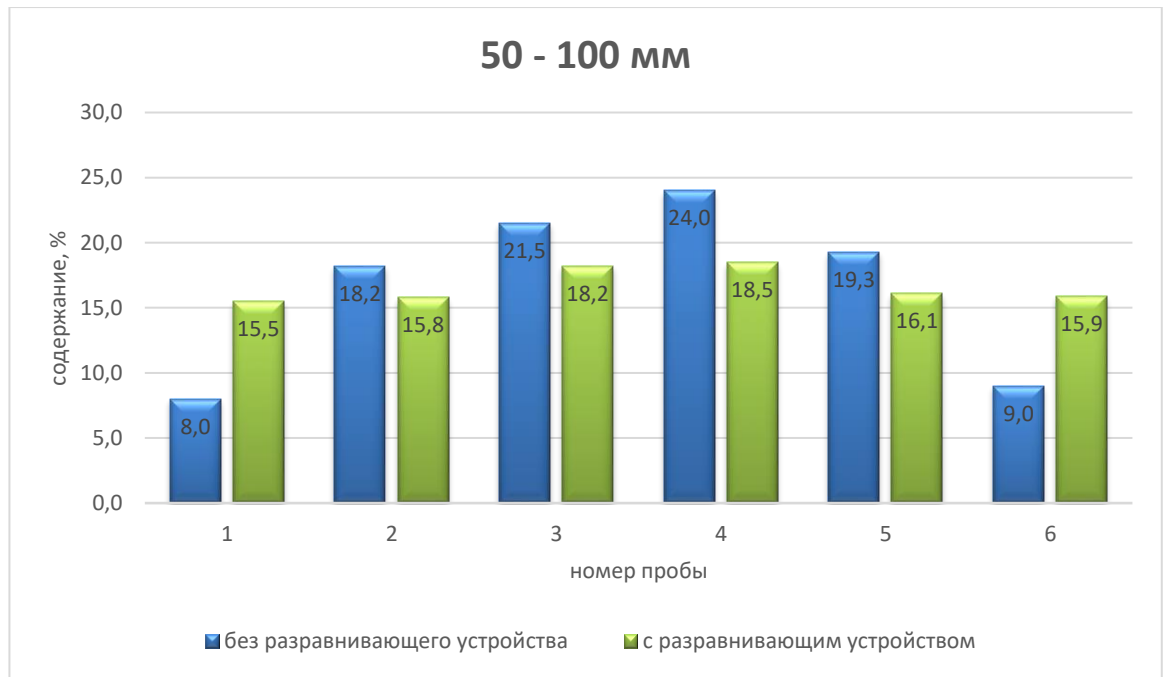


Рисунок 4.6 – Процентное содержание измельченной массы размерной фракцией 50-100 мм по ширине распределения.

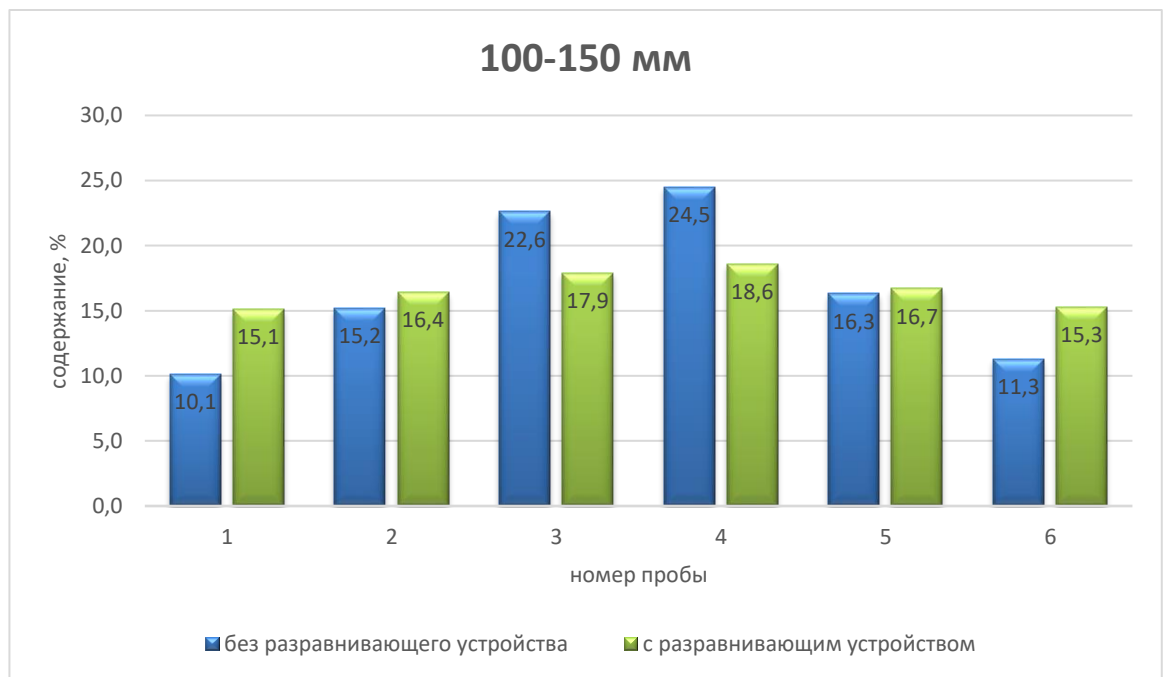


Рисунок 4.7 – Процентное содержание измельченной массы размерной фракцией 100-150 мм по ширине распределения.

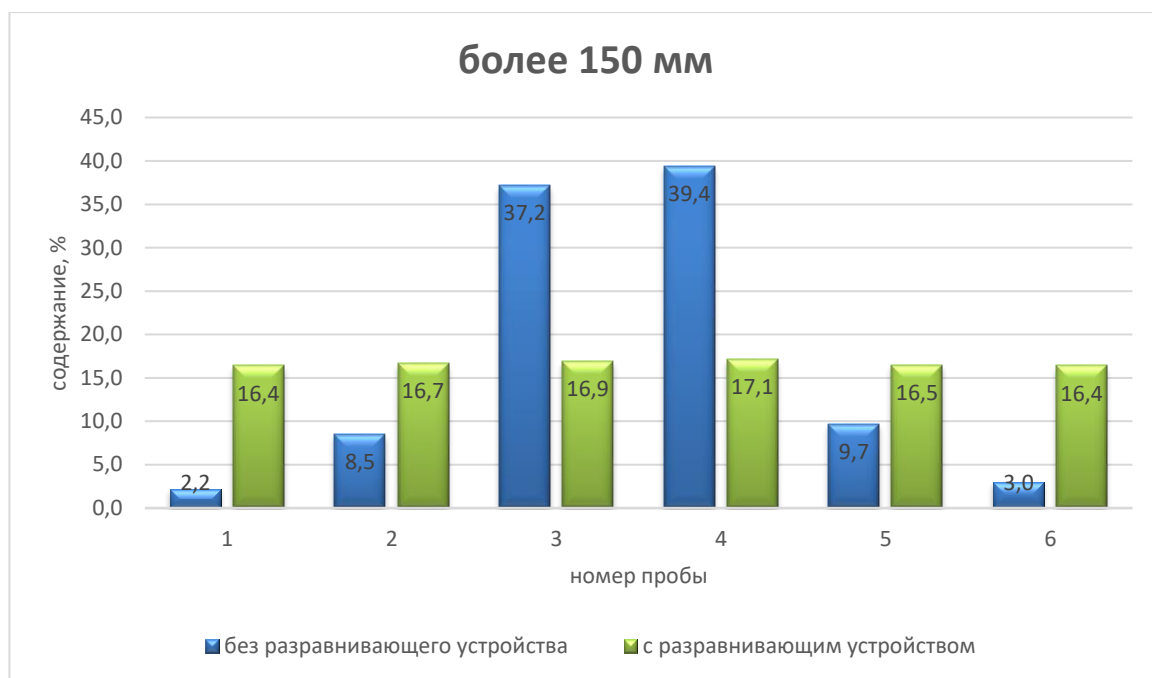


Рисунок 4.8 – Процентное содержание измельченной массы размерной фракцией более 150 мм по ширине распределения.

Центральная область распределения серийного измельчителя - мульчировщика перенасыщена крупной размерной фракцией (100-150 мм и более). При измельчении валков с высокой урожайностью наблюдается повышенная подача массы в центральную часть измельчающего ротора. При движении агрегата незерновая часть урожая из валка не распределяется по всей ширине измельчающего ротора, а измельчается преимущественно в центральной его части. Длина продуктов измельчения при таком режиме работы агрегата сильно увеличивается. Учитывая большую скорость витания измельченных частиц крупных размерных фракций можно объяснить малую ширину распределения измельченной массы по поверхности поля серийным измельчителем - мульчировщиком, а также перенасыщение центральной области распределения измельченной массой крупных размерных фракций.

Применение разравнивающего устройства позволило изменить распределение размерных фракций по ширине разбрасывания. Мелкая фракция размером до 50 мм перераспределилась в центральную зону

разбрасывания, однако в крайних зонах ее содержание по-прежнему увеличено. Более крупные размерные фракции длиной 50 – 100 мм и 100 – 150 мм распределились из центральных областей к периферии. Распределение этих фракций по ширине разбрасывания стало более равномерным. Крупная размерная фракция длиной более 150 мм практически не встречалась в общей измельченной массе. Распределение данной фракции по ширине разбрасывания равномерно.

#### 4.8 Результаты многофакторного эксперимента

Результаты многофакторного эксперимента подтвердили влияние таких факторов как угол раствора разравнивающего устройства, скорость движения агрегата и амплитуда колебаний разравнивающего устройства на ширину и равномерность распределения измельченной массы по поверхности поля, а также на среднюю длину измельченной массы.

В результате обработки полученных экспериментальных данных были определены коэффициенты уравнений регрессии и составлены зависимости.

Ширина распределения измельченной массы по поверхности поля описывается выражением:

$$y_1 = 5,377 + 0,713 \cdot x_1 + 0,191 \cdot x_2 - 0,037 \cdot x_3 - 0,050 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,075 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,092 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,100 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0,126 \cdot x_1^2 - 0,294 \cdot x_2^2 - 0,104 \cdot x_3^2 \quad (4.20)$$

Адекватность полученной модели характеризует коэффициент детерминации  $R^2 = 0,88$  и коэффициент регрессии  $R = 0,94$ .

Равномерность распределения измельченной массы по поверхности поля описывается выражением:

$$y_2 = 82,766 + 9,466 \cdot x_1 + 0,857 \cdot x_2 + 1,574 \cdot x_3 + 0,375 \cdot x_1 \cdot x_2 - 2,042 \cdot x_1 \cdot x_3 + 1,208 \cdot x_2 \cdot x_3 + 2,292 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 - 15,959 \cdot x_1^2 - 7,835 \cdot x_2^2 - 5,128 \cdot x_3^2 \quad (4.21)$$

Адекватность полученной модели характеризует коэффициент детерминации  $R^2 = 0,98$  и коэффициент регрессии  $R = 0,99$ .

Средняя длина измельченной массы описывается выражением:

$$y_3 = 82,797 - 12,991 \cdot x_1 + 5,407 \cdot x_2 + 4,730 \cdot x_3 + 3,500 \cdot x_1 \cdot x_2 + 7,833 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,083 \cdot x_2 \cdot x_3 + 1,083 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 + 23,300 \cdot x_1^2 + 8,874 \cdot x_2^2 + 5,376 \cdot x_3^2 \quad (4.22)$$

Адекватность полученной модели характеризует коэффициент детерминации  $R^2 = 0,88$  и коэффициент регрессии  $R = 0,94$ .

Оценив значимость каждого коэффициента в уравнениях зависимости выбрали наиболее значимые. Исключив из уравнений зависимости менее значимые коэффициенты получили математические модели для ширины и равномерности распределения измельченной массы и средней длины измельченной массы.

$$y_1 = 5,377 + 0,713 \cdot x_1 \quad (4.23)$$

$$y_2 = 82,766 + 9,466 \cdot x_1 - 15,959 \cdot x_1^2 - 7,835 \cdot x_2^2 - 5,128 \cdot x_3^2 \quad (4.24)$$

$$y_3 = 82,797 - 12,991 \cdot x_1 + 5,407 \cdot x_2 + 4,730 \cdot x_3 + 7,833 \cdot x_1 \cdot x_3 + 23,300 \cdot x_1^2 + 8,874 \cdot x_2^2 \quad (4.25)$$

Наглядное представление о характере влияния каждого фактора на критерии оптимизации получим из поверхностей отклика, построенных на основании уравнений регрессии. Анализируя полученные зависимости определим точки экстремума соответствующих функций.

При построении поверхностей отклика будем рассматривать зависимость равномерности распределения измельчённой массы от факторов оптимизации, поскольку полученное уравнение регрессии для данной зависимости наиболее полно описывает сущность происходящего процесса.

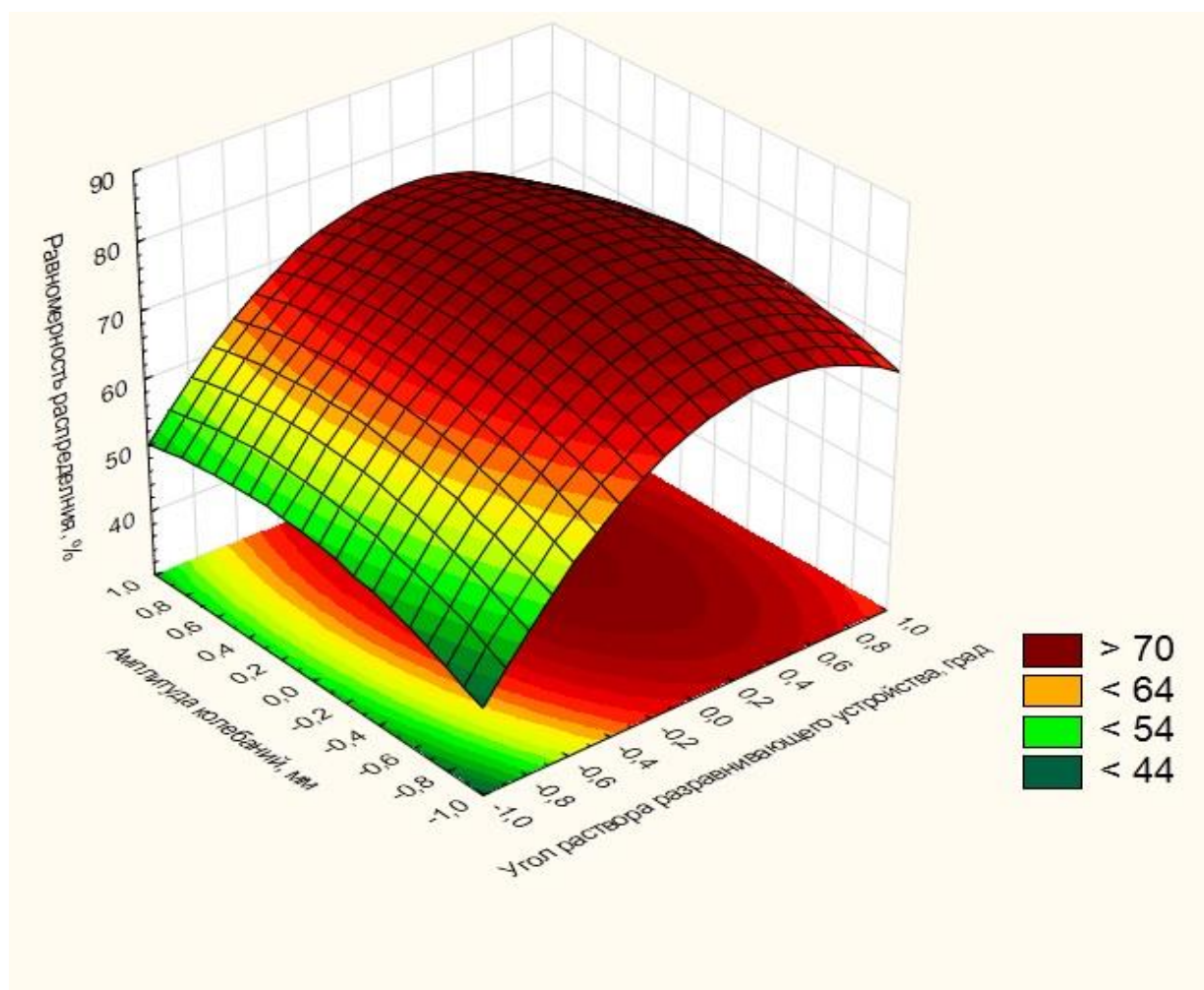


Рисунок 4.9 – Поверхность отклика равномерности распределения измельченной массы от амплитуды колебаний и угла раствора разравнивающего устройства.

Зависимость равномерности распределения измельченной массы от амплитуды колебаний и угла раствора разравнивающего устройства свидетельствует о том, наибольшая равномерность распределения

измельченной массы достигается при угле раствора разравнивающего устройства 0,44 и соответствующей амплитуде колебаний 0,3. При переходе к натуральным значениям факторов получим угол раствора разравнивающего устройства равный 124 градусам и соответствующую амплитуду колебаний 18 мм.

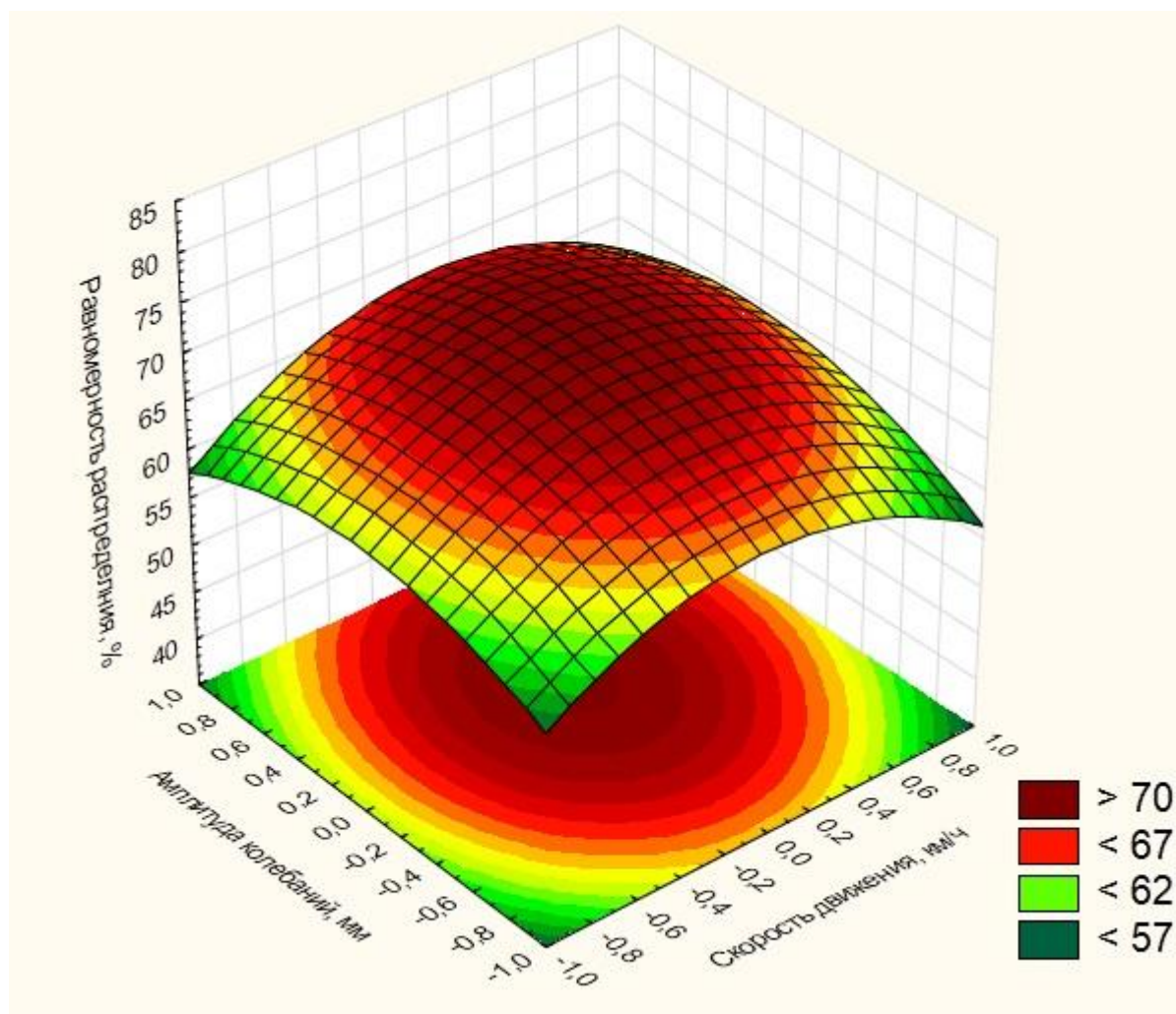


Рисунок 4.10 – Поверхность отклика равномерности распределения измельченной массы от амплитуды колебаний разравнивающего устройства и скорости движения агрегата.

Зависимость равномерности распределения измельченной массы от амплитуды колебаний и скорости движения агрегата свидетельствует о том, наибольшая равномерность распределения измельченной массы достигается

при скорости движения 0,2 и соответствующей амплитуде колебаний 0,3. При переходе к натуральным значениям факторов получим скорость движения агрегата 8,2 км/ч и соответствующую амплитуду колебаний 18 мм. Сведем найденные значения факторов в таблицу.

Таблица 4.7 – Рациональные значения факторов.

| Обозначение | Наименование                                   | Натуральное значение | Кодированное значение |
|-------------|------------------------------------------------|----------------------|-----------------------|
| $X_1$       | Угол раствора разравнивающего устройства       | 124 град             | 0,44                  |
| $X_2$       | Скорость движения агрегата                     | 8,2 км/ч             | 0,2                   |
| $X_3$       | Амплитуда колебаний разравнивающего устройства | 18 мм                | 0,3                   |

При найденных рациональных значениях факторов ширина распределения измельченной массы по поверхности поля составит 5,7 м, равномерность распределения измельченной массы по поверхности поля составит около 80 %, что соответствует агротехническим требованиям, и средняя длина продуктов измельчения будет находится в пределах до 100 мм. Такие значения равномерности распределения измельченной массы по поверхности поля и средней длины измельчения полностью соответствуют агротехническим требованиям. При этом ширина распределения измельченной массы по поверхности поля увеличивается по сравнению с серийным измельчителем – мульчировщиком.

#### **4.9 Результаты хозяйственных испытаний измельчителя - мульчировщика, оснащенного разравнивающим устройством**

Хозяйственные испытания проводились на базе предприятия УНИЦ «Агротехнопарк» федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» и ОАО «Рязаньагрохим». Исследования проводились во время уборки озимой пшеницы. В процессе исследований на поле выделялся опытный участок, который убирался зерноуборочным комбайном ACROS 595 plus. Незерновая часть урожая после прохода комбайна на опытном участке укладывалась в валок, на остальном поле измельчалась и разбрасывалась непосредственно зерноуборочным комбайном. Валки незерновой части урожая подбирались и измельчались измельчителем – мульчировщиком Kverneland FX-230 в серийном исполнении и оборудованном разравнивающим устройством.

В процессе проведения хозяйственных испытаний оценивались эксплуатационные показатели работы агрегата, качество работы агрегата на соответствие агротехническим требованиям, сравнивались показатели серийного измельчителя - мульчировщика и оборудованного разравнивающим устройством.

Качественные показатели работы серийного измельчителя – мульчировщика и измельчителя – мульчировщика оборудованного разравнивающим устройством представлены в таблице 4.8.





Рисунок 4.11 – Измельчитель – мульчировщик Kverneland FX-230 оборудованный разравнивающим устройством в агрегате с трактором МТЗ-82 во время хозяйственных испытаний.

Таблица 4.8 – Качественные показатели работы серийного измельчителя - мульчировщика и оборудованного разравнивающим устройством.

| Показатель                                                            | Серийный Kverneland FX-230 | Kverneland FX-230 оборудованный разравнивающим устройством |
|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------|------------------------------------------------------------|
| 1                                                                     | 2                          | 3                                                          |
| Ширина распределения измельченной массы, м                            | 3,4                        | 5,8                                                        |
| Равномерность распределения измельченной массы по поверхности поля, % | 50,4                       | 83,1                                                       |
| Средняя длина измельчения, мм                                         | 129,3                      | 96,9                                                       |

Эксплуатационные показатели работы серийного измельчителя - мульчировщика и оборудованного разравнивающим устройством сведем в таблицу 4.9.

Таблица 4.9 – Эксплуатационные показатели работы агрегата.

| Показатель                             | Серийный Kverneland<br>FX-230 | Kverneland FX-230<br>оборудованный<br>разравнивающим<br>устройством |
|----------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 1                                      | 2                             | 3                                                                   |
| Сменная<br>производительность, га      | 66,16                         | 114,88                                                              |
| Часовая<br>производительность,<br>га/ч | 8,27                          | 14,36                                                               |
| Часовой расход топлива,<br>кг/ч        | 8,57                          | 9,0                                                                 |
| Сменный расход<br>топлива, кг          | 60,00                         | 63,0                                                                |
| Погектарный расход<br>топлива, кг/га   | 2,38                          | 2,5                                                                 |

Хозяйственные испытания показали, что при оснащении измельчителя - мульчировщика Kverneland FX-230 разравнивающим устройством наблюдается увеличение его часовой и сменной производительности на 6,09 и 48,72 га соответственно. В тоже время отмечается увеличение часового, сменного и погектарного расхода топлива модернизированного измельчителя - мульчировщика на 5%.

#### **Выводы по главе 4**

1. В результате полевых экспериментальных исследований установлен рациональный угол раствора разравнивающего устройства равный 124 градусам. Рациональная скорость движения агрегата составила 8,2 км/ч. Рациональная амплитуда колебаний разравнивающего устройства составила 18 мм.

2. Применение разравнивающего устройства позволило изменить распределение размерных фракций по ширине разбрасывания. При этом ширина распределения измельченной массы по поверхности поля увеличивается по сравнению с серийным измельчителем –мульчировщиком.

3. В результате полевых экспериментальных исследований установлено, что ширина распределения измельченной массы по поверхности поля составит 5,7 м, равномерность распределения измельченной массы по поверхности поля составляет около 80% и средняя длина продуктов измельчения будет находится в пределах до 100 мм.

4. Хозяйственными испытаниями установлено увеличение часовой и сменной производительности измельчителя-мульчировщика, оборудованного разравнивающим устройством, на 6,09 и 48,72 га соответственно.

## Глава 5. ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗРАВНИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ - МУЛЬЧИРОВЩИКА

### 5.1 Определение затрат на изготовление разравнивающего устройства

Оценку технико-экономической эффективности модернизированного измельчителя – мульчировщика определяли сопоставлением эксплуатационных затрат базового и модернизированного агрегата [116, 117], а также определением дополнительной выгоды от увеличения урожайности последующих сельскохозяйственных культур и экономии затрат на работу зерноуборочного комбайна с отключенным измельчителем соломы. Оценка технико-экономической эффективности производилась в ценах 2022 года. Затраты на изготовление разравнивающего устройства включают в себя затраты на материалы и затраты на изготовление и монтаж устройства. Подробный перечень затрат представлен в таблицах 5.1, 5.2.

Таблица 5.1 – Затраты на материалы.

| Наименование      | Количество | Цена          | Стоимость           |
|-------------------|------------|---------------|---------------------|
| Уголок            | 3 метра    | 390 руб/м     | 1170 руб            |
| Швеллер           | 3 метра    | 710 руб/м     | 2130 руб            |
| Лист г/к          | 2 метра    | 3200 руб      | 3200 руб            |
| Пружины           | 4 шт       | 400 руб       | 1600 руб            |
| Шарниры           | 3 шт       | 525 руб       | 1575 руб            |
| Метизы            | 1 кг       | 350 руб       | 350 руб             |
| Шпилька $\phi 10$ | 1 м        | 200,9 руб/м   | 200,9 руб           |
| Диск отрезной     | 10 шт      | 45 руб        | 450 руб             |
| Краска            | 2 шт       | 350 руб       | 700 руб             |
| Электроды         | 0,6 кг     | 467 руб/кг    | 280,20 руб          |
| Электроэнергия    | 4 кВт      | 5,08 руб/кВт  | 20,32 руб           |
|                   |            | <b>Итого:</b> | <b>11676,42 руб</b> |

Таблица 5.2 – Затраты на изготовление устройства.

| Наименование                       | Количество часов | Тарифная ставка | Стоимость      |
|------------------------------------|------------------|-----------------|----------------|
| Изготовление и монтаж оборудования | 4 часа           | 250,50          | 1002,          |
| Отчисления на страховые взносы     |                  | 30 %            | 300,60         |
| Накладные расходы                  |                  | 100 %           | 1002           |
|                                    |                  | <b>Итого:</b>   | <b>2304,60</b> |

Таким образом, стоимость модернизации серийного измельчителя-мульчировщика будет определяться из выражения (5.1) и составит:

$$M = P_{\text{мат}} + P_{\text{раб}} \quad (5.1)$$

где  $M$  – стоимость модернизации, руб;

$P_{\text{мат}}$  – стоимость материалов, руб;

$P_{\text{раб}}$  – стоимость работ, руб.

$$M = 11676,42 + 2304,60 = 13981,02 \text{ руб}$$

В качестве базовой машины используется серийный измельчитель-мульчировщик Kverneland FX-230 с балансовой стоимостью  $B_{\text{баз}} = 850\,000$  рублей.

Балансовая стоимость модернизированного измельчителя-мульчировщика определяется выражением:

$$B_{\text{мод}} = B_{\text{баз}} + M \quad (5.2)$$

где  $B_{\text{мод}}$  – балансовая стоимость модернизированного измельчителя-мульчировщика, руб;

$B_{\text{баз}}$  – балансовая стоимость базового измельчителя-мульчировщика Kverneland FX-230, руб.

$$B_{\text{мод}} = 850000 + 13981,02 = 863981,02 \text{ руб}$$

## 5.2 Расчет эксплуатационных затрат

Производительность агрегата за час сменного времени определяется выражением [40]:

$$W_q = 0,36 \cdot B_p \cdot V_p \cdot \tau \quad (5.3)$$

где  $W_q$  – производительность агрегата за час сменного времени, га/ч;

$B_p$  – рабочая ширина захвата агрегата, м;

$V_p$  – рабочая скорость агрегата, км/ч;

$\tau$  – коэффициент использования времени смены.

Коэффициент использования времени смены определяется из выражения [40]:

$$\tau = \frac{T_p}{T_p + T_{T0} + T_n + T_o + T_x} \quad (5.4)$$

где:  $T_p$  – время работы, ч;

$T_{T0}$  – время технического обслуживания, ч;

$T_n$  – время простоя из-за технических неполадок, ч;

$T_o$  – время на технологическое обслуживание, ч;

$T_x$  – время на холостые проезды и развороты, ч.

Время смены для базовой и модернизированной машины принимаем равным 8 часам.

По данным полевых эксплуатационных исследований установлено, что коэффициент использования времени смены для базовой и модернизированной машины составляют:

$$\tau_{\text{баз}} = 0,82$$

$$\tau_{\text{мод}} = 0,85$$

Эксплуатационные амортизационные отчисления определяем из выражения:

$$З_A = 0,01 \cdot \frac{Б \cdot Н_A}{T_{\text{год}} \cdot W_{\text{ч}}} \quad (5.5)$$

где:  $З_A$  – затраты на амортизационные отчисления, руб/га;

$Б$  – балансовая стоимость машины, руб;

$Н_A$  – норма амортизационных отчислений (для машин по уборке незерновой части урожая 14,3% [61, 67]), %;

$T_{\text{год}}$  – годовая загрузка машины (рекомендованная годовая загрузка уборочных машин составляет 180 часов [40]), ч;

$W_{\text{ч}}$  – производительность устройства, га/ч;

Таким образом, амортизационные отчисления базовой машины составят:

$$З_{A \text{ баз.}} = 0,01 \cdot \frac{850000 \cdot 14,3}{180 \cdot 8,27} = 81,65 \text{ руб/га}$$

Амортизационные отчисления модернизированной машины составят:

$$З_{A \text{ мод.}} = 0,01 \cdot \frac{863981,02 \cdot 14,3}{180 \cdot 14,6} = 47,01 \text{ руб/га}$$

Затраты на техническое обслуживание и ремонт определяем из выражения:

$$З_{ТО} = 0,01 \cdot \frac{Б \cdot Н_{ТО}}{Т_{год} \cdot W_{ч}} \quad (5.6)$$

где:  $З_{ТО}$  – затраты на техническое обслуживание и ремонт, руб/га;

$Н_{ТО}$  – норма затрат на техническое обслуживание и ремонт, %

Затраты на техническое обслуживание и ремонт для базовой машины составят:

$$З_{ТО \text{ баз.}} = 0,01 \cdot \frac{850000 \cdot 3}{180 \cdot 8,27} = 17,13 \text{ руб/га}$$

Затраты на техническое обслуживание и ремонт для модернизированной машины составят:

$$З_{ТО \text{ мод.}} = 0,01 \cdot \frac{863981,02 \cdot 3}{180 \cdot 14,6} = 9,86 \text{ руб/га}$$

Затраты на хранение определяем из выражения:

$$З_{хр} = 0,01 \cdot \frac{Б \cdot Н_{хр}}{Т_{год} \cdot W_{ч}} \quad (5.7)$$

где:  $З_{хр}$  – затраты на хранение, руб/га;

$Н_{хр}$  – норма затрат на хранение одной машины, %.

Затраты на хранение базовой машины составят:

$$З_{хр \text{ баз.}} = 0,01 \cdot \frac{850000 \cdot 1}{180 \cdot 8,27} = 5,71 \text{ руб/га}$$

Затраты на хранение модернизированной машины составят:

$$З_{хр \text{ мод.}} = 0,01 \cdot \frac{863981,02 \cdot 1}{180 \cdot 14,6} = 3,29 \text{ руб/га}$$



Затраты на заработную плату обслуживающего персонала определяем из выражения:

$$Z_{\text{труд}} = \frac{C_{\text{тар}} \cdot M}{W_{\text{ч}}} \quad (5.8)$$

где:  $Z_{\text{труд}}$  – затраты на оплату труда обслуживающего персонала, руб/га;

$C_{\text{тар}}$  – тарифная ставка обслуживающего персонала, руб/ч;

$M$  – количество обслуживающего персонала, чел.

Базовую и модернизированную машину обслуживает один механизатор с тарифной ставкой  $C_{\text{тар}} = 357,14$  руб/ч.

Затраты на заработную плату обслуживающего персонала для базовой машины составят:

$$Z_{\text{труд баз.}} = \frac{357,14 \cdot 1}{8,27} = 43,19 \text{ руб/га}$$

Затраты на заработную плату обслуживающего персонала для модернизированной машины составят:

$$Z_{\text{труд мод.}} = \frac{357,14 \cdot 1}{14,6} = 24,46 \text{ руб/га}$$

Стоимость расхода топлива за единицу работы определяем из выражения:

$$Z_{\text{т}} = \frac{G_{\text{ч}} \cdot C_{\text{т}}}{W_{\text{ч}}} \quad (5.9)$$

где:  $Z_{\text{т}}$  – затраты на расход топлива, руб/га;

$G_{\text{ч}}$  – часовой расход топлива, кг/ч;

$C_{\text{т}}$  – цена топлива, руб/кг.

Базовая и модернизированная машины агрегатируются с тракторами типа МТЗ-80/82. Часовой расход топлива для базовой и модернизированной машины в агрегате с трактором МТЗ-82.1 был определен по данным, полученным в ходе полевых экспериментальных исследований и составил:

для базовой машины -  $G_{\text{ч}} = 8,57 \text{ кг/ч}$ ;

для модернизированной машины -  $G_{\text{ч}} = 9,0 \text{ кг/ч}$ .

Цена за единицу дизельного топлива составляет 53 руб/кг.

Затраты на расход топлива для базовой машины составят:

$$З_{\text{т баз.}} = \frac{8,57 \cdot 53}{8,27} = 54,92 \text{ руб/га}$$

Затраты на расход топлива модернизированной машины составят:

$$З_{\text{т мод.}} = \frac{9,0 \cdot 53}{14,6} = 32,67 \text{ руб/га}$$

Удельные капиталовложения определяем из выражения:

$$K_y = \frac{B}{T_{\text{год}} W_{\text{ч}}} \quad (5.10)$$

где:  $K_y$  - удельные капиталовложения, руб/га.

Удельные капиталовложения для базовой машины составят:

$$K_{y \text{ баз.}} = \frac{850000}{180 \cdot 8,27} = 571,01 \text{ руб/га}$$

Удельные капиталовложения для модернизированной машины составят:

$$K_{y \text{ мод.}} = \frac{863981,02}{180 \cdot 14,6} = 328,76 \text{ руб/га}$$

Эксплуатационные затраты определяем из выражения:

$$З_{1,2} = З_A + З_{ТО} + З_x + З_{труд} + З_T + K_y \quad (5.12)$$

Эксплуатационные затраты для базовой машины составят:

$$З_1 = 773,61 \text{ руб/га}$$

Приведенные затраты для модернизированной машины составят:

$$З_2 = 446,05 \text{ руб/га}$$

Экономический эффект от снижения эксплуатационных затрат определяется из выражения:

$$\mathcal{E}_э = З_1 - З_2 \quad (5.13)$$

где:  $\mathcal{E}_э$  – экономический эффект от снижения эксплуатационных затрат, руб/га.

Сведем получившиеся данные в таблицу 5.3.

Таблица 5.3 – Эксплуатационные затраты.

| <b>Вид затрат</b>                                    | <b>Обозначение</b> | <b>Базовая машина</b> | <b>Модернизированная машина</b> |
|------------------------------------------------------|--------------------|-----------------------|---------------------------------|
| 1                                                    | 2                  | 3                     | 4                               |
| Амортизационные отчисления, руб/га                   | $З_A$              | 81,65                 | 47,01                           |
| Затраты на техническое обслуживание и ремонт, руб/га | $З_{ТО}$           | 17,13                 | 9,86                            |
| Затраты на хранение техники, руб/га                  | $З_x$              | 5,71                  | 3,29                            |

Продолжение таблицы 5.3

| 1                                                                | 2                 | 3      | 4      |
|------------------------------------------------------------------|-------------------|--------|--------|
| Затраты на оплату труда обслуживающего персонала, руб/га         | $Z_{\text{труд}}$ | 43,19  | 24,46  |
| Затраты на горюче-смазочные материалы, руб/га                    | $Z_{\text{т}}$    | 54,92  | 32,67  |
| Удельные капиталовложения, руб/га                                | $K_y$             | 571,01 | 328,76 |
| Эксплуатационные затраты, руб/га                                 | $Z_{1,2}$         | 773,61 | 446,05 |
| Экономический эффект от снижения эксплуатационных затрат, руб/га | $Э_э$             | 327,56 |        |

Экономический эффект от снижения эксплуатационных затрат при работе измельчителя – мульчировщика, оснащенного разравнивающим устройством составляет 327,56 руб/га.

### 5.3 Расчет показателей экономической эффективности от увеличения урожайности последующих сельскохозяйственных культур

Рассмотрим работу базового и модернизированного измельчителя - мульчировщика. Ширина распределения измельченной массы по поверхности поля базового измельчителя по результатам производственных

эксплуатационных исследований составила 3,5 метра. ширина распределения измельченной массы по поверхности поля модернизированного измельчителя составляет по результатам производственных эксплуатационных исследований составила 5,8 метров. Рассмотрим среднестатистический участок поля длиной 96 метров, шириной 104 метра и площадью 1 гектар, убранный зерноуборочным комбайном с шириной захвата жатки 7 метров, работающим без измельчителя. На данном участке поля размещается 16 валков, расстояние между которыми, в среднем по результатам производственных эксплуатационных исследований, составило 6,5 метров.

Согласно данным [52] при использовании соломы в качестве удобрения уже на следующий год обеспечивает повышение урожайности зерна сои – на 2,9%, ячменя – на 2,4%, пшеницы, в последствии – на 7%.

Рассчитаем экономическую эффективность от увеличения урожайности последующих культур (яровой ячмень) при использовании базовой и модернизированной машины. Площадь внесения измельченной массой незерновой части урожая определим из выражения:

$$S_{\text{внесения } 1,2} = B_{\text{разбр}} \cdot N_{\text{валков}} \cdot L \cdot 10^{-4} \quad (5.14)$$

где:  $S_{\text{внесения}}$  - площадь внесения измельченной массы, га;

$B_{\text{разбр}}$  – ширина распределения измельченной массы машиной, м;

$N_{\text{валков}}$  - количество валков на участке, шт;

$L$  - длина участка, м.

При работе базовой машины площадь внесения измельченной массы составит:

$$S_{\text{внесения } 1} = 3,5 \cdot 16 \cdot 96 \cdot 10^{-4} = 0,54 \text{ га}$$

При работе модернизированной машины площадь внесения измельченной массы составит:

$$S_{\text{внесения } 2} = 5,8 \cdot 16 \cdot 96 \cdot 10^{-4} = 0,92 \text{ га}$$

Площадь, на которую измельченная незерновая часть урожая не была распределена, определим из выражения:

$$S_{\text{баз } 1,2} = 1 - S_{\text{внесения } 1,2} \quad (5.15)$$

где:  $S_{\text{баз}}$  - площадь, на которую измельченная незерновая часть урожая не была распределена, га.

При работе базовой машины площадь, на которую распределение измельченной незерновой части урожая не было произведено, составила:

$$S_{\text{баз } 1} = 1 - 0,54 = 0,46 \text{ га}$$

При работе модернизированной машины площадь, на которую распределение измельченной незерновой части урожая не было произведено, составила:

$$S_{\text{баз } 2} = 1 - 0,92 = 0,08 \text{ га}$$

Определим валовой сбор зерна ячменя с участка при использовании незерновой части урожая в качестве удобрения при работе базовой и модернизированной машины из выражения:

$$V_{1,2} = S_{\text{баз } 1,2} \cdot Y_{\text{баз}} + S_{\text{внесения } 1,2} \cdot Y_{\text{внесения}} \quad (5.16)$$

где:  $V$  - валовой сбор зерна ячменя с участка, т;

$Y_{\text{баз}}$  – базовая урожайность зерна ячменя, т/га;

$Y_{\text{внесения}}$  - урожайность зерна ячменя после внесения незерновой части урожая в качестве удобрения, т/га.

Базовую урожайность зерна ячменя возьмем равной средней урожайности зерна ячменя в Рязанской области в 2021 году, полученной из диспетчерской информации о ходе сельскохозяйственных работ

Министерства сельского хозяйства и продовольствия Рязанской области [35]. Примем, что урожайность зерна ячменя после использования незерновой части урожая в качестве удобрения увеличится на 2,4% [52]. Получаем, что  $Y_{\text{баз}} = 3,5 \text{ т/га}$ ,  $Y_{\text{внесения}} = 3,584 \text{ т/га}$ .

Валовой сбор зерна ячменя с участка при использовании базовой машины составит:

$$V_1 = 0,46 \cdot 3,5 + 0,54 \cdot 3,584 = 3,54 \text{ т}$$

Валовой сбор зерна ячменя с участка при использовании модернизированной машины составит:

$$V_2 = 0,08 \cdot 3,5 + 0,92 \cdot 3,584 = 3,58 \text{ т}$$

Увеличение валового сбора зерна ячменя при внесении незерновой части урожая в качестве удобрения при работе модернизированной машины по сравнению с базовой определим из выражения:

$$\Delta V = V_2 - V_1 \quad (5.17)$$

где:  $\Delta V$  - увеличение валового сбора зерна ячменя с участка, т.

$$\Delta V = 3,58 - 3,54 = 0,04 \text{ т}$$

Согласно обзору рынка зерна, на 24.12.2021 от Министерства сельского хозяйства Российской Федерации [69] цена на ячмень составила в центральном федеральном округе 14 673 руб/т.

В таком случае выгода от увеличения урожайности зерна ячменя при внесении незерновой части урожая в качестве удобрения модернизированной машиной будет определяться выражением:

$$\Pi_{\Delta V} = 14\,673 \cdot \Delta V \quad (5.18)$$

где:  $\Pi_{\Delta V}$  - выгода от увеличения урожайности зерна ячменя при внесении незерновой части урожая в качестве удобрения модернизированной машиной, руб.

$$\Pi_{\Delta V} = 14\,673 \cdot 0,04 = 586,92 \text{ руб}$$

Учитывая, что площадь участка, на котором производился расчет составляет 1 га, то выгода от увеличения урожайности зерна ячменя при внесении незерновой части урожая в качестве удобрения модернизированной машиной составит 586,92 рубля с гектара.

#### **5.4 Расчет дополнительных параметров экономической эффективности**

Уборка зерновых культур является наиболее важным и ответственным этапом в процессе выращивания зерновых культур. Для обеспечения максимального сбора зерна необходимо проводить уборочные работы в оптимальные сроки. Агротехнические сроки выполнения работ по уборке зерновых культур зависят от многих факторов (условия уборки, сорт зерновой культуры, применяемая технология и другие) и определяются различными методами [109, 55, 142]. Так, методом планирования эксперимента [55] установлена оптимальная продолжительность уборки зерновых культур 5 рабочих дней, а имитационным моделированием [109] – до 10 дней [97]. Таким образом, оптимальные сроки уборочных работ составляют 7 дней. В тоже время, средняя продолжительность уборки по данным [97] составляет 15-16 дней.

Кроме того, установлено, что потери зерна начинают существенно расти при уборке в засушливые годы: озимой пшеницы через 2- 3 дня, яровой пшеницы – через 3- 4 дня и ярового ячменя – через 4-6 дней от момента



достижения зерном начала твердой спелости, а в годы умеренной влажности – соответственно 4-5, 5-7 и 6-8 дней [97]. Максимальные потери зерна самоосыпанием от задержки уборки после превышения оптимальных сроков имеет яровая пшеница, для которой на каждый день задержки приходится от 0,77 % до 1,0 %. Потери озимой пшеницы составляют от 0,49% до 0,63% [97].

Г.А. Филенко сообщает, что при увеличении продолжительности уборочных работ на 10 дней сверх рекомендуемого агросрока потери озимой пшеницы составляют до 22–26% от биологической урожайности [108].

Исследованиями установлено, что комбайн Дон-1500 Б с работающим измельчителем в одинаковых условиях уборки в Рязанской области снижал производительность по сравнению с комбайном с отключенным копнителем (т.е. в режиме укладки соломы в валок) на 15-20% при повышении расхода топлива на 10-15% в зависимости от влажности убираемой массы [45].

Согласно справочным материалам [68] норма расхода топлива комбайном РСМ-101 «Вектор 410» увеличивается на 16,4% при работе с включенным измельчителем, при этом производительность комбайна остается неизменной.

Рассмотрим следующие варианты проведения уборки зерновых:

- уборка комбайнами типа ДОН-1500 Б с измельчением и разбрасыванием соломы;
- уборка комбайнами типа ДОН-1500 Б без измельчителя;
- уборка энергонасыщенными комбайнами типа РСМ-101 «Вектор 410», ACROS 550 с измельчением и разбрасыванием соломы;
- уборка энергонасыщенными комбайнами типа РСМ-101 «Вектор 410», ACROS 550 без измельчителя.

При проведении уборочных работ комбайнами типа ДОН-1500 Б получаем следующее.

Согласно [58, 68], производительность комбайна при работе без измельчителя составляет  $W_{ч1 \text{ ДОН}} = 2,5 \text{ га/ч}$ , продолжительность смены  $T_{см} = 14 \text{ ч}$ . Расход топлива при этом составляет  $g_{г1 \text{ ДОН}} = 13,2 \text{ кг/га}$ .

При работе комбайна с измельчением и разбрасыванием соломы производительность комбайна составляет  $W_{ч2 \text{ ДОН}} = 2,0 \text{ га/ч}$  (уменьшение на 20%). При этом расход топлива составит  $g_{г2 \text{ ДОН}} = 15,2 \text{ кг/га}$  (увеличение на 15%).

Площадь, убранную комбайном в оптимальные агротехнические сроки, определяем из выражения:

$$S_{1,2} = W_{ч} \cdot T_{см} \cdot n_{уборки} \quad (5.19)$$

где:  $S_{1,2}$  - площадь, убранная комбайном в оптимальные сроки, га;

$W_{ч}$  - часовая производительность зерноуборочного комбайна, га/ч;

$T_{см}$  - продолжительность смены, ч;

$n_{уборки}$  - оптимальная продолжительность уборки, дней.

Получаем, что в оптимальные агротехнические сроки комбайн без измельчителя убирает площадь, равную:

$$S_{1\text{ДОН}} = 2,5 \cdot 14 \cdot 7 = 245 \text{ га}$$

Комбайн, работающий в режиме измельчения и разбрасывания соломы, убирает в оптимальные агротехнические сроки:

$$S_{2\text{ДОН}} = 2,0 \cdot 14 \cdot 7 = 196 \text{ га}$$

Расход топлива комбайном за время уборки в оптимальные агротехнические сроки определяем из выражения:

$$G_{1,2} = S_{1,2} \cdot g_{г1,2} \quad (5.20)$$

где:  $G_{1,2}$  - расход топлива комбайном время уборки в оптимальные агротехнические сроки, кг;

$g_{г}$  - погектарный расход топлива зерноуборочным комбайном, кг/га.

Расход топлива комбайном, работающим без измельчителя, за оптимальные агротехнические сроки составит:

$$G_{1\text{дон}} = 245 \cdot 13,2 = 3234 \text{ кг}$$

Расход топлива комбайном, работающим в режиме измельчения и разбрасывания соломы, составит:

$$G_{2\text{дон}} = 196 \cdot 15,2 = 2979,2 \text{ кг}$$

Разницу в убранной площади за оптимальный агротехнический срок определяем из выражения:

$$\Delta S = S_1 - S_2 \quad (5.21)$$

где:  $\Delta S$  - разница в убранной площади за оптимальный агротехнический срок, га.

$$\Delta S_{\text{дон}} = 245 - 196 = 49 \text{ га}$$

Зерноуборочный комбайн, работающий в режиме измельчения и разбрасывания соломы, за оптимальные агротехнические сроки убирает на 49 гектар меньше.

Время, необходимое зерноуборочному комбайну, работающему в режиме измельчения и разбрасывания соломы, на уборку этой разницы определяем из выражения:

$$\Delta T = \frac{\Delta S}{W_{\text{ч2}}} \quad (5.22)$$

где:  $\Delta T$  - дополнительное время, необходимое на уборку разницы в площади, ч;

$$\Delta T_{\text{дон}} = \frac{49}{2,0} = 24,5 \text{ ч}$$

Зерноуборочному комбайну, работающему в режиме измельчения и разбрасывания соломы, на уборку такой же площади, что и комбайном, работающим без измельчителя, в оптимальные агротехнические сроки понадобится на 24,5 часа или 2 дня больше времени. Учитывая, что потери от осыпания озимой пшеницы при превышении оптимальных агротехнических сроков уборки составляют 0,62% в день от биологической урожайности зерна [97]. Таким образом, при текущей стоимости озимой пшеницы 15 000 рублей и биологической урожайности зерна в 5,0 т/га недополученную выгоду от осыпания зерна определим из выражения:

$$C_{\text{осып дон}} = 0,01 \cdot \Delta n \cdot 0,62 \cdot 5,0 \cdot \Delta S \cdot 15000 \quad (5.23)$$

где:  $C_{\text{осып дон}}$  – недополученная выгода от осыпания зерна, руб;

$\Delta n$  – количество дней, необходимое на уборку разницы в площади, дней.

$$C_{\text{осып дон}} = 0,01 \cdot 2 \cdot 0,62 \cdot 5,0 \cdot 49 \cdot 15000 = 45\,570 \text{ руб}$$

Получаем что при использовании комбайна типа ДОН-1500 Б получаем потери от осыпания зерна равные 45 570 руб.

При этом дополнительные затраты, связанные с расходом топлива зерноуборочным комбайном, работающим в режиме измельчения и разбрасывания соломы, на уборку разницы в площади определяется из выражения:

$$C_{\text{топл дон}} = (G_1 - (G_2 + g_2 \cdot \Delta S)) \cdot C_T \quad (5.24)$$

где:  $C_{\text{топл ДОН}}$  - затраты, связанные с расходом топлива зерноуборочным комбайном, работающим в режиме измельчения и разбрасывания соломы, на уборку разницы в площади, руб.

$$C_{\text{топл ДОН}} = (3234 - (2979,2 + 15,2 \cdot 49)) \cdot 53 = 25\,970 \text{ руб}$$

Общую сумму затрат на уборку разницы в площади определяем из выражения:

$$Z_{\Delta \text{ДОН}} = C_{\text{осып}} + C_{\text{топл}} \quad (5.25)$$

где:  $Z_{\Delta \text{ДОН}}$  - общая сумма затрат на уборку разницы в площади, руб.

Получаем дополнительные затраты, связанные с расходом топлива зерноуборочным комбайном, работающим в режиме измельчения и разбрасывания соломы, на уборку разницы в площади составят 25 970 руб.

Получаем, что при уборке зерновых культур комбайном типа ДОН-1500 Б в оптимальные агротехнические сроки, дополнительные затраты, на работу комбайна, работающего в режиме измельчения и разбрасывания соломы, по сравнению с комбайном, работающим без измельчителя составят 71 540 руб.

При проведении уборочных работ энергонасыщенных зерноуборочных комбайнов типа РСМ-101 «Вектор 410» и ACROS-550 получаем следующее.

Согласно данным испытаний [121], эксплуатационная производительность по площади уборки  $W_q$  зерноуборочного комбайна ACROS 550 составляет 3,84 га/ч, при этом расход топлива при работе данного комбайна в режиме измельчения и разбрасывания соломы по данным [121] составляет  $g_{r1} = 87,36$  кг/га. Расход топлива комбайном при работе без измельчителя составит  $g_{r2} = 74,26$  кг/га (меньше на 15%).

Площадь, убранная зерноуборочным комбайном ACROS-550 за оптимальный агротехнический, срок составит:

$$S_{2\text{ ACROS}} = 3,84 \cdot 14 \cdot 7 = 376,32 \text{ га}$$

Учитывая одинаковую производительность комбайнов данного типа при работах без измельчителя и в режиме измельчения и разбрасывания соломы площадь уборки за оптимальный агротехнический срок не будет зависеть от режима работы комбайна.

Расход топлива на уборку в оптимальный агротехнический срок зерноуборочным комбайном ACROS 550 без измельчителя составит:

$$G_{1\text{ ACROS}} = 376,32 \cdot 74,26 = 27945,52 \text{ кг}$$

Расход топлива на уборку в оптимальный агротехнический срок зерноуборочным комбайном ACROS 550 в режиме измельчения и разбрасывания соломы составит:

$$G_{2\text{ ACROS}} = 376,32 \cdot 87,36 = 32875,32 \text{ кг}$$

В случае проведения уборочных работ комбайном тапа ACROS 550, работающим в режиме измельчения и разбрасывания соломы, получаем экономию в затратах на расход топлива, определяемую выражением:

$$C_{\text{топл ACROS}} = (G_{2\text{ ACROS}} - G_{1\text{ ACROS}}) \cdot 53 \quad (5.26)$$

где:  $C_{\text{топл ACROS}}$  - экономия на затратах на расход топлива при проведении уборочных работ комбайном тапа ACROS 550, работающим в режиме измельчения и разбрасывания соломы, руб.

$$C_{\text{топл ACROS}} = (32875,32 - 27945,52) \cdot 53 = 261\,279,40 \text{ руб}$$

Таким образом, при проведении уборочных работ комбайном ACROS 550, работающем без измельчителя за оптимальные агротехнические сроки получаем экономию в затратах на расход топлива, по сравнению с комбайном, работающим в режиме измельчения и разбрасывания соломы, в размере 261 279,40 руб.

Таблица 5.4 – Экономическая оценка технологий уборки.

| <b>Показатель</b>                                                    | <b>ДОН-1500 без<br/>измельчителя</b> | <b>ДОН-1500 с<br/>измельчителем</b> | <b>ACROS 550<br/>без<br/>измельчителя</b> | <b>ACROS 550 с<br/>измельчителем</b> |
|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------|
| 1                                                                    | 2                                    | 3                                   | 4                                         | 5                                    |
| Площадь,<br>убранная в<br>оптимальный<br>агротехнический<br>срок, га | 245,00                               | 196,00                              | 376,32                                    | 376,32                               |
| Расход топлива на<br>убранную<br>площадь, кг                         | 3234,00                              | 2979,20                             | 27945,52                                  | 32875,32                             |
| Потери от<br>осыпания зерна,<br>руб                                  | -                                    | 45570,00                            | -                                         | -                                    |
| Дополнительные<br>затраты на<br>топливо, руб                         | -                                    | 25970,00                            | -                                         | 261279,40                            |
| Общая сумма<br>дополнительных<br>затрат, руб                         | -                                    | 71540,00                            | -                                         | 261279,40                            |

Исходя из полученных данных проведение уборочных работ в оптимальный агротехнический срок комбайном типа ДОН-1500Б без измельчения выгоднее, по сравнению с работой аналогичного комбайна в режиме измельчения и разбрасывания соломы, на 71540,00 рублей. Проведение же уборочных работ в оптимальный агротехнический срок энергонасыщенным комбайном типа ACROS 550 без измельчителя выгоднее работы такого же комбайна, работающего в режиме измельчения и разбрасывания соломы на 261279,40 руб.

### **Выводы по главе 5**

1. В результате расчетов стоимость модернизации стандартного измельчителя - мульчировщика Kverneland FX-230 составит 13981,02 рубля.

2. Анализ эксплуатационных затрат при работе серийного и модернизированного измельчителя - мульчировщика показал, что годовой экономический эффект от снижения эксплуатационных затрат составит 327,56 рублей.

3. Анализ работы модернизированного измельчителя - мульчировщика показал дополнительную выгоду от увеличения урожайности последующих культур (на примере ярового ячменя) при внесении незерновой части урожая в качестве удобрения модернизированным устройством составит 586,92 руб/га.

4. Анализ технологий уборки урожая показал, что сумма затрат при работе зерноуборочного комбайна типа ДОН-1500 Б за оптимальный агротехнический срок в режиме измельчения и разбрасывания соломы составляет 71 540,00 рублей.

5. Анализ технологий уборки урожая показал, что сумма затрат при работе энергонасыщенного зерноуборочного комбайна типа ACROS 550 за оптимальный агротехнический срок в режиме измельчения и разбрасывания соломы составляет 261 279,40 рублей.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведенный анализ конструкций разравнивающих устройств, используемых для разравнивания соломистой массы незерновой части урожая продемонстрировал неравномерную загрузку измельчающего ротора.

2. При теоретических исследованиях влияния угла раствора разравнивающего устройства на характер движения соломистых частиц вдоль него установлено, что при влажности соломы 17,0% и влажности воздуха 81% и значении коэффициента трения  $f = 0,56$  рациональное значение угла раствора разравнивающего устройства должно находиться в пределах от 127 до 131 градуса. Теоретическими исследованиями колебаний разравнивающего устройства установлено, что рациональное значение амплитуды колебаний разравнивающего устройства находится в пределах от 0,016 до 0,022 метра, что соответствует жесткости пружин находящейся в диапазоне от 800 до 1200 Н/м.

3. В результате экспериментальных исследований установлены рациональные параметры: угол раствора разравнивающего устройства 124 градуса и амплитуда колебаний разравнивающего устройства 18 мм. В результате полевых экспериментальных исследований установлено, что ширина распределения измельченной массы по поверхности поля составит 5,7 м, равномерность распределения измельченной массы по поверхности поля составляет около 80% и средняя длина продуктов измельчения будет находиться в пределах до 100 мм.

4. Общая сумма затрат на модернизацию измельчителя - мульчировщика составит 13 981,02 рубля, при этом достигается экономический эффект от снижения эксплуатационных затрат в 327,56 руб/га.

### **Рекомендации производству**

Применение усовершенствованного измельчителя – мульчировщика позволит повысить равномерность распределения и измельчения соломистой массы незерновой части урожая.

### **Перспективы дальнейшей разработки темы**

В дальнейшей перспективе необходимо продолжить работу по совершенствованию конструкции разравнивающего устройства с целью автоматизации подбора и настройки параметров устройства под меняющийся профиль валка соломистой массы незерновой части урожая.

### Список сокращений и условных обозначений

Во второй главе:

$B_B$  – ширина валка, м;

$B_{\text{разбр}}$  – ширина распределения измельченной массы машиной, м;

$H$  – высота валка, м

$H_n$  – высота валка до взаимодействия с разравнивающим устройством, м;

$H_k$  – высота валка после взаимодействия с разравнивающим устройством, м.

$q$  – распределенная нагрузка, оказываемая солоистой массой, находящейся в валке на пучок солоистых частиц, Н;

$Q$  – сила динамического сопротивления массы соломы (сила динамического давления), Н;

$N$  – сила нормальной реакции опоры, Н;

$F_{\text{тр}}$  – сила трения скольжения частицы соломы о рабочую поверхность разравнивающего устройства, Н;

$m$  – масса пучка солоистых частиц, кг;

$v_x$  – скорость перемещения частицы вдоль рабочей поверхности разравнивающего устройства, м/с;

$Q_1$  – составляющая силы динамического сопротивления массы соломы, Н;

$Q_2$  – составляющая силы динамического сопротивления массы соломы, Н;

$f$  – коэффициент трения скольжения пучка солоистых частиц по рабочей поверхности разравнивающего устройства.

$\gamma$  – угол отклонения рабочей поверхности разравнивающего устройства от направления движения агрегата, град.

$G$  – вес разравнивающего устройства, Н;

$k$  – удельная сила сцепления частиц соломы в валке, кг/м<sup>2</sup>;

$S$  – площадь поперечного сечения валка, м<sup>2</sup>;

$\varepsilon$  – коэффициент, учитывающий форму рабочей поверхности разравнивающего устройства и свойства солоистой массы.

$H_y$  – вылет разравнивающего устройства по направлению движения агрегата относительно корпуса измельчителя – мульчировщика, м.

$B_y$  – ширина захвата разравнивающего устройства, м;

$F_{упр}$  – сила упругости пружины, Н;

$c$  – коэффициент жесткости пружины, Н/м;

$\Delta_{ст}$  – удлинение пружины под весом  $G$ , м;

$\Delta$  – величина растяжения пружины в промежуточном положении, м;

$x$  – расстояние между положением материальной точки в состоянии статического равновесия и промежуточным положением, м.

$m_y$  – масса разравнивающего устройства, Н;

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

В четвертой главе:

$W$  – влажность материала, %;

$m_x$  – масса пробы до сушки, кг;

$m_{сух}$  – масса пробы после сушки, кг;

$m_i$  – масса вещества в  $i$ -той зоне, кг;

$n_z$  – число зон по ширине разброса;

$m_{ср}$  – среднее количество измельченной массы на единицу площади, кг;

$\Delta m_i$  – отклонение от среднего значения;

$\Delta m_{ср}$  – среднее отклонение;

$V_{разб}$  – расчетная равномерность распределения измельченной массы по поверхности поля, %;

$\bar{l}$  – средняя арифметическая длина измельченных частиц, мм;

$\sigma_l$  – дисперсия;

$v_l$  – коэффициент вариации;

$l_i$  – средняя длина измельченных частиц в  $i$ -той пробе, мм;

$\Delta l_i$  – отклонение средней длины соломы в  $i$ -той пробе от среднего значения, г;

$l_{\text{ср}}$  – средневзвешенная длина частиц, мм;

$\bar{l}_i$  – средняя арифметическая длины частиц в данной размерной фракции, мм;

$\omega_i$  – массовая доля содержания данной размерной фракции в общей массе, %;

$x_1$  – угол раствора разравнивающего устройства, град;

$x_2$  – скорость движения агрегата, км/ч;

$x_3$  – амплитуда колебаний разравнивающего устройства, мм;

$y$  – среднее значение отклика (критерий оптимизации);

$y_1$  – ширина разбрасывания измельченной массы, м;

$y_2$  – равномерность распределения измельченной массы по ширине разбрасывания, %;

$y_3$  – средняя длина продуктов измельчения, мм;

$b$  – коэффициенты полинома;

$x$  – независимые переменные (факторы);

$a$  – константа преобразования;

$N_{\text{опыт}}$  – общее количество опытов;

$m_{\text{повт}}$  – количество повторностей каждого опыта;

$u$  – порядковый номер строки плана;

$y_u$  – значение отклика;

$n$  – количество факторов;

$N_0$  – количество точек в ядре плана;

$X_j$  – кодированное значение фактора;

$X_i$  – натуральное значение фактора;

$X_{0i}$  – натуральное значение фактора на нулевом уровне;

$\Delta X_i$  – натуральное значение интервала варьирования фактора;

$X_i^B$  – значение фактора на верхнем уровне;

$X_i^H$  – значение фактора на нижнем уровне;

В пятой главе:

$M$  – стоимость модернизации, руб;

$P_{\text{мат}}$  – стоимость материалов, руб;

$P_{\text{раб}}$  – стоимость работ, руб;

$B_{\text{мод}}$  – балансовая стоимость модернизированного измельчителя-мульчировщика, руб;

$B_{\text{баз}}$  – балансовая стоимость базового измельчителя-мульчировщика Kverneland FX-230, руб;

$W_{\text{ч}}$  – производительность агрегата за час сменного времени, га/ч;

$B_{\text{р}}$  – рабочая ширина захвата агрегата, м;

$V_{\text{р}}$  – рабочая скорость агрегата, км/ч;

$\tau$  – коэффициент использования времени смены;

$T_{\text{р}}$  – время работы, ч;

$T_{\text{ТО}}$  – время технического обслуживания, ч;

$T_{\text{н}}$  – время простоя из-за технических неполадок, ч;

$T_{\text{о}}$  – время на технологическое обслуживание, ч;

$T_{\text{х}}$  – время на холостые проезды и развороты, ч;

$Z_{\text{А}}$  – затраты на амортизационные отчисления, руб/га;

$B$  – балансовая стоимость машины, руб;

$N_{\text{А}}$  – норма амортизационных отчислений, %;

$T_{\text{год}}$  – годовая загрузка машины, ч;

$Z_{\text{ТО}}$  – затраты на техническое обслуживание и ремонт, руб/га;

$N_{\text{ТО}}$  – норма затрат на техническое обслуживание и ремонт, %;

$Z_{\text{хр}}$  – затраты на хранение, руб/га;

$N_{\text{хр}}$  – норма затрат на хранение одной машины, %;

$Z_{\text{труд}}$  – затраты на оплату труда обслуживающего персонала, руб/га;

$C_{\text{тар}}$  – тарифная ставка обслуживающего персонала, руб/ч;

$M$  – количество обслуживающего персонала, чел;

$Z_{\text{т}}$  – затраты на расход топлива, руб/га;

$G_{\text{ч}}$  – часовой расход топлива, кг/ч;

$C_T$  – цена топлива, руб/кг;

$K_y$  - удельные капиталовложения, руб/га;

$Z_{1,2}$  – эксплуатационные затраты, руб/га;

$\mathcal{E}_\mathcal{E}$  – экономический эффект от снижения эксплуатационных затрат, руб/га;

$S_{\text{внесения}}$  - площадь внесения измельченной массы, га;

$B_{\text{разбр}}$  – ширина распределения измельченной массы машиной, м;

$N_{\text{валков}}$  - количество валков на участке, шт;

$L$  - длина участка, м;

$S_{\text{баз}}$  - площадь, на которую измельченная незерновая часть урожая не была распределена, га;

$V$  - валовой сбор зерна ячменя с участка, т;

$U_{\text{баз}}$  – базовая урожайность зерна ячменя, т/га;

$U_{\text{внесения}}$  - урожайность зерна ячменя после внесения незерновой части урожая в качестве удобрения, т/га;

$\Delta V$  - увеличение валового сбора зерна ячменя с участка, т;

$\mathcal{C}_{\Delta V}$  - выгода от увеличения урожайности зерна ячменя при внесении незерновой части урожая в качестве удобрения модернизированной машиной, руб;

$S_{1,2}$  - площадь, убранная комбайном в оптимальные сроки, га;

$W_{\text{см}}$  - часовая производительность зерноуборочного комбайна, га/см;

$T_{\text{см}}$  - продолжительность смены, ч;

$n_{\text{уборки}}$  - оптимальная продолжительность уборки, дней;

$G_{1,2}$  - расход топлива комбайном время уборки в оптимальные агротехнические сроки, кг;

$g_T$  - погектарный расход топлива зерноуборочным комбайном, кг/га;

$\Delta S$  - разница в убранной площади за оптимальный агротехнический срок, га;

$\Delta T$  - дополнительное время, необходимое на уборку разницы в площади, ч;

$C_{\text{осып дон}}$  – недополученная выгода от осыпания зерна, руб;

$\Delta n$  – количество дней, необходимое на уборку разницы в площади, дней;

$C_{\text{топл ДОН}}$  - затраты, связанные с расходом топлива зерноуборочным комбайном типа ДОН-1500, работающим в режиме измельчения и разбрасывания соломы, на уборку разницы в площади, руб;

$Z_{\Delta \text{ДОН}}$  - общая сумма затрат на уборку разницы в площади, руб;

$C_{\text{топл ACROS}}$  - экономия на затратах на расход топлива при проведении уборочных работ комбайном типа ACROS 550, работающим в режиме измельчения и разбрасывания соломы, руб.



### Список литературы

1. Агротехнические требования к основным технологическим операциям при адаптивных технологиях возделывания озимых колосовых и кукурузы и новые технические средства для их выполнения в Краснодарском крае : Рекомендации / П. Н. Рыбалкин, П. П. Васюков, К. А. Сохт [и др.] ; ДЕПАРТАМЕНТ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ, КРАСНОДАРСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА им. П.П. ЛУКЬЯНЕНКО. – Краснодар : ООО "Агропромполиграфист", 2001. – 144 с. – EDN SFNGFH.
2. Айвазян, С.А., Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных / С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – Москва : «Финансы и статистика», 1983. – 471 с. – Текст : непосредственный.
3. Алдошин, Н.В. Обоснование режимов работы аксиально-роторных зерноуборочных комбайнов на уборке смешанных посевов / Н. В. Алдошин, В. Е. Бердышев, Б. Малла // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". – 2019. – № 3(91). – С. 17-22. – DOI 10.34677/1728-7936-2019-3-17-22. – EDN ZEPMLM.
4. Алдошин, Н.В. Уборка смешанных посевов аксиально-роторными зерноуборочными комбайнами / Н. В. Алдошин, М. А. Мехедов, М. Бахаа // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2019. – С. 166-173. – DOI 10.24411/2078-1318-2019-12166. – EDN XTQXVN.
5. Анализ процесса работы и конструкций молотилок зерноуборочных комбайнов / А. Г. Шуляков, Е. М. Юдина, Н. А. Ринас, М. А. Палапин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2022. –

№ 2(94). – С. 87-93. – DOI 10.37670/2073-0853-2022-94-2-87-92. – EDN HOZRXM.

6. Анализатор влажности ЭВЛАС-2М. Руководство по эксплуатации. САП 022.00.00.000-08 РЭ.

7. Ангилеев, О.Г. Комплексная утилизация побочной продукции растениеводства / О.Г. Ангилеев. – Москва : Росагропромиздат, 1990. – 120 с.

8. Артемов, В.Е. Совершенствование технологии уборки зерновых колосовых культур с использованием прицепного подборщика-измельчителя соломы : специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Артемов Вадим Евгеньевич. – Краснодар, 2005. – 195 с. – EDN NNENRT.

9. Астафьев, В.Л. Оценка эффективности зерноуборочных комбайнов различных классов в условиях Северного Казахстана / В. Л. Астафьев, Э. В. Жалнин // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2018. – Т. 12. – № 3. – С. 17-21. – DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-3-17-21. – EDN XUBCBV.

10. Богданчиков, И.Ю. Анализ распределения измельчённой растительной массы устройством для утилизации незерновой части урожая / И. Ю. Богданчиков, А. Н. Михеев, М. А. Есенин // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2018. – № 2(7). – С. 100-105. – EDN YOPKWD.

11. Богданчиков, И.Ю. Вопросы эффективной утилизации пожнивных остатков в качестве удобрения / И. Ю. Богданчиков, А. Н. Бачурин, М. А. Есенин // Уголовно-исполнительная система на современном этапе и перспективы ее развития : сборник тезисов выступлений и докладов участников Международной научно-практической конференции, Рязань, 18–19 ноября 2020 года. – Рязань: Академия права и управления Федеральной службы исполнения наказаний, 2020. – С. 9-13. – EDN MPFFBU.

12. Богданчиков, И.Ю. Определение урожайности незерновой части урожая в валке / И. Ю. Богданчиков // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2017. – № 1(13). – С. 4-11. – EDN YULSBZ.

13. Богданчиков, И.Ю. Отчет о научно - исследовательской работе по заказу Минсельхоза России за счет средств федерального бюджета на 2020 год на тему "Повышение эффективности использования солмы и сидератов в системе органического земледелия" / И.Ю. Богданчиков, К.Н. Дрожжин, А.Н. Бачурин [и др.]. – Рязань : ФГБОУ ВО РГАТУ, 2020. – 111 с. – Текст : непосредственный.

14. Богданчиков, И.Ю. Отчет о выполнении тематического плана-задания на выполнение научно-исследовательских работ по заказу Минсельхоза России за счет средств федерального бюджета на 2019 год на тему "Повышение урожайности сельскохозяйственной продукции за счет обработки и заделки пожнивных остатков для получения безопасного и эффективного биологического удобрения / И.Ю. Богданчиков, К.Н. Дрожжин, А.Н. Бачурин [и др.]. – Рязань : ФГБОУ ВО РГАТУ, 2019. – 112 с. – Текст : непосредственный.

15. Богданчиков, И.Ю. Результаты исследований по вопросам дифференцированного внесения рабочего раствора в устройстве для утилизации незерновой части урожая / И. Ю. Богданчиков, Н. В. Бышов, А. Н. Бачурин // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2016. – № 4(32). – С. 73-78. – EDN XWKZYP.

16. Богданчиков, И.Ю. Совершенствование технологического процесса подготовки к использованию незерновой части урожая в качестве удобрения : специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Богданчиков Илья Юрьевич. – Рязань, 2013. – 167 с. – EDN SUSZFN.

17. Бышов, Н.В. К вопросу об использовании растительных остатков для повышения плодородия почвы / Н. В. Бышов, А. Н. Бачурин, И. Ю. Богданчиков // Инновационные технологии и средства механизации в растениеводстве и животноводстве : Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию Владимира Федоровича Некрашевича, Рязань, 20–21 марта 2011 года. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2011. – С. 88-90. – EDN PXVAND.
18. Валько, В.П. Использование соломы для сохранения и повышения плодородия почв / В.П. Валько, А.В. Щур, О.В. Валько – Текст : непосредственный // Белорусское сельское хозяйство. - 2009. - №7. - С. 32-35.
19. Веденякин, Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработка опытных данных / Г.В. Веденякин. – Москва : Колос, 1975. - 157 с.- Текст : непосредственный.
20. Влияние способов заделки соломы на биологические показатели плодородия почвы / Е. В. Чебыкина, С. С. Сивкова, Е. С. Трифонова, Н. В. Лупанова // Вестник АПК Верхневолжья. – 2011. – № 4(16). – С. 36-40. – EDN RAQEKT.
21. Воцкий, З.И. Классификация и анализ способов формирования хлебных валков / Воцкий З.И. //Совершенствование способов уборки и послеуборочной обработки зерна : сб. научн. тр. / ЧИМЭСХ. - Челябинск. 1979. - Вып. 151. - С. 4-12. – Текст : непосредственный
22. 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 комплексы машин для уборки зерновых культур. - С. 25-28.

23. Выбор пресс-подборщика при заготовке сенажа в рулонах / И. А. Орлянская, А. В. Орлянский, А. Н. Петенев [и др.] // Сельский механизатор. – 2021. – № 12. – С. 18-19. – EDN UCTZKL.

24. Горячкин, В.П. Собрание сочинений в 7 томах / Акад. В. П. Горячкин. - Москва : Всес. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина, Сельхозгиз, 1937-1949 (16 тип. треста "Полиграфкнига"). - 7 т.; 27 см. – Текст : непосредственный.

25. ГОСТ Р 52759-2007. Машины для внесения твердых органических удобрений. Методы испытаний = Dry fertilizer-spreading machinery. Test methods : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 17 октября 2007 г. N 263-ст : введен впервые : дата введения 2009-01-01 / разработан Федеральным государственным научным учреждением "Российский научно-исследовательский институт по испытанию сельскохозяйственных технологий и машин" (ФГНУ "РосНИИТиМ") – Москва : Стандартинформ, 2007 – Текст : непосредственный.

26. ГОСТ 20915-2011 Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний = Testing of agricultural tractors and machines. Procedure for determination of test conditions : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 3 июля 2012 г. N 148-ст : введен взамен ГОСТ 20915-75 : дата введения 2013-01-01 / разработан разработан Федеральным государственным научным учреждением "Российский научно-исследовательский институт по испытанию сельскохозяйственных технологий и машин" (ФГНУ

"РосНИИТиМ") – Москва : Стандартинформ, 2020 – Текст : непосредственный.

27. ГОСТ 17.4.3.01-2017 Охрана природы. Почвы. общие требования к отбору проб = Nature protection. Soils. General requirement for sampling национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 1 июня 2018 г. N 302-ст : введен взамен ГОСТ 17.4.3.01-83 : дата введения 2019-01-01 / Ассоциацией "Некоммерческое партнерство "Координационно-информационный центр государственных участников СНГ по сближению регуляторных практик" (Ассоциация "НП "КИЦ СНГ") – Москва : АО "Кодекс", 2021 – Текст : непосредственный.

28. ГОСТ 28268-89 Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений = Soils. Methods of determination of moisture, maximum hygroscopic moisture and moisture of steady plant fading : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 27.09.89 N 2924 : введен впервые : дата введения 1990-06-01 / разработан Государственным агропромышленным комитетом СССР – Москва : Стандартинформ, 2006 – Текст : непосредственный.

29. ГОСТ ISO 6497-2014 Корма. Отбор проб = Feeding stuffs. Sampling : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18 мая 2016 г. N 353-ст : введен впервые : дата введения 2017-07-01 / разработан Научно-производственным республиканским унитарным предприятием "Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации" (БелГИСС) на основе собственного

перевода на русский язык англоязычной версии стандарта – Москва : Стандартиформ, 2020 – Текст : непосредственный.

30. ГОСТ ISO 6498-2014 Корма, комбикорма. Подготовка проб для испытаний = Feeds, compound feeds. Preparation of samples for testing : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 7 ноября 2014 г. N 1491-ст : введен впервые : дата введения 2016-01-01 / разработан подкомитетом SC 10 "Корма для животных" Технического комитета по стандартизации ISO/TC 34 "Пищевые продукты" Международной организации по стандартизации (ISO) – Москва : Стандартиформ, 2020 – Текст : непосредственный.

31. ГОСТ Р 57059-2016 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Экспресс-метод определения влаги = Feeds, compound feeds, feed raw materials. Express-method for determination of moisture : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 9 сентября 2016 г. N 1106-ст : введен впервые : дата введения 2017-07-01 / разработан Открытым акционерным обществом "Всероссийский научно-исследовательский институт комбикормовой промышленности" (ОАО "ВНИИКП") – Москва : Стандартиформ, 2020 – Текст : непосредственный.

32. ГОСТ Р 8.736-2011 Измерения прямые многократные. методы обработки результатов измерений. Основные положения = State system for ensuring the uniformity of measurements. Multiple Direct measurements. Methods of measurement results processing. Main positions : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13 декабря 2011 г. N 1045-ст : введен впервые : дата введения 2013-01-01 / разработан Федеральным государственным унитарным

предприятием "Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им.Д.И.Менделеева" (ФГУП "ВНИИМ им.Д.И.Менделеева") – Москва : Стандартинформ, 2019 – Текст : непосредственный.

33. Даранишников, А. Как увеличить производительность комбайна? / А. Даранишников. – Текст : непосредственный // Зерно: Ежемесячный журнал современного агропромышленника. – 2008. - №4. – С. 92-100.

34. Деркач, К. Е. Модернизация измельчителя - разбрасывателя ПКН-1500Б-01 / К. Е. Деркач, С. К. Папуша, В. К. Папуша // Технические науки: проблемы и решения : сборник статей по материалам XXXI международной научно-практической конференции, Москва, 21 января 2020 года. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Интернаука", 2020. – С. 29-33. – EDN JFYQVH.

35. Диспетчерская информация о ходе сельскохозяйственных работ - Текст : электронный // Министерство сельского хозяйства и продовольствия Рязанской области : официальный сайт. - 2021. - URL:<https://www.ryazagro.ru/> (дата обращения: 10.10.2021).

36. Есенин М.А., Борычев С.Н. Теоретические и полевые исследования разравнивающего устройства солоистой массы / Есенин М.А., Борычев С.Н. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). [Электронный ресурс]. - Краснодар: КубГАУ, 2022. - №06(180). - IDA [article ID]: 1802206016. - Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/06/pdf/16.pdf>, 0.688 у.п.л. <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-180-016>

37. Есенин, М.А. Технологии уборки незерновой части урожая, применяемые в Рязанской области / М. А. Есенин, А. И. Мартышов // Аграрная наука как основа продовольственной безопасности региона : Материалы 66-й Международной научно-практической конференции, посвященной 170-летию



со дня рождения профессора Павла Андреевича Костычева: в 3-х частях, Рязань, 14 мая 2015 года. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2015. – С. 68-71. – EDN XSXFHD.

38. Емцов, В.Т. Влияние соломы на микробиологические процессы в почве при использовании ее в качестве удобрения / В.Т. Емцов, А.К. Ницэ. – Москва : Наука, 1980. – 80 с. – Текст : непосредственный.

39. Жалнин, Э.В. Перспективные технологии и комплексы машин для уборки незерновой части урожая зерновых культур: Обзорная информация / Э.В. Жалнин, В.Л. Шполянский, Е.Л. Ревякин. – ВНИИТЭСХ, 1986. – 56 с.

40. Зангиев, А. А. Практикум по эксплуатации машинно-тракторного парка / А. А. Зангиев, А. Н. Скороходов. – Издание 3-е, Стереотипное. – Санкт-Петербург : Издательство "Лань", 2018. – 464 с. – ISBN 978-5-8114-2097-1. – EDN URHBQY.

41. Исходные требования на базовые машинные технологические операции в растениеводстве / отв. за вып. И. В. Крюков. – Москва : Министерство сельского хозяйства РФ, Федеральное агентство по сельскому хозяйству; 2005. – 270с. – Текст : непосредственный.

42. Исходные требования к Зональной системе технологий и машин для производства продуктов растениеводства в дальневосточном регионе России / Н. М. Антышев, В. М. Бейлис, В. П. Елизаров [и др.]. – Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2007. – 167 с. – EDN UWGYMZ.

43. Инновационные технологии и сельскохозяйственная техника за рубежом : Аналитический обзор / В. Я. Гольяпин, Н. П. Мишуров, В. Ф. Федоренко [и др.]. – Москва : Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому

обеспечению агропромышленного комплекса, 2020. – 172 с. – ISBN 978-5-7367-1595-4. – EDN XJHKQG.

44. Качармин, А.А. Пути совершенствования технологии утилизации незерновой части урожая в качестве удобрения / А. А. Качармин, М. А. Есенин // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2019. – № 1(8). – С. 91-95. – EDN WGRJEI.

45. К вопросу об измельчении и заделке растительных остатков при внедрении ресурсосберегающих технологий / Н. В. Бышов, П. Н. Дыков, К. Н. Дрожжин, А. Н. Бачурин // Ваш сельский консультант. – 2008. – № 8. – С. 24-27. – EDN QCHUTZ.

46. Комбайн зерноуборочный самоходный КЗС-1218А-1 "Палессе GS12 А1" - инструкция по эксплуатации. - Гомсельмаш. - 2021. - 235с.

47. Лабораторные исследования оптимальных параметров разравнивающего устройства агрегата для утилизации незерновой части урожая / М. А. Есенин, И. Ю. Богданчиков, С. Н. Бoryчев [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2022. – Т. 14. – № 1. – С. 92-98. – DOI 10.36508/RSATU.2022.85.59.011. – EDN VGWHEM.

48. Ли, Р.И. Основы научных исследований : учебное пособие / Р.И. Ли. - Липецк : Издательство ЛГТУ, 2013. – 190 с. ISBN 978-5-88247-600-6. – Текст : непосредственный.

49. Лисовский И.В. Комплексная механизация заготовки кормов / И.В. Лисовский. - Лениздат, 1980. –222 с. – Текст : непосредственный.

50. Логинов, И. В. Совершенствование технического средства для подбора, измельчения и разбрасывания соломы из валков с одновременным внесением минеральных удобрений : специальность 05.20.01 "Технологии и средства

механизации сельского хозяйства" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Логинов Иван Викторович. – Киров; Йошкар-Ола, 2005. – 148 с. – EDN NNFHUV.

51. Лыков, А.Д. Гумус и плодородие почвы / А.Д. Лыков. - Москва, 1985. – 192 с. – Текст : непосредственный.

52. Макаров, В.Н. Влияние основной обработки почвы с внесением соломы на урожай зерна сои и пшеницы / В.Н. Макаров. – Текст : непосредственный // Некоторые вопросы селекции, биологии и агротехники сои. НТБ. Новосибирск. - 1977. - Вып. 5,6. - С. 41-48.

53. Мальков, Т.В. Расход энергии на измельчение стебельных кормов / Т.В. Мальков. – Текст : непосредственный // Техника в сельском хозяйстве. – 1988. – №5. – С. 58-59.

54. Марадудин, А. М. Теоретическое обоснование угла установки устройства для сбора соломы / А. М. Марадудин, А. В. Перетятко, А. А. Леонтьев // Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. – № 11-6(42). – С. 69-73. – DOI 10.18454/IRJ.2015.42.037. – EDN VCTCPF.

55. Маслов, Г. Г. Оптимизация продолжительности уборки зерновых культур и основных параметров многофункционального агрегата / Г. Г. Маслов, А. В. Палапин, Н. А. Ринас // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого. – 2014. – № 2(57). – С. 29-34. – EDN SHTSYX.

56. Маслов, Г.Г. Природозащитная технология использования соломы на удобрение / Г.Г. Маслов. – Текст : непосредственный // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 1994. -№8. - С. 13-16.

57. Маслов, Г. Г. Сбережение ресурсов на уборке зерновых / Г. Г. Маслов, Н. А. Ринас // Научно-технологическое обеспечение агропромышленного комплекса России: проблемы и решения : Сборник тезисов по материалам III Национальной конференции, Краснодар, 27–28 марта 2019 года / Отв. за

выпуск А.Г. Коцаев. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2019. – С. 96. – EDN TNVVGf.

58. Маслов, Г. Г. Эффективная альтернатива комбайновой уборке зерна / Г. Г. Маслов, В. Т. Ткаченко, Н. А. Ринас // Сельский механизатор. – 2018. – № 7-8. – С. 4-5. – EDN YNHUKT.

59. Медовник, А.И. Использование соломы на удобрение / А.И. Медовник. – Текст : непосредственный // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1996. – №8. – С. 7-8.

60. Мельников, С.В. Исследование процесса измельчения стебельных кормов в свете общей теории дробления / С.В. Мельников. – Текст : непосредственный // Земледельческая механика. – М.: Машиностроение, 1968. – С. 195-201.

61. Микроэкономика : учебник для академического бакалавриата / А. С. Булатов, С. А. Бартенев, О. В. Соколова, В. Б. Супян. – 3-е издание, исправленное и дополненное. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью "Издательство ЮРАЙТ", 2018. – 358 с. – (Бакалавр. Академический курс). – ISBN 978-5-534-06406-3. – EDN ZUIXHP.

62. Назаренко, О.Г., Пашковская Т.Г. и др. Использование соломы в качестве удобрения: докт. биол. наук / О.Г. Назаренко, Т.Г. Пашковская и др.; Министерство сельского хозяйства РФ, ФГУ Государственный центр агрохимической службы «Ростовский». – 2011 г.

63. Научно-практическое руководство по освоению и применению технологий сберегающего земледелия / С. М. Чемезов, М. Н. Копытов, М. А. Намятов [и др.]. – Екатеринбург : Уральская государственная сельскохозяйственная академия, 2006. – 73 с. – EDN TOKNEP.

64. Научные основы производства высококачественного зерна пшеницы / В. Ф. Федоренко, С. Н. Сапожников, Д. А. Петухов [и др.]. – Москва : Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических

исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2018. – 396 с. – ISBN 978-5-7367-1395-0. – DOI 10.25930/skc8-gc14. – EDN YKUNKP.

65. Небавский, В.А. Совершенствование технологии уборки зерновых культур / В.А. Небавский. – Текст : непосредственный // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2003. - №11. - С.4-5.

66. Незерновая часть урожая как эффективный способ повышения плодородия почвы / А. Н. Бачурин, Н. В. Бышов, И. Ю. Богданчиков, А. И. Мартышов // Повышение эффективности механизации сельскохозяйственного производства : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 50-летию инженерного факультета, Чебоксары, 24–25 ноября 2011 года. – Чебоксары: Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, 2011. – С. 52-56. – EDN RXLFSP.

67. Николаев, С.Н. Амортизационные отчисления: бухгалтерский и налоговый учет : оценка амортизируемого имущества, способы начисления амортизации, порядок признания сумм амортизац. отчислений. применение ускоренной амортизации / С. Н. Николаев ; С. Н. Николаев. – Москва : Налоговый вестник, 2006. – 255 с. – (Приложение к журналу "Налоговый вестник"). – ISBN 5-93094-184-X. – EDN QQZVNX.

68. Нормативно-справочные материалы по планированию механизированных работ в сельскохозяйственном производстве: сборник/ Н.В. Кузьмин, А.П. Королькова, В.Д. Митракова [и др.]. – Москва : ФГНУ "Росинформагротех", 2008. - 314 с. – Текст : непосредственный.

69. Обзор рынка зерна - Текст : электронный // Министерство сельского хозяйства Российской Федерации : официальный сайт. - 2021. – URL : <https://mcx.gov.ru/ministry/departments/departament-ekonomiki-investitsiy-i->

regulirovaniya-rynkov/industry-information/info-obzor-rynkov-za-24-12-2021/  
(дата обращения 24.12.2021)

70. Обоснование параметров валков соломы и рабочих элементов разравнивателя / Р. К. Абдрахманов, М. Н. Калимуллин, Р. М. Сафин, С. М. Архипов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2012. – Т. 7. – № 3(25). – С. 64-67. – EDN PDTOSB.

71. Ожерельев, В. Н. Перспективы развития конструкции зерноуборочного комбайна / В. Н. Ожерельев, Э. В. Жалнин, В. В. Никитин // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе : Материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 06–07 июня 2018 года / Под общей редакцией В.А. Гулевского. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2018. – С. 137-143. – EDN VKDHJO.

72. Отчет по хоздоговору №3 на тему: "Технологии измельчения и заделки растительных остатков сельскохозяйственных культур в системе энергосберегающей обработки почвы" / Бышов Н.В., Бачурин А.Н., Дрожжин К.Н., Дыков П.Н., Рязань: - ГСХА, 2007. - 55с.

73. Папуша, С. К. Комбинированное устройство нанесения биопрепаратов для утилизации незерновой части урожая / С. К. Папуша, В. В. Жадько, Ю. Г. Шаповалова // Теория и практика финансово-хозяйственной деятельности предприятий различных отраслей. Наука и общество: актуальные проблемы и решения : Сборник трудов конференций: III Национальной научно-практической конференции; Национальной научно-практической конференции, Керчь, 10–29 октября 2021 года. – Керчь: ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», 2021. – С. 470-477. – EDN FEGFNC.

74. Патент № 2677320 С1 Российская Федерация, МПК А01D 34/00. Зерноуборочный комбайн : № 2018105742 : заявл. 15.02.2018 : опубл. 16.01.2019 / Н. В. Алдошин, А. А. Золотов, А. И. Панов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева" (ФГБОУ ВО РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева). – EDN NBBIRZ.

75. Патент № 2709972 С1 Российская Федерация, МПК А01D 43/14, А01С 23/00, В05В 7/28. Устройство для утилизации незерновой части урожая и внесения удобрений : № 2019113297 : заявл. 29.04.2019 : опубл. 23.12.2019 / С. М. Борисова, С. К. Папуша, А. С. Сергунцов, В. К. Папуша ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина". – EDN SSQXXX.

76. Патент № 2463753 С1 Российская Федерация, МПК А01В 13/16. Устройство для нарезки водопоглощающих щелей с одновременным заполнением их соломой : № 2011112729/13 : заявл. 01.04.2011 : опубл. 20.10.2012 / М. М. Константинов, К. С. Потешкин, Б. Н. Нуралин, А. Н. Хмура ; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Оренбургский государственный аграрный университет". – EDN ZOXZXZ.

77. Патент № 2216911 С2 Российская Федерация, МПК А01D 84/00, А01D 84/02. Разравниватель соломы из валков : № 2001112059/13 : заявл. 03.05.2001 : опубл. 27.11.2003 / В. И. Воробьев, А. Г. Шуляков ; заявитель Всероссийский научно-исследовательский институт риса. – EDN ECRBCV.

78. Патент № 2318302 С1 Российская Федерация, МПК А01В 13/00, А01С 7/00. Почвообрабатывающепосевной агрегат : № 2006109656/12 : заявл. 27.03.2006 : опубл. 10.03.2008 / С. А. Ивженко, П. В. Тарасенко, А. С. Ивженко [и др.] ;

заявитель ФГОУ ВПО "Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова". – EDN IOJYIV.

79. Патент № 2556073 С2 Российская Федерация, МПК А01D 75/00, G01N 1/20. Устройство для отбора проб измельченной соломы от зерноуборочных комбайнов : № 2013147324/13 : заявл. 23.10.2013 : опубл. 10.07.2015 / М. Ю. Ягельский, С. А. Родимцев ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Орловский государственный аграрный университет" (ФГБОУ ВПО Орел ГАУ). – EDN MJINE.

80. Патент № 2731671 С1 Российская Федерация, МПК А01D 75/00. Устройство для отбора проб измельченной соломы за зерноуборочным комбайном : № 2019135614 : заявл. 06.11.2019 : опубл. 07.09.2020 / Э. В. Жалнин, М. Е. Чаплыгин, А. В. Подзоров, И. А. Пехальский ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ" (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ). – EDN UXYZCX.

81. Патент на полезную модель № 191541 U1 Российская Федерация, МПК А01F 29/00. Устройство для измельчения стеблевой массы : № 2019111689 : заявл. 18.04.2019 : опубл. 13.08.2019 / Н. В. Алдошин, В. И. Пляка, А. А. Золотов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева" (ФГБОУ ВО РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева). – EDN JOBJCW.

82. Патент на полезную модель № 184697 U1 Российская Федерация, МПК А01F 29/00. Измельчитель стеблевой массы : № 2018121317 : заявл. 08.06.2018 : опубл. 06.11.2018 / Н. В. Алдошин, А. А. Золотов, В. И. Пляка [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный аграрный



университет - МСХА имени К.А. Тимирязева" (ФГБОУ ВО РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева). – EDN SEOMHF.

83. Патент на полезную модель № 157147 U1 Российская Федерация, МПК A01F 15/07. Рулонный пресс-подборщик : № 2015121102/13 : заявл. 02.06.2015 : опубл. 20.11.2015 / М. Ю. Костенко, В. С. Тетерин, Н. А. Костенко, О. А. Тетерина ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева" (ФГБОУ ВПО РГАТУ). – EDN YNWNXZ.

84. Патент на полезную модель № 53836 U1 Российская Федерация, МПК A01B 13/08. Комплексный почвообрабатывающий агрегат : № 2005118606/22 : заявл. 15.06.2005 : опубл. 10.06.2006 / С. А. Ивженко, В. Н. Соколов, А. С. Ивженко, В. А. Зуев ; заявитель ФГОУ ВПО Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. – EDN UZAOWS.

85. Патент на полезную модель № 205449 U1 Российская Федерация, МПК A01D 34/43. Устройство для утилизации незерновой части урожая : № 2020143036 : заявл. 24.12.2020 : опубл. 15.07.2021 / И. Ю. Богданчиков, Н. В. Бышов, А. Н. Бачурин [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева". – EDN XBDDHF.

86. Присяжная, И.М. Обоснование технологических и конструктивных параметров измельчителя соевой соломы / И. М. Присяжная, С. П. Присяжная, М. М. Присяжный // Дальневосточный аграрный вестник. – 2011. – № 2(18). – С. 19-22. – EDN SCLEUT.

87. Проблемы деградации и восстановления продуктивности земель сельскохозяйственного назначения в России / А. Л. Иванов, И. Г. Ушачев, Ю.

Ф. Лачуга [и др.] ; Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Российская академия сельскохозяйственных наук ; под ред. А.В. Гордеева, Г.А. Романенко. – Москва : ФГНУ "Росинформагротех", 2008. – 68 с. – EDN QKZLLJ.

88. Прямоточная технология внесения соломы на удобрение [Текст]// Земледелие. - 2002. -№1. -С. 16-18.

89. Пьянов, В.С. Влияние комплектации зерноуборочного комбайна "Дон-1500Б" соломоуборочными средствами на основные эксплуатационные показатели его работы : специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Пьянов Виктор Сергеевич. – Ставрополь, 2006. – 173 с. – EDN NNVGRT.

90. Результаты испытаний модернизированной косилки-измельчителя / В. Г. Мохнаткин, В. Н. Шулятьев, Л. В. Тючкалов, Д. Ю. Красиков // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2004. – № 7. – С. 13-14. – EDN YKFAYB.

91. Результаты полевых испытаний разравнивающего устройства в агрегате для утилизации незерновой части урожая в качестве удобрения / И. Ю. Богданчиков, А. Н. Бачурин, М. А. Есенин, А. И. Мартышов // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2021. – Т. 13. – № 3. – С. 93-99. – DOI 10.36508/RSATU.2021.14.95.013. – EDN YXDABW.

92. Ринас, Н.А. Проблемы и перспективы уборки зерновых культур самоходными комбайнами / Н. А. Ринас, Е. М. Юдина, К. М. Глытян // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2021. – № 2(88). – С. 94-98. – DOI 10.37670/2073-0853-2021-88-2-94-98. – EDN FXJWAP.

93. Ринас, Н. А. Прогрессивная технология уборки зерновых культур многофункциональными агрегатами / Н. А. Ринас, А. Д. Романова // Научное обеспечение агропромышленного комплекса : Сборник статей по материалам XII Всероссийской конференции молодых ученых, Краснодар, 05–08 февраля 2019 года / Отв. за вып. А.Г. Коцаев. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2019. – С. 164-165. – EDN PWROZV.
94. Ринас, Н.А. Совершенствование технологии комплексной уборки озимой пшеницы с одновременным прессованием соломы: : специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ринас Николай Анатольевич. – Краснодар, 2020. – 156 с. – EDN EZMFVJ.
95. Ринас, Н.А. Агрегат для уборки зерновых колосовых с одновременным прессованием соломы / Н. А. Ринас // Сельский механизатор. – 2018. – № 10. – С. 22-23. – EDN YRPEJV.
96. Роторный измельчитель соломы РИС-2. - Текст : электронный // ООО "Сельмаш" : официальный сайт. - 2022. - URL: <https://selmash.su/equipment/ris-2/> (дата обращения 15.01.2022).
97. Ряднов, А.И. Потери зерна от увеличения сроков уборки зерновых культур / А. И. Ряднов, О. А. Федорова, О. И. Поддубный // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2020. – № 2(58). – С. 375-384. – DOI 10.32786/2071-9485-2020-02-37. – EDN GOAQNO.
98. Серая, Т.М. Темпы разложения соломы сельскохозяйственных культур в дерново-подзолистых почвах / Т.М. Серая, Е.Н. Богатырева, О.М. Бирюкова. – Текст : непосредственный // Земледелие и защита растений. – 2012. – №4. – С. 6-9.

99. Скорляков, В.И. Качество измельчения и разбрасывания соломы при уборке зерновых культур: анализ требований и достижений / В. И. Скорляков, Т. А. Юрина, О. Н. Негреба // АгроСнабФорум. – 2013. – № 4. – С. 66-68. – EDN YGRPXT.
100. Скорляков, В.И. Показатели качества измельчения и разбрасывания соломы зерноуборочными комбайнами ведущих фирм / В. И. Скорляков, В. В. Сердюк, О. Н. Негреба // Техника и оборудование для села. – 2013. – № 3. – С. 30-33. – EDN PWVYMP.
101. Современные технические средства для уборки зерновых культур : Каталог / В. Я. Гольяпин, Н. П. Мишуров, В. Ф. Федоренко, Н. В. Алдошин. – Москва : Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2021. – 96 с. – ISBN 978-5-7367-1623-4. – EDN ERWVSP.
102. Солома на удобрение. - Текст : электронный // Министерство сельского хозяйства и продовольствия республики Беларусь НПЦ НАН Беларуси по земледелию : официальный сайт. - 2019. - URL:<http://mshp.gov.by/information/materials/zem/agriculture/f7f46206918d55d9> .(дата обращения 01.09.2021)
103. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин / Под ред. Красниченко. – Москва : Машиностроение, 1961. – Т.2 – 862 с. – Текст : непосредственный.
104. Средние цены производителей на минеральные удобрения с 2017 г. – Текст : электронный // ЕМИСС ГОСУДАРСТВЕННАЯ СТАТИСТИКА : официальный сайт. – 2022. – URL: <https://fedstat.ru/indicator/57819> (дата обращения: 01.02.2022).

105. Таранин, В.И. Комплексная оценка почвообрабатывающего удобрительно-посевного комплекса / В. И. Таранин, Н. В. Шевченко, Ю. О. Горячев // Техника и оборудование для села. – 2008. – № 10. – С. 20-25. – EDN ТВJAЕВ.
106. Тетерин, В.С. Усовершенствованный процесс и пресс-подборщик для заготовки стебельчатых кормов с обработкой гуматами : специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Тетерин Владимир Сергеевич. – Москва, 2016. – 158 с. – EDN YHKFIP.
107. Трубилин, В.И. Об использовании незерновой части урожая / В.И. Трубилин. – Текст : непосредственный // Техника в сельском хозяйстве. - 1996. - №1. - С. 22-23.
108. Филенко, Г.А. Потери зерна при уборке озимой пшеницы (обзор) / Г. А. Филенко, Т. И. Фирсова, Ю. Г. Скворцова // Зерновое хозяйство России. – 2018. – № 1(55). – С. 28-32. – EDN YQKMВР.
109. Худякова, Е.В. Оптимизация технико-экономических параметров организации процесса уборки зерновых культур на основе имитационного моделирования / Е. В. Худякова, К. В. Ключкова // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". – 2015. – № 5(69). – С. 60-64. – EDN VHDCNX.
110. Цифровой анемометр Smart Sensor AR866. Инструкция по эксплуатации.
111. Чаплыгин, М.Е. Динамика технической оснащенности уборки зерновых культур в России и перспективы ее развития / М. Е. Чаплыгин, С. А. Давыдова, А. В. Подзоров // Молодой ученый. – 2019. – № 49(287). – С. 211-215. – EDN ААЕАНУ.

112. Чаплыгин, М.Е. История развития комбайностроения в России / М. Е. Чаплыгин, Ю. С. Ценч, О. Н. Беспалова // История науки и техники. – 2019. – № 12. – С. 56-69. – EDN DFXУММ.
113. Чаплыгин, М.Е. Определение качества работы зерноуборочных комбайнов / М. Е. Чаплыгин, Э. В. Жалнин // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2019. – Т. 13. – № 4. – С. 71-76. – DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-4-71-76. – EDN TJLRIK.
114. Чаплыгин, М.Е. Современные требования к техническому уровню зерноуборочных комбайнов / М. Е. Чаплыгин, С. А. Давыдова, А. В. Подзоров // Технический сервис машин. – 2020. – № 4(141). – С. 29-39. – DOI 10.22314/2618-8287-2020-58-4-29-39. – EDN YQKBQH.
115. Шаповалов, В.И. Анализ и пути совершенствования конструкций соломоизмельчителей к зерноуборочным комбайнам / В.И. Шаповалов, Н.В. Филатов. – Текст : непосредственный. / Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 1968. - №10. - С. 12-14.
116. Шпилько, А.В. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники: утв. МСХ и П РФ 23.07.1997. В 2 ч. Ч I. Методика / А.В. Шпилько, В.И. Драгайцев, Н.М. Морозов и др. – Москва : МСХ и П РФ и ВНИЭСХ, 1998. – 220 с. – Текст : непосредственный.
117. Шпилько, А.В. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники: утв. МСХ и П РФ 23.07.1997. В 2 ч. Ч II. Методика / А.В. Шпилько, В.И. Драгайцев, Н.М. Морозов и др. – Москва : МСХ и П РФ и ВНИЭСХ, 1998. – 252 с. – Текст : непосредственный.
118. Ягельский, М.Я. Актуализация агротехнических требований к комбайновым технологиям уборки зерновых культур с измельчением и разбрасыванием незерновой части урожая / М. Я. Ягельский, С. А. Родимцев

// Агротехника и энергообеспечение. – 2016. – № 1(10). – С. 28-39. – EDN XVRLHP.

119. Ягельский, М.Ю. Анализ взаимодействия частиц НЧУ с вогнутой поверхностью направляющей пластины разбрасывателя и выбор рациональной конструкции рабочих органов измельчителя зерноуборочного комбайна / М. Ю. Ягельский, Н. М. Иванушкина, С. А. Родимцев // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2017. – № 1(41). – С. 80-85. – EDN YHLTBN.

120. Ягельский, М.Ю. Некоторые предпосылки для актуализации агротехнических требований к соломоизмельчителям зерноуборочных комбайнов / М. Ю. Ягельский, С. А. Родимцев // Агротехника и энергообеспечение. – 2015. – № 3(7). – С. 239-247. – EDN YIIUTP.

121. Ягельский, М.Ю. Обоснование параметров соломоизмельчителя-разбрасывателя зерноуборочного комбайна : специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ягельский, Михаил Юрьевич ; Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина. – Орел, 2018. – 272 с. – Библиогр.: с. 219 – 238. – Текст : непосредственный.

122. Ягельский, М.Ю. Тенденции развития и классификация соломоизмельчителей-разбрасывателей современных зерноуборочных комбайнов / М. Ю. Ягельский, С. А. Родимцев // Вестник Орловского государственного аграрного университета. – 2016. – № 3(60). – С. 73-87. – EDN YSSRJN.

123. Alam S.M. Effect of plant residue on growth / Pakistan Agr. - 1990. - Т.12. - №7/8. - P.9-11.

124. Anon. Wie Teuer ist die Stroheinarbeitung / Lohnunternehmen in Land - Forstwirtschaft. - 1988. - T.43. - №8. - S.408-410.

125. Axial-Flow 150 Series Combines. - Текст : электронный // CASE IH : официальный сайт. - 2021. - URL: <https://www.caseih.com/northamerica/en-us/products/harvesting/axial-flow-combines/axial-flow-150-series> (дата обращения 02.12.2021).

126. Axial-Flow 250 Series Combines. - Текст : электронный // CASE IH : официальный сайт. - 2021. - URL: <https://www.caseih.com/northamerica/en-us/products/harvesting/axial-flow-combines/axial-flow-250-series> (дата обращения 02.12.2021).

127. Bernhardt H. Verfahren einer qualitatgerechten Sstrohdungung / Feldwirtschaft. - 1991. T.32 - N8. - S.370-372.

128. Borisova, S. M. A device for harvesting and utilization of non-grain part of crop and fertilization / S. M. Borisova, S. K. Papusha, V. K. Papusha // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Sevastopol, 07–11 сентября 2020 года. – Sevastopol, 2020. – P. 052061. – DOI 10.1088/1757-899X/971/5/052061. – EDN BSNTBU.

129. Cao, N., Zhi, M., Zhao, W., Pang, J., Hu, W., Zhou, Z., & Meng, Y. (2022). Straw retention combined with phosphorus fertilizer promotes soil phosphorus availability by enhancing soil P-related enzymes and the abundance of phoC and phoD genes. *Soil and Tillage Research*, 220 doi:10.1016/j.still.2022.105390

130. Carrier XL 425-625. - Текст : электронный // Väderstad : официальный сайт. - 2021. URL: <https://www.vaderstad.com/ru/obrabotka-pochvy/diskovye-kultivatory/carrier-xl-425-625/> (дата обращения 15.12.2021).

131. Chaplygin, M. E. Soybean harvesting using current dedicated headers and adapters / M. E. Chaplygin, S. V. Tronev, S. A. Davydova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Zernograd, Rostov Region, 27–28 августа 2020



года. – Zernograd, Rostov Region, 2021. – P. 012014. – DOI 10.1088/1755-1315/659/1/012014. – EDN QAPNVG.

132. CLAAS combine harvesters LEXION 8900-7400. - Текст : электронный // CLAAS Group Official web-site : официальный сайт. - 2021. - URL: <https://www.claas.co.uk/products/combines/lexion-8900-7400> (дата обращения 01.12.2021).

133. CLAAS combine harvesters LEXION 6900-5300. - Текст : электронный // CLAAS Group Official web-site : официальный сайт. - 2021. - URL: <https://www.claas.co.uk/products/combines/lexion-6900-5300> (дата обращения 01.12.2021).

134. Concept Of Creating Energy-Resource-Saving Technologies For Harvesting Grain With Multifunctional Aggregates / G. G. Maslov, E. I. Trubilin, E. M. Yudina, N. A. Rinas // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2018. – Vol. .

135. Discover the most flexible combine harvester ever built by CLAAS. - Текст : электронный // CLAAS Group Official web-site : официальный сайт. - 2021. - URL: <https://www.claas.co.uk/products/combines/trion> (дата обращения 01.12.2021). .

136. Edinger E. Strohdungung - Basis der Bodenfruchtbarkeit / Land - wirtschaft. - 1991. - T.7/8. - S.31-32.

137. Heitmann G. Mulchsaat bekommt mehr Gewicht / Lohnunternehmen in Land - Forstwirtschaft. - 1992. - Jg.47. - N7. - S.392-393.

138. Hiel M-P, Chélin M, Parvin N, Barbieux S, Degruene F, Lemtiri A, Colinet G, Degré A, Bodson B, Garré S. Crop residue management in arable cropping systems under a temperate climate. Part 2: soil physical properties and crop production. A review. Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement. 2016;20:245–256.

139. Islam, M. U., Guo, Z., Jiang, F., & Peng, X. (2022). Does straw return increase crop yield in the wheat-maize cropping system in china? A meta-analysis. *Field Crops Research*, 279 doi:10.1016/j.fcr.2022.108447.
140. Jiang, N., Bah, H., Zhou, M., Xu, P., Zhang, B., & Zhu, B. (2022). Effects of straw and biochar amendment on hydrological fluxes of dissolved organic carbon in a subtropical montane agricultural landscape. *Environmental Pollution*, 296 doi:10.1016/j.envpol.2021.118751
141. J Kilpatrick, ADAS report written for NNFCC "Addressing the land use issues for non-food crops, in response to increasing fuel and energy generation opportunities". -1984. - P.593-612.
142. Mathematical model of feeding rate and processing loss for combine harvester / D. Chen, S. Wang, F. Kang, Q. Zhu, X. Li // *Nongye Gongcheng Xuebao*. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering. 2011. 27(9), P. 18-21.
143. Omar de Kok-Mercado. Microbial decomposition of corn residue in two Iowa Mollisols // *Graduate Theses and Dissertations*. 2015. 114 p.
144. Results of studying the effects of biological products on accelerating the decomposition of the crop tailings / I. Yu. Bogdanchikov, N. V. Byshov, A. N. Bachurin [et al.] // *BIO Web of Conferences : International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources” (FIES 2019)*, Kazan, 13–14 ноября 2019 года. – Kazan: EDP Sciences, 2020. – P. 00085. – DOI 10.1051/bioconf/20201700085. – EDN IXUHTB.
145. Strategy of technical support of grain harvesting operations in Republic of Kazakhstan / V. L. Y. Astaf, V. A. Golikov, E. V. Zhalnin [et al.] // *AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*. – 2020. – Vol. 51. – No 3. – P. 46-51. – EDN IZRIWY.

146. Use of straw in organic farming / I. Y. Bogdanchikov, N. V. Byshov, A. N. Bachurin, M. A. Yesenin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Omsk City, Western Siberia, 04–05 июля 2020 года. – Omsk City, Western Siberia, 2021. – P. 012220. – DOI 10.1088/1755-1315/624/1/012220. – EDN BWXVCW.
147. Zhalnin, E. V. Analytical criteria for evaluation of engineering level of grain harvesters / E. V. Zhalnin, M. E. Chaplygin, V. L. Astafyev // International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. – 2020. – Vol. 8. – No 9. – P. 6546-6552. – DOI 10.30534/ijeter/2020/260892020. – EDN UNZZCM.
148. Zhu, D., Cong, R., Ren, T., Lu, Z., Lu, J., & Li, X. (2022). Straw incorporation improved the adsorption of potassium by increasing the soil humic acid in macroaggregates. *Journal of Environmental Management*, 310 doi:10.1016/j.jenvman.2022.114665.

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

## Матрица планирования эксперимента

| №  | Факторы и уровни их взаимодействия |            |            |             |             |             |                   |         |         |         |
|----|------------------------------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------------|---------|---------|---------|
|    | $X_1$                              | $X_2$      | $X_3$      | $X_1^* X_2$ | $X_1^* X_3$ | $X_2^* X_3$ | $X_1^* X_2^* X_3$ | $X_1^2$ | $X_2^2$ | $X_3^2$ |
| 1  | 2                                  | 3          | 4          | 5           | 6           | 7           | 8                 | 9       |         |         |
| 1  | +1                                 | +1         | +1         | +1          | +1          | +1          | +1                | 0,27    | 0,27    | 0,27    |
| 2  | -1                                 | +1         | +1         | -1          | -1          | +1          | -1                | 0,27    | 0,27    | 0,27    |
| 3  | +1                                 | -1         | +1         | -1          | +1          | -1          | -1                | 0,27    | 0,27    | 0,27    |
| 4  | -1                                 | -1         | +1         | +1          | -1          | -1          | +1                | 0,27    | 0,27    | 0,27    |
| 5  | +1                                 | +1         | -1         | +1          | -1          | -1          | -1                | 0,27    | 0,27    | 0,27    |
| 6  | -1                                 | +1         | -1         | -1          | +1          | -1          | +1                | 0,27    | 0,27    | 0,27    |
| 7  | +1                                 | -1         | -1         | -1          | -1          | +1          | +1                | 0,27    | 0,27    | 0,27    |
| 8  | -1                                 | -1         | -1         | +1          | +1          | +1          | -1                | 0,27    | 0,27    | 0,27    |
| 9  | -<br>1,215                         | 0          | 0          | 0           | 0           | 0           | 0                 | 0,75    | -0,73   | -0,73   |
| 10 | +<br>1,215                         | 0          | 0          | 0           | 0           | 0           | 0                 | 0,75    | -0,73   | -0,73   |
| 11 | 0                                  | -<br>1,215 | 0          | 0           | 0           | 0           | 0                 | -0,73   | 0,75    | -0,73   |
| 12 | 0                                  | +<br>1,215 | 0          | 0           | 0           | 0           | 0                 | -0,73   | 0,75    | -0,73   |
| 13 | 0                                  | 0          | -<br>1,215 | 0           | 0           | 0           | 0                 | -0,73   | -0,73   | 0,75    |
| 14 | 0                                  | 0          | +<br>1,215 | 0           | 0           | 0           | 0                 | -0,73   | -0,73   | 0,75    |
| 15 | 0                                  | 0          | 0          | 0           | 0           | 0           | 0                 | -0,73   | -0,73   | -0,73   |

Результаты определения ширины разбрасывания измельченной массы.

| №  | Ширина разбрасывания, м |                 |                 |                 | $\sigma^2_j$ |
|----|-------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------|
|    | y <sub>j1</sub>         | y <sub>j2</sub> | y <sub>j3</sub> | y <sub>ср</sub> |              |
| 1  | 5,80                    | 5,50            | 5,40            | 5,57            | 0,043        |
| 2  | 4,40                    | 4,10            | 4,20            | 4,23            | 0,023        |
| 3  | 5,20                    | 5,30            | 5,50            | 5,33            | 0,023        |
| 4  | 4,10                    | 4,20            | 4,30            | 4,20            | 0,010        |
| 5  | 5,90                    | 5,70            | 6,10            | 5,90            | 0,040        |
| 6  | 4,80                    | 4,60            | 4,60            | 4,67            | 0,013        |
| 7  | 5,60                    | 5,80            | 5,70            | 5,70            | 0,010        |
| 8  | 3,70                    | 3,90            | 4,00            | 3,87            | 0,023        |
| 9  | 5,91                    | 5,85            | 5,97            | 5,91            | 0,004        |
| 10 | 3,82                    | 4,2             | 4,09            | 4,04            | 0,038        |
| 11 | 4,95                    | 5,15            | 5,10            | 5,07            | 0,011        |
| 12 | 4,21                    | 4,36            | 4,58            | 4,38            | 0,035        |
| 13 | 5,2                     | 5,05            | 5,26            | 5,17            | 0,012        |
| 14 | 4,98                    | 4,73            | 4,82            | 4,84            | 0,016        |
| 15 | 5,95                    | 6,02            | 6,15            | 6,04            | 0,010        |

Результаты определения равномерности распределения измельченной массы по поверхности поля.

| №  | Равномерность распределения, % |                 |                 |                  | $\sigma^2_j$ |
|----|--------------------------------|-----------------|-----------------|------------------|--------------|
|    | у <sub>j1</sub>                | у <sub>j2</sub> | у <sub>j3</sub> | у <sub>jср</sub> |              |
| 1  | 65,00                          | 67,00           | 64,00           | 65,33            | 2,333        |
| 2  | 45,00                          | 47,00           | 48,00           | 46,67            | 2,333        |
| 3  | 58,00                          | 56,00           | 59,00           | 57,67            | 2,333        |
| 4  | 49,00                          | 48,00           | 52,00           | 49,67            | 4,333        |
| 5  | 59,00                          | 59,00           | 63,00           | 60,33            | 5,333        |
| 6  | 42,00                          | 45,00           | 41,00           | 42,67            | 4,333        |
| 7  | 68,00                          | 66,00           | 66,00           | 66,67            | 1,333        |
| 8  | 41,00                          | 43,00           | 40,00           | 41,33            | 2,333        |
| 9  | 73,00                          | 74,00           | 73,00           | 73,33            | 0,333        |
| 10 | 47,00                          | 44,00           | 45,00           | 45,33            | 2,333        |
| 11 | 77,00                          | 75,00           | 74,00           | 75,33            | 2,333        |
| 12 | 69,00                          | 66,00           | 67,00           | 67,33            | 2,333        |
| 13 | 78,00                          | 79,00           | 80,00           | 79,00            | 1,000        |
| 14 | 72,00                          | 73,00           | 70,00           | 71,67            | 2,333        |
| 15 | 80,00                          | 84,00           | 83,00           | 82,33            | 4,333        |

Результаты определения средней длины измельченной массы.

| №  | Средняя длина измельчения, мм |     |     |        | $\sigma^2_j$ |
|----|-------------------------------|-----|-----|--------|--------------|
|    | yj1                           | yj2 | yj3 | yjcp   |              |
| 1  | 126                           | 130 | 129 | 128,33 | 4,333        |
| 2  | 132                           | 136 | 131 | 133,00 | 7,000        |
| 3  | 110                           | 108 | 105 | 107,67 | 6,333        |
| 4  | 132                           | 129 | 131 | 130,67 | 2,333        |
| 5  | 99                            | 102 | 97  | 99,33  | 6,333        |
| 6  | 137                           | 142 | 140 | 139,67 | 6,333        |
| 7  | 83                            | 85  | 80  | 82,67  | 6,333        |
| 8  | 132                           | 135 | 131 | 132,67 | 4,333        |
| 9  | 105                           | 109 | 104 | 106,00 | 7,000        |
| 10 | 128                           | 124 | 126 | 126,00 | 4,000        |
| 11 | 102                           | 99  | 103 | 101,33 | 4,333        |
| 12 | 91                            | 89  | 93  | 91,00  | 4,000        |
| 13 | 92                            | 95  | 94  | 93,67  | 2,333        |
| 14 | 90                            | 88  | 87  | 88,33  | 2,333        |
| 15 | 79                            | 85  | 82  | 82,00  | 9,000        |





19.07.2021

ПМ №205449

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | (19) RU (11) <b>205 449</b> (13) U1                                  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | (51) МПК<br>A01D 34/43 (2006.01)<br>(52) СПК<br>A01D 34/43 (2021.02) |
| ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА<br>ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                      |
| (12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                      |
| Статус: действует (последнее изменение статуса: 16.07.2021)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                      |
| (21)(22) Заявка: <u>2020143036</u> , 24.12.2020<br>(24) Дата начала отсчета срока действия патента:<br>24.12.2020<br>Дата регистрации:<br>15.07.2021<br>Приоритет(ы):<br>(22) Дата подачи заявки: 24.12.2020<br>(45) Опубликовано: <u>15.07.2021</u> Бюл. № 20<br>(56) Список документов, цитированных в отчете о<br>поиске: RU 191231 U1, 30.07.2019. RU 179685<br>U1, 22.05.2018. EP 3216337 B1, 26.12.2018.<br>US 4690224 A1, 01.09.1987.<br>Адрес для переписки:<br>390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1, ФГБОУ<br>ВО РГАУ, Безносок Р.В. | (72) Автор(ы):<br>Богданчиков Илья Юрьевич (RU),<br>Бышов Николай Владимирович (RU),<br>Бачурин Алексей Николаевич (RU),<br>Безносок Роман Владимирович (RU),<br>Есенин Михаил Анатольевич (RU),<br>Мартышов Алексей Игоревич (RU)<br>(73) Патентообладатель(и):<br>Федеральное государственное бюджетное<br>образовательное учреждение высшего<br>образования "Рязанский государственный<br>агротехнологический университет имени<br>П.А. Костычева" (ФГБОУ ВО РГАУ)<br>(RU) |                                                                      |

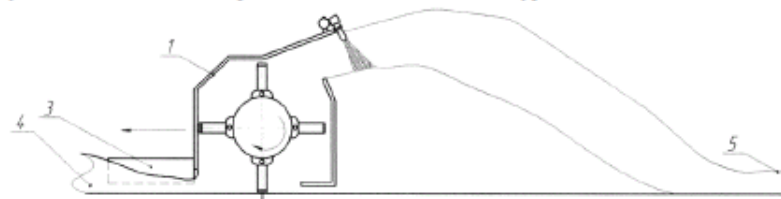
## (54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ НЕЗЕРНОВОЙ ЧАСТИ УРОЖАЯ

## (57) Реферат:

Полезная модель относится к устройствам для сельского хозяйства и может быть использована при уборке и утилизации побочной продукции растениеводства незерновой части урожая с дальнейшим ее использованием в качестве удобрения.

Полезная модель состоит из измельчителя-мульчировщика, содержащего снизу (не показано) для соединения с трактором, каркас с установленными в нем измельчающими барабанами, гидросистему, копирующие колеса, подбирающее устройство - граблины, опорные лыжи, защитные пластины, клиноременный привод измельчающих барабанов, конический редуктор, форсуночную секцию, состоящей из форсуночной рамы, содержащей десять центробежных форсунок, расположенных горизонтально вдоль осей измельчающих барабанов, смещенными к краю крышки за распределительными заслонками, оборудованными фильтром, с возможностью выполнения мелкодисперсного распыла рабочего раствора гуминового препарата с углом распыла до 130°, факел распыла - полный конус, с фильтром-отстойником, причем на передней части корпуса по центру расположен разравниватель валка соломы, выполненный в виде равнобедренного треугольника с перекрытием не более 60% ширины захвата рабочей ширины захвата измельчителя-мульчировщика.

Применение полезной модели позволяет повысить эффективность устройства для утилизации незерновой части урожая. 2 ил.



Фиг. 2

Полезная модель относится к устройствам для сельского хозяйства и может быть использована при уборке и утилизации побочной продукции растениеводства незерновой части урожая с дальнейшим ее использованием в качестве удобрения.



Заместитель генерального  
директора ОАО «Рязаньагрохим»

 К.Н. Дрожжин  
«17» января 2022 г.



Утверждаю  
Ректор ФГБОУ ВО РГАТУ

 А.В. Шемякин  
«17» января 2022 г.



### АКТ

#### внедрения законченной научно-исследовательской, опытно- конструкторской и технологической работы

Мы, нижеподписавшиеся, представитель федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» в лице научного руководителя д.т.н., профессора Борячева Сергея Николаевича, аспиранта Есенина Михаила Анатольевича и представитель ОАО «Рязаньагрохим» в лице заместителя генерального директора Дрожжина Константина Николаевича составили настоящий акт о том, что в период уборочной кампании 2020 и 2021 гг. были проведены полевые испытания в хозяйственных условиях на полях ОАО «Рязаньагрохим».

Место проведения, условия проведения испытаний.

Организация: ОАО «Рязаньагрохим», расположена по адресу Рязанская область, г. Рязань, ул. Лермонтова, д. 8, корп. 1.

Машинно-тракторный агрегат для проведения испытаний: трактор МТЗ-82.1 + измельчитель – мульчировщик Kverneland FX-230.

Модернизация – разравнивающее устройство соломистой массы незерновой части урожая (патент на полезную модель №205449 опубл. 15.07.2021 Бюл. №20).

Полевые испытания в хозяйственных условиях проводились с целью определения технико – экономических показателей серийной и модернизированной машины. Общий объем работ, выполненный измельчителем – мульчировщиком составил 86 гектар.

## Продолжение приложения Е

Результаты хозяйственных испытаний серийного и модернизированного измельчителя – мульчировщика Kverneland FX-230 в 2020 и 2021 году.

| Показатель                                     | Серийный | Модернизированный |
|------------------------------------------------|----------|-------------------|
| Скорость движения агрегата, км/ч               | 8,0      | 8,0               |
| Сменная производительность, га/см              | 66,16    | 114,88            |
| Часовая производительность, га/ч               | 8,27     | 14,36             |
| Часовой расход топлива, кг/ч                   | 8,57     | 9,0               |
| Сменный расход топлива, кг/семена              | 60,00    | 63,0              |
| Погектарный расход топлива, кг/га              | 2,38     | 2,5               |
| Ширина разбрасывания измельченной массы, м     | 3,4      | 5,8               |
| Средняя длина измельченной массы, мм           | 130      | 97                |
| Равномерность распределения массы по ширине, % | 50%      | 83%               |

В результате использования измельчителя – мульчировщика Kverneland FX-230, оборудованного разравнивающим устройством, был достигнут экономический эффект в 586,92 руб/га.

Замечания и предложения о дальнейшей работе по внедрению: признать конструкцию разравнивающего устройства измельчителя – мульчировщика Kverneland FX-230 (патент на полезную модель №205449 опубл. 15.07.2021 Бюл. №20) работоспособной и экономически эффективной.

Научный руководитель, д.т.н.,  
профессор ФГБОУ ВО РГАТУ  
Аспирант ФГБОУ ВО РГАТУ



Борычев С.Н.  
Есенин М.А.

Утверждаю  
Врио ректора ФГБОУ ВО РГАТУ  
А.В. Шемякин  
«18» октября 2021 г.

## АКТ

**внедрения законченной научно-исследовательской, опытно-конструкторской и технологической работы**

Мы, нижеподписавшиеся, представитель федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» в лице научного руководителя д.т.н., профессора Борычева Сергея Николаевича, аспиранта Есенина Михаила Анатольевича и представитель УНИЦ «Агротехнопарк» ФГБОУ ВО РГАТУ в лице директора Доронкина Юрия Владимировича составили настоящий акт о том, что результаты научно-исследовательской (опытно-конструкторской) работы на тему: «Обоснование параметров разравнивающего устройства измельчителя – мульчировщика незерновой части урожая», выполненной кафедрой строительства инженерных сооружений и механики ФГБОУ ВО РГАТУ внедрены в УНИЦ «Агротехнопарк» ФГБОУ ВО РГАТУ Рязанского района Рязанской области.

В период с 13 по 17 августа 2021 года на опытном участке площадью 32 гектара были проведены сравнительные полевые испытания серийного измельчителя – мульчировщика Kverneland FX-230 и измельчителя – мульчировщика Kverneland FX-230 оборудованного разравнивающим устройством (патент на полезную модель №205449 опубл. 15.07.2021 Бюл. №20) на работах по утилизации соломы в качестве удобрения.

В результате проведения исследования установлено следующее:

- Рабочая скорость машинно-тракторного агрегата МТЗ-82 + Kverneland FX-230, оборудованный разравнивающим устройством, составила 8 км/ч при часовой производительности 14,36 га/ч.



## Продолжение приложения Ж

- Расход топлива машинно-тракторным агрегатом МТЗ-82 + Kverneland FX-230, оборудованный разравнивающим устройством, составил 9,0 кг/ч.

- Средняя ширина разбрасывания измельченной соломы агрегатом МТЗ-82 + Kverneland FX-230, оборудованный разравнивающим устройством, составила 5,8 метра.

Внедрение результатов исследований дало возможность предприятию получить следующий технико – экономический эффект:

1. Утилизировать в качестве удобрения более 25 тонн соломы;
2. Получить экономию в топливе на утилизацию соломы в качестве удобрения в 7,78%.

Замечания и предложения о дальнейшей работе по внедрению:

1. Признать конструкцию разравнивающего устройства измельчителя – мульчировщика Kverneland FX-230 (патент на полезную модель №205449 опубл. 15.07.2021 Бюл. №20) работоспособной.

2. Совместно с кафедрой СИС и М ФГБОУ ВО РГАТУ продолжить работы по совершенствованию конструкции разравнивающего устройства измельчителя – мульчировщика Kverneland FX-230.

Директор УНИЦ «Агротехнопарк»

Агроном опытной

агротехнологической станции

Научный руководитель, д.т.н.,

профессор ФГБОУ ВО РГАТУ

Аспирант ФГБОУ ВО РГАТУ



Доронкин Ю.В.

Петрухин А.Г.

Борычев С.Н.

Есенин М.А.

04 октября 2021 г.