

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

ИКСАНОВ Шамиль Салихович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЯМОГО КОМБАЙНИРОВАНИЯ
ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР НА ПРИМЕРЕ КОМБАЙНА
РСМ-101 «ВЕКТОР-410» В УСЛОВИЯХ ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского
хозяйства

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

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

Челябинск, 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	10
1.1 Резервы повышения производства зерна пшеницы и других злаковых культур.....	10
1.2 Техническая оснащенность зерноуборочной техникой в условиях Южного Урала на примере Челябинской области	11
1.3 Пути повышения производительности зерноуборочных комбайнов.....	15
1.4 Технологические и физико-механические свойства зерновых культур.....	20
1.4.1 Технологические свойства зерновых культур, имеющие значение при обмолоте.....	20
1.4.2 Физико-механические свойства стеблей, имеющие значение при их срезании.....	25
1.5 Обзор и анализ технико-технологических разработок, обосновывающих целесообразность процесса прямого комбайнирования зерновых культур с двойным срезом стеблей.....	29
Выводы и задачи исследования	37
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПРОЦЕССА ПРЯМОГО КОМБАЙНИРОВАНИЯ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР С ДВОЙНЫМ СРЕЗОМ СТЕБЛЕЙ	40
2.1 Методические подходы к формированию математической модели и обоснования критерия эффективности технологического процесса прямого комбайнирования с двойным срезом стеблей	40
2.2 Обоснование информационной модели технологического процесса зерноуборочного комбайна как преобразующей технической системы с двойным срезом стеблей	45
2.3 Математическая модель процесса прямого комбайнирования зерновых культур с двойным срезом стеблей	52

2.4 Математическая модель процесса двойного среза стеблей.....	60
2.4.1 Установление закономерностей и зависимостей между поступательной скоростью режущего элемента режущего аппарата и рабочей скоростью движения зерноуборочного комбайна	68
Выводы по главе.....	76
3. МЕТОДИКА И ПРОГРАММА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	78
3.1 Программа экспериментальных исследований.....	79
3.2 Погрешность замеров параметров сельскохозяйственных машин и технологического процесса, число измерений.....	80
3.2.1 Определение числа измерений	81
3.3 Установление закономерностей изменения эксплуатационно-технологических показателей элементов процесса прямого комбайнирования зерновых культур с двойным или высоким срезом стеблей	81
3.3.1 Планирование пассивного эксперимента при определении эксплуатационно-технологических показателей зерноуборочных комбайнов	81
3.3.2 Установление агробиологической характеристики зерновых культур перед прямым комбайнированием	83
3.3.3 Методика определения изменения коэффициента соломистости в зависимости от высоты стеблестоя зерновых культур.....	83
3.3.4 Методика определения диаметра стебля пшеницы	85
3.3.5 Определение эксплуатационно-технологических показателей работы зерноуборочных комбайнов	85
3.4 Установление закономерностей изменения параметров технического устройства двойного среза стеблей зерновых культур	88
3.4.1 Планирование активного эксперимента при определении параметров технического устройства двойного среза стеблей.....	88

3.4.2 Описание экспериментальной установки двойного среза стеблей зерновых культур.....	90
3.4.3 Методика исследования параметров процесса двойного среза стеблей на лабораторной установке	91
3.4.4 Методика по оценке качества среза стеблей зерновых культур	92
3.5 Методика обработки экспериментальных данных и оценки погрешности измеряемых величин	94
3.6 Проверка средних значений измеренных величин параметров	95
Выводы по главе.....	95
4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	97
4.1 Установление закономерностей технологических свойств зерновых культур	97
4.1.1 Определение агробиологических показателей зерновых культур.....	97
4.1.2 Определение технологических параметров стеблей зерновых культур	103
4.2 Определение эксплуатационно-технологических показателей работы зерноуборочных комбайнов при уборке зерновых культур прямым комбайнированием с высоким или двойным срезом стеблей	108
4.2.1 Качественные показатели бункерного зерна пшеницы прямым комбайнированием с высоким или двойным срезом стеблей	112
4.2.2 Оценка измельчения соломы пшеницы при прямом комбайнировании с высоким или двойным срезом стеблей	113
4.2 Лабораторные исследования процесса двойного среза стеблей	114
зерновых культур	114
4.3.1 Определение минимальной критической скорости резания стеблей зерновых культур при двойном срезе	114
4.3.2 Полевые эксперименты по исследованию опытного образца режущего аппарата двойного среза стеблей.....	117
4.4 Оценка достоверности теоретической гипотезы работы	120

4.4.1 Адекватность теоретических и экспериментальных данных	121
Выводы по главе.....	122
5 ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	124
5.1 Экономическая эффективность применения комбайновой жатки с двойным срезом стеблей	124
5.2 Расчет экономической эффективности	124
5.3 Расчет годового экономического эффекта	128
5.4 Определение эффективности капиталовложений.....	128
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ	130
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	133
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	143

ВВЕДЕНИЕ

Вопрос уборки зерновых культур в Российской Федерации стоит на первом месте, поскольку в стране ежегодно недополучают зернового материала на 20–50 млн. т в связи с погодными условиями, отсутствием необходимой уборочной техники, нарушением технологических и логистических процессов во время уборки, а также неполной реализацией технических возможностей современных зерноуборочных комбайнов.

Результаты анализа технической переоснащенности комбайнового парка в условиях Челябинской области свидетельствуют о том, что происходит замена старых машин на новые класса «4», «5» и выше, то есть высокопроизводительными.

Высокопроизводительные комбайны требуют своей технологической загрузки в условиях работы сельхозтоваропроизводителя Челябинской области, которая, как показывает наука и практика, осуществляется за счет применения широкозахватных жаток и повышения рабочей скорости комбайна. В результате анализа научно-технической литературы установлено, что наиболее перспективным направлением загрузки машин является повышение рабочей скорости комбайнов за счет совершенствования процесса среза стеблей и конструкции рабочих органов режущих аппаратов комбайновой жатки.

Степень разработанности темы. Вопросами повышения эффективности использования комбайнов в период уборки зерновых культур занимались С.А. Алферов, Э.В. Жалнин, Э.И. Липкович, Н.И. Кленин, М.А. Пустыгин, В.Д. Саклаков, Н.И. Косилов, М.М. Константинов и другие. Разработкам режущих аппаратов для жаток, где основной задачей было снижение солоmistости хлебной массы перед обмолотом, посвящены работы В.П. Горячкина, А.Ш. Джамбуршина, Б.П. Кутепова и других ученых.

Однако предложенные технологические приемы и конструкции режущих аппаратов не обеспечивают необходимые условия для снижения солоmistости хлебной массы и потерь зерна. Данные решения не позволяют в полной мере осуществиться на практике ввиду сложности конструкций.

Цель исследования. Повышение эффективности прямого комбайнирования зерновых культур за счет совершенствования процесса среза стеблей.

Объект исследования. Процесс уборки зерновых культур жаткой при прямом комбайнировании и техническое средство для его реализации.

Предмет исследования. Закономерности, зависимости, параметры процессов прямого комбайнирования зерновых культур и среза стеблей.

Методика исследований. В ходе теоретических исследований были использованы методы системного и математического анализа, теоретической механики, сопротивления материалов и компьютерного моделирования. Результаты экспериментальных данных обрабатывались в соответствии с общепринятыми методиками планирования многофакторного эксперимента с использованием программных продуктов MathCAD 14, STATISTICA 10.

Научную новизну работы представляют:

- закономерности и зависимости, характеризующие эффективность прямого комбайнирования зерновых культур при высоком срезе стеблей;
- аналитическая зависимость, характеризующая изменение коэффициента соломистости хлебной массы в зависимости от длины стеблей зерновых культур;
- математическая модель процесса двойного среза стеблей зерновых культур;
- взаимосвязь между эксплуатационными параметрами комбайна и конструктивно-режимными параметрами режущего аппарата с бесконечно несущим приводом.

Практическая ценность:

- предложена конструкция устройства режущего аппарата комбайновой жатки (патент № 2547437 РФ от 10.04.2015 г.);
- получены результаты теоретических и экспериментальных исследований по повышению эффективности прямого комбайнирования зерновых культур и обоснование конструктивно-режимных параметров режущего аппарата с бесконечно несущим приводом.

Вклад автора в проведенное исследование. Получены аналитические зависимости, обосновывающие целесообразность осуществления

технологического приема уборки зерновых прямым комбайнированием с двойным срезом стеблей. Разработана математическая модель процесса двойного среза стеблей зерновых культур. Обоснованы конструктивно-режимные параметры режущего аппарата с бесконечно несущим приводом.

Внедрение. Экспериментальные исследования проводились в лаборатории кафедры «Уборочные машины» Южно-Уральского ГАУ (ЧГАА). Технологический прием уборки внедрен в хозяйствах Челябинской области: ОАО «Совхоз «Акбашевский» Аргаяшского района, ООО «Половинка» Увельского района.

Апробация. Основные положения диссертационной работы были доложены и обсуждены на ежегодных международных научно-практических конференциях ФГБОУ ВО Южно-Уральский ГАУ (ЧГАА) (Челябинск, 2012 – 2014 гг.), на V Всероссийской научно-практической конференции «Разработки Российской Федерации по приоритетным направлениям развития науки, технологии и техники» ФГБОУ ВПО (НИУ) ЮУрГУ (Челябинск, 2014 г.); Международных научно-практических конференциях «Аграрная наука и образование в условиях становления инновационной экономики» (Оренбург, 2012 г.) и «Влаго- и ресурсосберегающие системы земледелия в засушливых условиях Юго-Востока», посвященной 60-летию освоения целинных и залежных земель (Оренбург, 2015 г.) Аналитический материал и инженерно-техническая разработка отмечены дипломами на конкурсах: «Челябинская область – это мы» (Челябинск, 2015 г.), «Первый Всероссийский студенческий конкурс инновационных технологий аграрного машиностроения (СКИТАМ) от ООО «КЗ «Ростсельмаш» (Ростов-на-Дону, 2015 г.).

Научные положения, выносимые на защиту:

– теоретические результаты исследования и методический подход по повышению эффективности прямого комбайнирования зерновых культур в условиях региона Южного Урала;

– математическая модель процесса двойного среза стеблей зерновых культур и обоснование конструктивно-режимных параметров режущего аппарата с бесконечно несущим приводом;

– результаты экспериментальных исследований в лабораторных и производственных условиях, позволяющие определить как эксплуатационно-технологические параметры зерноуборочного комбайна, так и конструктивно-режимные параметры режущего аппарата с бесконечно несущим приводом.

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

Публикации. По материалам диссертации опубликованы восемь статей, из них шесть – в журналах, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ, а также выпущены рекомендации. Получен патент РФ на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка использованной литературы и приложений. Работа изложена на 142 страницах машинописного текста, включая список литературы из 127 наименований, 23 таблиц, 43 рисунков и 8 приложений.

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Резервы повышения производства зерна пшеницы и других злаковых культур

Для России проблема повышения эффективности зернового производства является первостепенной задачей, поскольку эта важнейшая отрасль агропромышленного комплекса (АПК) не только обеспечивает население страны важнейшими видами продовольствия – хлебопродукты составляют в рационе потребителя до 40% калорийности в суточном рационе [51] – но и имеет большую экспортную силу (по экспорту зерна Россия вышла на третье место в мире [112]).

Объем производства зерна в Российской Федерации в 2011 году составил 94,2 млн. тонн, что на 15,6% больше, чем в 2007 году. Сельскохозяйственными производителями страны в 2011 году было реализовано 65,8% валового сбора зерна, а 20,9 % осталось для внутреннего потребления, из которого 10,3% – зерно семенного назначения [112]. Поэтому получение высоких и стабильных урожаев пшеницы и других культур было и остается основной целью сельского хозяйства.

Культура земледелия, как правило, зависит от комплекса факторов: способов обработки почвы, уборки урожая и других. Степень влияния агроприемов на формирование урожая показана в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Доля агротехнических приемов в формировании урожайности яровой пшеницы по Уральскому региону, % [15]

Пар с внесением минеральных удобрений	Снего-задержание	Уборка* с опозданием на 14 дней	Зяблевая обработка	Посев* с опозданием на 7 дней
18	10	– 10	8	– 4

*-снижение урожайности

Из таблицы 1.1 видно, что наиболее негативно на урожайность оказывает влияние такой агротехнический прием, как уборка урожая зерновых культур. Продолжительность уборки урожая по регионам Российской Федерации (с учетом

уборки разных по срокам созревания сельскохозяйственных культур) превышает нормативные в 3–9 раз. В агротехнический срок убирается лишь около 30% полей. Отсюда потери зерна, которые превышают 9 млн. т [113,127,37].

В настоящее время уборка зерновых культур в Российской Федерации осуществляется комбайновым способом, которым убирается около 99% зерновых культур. Основу комбайнового способа уборки урожая составляют зерноуборочные комбайны, парк которых с 1990 г. и годовой выпуск уменьшились соответственно в 2,5 раза и в 10 раз, а нагрузка на одну машину возросла в 1,9 раза (с 155 до 297 га). При общей нагрузке на комбайн в пределах 140–1010 га [127,37].

Таким образом, дальнейшее повышение эффективности уборки зерновых культур требует поиска современных технологических и технических решений.

1.2 Техническая оснащенность зерноуборочной техникой в условиях Южного Урала на примере Челябинской области

В Российской Федерации посевы зерновых культур занимают до 40,0 млн. га [112], при этом на Челябинскую область приходится около 2,0 млн. га. Статистические данные свидетельствуют о том, что в Челябинской области за период с 2007 г. по 2011 гг. площадь посева зерновых культур увеличилась на 17%. В структуре посевных площадей Челябинской области на зерновые приходится более 69%. Валовой сбор зерна в Челябинской области обеспечивает на 60,0–80,0% собственное производство. При этом более 60,0% зерна перерабатываются на пищевые и кормовые цели [98,91].

Продолжительность уборки зерновых культур в хозяйствах Челябинской области в большинстве случаев превышает допустимые агротехнические сроки. Средний суточный темп уборки зерновых не превышает 3,0% от общего объема, в связи с чем уборка урожая длится 30–40 дней вместо 15–20 дней. В результате низких темпов не соблюдаются агротехнические сроки уборки, вследствие чего прямые потери биологического урожая достигают 20,0–30,0% [127,37].

Одной из главных проблем, препятствующих развитию сельского хозяйства в Челябинской области, является недостаточное обеспечение

селхозтоваропроизводителей техникой. Так, приведенный анализ численности зерноуборочных комбайнов в Челябинской области, представленный на рисунке 1.1, свидетельствует о существенном сокращении комбайнового парка.

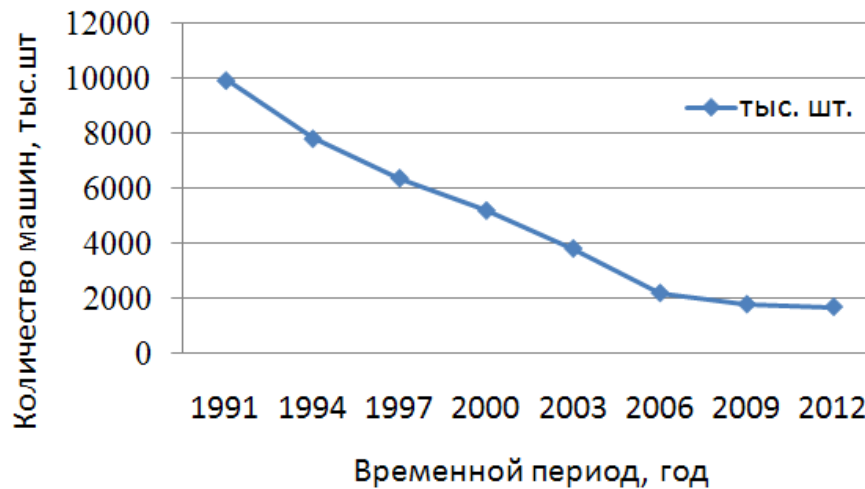


Рисунок 1.1 – Численность комбайнового парка Челябинской области [7]

Анализ данной зависимости показывает, что в начале 90-х годов количество зерноуборочных комбайнов в Челябинской области составляло фактически 10 тыс. шт. К 2011 году их количество снизилось в 6 раз. Причиной данного сокращения является то, что сельхозтоваропроизводители по причине низкой эффективности производственных условий не имеют возможности постоянно обновлять парк зерноуборочных комбайнов, что ведет к интенсивному износу техники, состоящей на балансе организации. Так, по данным таблицы 1.2 в Челябинской области этот показатель в 2011 году составил 2 шт., 2012 году – 1,1 шт., 2013 году – 1,1 шт., что ниже, чем в среднем по России (3,0 шт. [91], по нормативу должно быть 7,8 шт. на 1000 га).

Таблица 1.2 – Количество зерноуборочных жаток по Челябинской области [7,8]

Показатель	Годы					2011в % к 2007
	2007	2008	2009	2010	2011	
Комбайны зерноуборочные	2054	2000	1763	1682	1668	81,2
Приходится комбайнов на 1000 га посевных площадей зерновых	3	3	2	2	2	66,7

В настоящее время соотношение прямого комбайнирования и отдельного способа уборки урожая составляет в хозяйствах в среднем 50:50 и 60:40, а в отдельных доминирует прямое комбайнирование зерновых культур.

Проведенный анализ марочного состава комбайнового парка в Челябинской области (таблица 1.3) показал, что состав парка зерноуборочных машин сформирован комбайнами производства ООО «КЗ «Ростсельмаш».

Таблица 1.3 – Количество и марочный состав зерноуборочных комбайнов по Челябинской области [91]

Марки комбайнов	Годы							2013 в % к 2007гг.
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	
Енисей-1200	391	345	310	264	241	237	229	58,6
СК-5 «Нива» и прочие с $q < 6$ кг/с	1341	1245	980	851	767	633	540	40,3
Дон-1500 и «Акрос»	185	206	211	249	288	299	305	1,65 раза
Вектор 410/420	46	81	102	134	171	183	203	4,41 раза
Комбайны семейства «Енисей-950»	29	44	51	56	59	61	68	2,34 раза
Комбайны семейства КЗС «Гомсельмаш»	10	17	21	32	38	94	183	13,4 раза
Комбайны иностранных марок	52	62	88	96	101	154	183	3,5 раза
РСМ-181 «Горум-740»	-	-	-	-	3	3	3	-
Всего:	2054	2000	1763	1682	1668	1664	1669	81,2

Из таблицы 1.3 видно, что общее количество комбайнов год от года сокращается. Сокращение происходит за счет марок комбайнов с малой пропускной способностью молотилки, таких, как: СК-5М «Нива» и «Енисей-1200». При этом комбайновый парк обновляется за счет современных высокопроизводительных машин следующих марок: «АКРОС-530» и его модификаций, «ВЕКТОР-410/420» и «ТОРУМ-740», а также комбайнов марок «Енисей-4000(5000)», «КЗС» (Гомсельмаш) и некоторых зарубежных фирм («КЛААС, Джон-Дир и других).

Из данных таблицы 1.3 следует, что за последние пять лет количество комбайнов с пропускной способностью молотилки до 6,0 кг/с снижается и возрастает доля комбайнов с пропускной способностью свыше 6,0–8,0 кг/с.

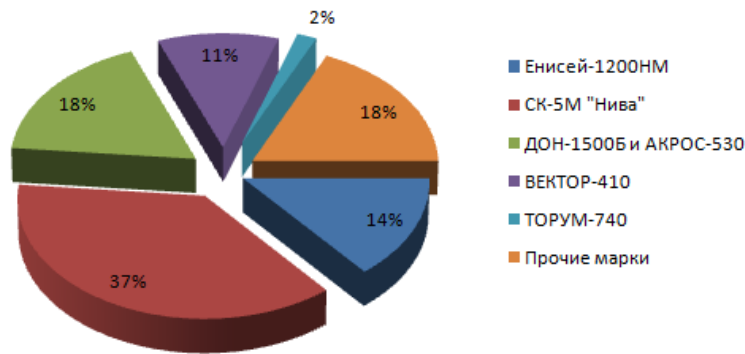


Рисунок 1.2 – Марочный состав зерноуборочных комбайнов Челябинской области на 2012 год

Несмотря на это, основу парка зерноуборочных комбайнов Челябинской области составляют комбайны «Енисей-1200» и СК-5М «Нива» (рисунок 1.2) (с пропускной способностью менее 6 кг/с) – 60,4%, которые выполняют около 50% от всего объема уборочных работ. Оставшийся объем (50–60%) работ выполняется высокопроизводительными комбайнами (пропускной способностью свыше 7 кг/с) составляющими 17,2% от общего количества парка. При этом нагрузка на один комбайн составляет 473 га [98].

Анализ возрастного состава зерноуборочных комбайнов показывает, что 70–75% машин находятся за нормативным сроком эксплуатации. При среднем возрасте парка зерноуборочных комбайнов 13,5 лет срок службы до 8 лет имеют 8,3%; от 8 до 10 лет – 18,3% и свыше 10 лет – 73,4%. Изношенность машин составляет 80,0%. Техническая готовность машин в период уборки урожая находится в пределах 50,0–70,0% при нормативе 85,0–92,0% [4,54]. Средний простой из-за отказов составляет 4–6 часов [34]. При этом одновременно с физическим устареванием происходит и моральный износ. В связи с этим сельхозтоваропроизводители Челябинской области приобретают зерноуборочные комбайны импортного производства.

Эксплуатация таких комбайнов показывает, что отечественные зерноуборочные комбайны уступают зарубежным аналогам по производительности, металлоемкости, надежности, которая выше в несколько раз. Однако при этом стоимость их также выше, чем отечественных машин. Несмотря на это, наблюдается тенденция роста их числа в комбайновом парке Челябинской области (таблица 1.3).

Однако проблема сокращения сроков уборки урожая, а следовательно, и потерь зерна при использовании импортных зерноуборочных комбайнов не решается.

Негативное влияние на продолжительность сроков проведения полевых работ оказывает такой фактор, как низкая квалификация механизаторов [79]. Тенденцию к росту доли механизаторов, имеющих низкую квалификацию, можно объяснить старением и оттоком трудовых ресурсов из сельскохозяйственных предприятий Челябинской области.

Увеличение сроков уборки зерновых культур по различным причинам приводит к недобору урожая не только в виде прямых потерь, но и косвенных, характеризующих снижение качественных показателей зерна пшеницы и других культур, в частности посевных свойств зерна.

В настоящее время в некоторых хозяйствах Челябинской области используется при посеве до 50% некондиционных семян, что влечет за собой снижение урожайности. Так, за последние пять лет (2007–2011 гг.) в Челябинской области урожайность зерновых культур не превышала 1,4–1,5 т/га, а в отдельных районах области и 1,1 т/га [91,98]. Большая доля (40,0–50,0%) малоурожайных полей в общей площади посева зерновых культур означает низкую эффективность производства зерна, а также использования дорогостоящих высокотехнологичных зерноуборочных комбайнов с большой пропускной способностью молотилки.

Таким образом, несмотря на действия ряда негативных факторов на производстве, техническое перевооружение парка зерноуборочных комбайнов сельхозтоваропроизводителей Челябинской области осуществляется посредством машин, имеющих большую пропускную способность молотилки. Использование данной группы зерноуборочных комбайнов Челябинской области во время уборки урожая зерновых культур прямым комбайнированием на полях с малой урожайностью требует изыскания технологических (технических) путей повышения их часовой производительности.

1.3 Пути повышения производительности зерноуборочных комбайнов

Общеизвестно, что часовая производительность зерноуборочного комбайна характеризуется функцией [8, 85, 95, 1, 93]:

$$W_{\text{ч}} = 0,1 \cdot B_{\text{жс}} \cdot V_{\text{р}} \cdot \tau_{\text{см}}, \quad (1.1)$$

где $B_{\text{жс}}$ и $V_{\text{р}}$ – соответственно ширина захвата жатки (м) и рабочая скорость движения комбайна (км/ч);

$\tau_{\text{см}}$ – коэффициент использования времени смены.

Из выражения (1.1) видно, что часовая производительность комбайна определяется прежде всего шириной захвата жатки ($B_{\text{жс}}$) и рабочей скоростью движения ($V_{\text{р}}$) машины.

Практика и наука свидетельствуют, что максимальная ширина захвата жатки ограничивается возможностями оператора (комбайнера) машины. Специальные исследования и практический опыт указывают, что на прямом комбайнировании при ширине захвата свыше 7,0 метров значительно усложняется управление комбайном: оператор не успевает управлять режущим аппаратом и следить за технологическим процессом молотилки. Установлено, что при скашивании зерновых культур, когда внимание оператора не отвлекается для наблюдения за технологическим процессом работы молотилки, ширина захвата жатки возможна до 10 метров [1, 8].

Однако в ряде работ [1,8,48,114] отмечается, что широкозахватную жатку комбайнов для прямого комбайнирования, технически надежную, весьма трудно создать, что практически подтверждает способ уборки зерновых, предложенный В.В. Бледных, Н.И. Косиловым и другими [55,61], и практикой в 1970–80 гг. Этот способ называется *непрерывной технологией*, когда предусматривается скашивание и укладка растительной массы в валки в фазе полной спелости зерна жаткой типа ЖВП-9 или аналогичным с подбором без разрыва во времени высокопроизводительными или высокотехнологичными комбайнами семейства «АКРОС», «ВЕКТОР» (РФ), «Джон-Дир» (США), «КЛААС» (Германия) и другими. Тем самым обеспечивается их технологическая загрузка по пропускной способности молотилки и рост часовой производительности машин, поскольку по данным работ [1,5,8,85] в условиях Южного Урала и Западной Сибири при прямом комбайнировании пропускная способность молотилки используется на 50,0–60,0%, а на малоурожайных и малосоломистых зерновых культурах – на 30,0–40,0%.

Вышеизложенное и данные работ [8,48,85,100,93] свидетельствуют о том, что часовую производительность высокопроизводительных зерноуборочных комбайнов целесообразно повысить за счет увеличения рабочей скорости движения машины при уборке зерновых прямым комбайнированием. Поскольку степень влияния фактора – рабочей скорости движения машины (2) на часовую производительность более существенна, чем увеличение ширины захвата (1) комбайновой жатки (рисунок 1.4), что практически подтверждают современные конструкции комбайнов. Так, комбайны фирмы «Дойтц Фтор», «КЛААС» (Германия), «ВЕСТЕРН» (Канада), «Джон-Дир» (США), «ДОН», «ВЕКТОР» и «АКРОС» (Российская Федерация) и другие имеют рабочую скорость до 9,0–12,0 км/ч [70,118,6,93,65,86].

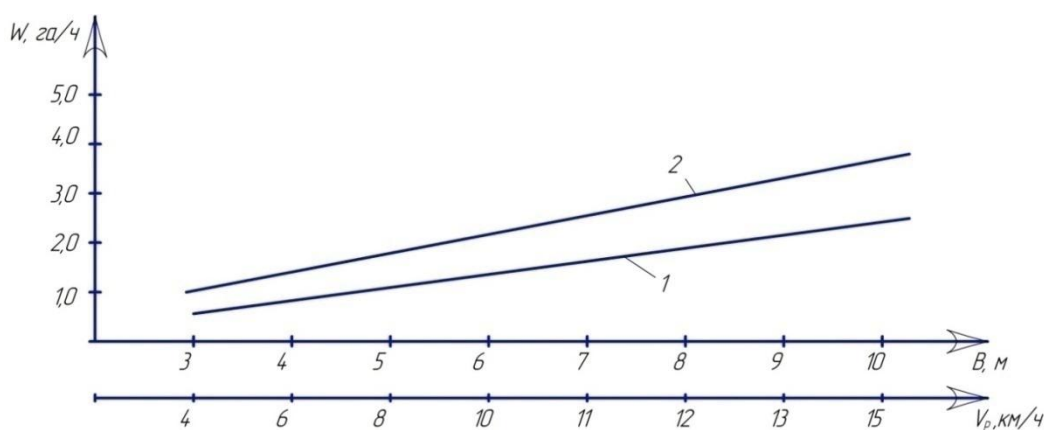


Рисунок 1.3 – Изменение производительности машины от ширины захвата жатки (1) и рабочей скорости машины (2)

В реальных условиях зерноуборочные комбайны работают на скоростях более низких, чем максимально допустимые. В зависимости от макро- и микрорельефа поля, состояния стеблестоя убираемой культуры, профессиональных и субъективных свойств оператора и других факторов реальные скорости не превышают 80–85% максимально допустимой. Следовательно, и наибольшие реальные подачи обрабатываемой хлебной массы в комбайн, и наибольшие значения производительности комбайна за 1 час сменного времени будут ниже на 15–20% [1].

Такой скоростной режим при обмолоте хлебной массы свидетельствует о целесообразности оснащать конструкцию комбайна узкозахватной жаткой шириной от 5 до 7 м, поскольку только в этом случае возможно обеспечить существенное увеличение рабочей скорости движения машин.

Кроме того, по мнению зарубежных ученых [93], уменьшение ширины захвата комбайна почти не влияет на производительность, так как обмолачивающий аппарат сохраняет свои размеры. Узкозахватные комбайны работают со скоростью в 1,5–2,0 раза большей, чем комбайны с жаткой шириной захвата 5 метров и более. При уборке пшеницы узкозахватными комбайнами на скорости до 8,0 км/ч потери зерна составляют 1,7%, у широкозахватных в тех же условиях, но на скорости 4,0 км/ч – достигают 3,0%.

Данную закономерность подтверждает и практика использования в производственных условиях комбайнов «Джон-Дир» серии 9500 и других марок на прямом комбайнировании зерновых культур, когда операторы (комбайнеры) стремятся оснащать комбайны жатками шириной захвата до 6–7 метров, поскольку в этом случае обеспечивается увеличение рабочей скорости движения машины, а отсюда и рост часовой производительности комбайна.

Между тем практикой и наукой установлено, что максимальной скоростью комбайна следует считать $V_{max} = 8,0$ км/ч, так как после этой скорости резко возрастают потери зерна, что связано с эффективностью работы очистки [1].

Помимо этого, такая скорость (8,0 км/ч) не является рабочей и рекомендуется работать на скоростях 5–6 км/ч по причине того, что на скоростях более 5–6 км/ч усиливается тряска комбайна и значительно ухудшаются условия работы оператора машины, превышая пределы, допустимые медико-санитарными нормами (ускорения $0,1$ м/с² при частоте 1,5 Гц). В таких условиях оператор быстро утомляется, качество работы заметно ухудшается, и это вынуждает оператора снижать скорость [1]. С данным негативным явлением можно согласиться, когда масса зерноуборочного комбайна составляет 5000–7500 кг.

Практика использования высокопроизводительных комбайнов типа «Дон-1500Б» (масса свыше 10000 кг) свидетельствует, что за счет большей массы и лучшей ходовой части динамика процесса движения комбайна по полю видоизменяется, и то, что было характерно для комбайнов массой 5000–7500 кг при скорости свыше 5–6 км/ч, для комбайнов массой свыше 10000 кг наблюдается на более высоких скоростях до 9–10 км/ч и выше в зависимости от агрофона поля.

В связи с чем на современных высокопроизводительных комбайнах «КЛААС» (Германия), «Джон-Дир» (США), «АКРОС» (РФ) и других используются более эффективные системы очистки, а на жатках (хедерах) – режущие аппараты типа «Шумахер» [100, 70, 118, 6].

Общеизвестно, что рабочая скорость комбайна (V_P) зависит от ширины захвата жатки ($B_{Ж}$), пропускной способности молотилки (q), урожайности зерна (Y_3) и соломистости (δ_c) убираемой культуры (δ_c - отношение массы зерна к массе соломы в убираемой культуре). В общем виде скорость равна [8, 1]:

$$V_P = \frac{q}{k \cdot B_{Ж} \cdot Y_3 \cdot \left(\frac{\delta_c - 1}{\delta_c}\right)}, \quad (1.2)$$

где k – коэффициент пропорциональности, $k = 0,6$.

Из выражения (1.2) следует, что на поступательную скорость зерноуборочного комбайна при обмолоте хлебной массы, помимо конструктивных параметров, влияют физико-механические свойства и технологические параметры убираемых культур, в частности соломистость или соотношение зерна и соломы по массе. Увеличение доли соломы (δ_c) приводит к снижению поступательной скорости машины и, следовательно, часовой производительности, а также увеличению энергоемкости процесса уборки хлебной массы как на стадии обмолота колосовой части в молотильно-сепарирующих устройствах, так и на стадии измельчения соломы в измельчительно-разбрасывающих системах комбайнов.

Практически все современные зерноуборочные комбайны предназначены для выполнения технологического процесса обработки всей скошенной хлебной массы, поскольку они, согласно международному стандарту ИСО 6689-81, оснащаются жаткой (хедером). В международном стандарте отмечается, что «...жатка (хедер) – агрегат комбайна, включающий в себя механизм для скашивания, сбора, сбрасывания или подбора сельскохозяйственных культур...» [70]. Из определения видно, что традиционная жатка (хедер) зерноуборочного комбайна практически не видоизменяет технологические параметры убираемых сельскохозяйственных культур.

Вышеизложенное свидетельствует о том, что часовую производительность комбайнов в период уборки урожая зерновых культур прямым комбайнированием

можно повысить за счет увеличения рабочей скорости движения машин. Однако в этом случае, как показывает практика, целесообразно использовать жатки шириной захвата до 6–7 метров, что не совсем эффективно в условиях Южного Урала, по причине малой урожайности зерновых культур. Применение традиционной широкозахватной жатки до 9,0 метров – это снижение рабочей скорости движения машин и увеличение потерь зерна за жаткой. Кроме того, вся хлебная масса поступает в молотильный аппарат комбайна без изменения соотношения зерна и соломы по массе, что отразится на его пропускной способности, а следовательно, и на часовой производительности.

Таким образом, для повышения эффективности использования высокотехнологичных зерноуборочных комбайнов в условиях региона Южного Урала необходимо разработать такой процесс прямого комбайнирования зерновых культур, в котором будет осуществляться изменение отдельных технологических параметров зерновых культур перед их обмолотом в молотильном аппарате комбайна. Применяемые широкозахватные жатки комбайнов должны быть оснащены режущим аппаратом, который будет обеспечивать работу зерноуборочных комбайнов на повышенных рабочих скоростях (до 2,5–2,8 м/с), что возможно осуществить за счет совершенствования конструктивно-режимных параметров режущего аппарата комбайновой жатки. Однако для решения данных вопросов в работе необходимо рассмотреть особенности технологических и физико-механических свойств зерновых культур.

1.4 Технологические и физико-механические свойства зерновых культур

1.4.1 Технологические свойства зерновых культур, имеющие значение при обмолоте

На формирование основных технологических и физико-механических свойств зерновых культур влияют не только агрономические, но и биологические факторы, обусловленные культурой и сортом.

Технологические свойства стеблестоя приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Показатели технологических свойств стеблестоя зерновых культур [19]

Показатель	Численное значение	Характеристика состояния стеблестоя
Урожай зерна, т/га	Более 4,0	Высокоурожайный
	2,0-4,0	Среднеурожайный
	1,0-2,0	Малоурожайный
	Менее 1,0	Низкоурожайный
Длина растений, м	Свыше 1,2	Длиннорослый
	0,9-1,2	Высокорослый
	0,6-0,9	Среднерослый
	Менее 0,6	Низкорослый
Густота стеблестоя, шт./м ²	Более 500	Очень густой
	400-500	Густой
	30-400	Нормальной густоты
	200-300	Среднегустой
	Менее 200	Изреженный
Соотношение зерна и соломы по массе	1:2-1:3,5	Высокосоломистый
	1:1-1:2	Среднесоломистый
	1:0,3-1:1	Малосоломистый
Засоренность по массе, %	Свыше 20	Сильная
	10-20	Средняя
	До 10	Слабая
Влажность зерна и соломы, %	Свыше 25 и 35	Сырой
	20-25 и 20-35	Очень влажный
	15-20 и 10-20	Влажный
	7-15 и 5-10	Сухой
	Ниже 7 и 5	Пересохший

Главное технологическое свойство хлебной массы – это урожай зерна, а основными являются: соотношение зерна и соломы по массе, густота стеблестоя, длина растений, засоренность, влажность зерна и соломы, влажность сорняков, спелость зерна. При этом особенно неблагоприятное влияние на эффективность использования и качество работы зерноуборочных машин оказывает колебание этих показателей не только на различных полях, но и в пределах одного поля.

Наука и практика показывают, что наибольшую степень вариации имеют урожай соломы пшеницы (коэффициент вариации – 30,0%), затем урожай зерна (28,1%) и густота стеблестоя (19,2%). Наименьшую степень вариации – длина растений (8,3%) и масса 1000 зерен (5,2%). Данные значения свидетельствуют, что улучшение агротехники возделывания позволяет получать более равномерную

густоту стояния стеблестоя, а следовательно, и уменьшить неравномерность урожая зерна и соломы в пределах поля [15]. Кроме того, установлено, что с ростом урожайности зерновых культур (с 1,2 до 2,0 т/га) и густоты стеблестоя (с 350 до 450 шт./м²) наблюдается уменьшение коэффициента вариации густоты хлебостоя яровой пшеницы (с 21,2% до 17,7%) [43]. Неравномерность стеблестоя вызывает неравномерную подачу хлебной массы в молотильно-сепарирующее устройство зерноуборочных комбайнов.

Среди множества биометрических показателей, характеризующих состояние стеблестоя, на качество работы и производительность зерноуборочных комбайнов большое влияние оказывает влажность зерна и соломы (рисунок. 1.4) [95].

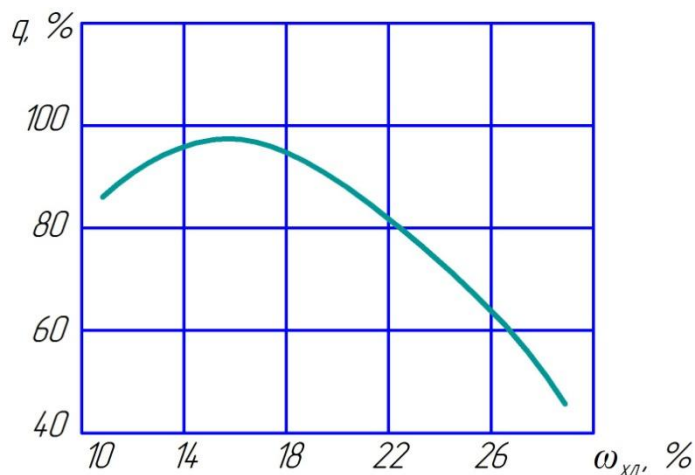


Рисунок 1.4 – Изменение пропускной способности (q) в зависимости от влажности хлебной массы ($\omega_{хл}$) [95]

Эти показатели (влажность зерна и соломы) наиболее изменчивы даже в пределах одного дня. Установлено, что влажность зерна на корню в течение суток подчинена некоторой закономерности [11, 95]: утром и вечером она выше, чем днем, так как колебание влажности зерна связано с изменением относительной влажности воздуха.

В ходе исследований [95, 43, 83, 62, 11] было установлено, что влияние влажности зерна на пропускную способность комбайна как самостоятельного фактора несущественно в сравнении с соломистой массой, в связи с чем в теоретических и практических расчетах производительности комбайна данной влажностью пренебрегают. Однако она существенно влияет на механические

повреждения зерна в процессе обмолота хлебной массы, то есть влияет на качество работы комбайна.

Неравномерность влажности зерна отмечена также в колосе (метелке): в нижней части колосьев зерно, как правило, влажнее, чем в верхней. При этом отмечена большая широта этих различий – от 10 до 44% (при средней влажности 15,5%) [15,83]. К середине дня эта разность резко сокращается, поэтому зерно, обмолоченное комбайном в утренние часы, не является столь однородным по влажности отдельных зерен, как зерно, убранное днем.

Кроме того, влажность отдельных частей растений различается существенно, так у зерновых колосовых культур в верхней части стебля она составляет 15,0–25,0%, а в нижней – 21,0–48,0%; у метелочных культур (овес, просо) – в верхней части влажность стебля колеблется в пределах 20,0–45,0%, а в нижней – 60,0–67,0% [116,57,44], что подтверждено опытными данными.

Данная закономерность распределения в растении по высоте стеблестоя хлебной массы существенным образом влияет и на показатель соотношения зерна и соломы по массе, поскольку от него зависит вымолот зерна, то есть качество работы и эффективность использования комбайнов.

Для оценки соотношения зерна и соломы по массе применяют коэффициент соломистости δ_c , определяемый по выражению:

$$\delta_c = m_c / (m_z + m_c), \quad (1.3)$$

где m_c – масса соломистой части растений;

m_z – масса зерна.

Коэффициент соломистости убираемых хлебов изменяется в широких пределах: он больше у длинностебельных малоурожайных культур и меньше у короткостебельных хлебов с большой урожайностью зерна. Средние значения δ_c для пшеницы составляют 0,5...0,6. За эталон при разработке молотилок для зерновых культур принимают $\delta_o = 0,6$, то есть $m_z \div m_c = 1 \div 1,5$ [1,8].

В странах Западной Европы и США максимально возможную производительность зерноуборочных комбайнов определяют при потерях зерна за молотилкой в 2,0% на высокоурожайной пшенице до 10 т/га. Соотношение масс зерна

и соломы искусственно (посредством увеличения высоты среза растений) снижают до 1:0,5–1:0,7, что соответствует значениям коэффициента соломистости $\delta_c = 0,33–0,41$. В таких условиях производительность в 30, 40, 50 т/ч и выше вполне реальна для комбайнов с пропускной способностью молотилки от 8–9 до 11–12 кг/с [95].

Общеизвестно [8, 43, 95], что уменьшение соломистости обрабатываемой массы убираемой культуры приводит к заметному повышению пропускной способности молотильного аппарата и резкому росту максимально возможной производительности зерноуборочного комбайна. Кроме того, соотношение зерна и соломы по массе оказывает влияние и на качество работы молотильного аппарата комбайна: чем выше соломистость хлебной массы, тем ниже часовая производительность, тем больше потери зерна за комбайном.

Так, расчеты в работах [8, 95] показывают, что уменьшение соломистости пшеницы, соответствующее изменению коэффициента соломистости от 0,6 до 0,4, приводит к росту пропускной способности и максимально возможной производительности отечественного зерноуборочного комбайна «Дон –1500Б» при потерях зерна за молотилкой 1,5% соответственно в 1,34 и 3,0 раза (таблица 1.5).

Таблица 1.5 – Влияние соломистости на пропускную способность молотилки и производительность комбайна [64, 50]

Коэффициент соломистости (δ_c)	Пропускная способность молотилки (q), кг/с	Производительность комбайна (W), т/ч
0,6	8,0	11,5
0,5	9,1	19,8
0,4	10,7	34,7

Соломистость хлебной массы зависит от высоты среза растений в период уборки урожая. Так, из графической зависимости (рисунок 1.5) видно, что соломистость ярового ячменя (*сплошная линия*) линейно убывает до 2/3 высоты среза, затем возрастает вследствие остистости [95, 83]. Соломистость озимой пшеницы (*пунктирная и штрихпунктирная линии*) ввиду отсутствия остей уменьшается с увеличением высоты среза (рисунок 1.5). При этом установлено, что наибольшая масса соломы на единицу высоты приходится на нижнюю часть стебля.

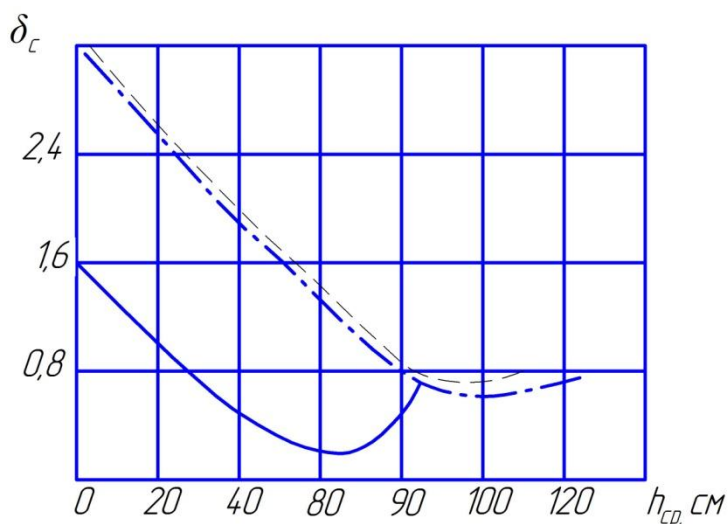


Рисунок 1.5 – Изменение солоmistости хлебной массы в зависимости от высоты среза [16, 27]

Таким образом, результаты анализа технологических свойств зерновых культур показывают, что в момент уборки урожая показатели условно можно разбить на две группы: управляемые и неуправляемые. К управляемым можно отнести как длину стеблестоя, так и соотношение зерна и соломы по массе, а также частично и засоренность зерновых культур, поскольку она видоизменяется за счет обработки посевов гербицидами.

Влага в растении по высоте распределена неравномерно, что является одной из причин изыскания технологических и технических решений, обеспечивающих отсутствие технологического воздействия рабочих органов комбайна на нижнюю часть растений зерновых культур, а следовательно, изменяющих соотношение зерна и соломы по массе, что на практике возможно осуществить за счет совершенствования процесса среза стеблей зерновых культур комбайновой жаткой. Однако для этого необходимо знать особенности физико-механических показателей стеблей.

1.4.2 Физико-механические свойства стеблей, имеющие значение при их срезании

Стебли сельскохозяйственных растений состоят из клеток, которые располагаются в определенном порядке, образуя ткани. Сосудисто-волокнистые пучки ткани являются наиболее прочными элементами и играют роль арматуры

стебля. Стебель представляет собой конструкцию малого веса, большой прочности и гибкости. Сопротивление изгибу стебля круглого сечения одинаково в любом направлении. По своей форме стебель напоминает консольную балку равного сопротивления изгибу [116].

Упругие свойства стеблей. Жесткость (E) стеблей растений, противодействующая их изгибу рабочими органами жатки, является важнейшим фактором, определяющим качество работы машин. При кошении срез растений происходит тогда, когда сопротивление стебля отгибу становится значительным. Жесткость, выраженная произведением модуля деформации изгиба (E) на момент инерции площади поперечного сечения (J), является показателем механических свойств стеблей, выражающих их сопротивление изгибу.

Экспериментальными исследованиями установлено, что с увеличением отгиба стеблей усилие растет. При дальнейшем росте отгиба усилие переходит через максимальное значение и уменьшается [32]. В связи с чем в расчетах используют максимальные значения сопротивления стеблей изгибу, что дает возможность получить оптимальные параметры среза стеблей.

Сопротивление стеблей срезанию [32]. Опытным путем выявлено, что при скорости ножа 8–15 м/с и остром лезвии вертикально стоящий одиночный стебель не перерезается в строго вертикальном положении. При встрече ножа со стеблем в момент удара происходит одновременное возрастание усилий в ноже и растяжение стебля. В момент резания нож многократно ударяет стебель с все уменьшающейся амплитудой и частотой удара. При достаточном отгибе стебля, когда сила инерции окажет необходимое сопротивление дальнейшему отклонению стебля, последний начинает срезаться ножом. Срез группы стеблей, не имеющих опоры, беспорядочен как в отношении отгиба, так и усилия резания. Срез стебля, имеющего две опоры, происходит стабильно, быстро и качественно и при меньших усилиях, поскольку коэффициент упругости при срезе стебля, имеющего две опоры, в 8 тысяч раз больше коэффициента упругости стебля при его консольном закреплении. Следовательно, стеблю, опирающемуся на две опоры, достаточно прогнуться на десятые доли миллиметра, чтобы реакция упругих сил была достаточной для его среза при очень малой скорости ножи.

Сопротивление стеблей смятию [32]. Сила смятия (P') стебля не изменяется пропорционально глубине смятия. Вначале, при глубине смятия 0–0,5 мм, сила P' увеличивается медленно, а затем, при глубине до 1 мм, происходит возрастание силы в 2–2,5 раза по сравнению с первым интервалом. При дальнейшем сжатии стебля на глубину до 1,5 мм сила смятия увеличивается медленно, и наступает момент, когда деформация стебля продолжает увеличиваться, а сила остается постоянной, стебель теряет устойчивость и разрушается.

Угол трения стебля о лезвие сегмента. Коэффициент трения стеблей зерновых культур зависит от их влажности. Опытами [32] установлено, что сумма углов трения стебля о гладкое или насеченное лезвие всегда больше действительного угла защемления. Эта разница возрастает при увеличении диаметра стебля. Причина в том, что стебель скользит по гладкому лезвию, у которого коэффициент трения меньше, чем у насеченного, и перекачивается по насеченному лезвию. Углы трения стеблей культуры (пшеница) о гладкое и насеченное лезвие ножа соответственно равны 12–17 и 44–47 градусов.

С физической точки зрения хлебостой на поле (густота посева от 250 до 550 шт./м²) представляет собой систему единичных облиственных стеблей, равномерно распределенных по площади. Хлебостой имеет весьма малую объемную плотность ($\rho \approx 0,6–0,9$ кг/м³), сравнимую только с плотностью газа; как и в газе, в нем может передаваться только сжатие, поскольку стебли злаков физически не связаны друг с другом [13]. В период, предшествующий созреванию, стебли достаточно прочны, и тяжелеющий колос в верхней части растения не может наклонить стебель. При небольших возможных отклонениях упругий стебель возвращается в исходное состояние. Скорость распространения деформаций (ω) в упругом теле зависит от модуля Юнга, который для хлебостоя по первоначальным оценкам равен 0,15 Па, поэтому равен $\omega = 0,5$ м/с [13].

Малая упругость хлебостоя способствует незначительному накоплению энергии от внешних воздействий (рабочих органов сельскохозяйственных и других машин) и, следовательно, не вызовет значительных скоростей колебаний, способствующих осыпанию зерна. Малая упругость или жесткость стеблей

способствует повышенному изгибу стебля без разрушения, что учитывают при проектировании рабочих органов уборочных машин.

Из практики известно, что резание со скольжением (как коса) облегчает резание любых тел, что характерно и для режущих аппаратов зерноуборочных комбайнов. Кошение стеблей колосовых культур происходит всегда со скольжением при скоростях более 6–8 м/с [13]. При этом стебли срезаются без принудительного подпора, поскольку сила среза, действующая на стебель, в этом случае не вызывает существенного отклонения последнего, так как ей противостоят жесткость стебля и инерционные силы массы стебля, препятствующие отгибу. Чем гибче и тоньше стебель, тем выше должна быть скорость режущего элемента рабочего органа для ровного и чистого резания, так как с увеличением скорости резания снижается требуемое усилие на срез. Снижение усилия среза при увеличении скорости косы объясняется тем, что при большой скорости в первых слоях упруговязких волокон растений возникают большие напряжения, достигающие предела прочности, и волокна разрываются ряд за рядом.

При снижении скорости резания уменьшается напряжение в волокнах ввиду упруговязких свойств. С течением времени первые волокна стебля от воздействия лезвия растягиваются, но не рвутся, затем начинают растягиваться следующие нижние слои волокон, у которых величина напряжения меньше, чем у первых. Суммарное усилие всех слоев волокон, испытывающих растяжение, приводит к росту силы разрыва волокон. При скользящем резании затрачиваются меньшие усилия, поскольку уменьшается число одновременно перерезаемых волокон.

Из вышесказанного следует, что главный процесс при резании стеблей со скольжением – это послойный разрыв растягиваемых острым лезвием волокон стебля, который протекает в действительности колебательно с определенной частотой, то есть периодически. Временное сопротивление волокон стеблей злаков на разрыв достигает 300–400 Н/мм² [13].

При более глубоком проникновении лезвия (двухгранного клина) в стебель, на гранях лезвия возникают силы трения от давления ранее перерезанных волокон и тканей стебля, и общее требуемое усилие для перерезания стебля возрастает, а

уменьшается в случае среза влажных стеблей, поскольку образуется жидкая пленка на лезвии, что приводит к жидкостному трению.

При резании растений сегментно-пальцевым аппаратом максимальная скорость ножа, равная 1,65 м/с [13], не обеспечивает бесподпорного среза, так как сила среза P_{CP} превышает при этом силу жесткости стебля $P_{Ж}$ и силу инерции $P_{ИН}$, то есть $P_{CP} > P_{Ж} + P_{ИН}$. Поэтому для обеспечения чистого среза стебель растения должен упираться при перерезании на две опоры (вкладыш пальца и верхнее перо пальца). За счет этого дальнейшее резание происходит, по мнению [13], как при кошени косой, то есть происходит разрыв натянутых лезвием волокон в ограниченной десятиными долями миллиметра зоне стебля. Кроме того, режущий аппарат комбайнов работает совместно с мотовилом, которое при движении машины наклоняет и изгибает стебли в сторону жатки. Наружные волокна изгибаемых стеблей растягиваются, и их легче разорвать или разрезать.

Таким образом, результаты анализа физико-механических свойств стеблей зерновых культур свидетельствуют о том, что стебли растений сочетают в себе как упругие, так и пластические свойства, которые зависят от ботанических признаков растения, условий произрастания и состояния их на момент уборки. Практически данные свойства являются неуправляющими факторами при исследовании процесса среза стеблей. Однако их необходимо учитывать при разработке новых технических решений в области режущих аппаратов машин для уборки зерновых культур, поскольку физико-механические свойства стеблей в основном определяют геометрию ножа и характер процесса срезания.

1.5 Обзор и анализ технико-технологических разработок, обосновывающих целесообразность процесса прямого комбайнирования зерновых культур с двойным срезом стеблей

Результаты обзора и анализа научно-технической литературы [116, 12, 86, 16, 117, 88, 67] свидетельствуют о том, что одним из направлений повышения эффективности работ зерноуборочных комбайнов, особенно высокотехнологических, при сохранении их конструктивной схемы и пропускной

способности молотильно-сепарирующего устройства является уменьшение массовой подачи растительного материала (хлебной массы). Поиск таких решений, когда в молотилку комбайна поступает только колосовая часть или колосовая часть с минимальной длиной стебля, проводится во многих странах.

Наиболее известным и научнообоснованным способом для достижения этого является очес зерна на корню колосоуборочными машинами. Очесывающая жатка позволяет оптимизировать производительность комбайна и добиться максимальной его загрузки. Если у комбайна с обычной жаткой ворох состоит из соломы и зерна в соотношении 50:50, то с очесывающей жаткой это соотношение меняется на 80:20, где 80% – это зерновая масса [116]. Поскольку стебли не срезаются, то при уборке, транспортировке и обмолоте хлебной массы, практически не содержащей соломы, совершается меньше работы, а это экономия топлива до 40–45% в сравнении с традиционной жаткой. Уменьшаются нагрузки на рабочие органы комбайна, и увеличивается их срок службы. Помимо этого, очесывающие жатки позволяют осуществлять уборку при влажности зерна до 30,0% в среднем в два раза быстрее по сравнению с классическими жатками. К тому же такие жатки эффективны при уборке полеглых хлебов [12, 86, 16, 117].

Опыт применения колосоуборочных машин в виде очесывающих жаток комбайнов в производственных условиях показал их ограниченность, особенно для колосовых культур ввиду их агробиологических характеристик (стебли растений значительно различаются по высоте – разность стеблестоя достигает до 0,5 м), по усилию отрыва соцветий, тереблению из почвы, неравномерности влажности по высоте стебля, необходимости в дополнительных операциях в технологии возделывания данных культур и других причин.

Результаты анализа научно-технической литературы [116,12, 86, 16, 117,106] свидетельствуют о том, что по очесывающим жаткам информация явно преувеличена, в частности, механическое травмирование зерна она не способна уменьшить, так как не взаимодействует с колосом стебля, который обмолачивается в молотильно-сепарирующем устройстве комбайнов. В отличие от традиционных жаток эти машины имеют большую в 1,5 раза металлоемкость, отсюда необходима более высокая надежность системы навески и копирования

комбайна. Кроме того, большая масса жаток для очеса растений на корню – это повышенная инерционность при копировании микрорельефа поля, то есть запаздывание во времени, а тем более эта проблема усугубится при повышении поступательной рабочей скорости движения комбайнов во время уборки.

В итоге пришли к выводу, что у сельхозтоваропроизводителя должны быть как традиционные, так и очесывающие жатки. Это позволит наиболее эффективно убирать урожай, исходя из поставленных целей и сложившейся ситуации.

В связи с чем в последнее время стали обращать внимание на целесообразность уборки зерновых культур методом «высокого среза», то есть срезания верхней колосовой части и приколосовой части растения.

Одной из важных биологических особенностей зерновых культур, которая подтверждает целесообразность уборки верхней, то есть колосовой и приколосовой части растений, является неравномерность распределения влаги в стебле по высоте. Так, для зерновых колосовых культур влажность верхней зернодержательной части составляет 15,0–25,0%, а нижней (соломистой) – 21,0–48,0% [57], то есть у основания стебля влаги больше, чем у приколосовой части.

Наличие более влажной нижней части стебля, чем верхняя, как правило, отрицательно сказывается на пропускной способности молотилки, а следовательно, и на рабочей скорости движения, и на часовой производительности комбайна. Поэтому технологически целесообразно отделить нижнюю часть соломины от стебля с колосом до подачи его в молотильный аппарат комбайна.

Влажное нижнее основание стебля остается на поле, а это означает, что можно начинать работу раньше и заканчивать позже. При этом расход топлива на тонну зерна уменьшается, снижаются и затраты на досушивание. За счет этого по данным работ [54, 100, 6, 105] в тяжелых условиях уборки можно увеличить производительность комбайна на 20,0–50,0%, поскольку каждый сантиметр длины нижней части стебля, не поступившего в молотильный аппарат комбайна, позволит повысить производительность машины на 1,5–2,0%. Так, в ряде работ [37, 79, 87] отмечается, что стеблестой следует срезать на высоте около 0,20 м, а максимально до 0,30 м (при высоте стеблестоя до 1,0 м). Поскольку в этом диапазоне среза стеблей комбайновая жатка еще автоматически копирует рельеф

поля. Это важно по причине того, что при высоком срезе скорость движения комбайна составляет до 2,8 м/с (10,0 км/ч) [4]. В работе М.А. Бурьянова [12] отмечается, что при движении комбайна со скоростью 3,4 м/с (12,2 км/ч) вследствие возникающих колебаний максимальное отклонение боковин жатки составляет 0,45 м, а при скорости 2,5 м/с (9,0 км/ч) и 1,67 м/с (6,0 км/ч) соответственно 0,32 и 0,24 м. Работать с еще большей высотой среза не имеет смысла по причине образования дополнительных проблем: плохого копирования жаткой рельефа поля, увеличения дополнительных нагрузок на узлы и агрегаты как жатки, так и зерноуборочного комбайна, что отражается на надежности машины.

Согласно агротехническим требованиям, высота среза 0,20 м является предельной, так как срез выше 0,20 м, как правило, причина больших потерь зерна колосом. В работе [4] отмечается, что при уборке короткостебельной пшеницы на высоте 0,17 м потери составляют 50 кг/га, а при высоте 0,21 м они увеличиваются до 112 кг/га, то есть потери зерна за жаткой равны 0,8% (по агротехническим требованиям за жаткой – 0,5%).

Предварительные исследования высоты стеблестоя зерновых культур в производственных условиях региона Южного Урала на примере Челябинской области показали, что наиболее вероятны потери зерна в виде колоса в интервале высоты стеблестоя 0,2–0,3 м. Между тем результаты анализа стеблестоя пшеницы (Саратовская 38) в таблице П. Б1 данного диапазона свидетельствуют о том, что в этом интервале присутствуют в основном недоразвитые продуктивные растения и «подгон» (всходы от самоосыпания зерна предшествующих лет). В колосе данных растений чаще всего отсутствует зерновка или имеется в количестве 1–2 штуки, как правило, недоразвитые, щуплые и трудновыделяемые при обмолоте колоса.

Исследования такого приема уборки зерновых культур в 1960–70 гг. в Германии показали его преимущество только на неполеглом и равномерном по высоте хлебостое. Во Франции был предложен комбайн с отдельным срезом колосовой и стеблевой частей растений. Жатка имела два режущих аппарата, расположенных на разных уровнях. Аналогичная жатвенная машина была предложена в Российской Федерации Н.А. Дымчинским. Исследования ВИМа по скашиванию пшеницы на высоком срезе (0,35–0,45 м) показали, что обмолот

колосовой части растений требует меньших затрат энергии на единицу пропускной способности, повышается пропускная способность молотилки по сравнению с обычным срезом, снижается энергоемкость технологического процесса, улучшаются качественные показатели обмолота-сепарации, однако потери зерна за жаткой возрастают тем больше, чем меньше выровненность растений по высоте и выше степень полегания [32].

КазНИИМЭСХ предложил колосоуборочную машину, процесс работы которой состоит в следующем: мотовило 1 (рисунок 1.6,а) подводит стебли к режущему аппарату 2, срезанная колосовая часть направляется шнеком 5 в сборник. Оставшиеся на стеблях колоски срываются гребенкой 3, установленной под платформой жатвенной части, и направляются в сборник шнеком 4 [32].

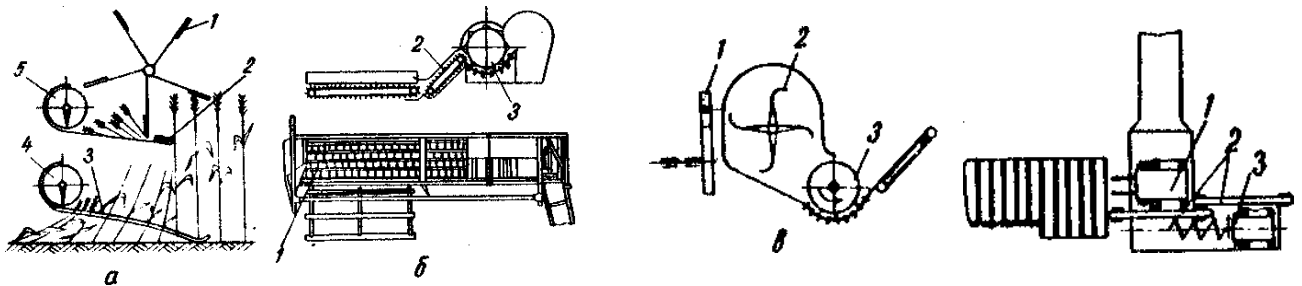


Рисунок 1.6 – Устройства для уборки и обработки колосовой части растений хлебной массы: (а) - колосоуборочная машина КазНИИМЭСХ; (б) – колосоуборочная машина ЦелинНИИМЭСХ [47,66]

Другой вариант такого устройства разработан ЦелинНИИМЭСХ (рисунок 1.6, б): режущий аппарат 1 срезает растения на обычной высоте; наклонный транспортер 2 подает их к ножу, который разрезает и делит хлебную массу на колосовую и комлевую части. Последняя попадает в сборник, колосовая часть поступает в молотильно-сепарирующее устройство 3, в котором содержащиеся в ней колосья обмолачиваются и зерно выделяется через решетку подбарабannya. Солома выводится за пределы молотильного аппарата. Испытания показали, что потери зерна с соломой обычно не превышали 0,5%. Однако при больших подачах и высокой соломистости хлебной массы (1:5,2–1:6,0) сепарация зерна подбарабанныем снижалась, и потери зерна с соломой достигали 1,5 % [32].

Из вышеизложенного следует, что реализация прямого комбайнирования зерновых культур с высоким срезом стеблей дает положительный эффект. По информации [88, 90, 106] Центра сельскохозяйственных технологий и механизации (Нордхаузен, Германия), вследствие этого выработку можно повысить на 25–40%. Кроме того, расход топлива снижается на 9–12 л/ч, уменьшается износ молотилки и измельчителя-разбрасывателя соломы. Сводится к минимуму перенос влаги от соломы к зерну, и, как показали производственные наблюдения, снижаются потери зерна после очистки до 1,0 т/га. В целом применение метода «высокий срез» в современных условиях Западной Европы может принести экономический эффект от 30 до 70 евро/га (1800–4200 руб./га на 2015г.).

С одной стороны, можно повысить производительность комбайна, а с другой – оставшаяся в поле солома высотой 0,35–0,4 м, для уборки которой необходимы дополнительные затраты технических (мульчирователь), трудовых, финансовых и временных средств. Так, по мнению зарубежных специалистов, затраты на применение мульчирователя оцениваются в 20–30 евро/га (1200–1800 руб./га) [33].

В работе [88, 106] отмечается, что использование соломы в качестве удобрения также повлечет за собой существенные расходы. А разговоры о том, что орудия (традиционно применяемые для лущения стерни) способны решить возникающую проблему, не больше, чем разговоры. Ни двухследная борона, ни, тем более, дисковый лущильник не в состоянии «запахать» подобный объем растительной массы. Даже для такого орудия, как тяжелая V-образная дисковая борона, понадобится далеко не один и не два рабочих прохода, а это перерасход топлива. Не стоит забывать и о качественной стороне таких мероприятий – достаточном измельчении и равномерном распределении растительных остатков, что для дисковых орудий является практически невыполнимой задачей.

Исходя из положительных и отрицательных сторон ранее разработанных технологических и технических решений в области совершенствования уборки зерновых культур прямым комбайнированием, следует признать, что наиболее рациональным является метод «двойного среза» стеблей по высоте режущим аппаратом комбайновой жатки.

В этом случае процесс прямого комбайнирования зерновых культур с

двойным срезом стеблей будет характеризоваться тремя видами продукта: стерня (H_{cm}), соломина определенной длины (Al_i) как промежуточный продукт и основной продукт (колосовая и приколосовая часть) для последующего технологического воздействия рабочими органами комбайна. Практически это означает, что на поле имеются растительные остатки на корню и на поверхности поля.

Общеизвестно, что стерня на корню сохраняет около 37,0% зимних осадков [73,90], поскольку поверхность поля, покрытая растительными остатками на корню, влияет на улавливание снега.

Наличие двух составляющих растительных остатков на поверхности поля будет влиять и на процесс инфильтрации (инфильтрация – проникновение атмосферных и поверхностных вод в почву по капиллярам и субкапиллярным порам и другими пустотами) [90].

Помимо этого, осуществляется защита поверхности почвы от энергии капли в течение осенних, весенних и летних месяцев, когда еще не появились большие листья для принятия энергии капли и пропуска воды. Растительные остатки на поверхности поля впитывают энергию капли, защищают почвенные агрегаты и увеличивают размер макропор, а это, в свою очередь, снижает отток.

Кроме того, растительные остатки на поверхности почвы не только защищают почвенные агрегаты, но и одновременно влияют на скорость испарения, особенно на начальной стадии, после выпадения осадков, поскольку потенциал воздуха всегда отрицателен по отношению к потенциалу почвы.

Оставленные на поверхности почвы растительные остатки практически отражают солнечную энергию и ветер, а следовательно, охлаждают поверхность почвы, что влияет на изначальную скорость испарения воды, особенно на первой стадии, так как испарение влаги из почвы на первой стадии зависит от условий окружающей среды (скорость ветра и т.д.) и тока воды на поверхности.

Положительная роль растительных остатков на поверхности почвы проявляется в том, что потери воды из почвы в течение 35-дневного периода без осадков составляют 23 мм из непокрытой почвы, 20 мм – при уложенных растительных остатках, 19 – при 75% уложенных остатках и 25% остатков на корню и 15 мм – при 50,0% уложенных остатков и 50,0% остатков на корню на поверхности [90].

Вышеизложенное свидетельствует о положительной роли растительных остатков как на корню, так и на поверхности поля. Только «возникает» вопрос, какова должна быть длина растительных остатков, уложенных на поверхности поля? В частности соломины промежуточного продукта, образующейся в процессе двойного среза стеблей при прямом комбайнировании зерновых колосовых культур, поскольку интенсивность перегнивания соломы напрямую связана со степенью её измельчения (таблица 1.6).

Таблица 1.6 – Интенсивность разложения соломы в зависимости от степени ее измельчения [19]

Длина измельчения соломы, мм	Количество дней, необходимых для перегнивания 50 % соломы (по массе) при 20 °С
50	54
20	47
10	30
5	29
Менее 1 мм	14

В работе А.Н. Леженкина [60,61] отмечается, что «...наиболее полно разлагается солома длиной 0,1– 0,2 м. Увеличение длины резки соломы приводит к замедлению процесса ее разложения...». При этом интенсивность разложения соломы в почве определяет и тип почвы. Так, на суглинистых почвах коэффициент разложения соломы составляет 0,95, на песчаных почвах – 0,88, на кислых – 0,12, а на тяжелых глинистых почвах – 0,26.

Таким образом, из вышеизложенного следует, что для повышения технологической эффективности процесса прямого комбайнирования зерновых культур целесообразно использовать метод «высокого среза», в котором осуществляется двойной срез стеблей. Наличие двойного среза стеблей обеспечивает образование трех видов продуктов: стерни, основного продукта в виде колосовой и приколосовой части стебля и промежуточного продукта в виде соломины стебля. При этом в зависимости от высоты стеблестоя хлебной массы и с учетом разложения соломы в почве целесообразно образовывать промежуточный продукт длиной от 0,10 до 0,20 м, так как в этом случае разложение соломы в почве идет более интенсивно. Оставление на поле пожнивных остатков и их накопление

должно способствовать возобновлению и увеличению фауны почвы и органических отходов, что весьма важно для природно-климатических условий региона Южного Урала.

Выводы и задачи исследования

В современных условиях уборка зерновых культур практически осуществляется комбайновым способом, в котором основной машиной является зерноуборочный комбайн с классическим и аксиально-роторным молотильно-сепарирующим устройством. При этом в сельскохозяйственном производстве применяется как прямое комбайнирование (однофазный), так и отдельный (двухфазный) способ уборки урожая зерновых культур.

В условиях Южного Урала на примере Челябинской области видно, что комбайновый парк состоит из машин с пропускной способностью молотилки 5,0–6,0 кг/с и 7,5 кг/с и выше. Результаты анализа технического перевооружения комбайнового парка в условиях Челябинской области свидетельствуют о том, что замена как физически, так и морально устаревших машин осуществляется прежде всего за счет приобретения комбайнов с пропускной способностью молотилки 7,5 кг/с и выше. Так, за период с 2007 года по 2012 год доля их в комбайновом парке в Челябинской области возросла в 2,9 раза.

Технико-экономические показатели производственной деятельности сельхозтоваропроизводителей Челябинской области свидетельствуют о том, что высокопроизводительные или высокотехнологические зерноуборочные комбайны, широко применяемые на уборке зерновых культур прямым комбайнированием, доля которых составляет 40,0–50,0% и более, а в отдельных хозяйствах и вовсе преобладают. Производственная загрузка комбайнов в этом случае на практике решается применением широкозахватной комбайновой жатки или увеличением рабочей скорости движения машины с уменьшением ширины захвата жатки (хедера), что чаще всего и делают на практике.

Обзор и анализ научно-технической литературы показал, что наиболее перспективным является технологический процесс прямого комбайнирования

зерновых культур, в котором применяются широкозахватные жатки (более 7,6 метров) без снижения рабочей скорости движения комбайна, что возможно осуществить за счет изменения технологических свойств зерновых культур.

Зерновые культуры в ходе уборки урожая характеризуются технологическими свойствами, с которыми связаны и физико-механические. Технологические свойства зерновых культур в момент уборки урожая условно можно разбить на две группы – управляемые и неуправляемые. При этом отдельные показатели технологических свойств зерновых культур могут быть изменены посредством управления их физико-механическими свойствами. К таким показателям относится соотношение зерна и соломы по массе, с которым связана длина стеблестоя хлебной массы.

В научно-технической литературе отмечается, что влага в стебле зерновых культур распределяется неравномерно по высоте. В верхней зерносодержащей части колосовых культур она составляет 15,0–25,0%, а в нижней – 21,0–48,0%. Наличие более влажной нижней части стебля, чем верхней, как правило, отрицательно сказывается на пропускной способности молотилки, а следовательно, и на рабочей скорости и на часовой производительности комбайна. В связи с чем технологически целесообразно нижнюю часть соломины отделить от стебля с колосом до подачи его в молотильный аппарат комбайна, что практически возможно осуществить посредством метода «высокого среза» стеблей режущим аппаратом комбайновой жатки.

В результате анализа ранее существующих технологических и технических решений в области совершенствования прямого комбайнирования зерновых культур установлено, что метод «высокого среза» стеблей режущим аппаратом комбайновой жатки целесообразно осуществлять в виде двойного среза стеблей. Поскольку в этом случае уменьшается длина стебля с колосом, а следовательно, и соломистость хлебной массы, что отразится на пропускной способности молотилки и рабочей скорости движения комбайна. Одновременно с этим образуется промежуточный продукт в виде соломины стебля длиной от 0,10 до 0,20 м, который остается на поверхности поля без технологического воздействия рабочих органов комбайна. Практически на поле образуются три вида

растительных продуктов – это стерня, промежуточный продукт в виде соломины стебля длиной от 0,10 до 0,20 м и измельченной соломы после измельчителя-разбрасывателя соломы (ИРС) комбайна.

Вышесказанное позволило нам выдвинуть **научную гипотезу**, что посредством уменьшения длины стебля посредством метода «высокого среза», в котором осуществляется двойной срез стеблей, возможно, уменьшить соломистость хлебной массы, следовательно, повысить пропускную способность молотилки, что отразится на рабочей скорости движения и часовой производительности комбайна. Кроме того, в последующем обеспечится сохранность влаги в почве и улучшится плодородие.

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

Целью данной работы является повышение эффективности прямого комбайнирования за счет совершенствования процесса среза стеблей зерновых культур.

Для решения поставленной цели требуется решить следующие задачи:

1. Провести обзор теоретических исследований и обосновать процесс и информационную модель прямого комбайнирования зерновых культур с двойным срезом стеблей.

2. Установить закономерности и зависимости, характеризующие повышение эффективности использования комбайнов при прямом комбайнировании зерновых культур с двойным срезом стеблей.

3. Разработать математическую модель процесса двойного среза стеблей зерновых культур, выявить закономерности и зависимости, характеризующие изменение конструктивно-режимных параметров работы режущего аппарата двойного среза стеблей.

4. Определить технико-эксплуатационные показатели использования комбайнов при прямом комбайнировании зерновых культур с высоким срезом стеблей и конструктивно-режимные параметры режущего аппарата с двойным срезом стеблей, а также дать экономическую оценку.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПРОЦЕССА ПРЯМОГО КОМБАЙНИРОВАНИЯ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР С ДВОЙНЫМ СРЕЗОМ СТЕБЛЕЙ

2.1 Методические подходы к формированию математической модели и обоснование критерия эффективности технологического процесса прямого комбайнирования с двойным срезом стеблей

Согласно методологии системного анализа [107,49,127,30,124,103] математические модели динамических систем, которыми являются технологические объекты механизации растениеводства, могут быть подвержены декомпозиции (цель декомпозиции в техническом плане – упростить задачу формирования сложной системы путем рассмотрения её по частям), что позволяет проводить анализ на количественном уровне при помощи компьютерных технологий.

В общем виде технологический процесс прямого комбайнирования зерновых культур с двойным срезом стеблей можно описать как:

$$(S_I, R, R_V S, S R_V, X_S, Z_S, V_S, \varphi, \zeta), \quad (2.1)$$

где S_I – пространство входных величин системы (S);

R – множество отношений связи системы (S);

$R V_S$ – множество составных частей системы механико-технологического пространства, от которых исходят потоки к системе (S);

$S R_V$ – множество составных частей системы механико-технологического пространства, к которым направлены выходные потоки системы (S);

X_S – пространство внутренних величин системы (S);

Z_S – пространство параметров состояния системы (S);

V_S – пространство выходных величин системы (S);

φ – функция времени перехода от одного состояния системы к другому;

ζ – функция времени перехода от одного состояния системы к другому.

Из выражения (2.1) следует, что процесс прямого комбайнирования зерновых культур с двойным срезом стеблей характеризуется внутренней структурой – S_l, R , поведением – $X_s, Z_s, Y_s, \varphi, \xi$ и режимом функционирования – R_v, S, SR_v, X_s, Y_s в системе механико-технологического пространства. В общем виде система уравнений, описывающих процесс механического взаимодействия стебель - рабочий орган, состоит из уравнений движения рабочего органа и объекта воздействия или силового действия рабочего органа и объекта воздействия в механико-технологическом пространстве технического устройства машины.

В математических моделях присутствуют два вида величин – внешние, которые для данной модели являются известными, и внутренние, которые вычисляются из соотношений модели, если известны начальное состояние процесса и все внешние величины. Внешние величины, в свою очередь, можно разделить на три группы:

- величины, которые являются характеристиками данного процесса;
- величины, которые описывают влияние на изучаемый процесс некоторых внешних по отношению к нему процессов;
- величины управления, которые находятся в распоряжении управляющих органов, с помощью которых можно оказывать влияние на процесс.

Внешние величины, не являющиеся управляющими, подлежат экспериментальному определению.

Исходя из требований процесса двойного среза стеблей зерновых культур, формируются конструктивные, геометрические и кинематические параметры технического устройства. Учитывая физико-механические свойства стеблей зерновых культур, механическое воздействие рабочих органов технического устройства приводит к изменению состояния стеблей по их длине и образованию промежуточного продукта в виде определенной длины нижней части стебля.

На рисунке 2.1 показано формирование механико-математической модели для режущего аппарата с двойным срезом стеблей с учетом требований к промежуточному продукту и технологическому процессу. Из рисунка 2.1 следует, что взаимодействие рабочих органов режущего аппарата двойного среза стеблей зерновых культур приводит к изменению состояния стеблей (переходит

из состояния покоя в неустойчивое состояние) и их качественных характеристик. Под воздействием силы резания образуется поперечный срез стеблей, что изменяет их количественную характеристику по длине с образованием отдельного промежуточного продукта – стеблевой части.

Основной продукт – это срезанные фрагменты стеблей с колосом пшеницы.

Промежуточный продукт – это соломина определенной длины нижней части стебля.

В данном случае интерес представляют те свойства, которые характеризуют качественно-количественные показатели процесса двойного среза стеблей. Стебли зерновых культур (пшеница) должны иметь чистый поперечный срез без «надрывов».

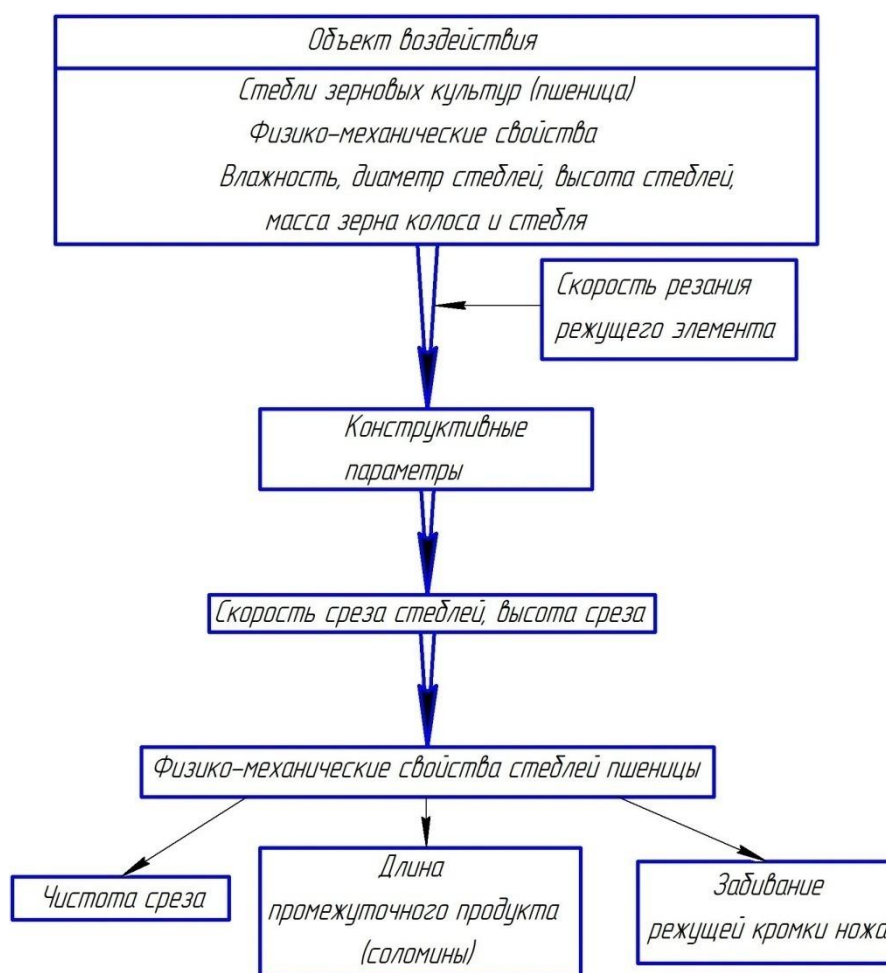


Рисунок 2.1 – Формирование математической модели процесса двойного среза стеблей зерновых культур на основе системного анализа

С учетом этих требований к результату процесса двойного среза стеблей зерновых культур необходимо подходить с позиции векторной оптимизации.

Модель векторной оптимизации состоит из трех элементов: выбора параметров оптимизации, определения граничных условий, построения оптимальной области. Исходя из этого подбираются такие геометрические, конструктивные и кинематические параметры, чтобы параметры, оценивающие технологический процесс двойного среза стеблей и свойства основного и промежуточного продукта, имели достаточные значения.

Множество параметров P_k (k – множество качеств и свойств технического объекта) может быть представлено в виде $P_k = P_k(A, B, C...)$ [124,103].

Ограничения параметров имеют вид:

$$p_k \leq P_k^d, \quad (2.2)$$

$$P_k^l \leq p_k \leq P_k^t, \quad (2.3)$$

$$P_k^n \leq p_k \quad (2.4)$$

где $P_k^d, P_k^l, P_k^t, P_k^n$ – возможные уровни ограничения параметров.

До начала оптимизации необходимо определить ограничения параметров в виде 2.2, 2.3 или 2.4. При построении рабочих характеристик первого, второго, третьего и так далее до k -го параметра необходимо включать эти ограничения в число определяемых значений, причем таким образом, чтобы в область допустимых значений попало достаточное число функциональных зависимостей.

В ходе исследований модель 2.1 модифицируется в соответствии со структурой технологического процесса прямого комбайнирования зерновых культур с двойным срезом стеблей и интерактивно улучшается до требуемой точности. Изменяя отдельные параметры модели и используя эвристические методы, находим близкое к оптимальному решение. В качестве эвристического метода оптимизации применяем выборочное направленное изменение параметров. Учитывая при этом тот факт, что разработка модели процесса, предназначенная для получения информации, практически есть не разовое действие, а многоэтапный интерактивный процесс, который характеризует имитацию между математической и физической моделями процесса и наоборот.

Задачу оптимизации процесса решаем в три этапа [104,53,66,40]:

- разработка математической модели процесса;

- математическая формулировка целевой функции;
- определение метода решения задачи.

На первом этапе осуществляем анализ технологического процесса прямого комбайнирования зерновых с двойным срезом стеблей зерновых культур (Q_T) и на этой основе выявляем свойства $P_1(Q_T), P_2(Q_T), \dots, P_n(Q_n)$. Здесь отражаем конкретные свойства оригинала Q_T в моделях M . Соответствующие свойства обозначим $P_1(M), P_2(M), \dots, P_n(M)$.

На втором этапе процесса моделирования проводим исследование моделей M . В результате получаем новую информацию о технологических процессах прямого комбайнирования зерновых культур и двойного среза стеблей, которую обозначим как $P_{n+1}(M), P_{n+2}(M), \dots, P_{n+k}(M)$.

На третьем этапе осуществляем передачу полученной в ходе исследования моделей информации для практических целей. На её основе разрабатываем возможности совершенствования технологического процесса прямого комбайнирования с двойным срезом стеблей зерновых культур.

Второй этап задачи оптимизации процесса предусматривает математическую формулировку целевой функции, то есть критерия качества, что является довольно сложной задачей.

В настоящее время наиболее широко применяется общехозяйственный подход, который означает, что принятый вариант должен быть эффективным не только для отдельной машины, звена, группы машин, но и для всего зерноуборочного комплекса сельскохозяйственного производителя, и должен способствовать повышению эффективности всего производства в целом. Расчет сравнительной экономической эффективности ведется на основе общего показателя – годовых комплексных затрат с учетом изменения количества и качества получаемой продукции, рассчитываемых по формуле [49,38,87]:

$$\mathcal{E}_{Г.Э.} = [(C_B - C_H) + \Delta D_{Э}] \cdot B_H, \quad (2.5)$$

где C_B, C_H – комплексные затраты, базовой и новой технологии, машины, руб.;

$\Delta D_{\text{э}}$ – экономический эффект от изменения количества и качества получаемой продукции при эксплуатации машин в технологии, руб.;

$V_{\text{п}}$ – объем выполненной работы (га) или произведенной продукции (т).

Общеизвестно, что комплексные затраты зависят от сезонной выработки комбайна, которая определяется часовой производительностью машины. В связи с чем за локальный (частный) критерий эффективности выполнения технологического процесса двойного среза стеблей зерновых культур принимаем часовую производительность (га/ч). Вероятностные характеристики условий и работы машины в модели определяем экспериментально и представляем в виде детерминированных величин – математических ожиданий.

2.2 Обоснование информационной модели технологического процесса зерноуборочного комбайна как преобразующей технической системы с двойным срезом стеблей

Общеизвестно [95,68,63,92,89,36,47,59,126], что уборочный процесс в виде прямого комбайнирования зерновых культур является сложной многопараметрической системой, схема функционирования которой имеет иерархическую структуру, включающую в себя модели отдельных процессов, явлений и их взаимосвязи.

С целью установления причинно-следственных связей между процессами, определяющими эффективность использования зерноуборочных комбайнов, а следовательно, и выполнения уборочных работ, рассмотрим влияющие на нее факторы. Многообразие их можно разбить на четыре группы [648,63,47]: агротехнические, природно-климатические, организационно-хозяйственные и конструктивные (рисунок 2.2). Результаты анализа групп факторов показывают, что эффективность использования зерноуборочных комбайнов во время уборочных работ зависит от величины потерь рабочего времени по организационным, техническим и технологическим причинам. Организационно-технические простои устраняют путем принятия оперативных мер

организационного характера, а технические – путем ремонта или замены исправным комбайном неисправного.

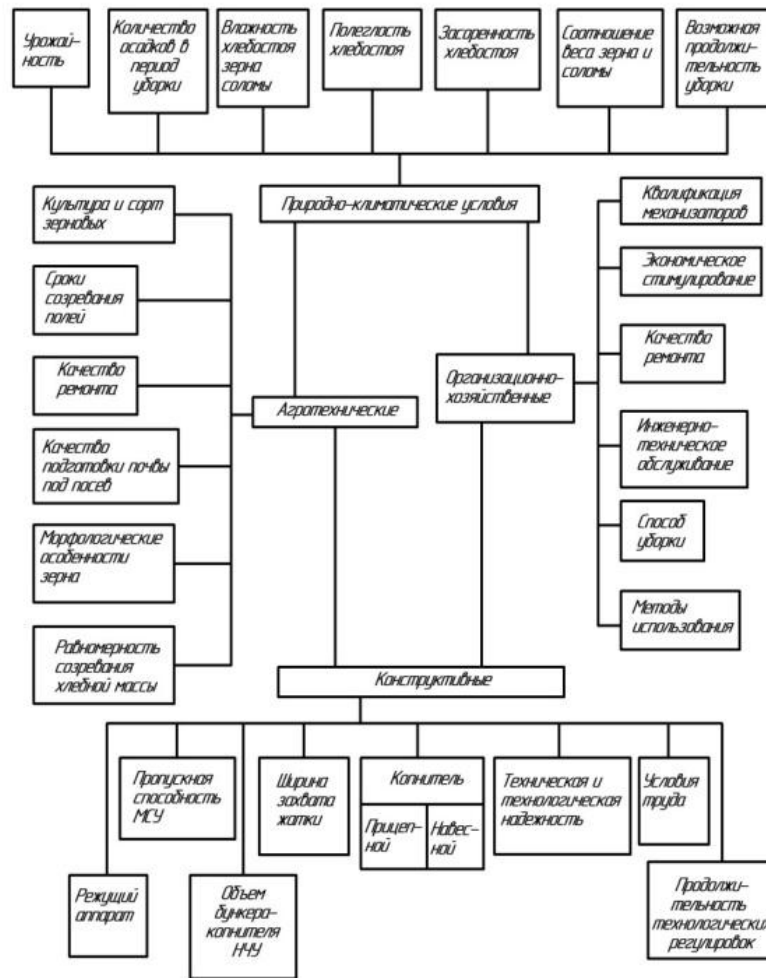


Рисунок 2.2 – Факторы, влияющие на эффективность использования комбайнов во время обмолота хлебной массы

Для технологических простоев, по мнению П.Ф.Прибыткова, А.М.Плаксина и других [97,115,58], нет действенных мер, поскольку при эксплуатации зерноуборочных комбайнов в период уборки урожая преобладают внезапные отказы, вызванные, как правило, нарушениями технологического процесса и правил эксплуатации машин. В связи с чем эти отказы в условиях эксплуатации не поддаются прогнозу. Кроме того, случайный характер технологических простоев комбайнов определяется и природно-климатическими условиями.

Во многих работах [17,7,8,108,77,18,119,14,45,46,80] отмечается, что на эффективность использования зерноуборочных комбайнов наиболее существенное влияние оказывают изменения физико-механических свойств

растений и технологических свойств зерновых культур, которые в момент уборки урожая условно можно разбить на две группы: управляемые и неуправляемые. К управляемым факторам можно отнести соотношение зерна и соломы по массе, с которым связана длина стеблестоя. Посредством изменения длины стеблей во время уборки урожая возможно изменять соотношение зерна и соломы по массе, а следовательно, и влиять на эффективность использования комбайнов при прямом комбайнировании зерновых культур.

В общем виде технологическое воздействие рабочих органов машины на растение в период уборки зерновых культур прямым комбайнированием можно представить в виде схемы на рисунке 2.3.

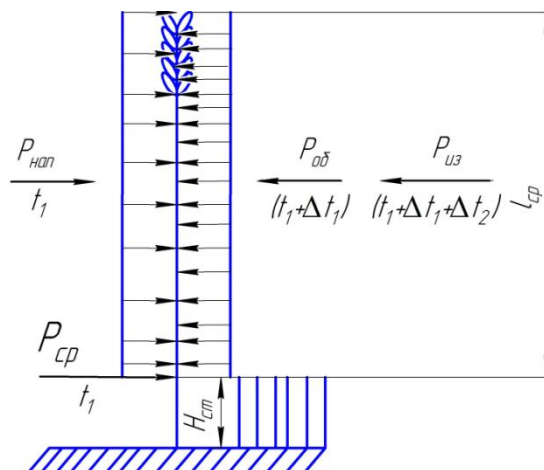


Рисунок 2.3 – Схема технологического воздействия рабочих органов машины при прямом комбайнировании зерновых культур

Из схемы рисунка 2.3 видно, что в период уборки урожая зерноуборочными комбайнами со стороны режущего аппарата комбайновой жатки действует сила $P_{ср}(t_1)$, которая характеризует процесс среза растения во время их скашивания, и действует данная сила согласно схеме поперек стебля. Через определенный промежуток времени (Δt_1), то есть через $(t_1 + \Delta t_1)$, действует сила $P_{об}(t_1 + \Delta t_1)$, которая характеризует процесс обмолота «стебель + колос» длиной $l_{срс}$. Из схемы рисунка 2.3 видно, что она воздействует на всю длину стебля ($l_{срс}$) и/или $(l_c - H_{см})$. Затем действует сила $P_{уз}(t_1 + \Delta t_1 + \Delta t_2)$, которая характеризует процесс измельчения соломины стебля. При этом возможен случай, когда $P_{уз}(t_1 + \Delta t_1 + \Delta t_2) = 0$, то есть измельчение соломы не осуществляется.

Практика и наука свидетельствуют, что в ходе движения комбайна с повышением скорости перемещения жатки по полю начинает усиливаться скоростной и упругий напор ($P_{нап}$) хлебостоя как своеобразной упругой среды со своей плотностью (ρ) и модулем Юнга (E). Скоростной ($P_{ск}$) и упругий напор ($P_{упр}$) хлебостоя можно представить в виде выражения [116]:

$$P_{ск} = V_m^2 \cdot \rho / 2 \quad \text{и} \quad P_{упр} = \varepsilon \cdot E, \quad (2.6)$$

где V_m – скорость машины на поле, м/с;

ρ – первоначальная плотность хлебной массы, кг/м³;

$\varepsilon = \Delta\rho/\rho$ – относительная деформация, где $\Delta\rho$ – изменение плотности хлебной массы, кг/м³;

E – модуль Юнга, Н/м².

В общем давление напора хлебной массы ($P_{нап}$) при прямом комбайнировании зерновых культур равно:

$$P_{нап} = P_{ск} + P_{упр}. \quad (2.7)$$

Напор хлебной массы ($P_{нап}$) возрастает при жестком малоподатливом хлебостое, что характерно для короткостебельных сортов пшеницы.

Вышеизложенное и результаты анализа физико-механических и технологических свойств зерновых культур позволяют разработать структурную схему технологического процесса уборки зерновых культур с двойным срезом стеблей при прямом комбайнировании (рисунок 2.4), в которой преобразуются входные воздействия в виде условий функционирования $X(T_q)$ в выходные $Y(T_q)$, определяющие количественные и качественные показатели работы.

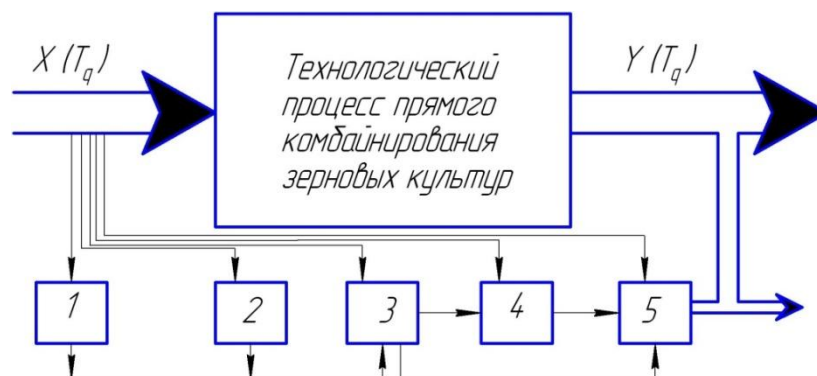


Рисунок 2.4 – Структурная схема модели функционирования технологического процесса прямого комбайнирования зерновых культур с двойным срезом стеблей

Подсистемами в данной системе (рисунок 2.4) являются в основном последовательно соединенные во времени технологические процессы, выполняемые техническими подсистемами зерноуборочного комбайна преобразующей технической системы, такие как: 1 – срез стебля на высоте (h_1); 2 – срез стебля на высоте ($h_1 + \Delta l$) и разбрасывание соломины длиной (Δl) на поверхности поля; 3 – обмолот продукта «колос + часть соломины» длиной (l_2); 4 – сепарация крупного вороха (солома), измельчение и разбрасывание соломы по полю; 5 – сепарация мелкого вороха, разбрасывание по полю половы. В общем виде вышеизложенное можно представить в виде схемы на рисунке 2.5.

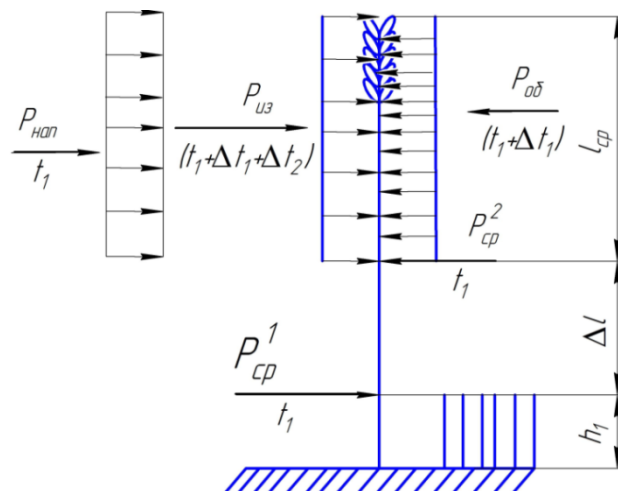


Рисунок 2.5 – Схема технологического воздействия рабочих органов машины при прямом комбайнировании зерновых культур с двойным срезом стеблей

Из схемы рисунка 2.5 видно, что первой операцией в технологической цепи прямого комбайнирования зерновых культур с двойным срезом стеблей является срез растений на корню, который выполняет преобразующая техническая подсистема – режущий аппарат комбайновой жатки.

Зерноуборочный комбайн, как преобразующая техническая система, работает в производственных условиях, где постоянно изменяются внешние воздействия вероятностной природы. Такими факторами, как следует из вышеизложенного, являются: неравномерность поверхности поля $Z(t)$ или $Z(s)$, вызывающая колебание как комбайновой жатки и режущего аппарата, так и зерноуборочного комбайна; урожайность соломы $Y_c(t)$ или $Y_c(s)$ и зерна $Y_3(t)$ или $Y_3(s)$; высоты стеблестоя $H_c(t)$ или $H_c(s)$; влажность зерна $\omega_3(t)$ или $\omega_3(s)$; влажность

соломы $\omega_c(t)$ или $\omega_c(s)$; влажность почвы $\omega_n(t)$ или $\omega_n(s)$; густота стеблестоя $N_c(t)$ или $N_c(s)$; пониклость стеблей $K_{nc}(t)$ или $K_{nc}(s)$; засоренность поля $Z_c(t)$ или $Z_c(s)$; высота стеблестоя $l_c(t)$ или $l_c(s)$; диаметр стеблестоя $d_c(t)$ или $d_c(s)$ и другие.

Все внешние воздействия и выходные показатели работы зерноуборочного комбайна как преобразующей технической системы следует рассматривать как случайные функции (процессы) времени (t) или пути (s).

В общем виде технологический процесс зерноуборочного комбайна как преобразующей технической системы, составной частью которой является техническая подсистема – режущий аппарат, можно представить в виде информационной модели, построенной по принципу «вход-выход» (рисунок 2.6).

На входе модели действует вектор – функция (X) условий работы:

$$X = \{z(t), Y_c(t), Y_3(t), l_c(t), d_c(t), \omega_3(t), \omega_c(t), \omega_n(t), N_c(t), K_{nc}(t), Z_c(t)\}. \quad (2.8)$$

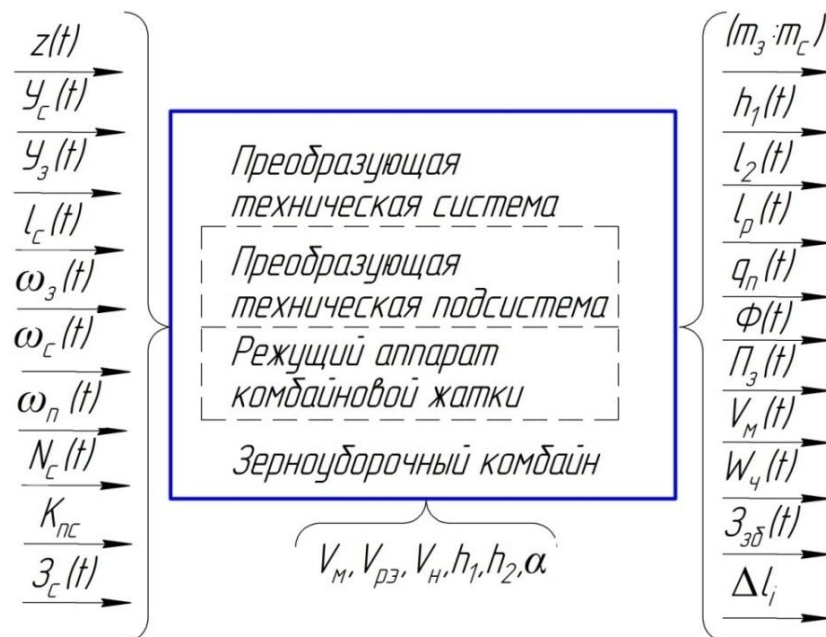


Рисунок 2.6 – Информационная модель технологического процесса зерноуборочного комбайна как преобразующей технической системы с двойным срезом стеблей зерновых культур [69]

В качестве выходной переменной принимается вектор V – функция количественных показателей выполнения технологического процесса уборки зерновых культур с двойным срезом стеблей:

$$V = \{(m_3:m_c), h_1(t), l_2(t), l_p(t), \Delta l_i(t), q_n(t), \Phi(t), \Pi_3(t), V_m(t), W_u(t), Z_{3\sigma}(t)\}, \quad (2.9)$$

где $(m_3:m_c)$ – соотношение зерна и соломы по массе;

$h_1(t)$ – высота среза или стерни, м;

$l_2 = (h_1 + \Delta l_i)(t)$ – высота среза стебля, м;

$l_p(t)$ – длина резки соломы, м;

$q_n(t)$ – пропускная способность молотилки комбайна, кг/с;

$\Phi(t)$ – фракционный состав вороха, доля или %;

$\Pi_3(t)$ – суммарные потери зерна за машиной, %;

$V_m(t)$ – рабочая скорость комбайна, м/с;

$W_u(t)$ – часовая производительность комбайна, т/ч или га/ч;

$Z_{3\sigma}(t)$ – засоренность бункерного зерна, %.

Управляющими воздействиями в модели являются высота установки нижней (h_1) и верхней (h_2) режущей линии режущего аппарата комбайновой жатки, рабочая скорость движения (V_m) зерноуборочного комбайна, скорость режущего элемента ($V_{pэ}$ или V_n) режущего аппарата, угол наклона режущего элемента (α) к горизонту. В ходе исследований принимаем допущение, что скорости среза стеблей верхнего и нижнего режущего элемента равны между собой, то есть $V_{pэ}^B = V_{pэ}^H$. Влажность почвы (ω_n) является нормальной и составляет 20–25% [95], что обеспечивает движение комбайна по полю практически без буксования, а следовательно, не оказывает влияния на скоростной режим работы зерноуборочного комбайна. При этом обмолот зерновых культур осуществляется в фазе начала полной спелости зерна, то есть при влажности зерна $\omega_3 = 18,0–20,0$ % и влажности соломы $\omega_c = 20,0–22,0$ % [116,47].

Таким образом, результаты обоснования информационной модели технологического процесса зерноуборочного комбайна как преобразующей технической системы, в которой имеется преобразующая техническая подсистема – режущий аппарат двойного среза стеблей, свидетельствует о том, что при прямом комбайнировании зерновых культур образуется три вида продукта: растительные остатки на корню в виде стерни; растительные остатки в виде промежуточного продукта определенной длины соломины на поверхности поля;

растительный продукт «стебель + колос», который подвергается технологическому воздействию со стороны рабочих органов зерноуборочного комбайна, что и рассмотрим далее.

2.3 Математическая модель процесса прямого комбайнирования зерновых культур с двойным срезом стеблей

Общеизвестно, что часовая производительность зерноуборочного комбайна в период уборки зерновых культур зависит от многочисленных факторов и, в частности, при выполнении процесса прямого комбайнирования может быть представлена в виде функциональной зависимости:

$$W_{\text{ч}} = f(Y_{\text{з}}, Y_{\text{с}}, B_{\text{жс}}, V_{\text{м}}, q, \delta_{\text{с}}, \omega_{\text{с}}, \omega_{\text{з}}, \omega_{\text{сор}}, H_{\text{ст}}, l_{\text{срс}}, П_{\text{с}}, N_{\text{с}}, Z_{\text{с}}, V_{\text{н}}, d_{\text{с}}, K_{\text{к}}), \quad (2.10)$$

где $Y_{\text{з}}$ – урожайность хлебной массы по зерну, т/га;

$Y_{\text{с}}$ – урожайность хлебной массы с учетом растительной массы, т/га;

$B_{\text{жс}}$ – ширина захвата жатки, м. Исходя из вышеизложенного в теоретических исследованиях, принимаем эталонную ширину захвата жатки, то есть $B_{\text{ж}} = 6$ м;

$V_{\text{м}}$ – рабочая скорость комбайна, м/с;

q – пропускная способность молотилки комбайна, кг/с;

$\delta_{\text{с}}$ – коэффициент солоmistости хлебной массы;

$\omega_{\text{с}}$ – влажность растительной части хлебной массы, %;

$\omega_{\text{з}}$ – влажность зерна хлебной массы, %;

$\omega_{\text{сор}}$ – влажность сорных растений, %;

$H_{\text{ст}}$ – высота стерни, м;

$l_{\text{срс}}$ – длина срезаемого стебля, м;

$П_{\text{с}}$ – пониклость стеблестоя, доля или %;

$N_{\text{с}}$ – густота стеблестоя хлебной массы, шт./м²;

$Z_{\text{с}}$ – засоренность хлебной массы, доля или %;

$d_{\text{с}}$ – диаметр стебля, м;

V_n – скорость ножа режущего аппарата, м/с;

K_k – квалификация оператора зерноуборочного комбайна.

В общем виде часовая производительность (га/ч) зерноуборочного комбайна может быть представлена в виде выражения [92,95,17,79]:

$$W_q = 0,1 \cdot B_{жс} \cdot V_M \cdot \tau_m, \quad (2.11)$$

где τ_m – коэффициент, учитывающий потери времени по технологическим причинам, $\tau_m = 0,77-0,83$ [79].

Ширина (м) захвата жатки ($B_{жс}$) комбайна из выражения (2.11) зависит от следующих факторов [79, 8]:

$$B_{жс} = \frac{q}{V_M \cdot Y_3 \cdot (1 + \frac{1}{\delta_c})}, \quad (2.12)$$

где q – пропускная способность молотилки, кг/с;

V_M – рабочая скорость комбайна, м/с;

Y_3 – урожайность хлебной массы по зерну, кг/м²;

δ_c – коэффициент солоmistости хлебной массы.

Пропускная способность молотилки (кг/с) комбайна определяется из следующего выражения [79, 8]:

$$q = 0,6 \cdot q_n \cdot (1 + \frac{1}{\delta_c}) \cdot \chi, \quad (2.13)$$

где q_n – паспортная пропускная способность молотилки комбайна, кг/с. В расчетах $q_n = 8,5$ кг/с, так как в условиях Южного Урала (на примере Челябинской области) техническое перевооружение комбайнов осуществляется за счет машин с данной пропускной способностью молотилки [63];

χ – коэффициент, учитывающий влияние колебаний подачи хлебной массы на пропускную способность молотилки, $\chi = 0,95 \dots 0,97$ [119].

При прямом комбайнировании зерновых культур в производственных условиях в стеблестое, кроме продуктивных растений, имеются сопутствующие, а также непродуктивные стебли, сорные растения, поэтому с учетом засоренности выражение (2.13) примет вид [79]:

$$q = 0,6 \cdot q_{\text{п}} \cdot \left(1 + \frac{1 - \varepsilon}{\delta_c + \varepsilon}\right) \cdot \chi, \quad (2.14)$$

где ε – коэффициент, характеризующий засоренность хлебной массы, доля или %.

Исходя из выражения (2.12) и (2.13), запишем равенство, то есть:

$$B_{\text{жс}} \cdot V_M \cdot Y_3 \cdot (1 + \delta_c) = 0,6 \cdot q_{\text{п}} \cdot \left(1 + \frac{1 - \varepsilon}{\delta_c + \varepsilon}\right). \quad (2.15)$$

Тогда после преобразований получим, что:

$$V_M = \frac{0,6 \cdot q_{\text{п}} \cdot \left(1 + \frac{1 - \varepsilon}{\delta_c + \varepsilon}\right) \cdot \chi}{B_{\text{жс}} \cdot Y_3 \cdot (1 + \delta_c)}, \quad (2.16)$$

где V_M – рабочая скорость движения комбайна, м/с (км/ч).

На основании выражений (2.11) и (2.16) можно записать, что часовая производительность комбайна (га/ч) равна:

$$W_{\text{ч}} = 21,6 \cdot \left[\frac{q_{\text{п}} \cdot \left(1 + \frac{1 - \varepsilon}{\delta_c + \varepsilon}\right) \cdot \chi}{Y_3 \cdot (1 + \delta_c)} \right] \cdot \tau_T. \quad (2.17)$$

Выражение (2.16) позволяет рассмотреть изменение рабочей скорости комбайна в зависимости от технологических свойств зерновых культур, таких как соотношение зерна и соломы по массе через коэффициент соломистости, то есть $V_M = f(\delta_c, \varepsilon)$. Результаты расчетов представлены на рисунке 2.7.

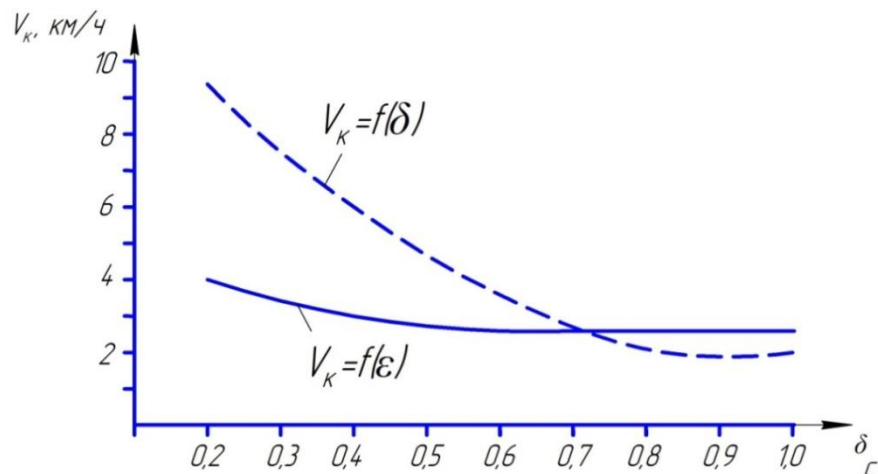


Рисунок 2.7 – Изменение рабочей скорости движения (V_M) комбайна в зависимости от соломистости (δ_c) и засоренности (ε) хлебной массы

Из графических зависимостей (рисунок 2.7) видно, что с увеличением как соломистости (δ_c), так и засоренности (ε) хлебной массы при её обмолоте наблюдается снижение рабочей скорости комбайна, а следовательно, и часовой производительности, что в итоге отразится на сроках уборки и потерях урожая.

Причем из зависимостей (рисунок 2.7) следует, что на изменение рабочей скорости комбайна более интенсивно влияет такой фактор, как соломистость хлебной массы (δ_c), который определяется соотношением (m_c/m_c+m_3), то есть соотношением зерна (m_3) и соломы (m_c) по массе, а это есть не что иное, как технологическое свойство хлебной массы. Величиной соотношения зерна (m_3) и соломы (m_c) по массе возможно управлять во время прямого комбайнирования зерновых культур посредством изменения длины срезаемых стеблей, что и рассмотрим далее.

Многочисленными исследованиями было установлено [63,92,89,95,79,17,8], что засоренность хлебной массы (стеблестоя) оказывает двоякое влияние на часовую производительность комбайна, вследствие того что, с одной стороны, сорняки увеличивают влажность хлебной массы, а с другой – уменьшают относительное содержание зерна в ней. Кроме того, выявлено, что даже при кондиционной влажности хлебной массы (14,0–16,0%) влажность сорняков колеблется в больших пределах (80,0–85,0%) [79,95] и фактор влажности сорняков влияет больше на производительность комбайна, чем их удельная масса в общей растительности. Исходя из этого, была выведена общая зависимость [79] пропускной способности молотилки комбайна от основных технологических свойств или агробиологических факторов зерновых колосовых культур:

$$q = 0,6 \cdot q_n \cdot \left(1 + \frac{1-\varepsilon}{\delta_c + \varepsilon}\right) \cdot \chi \cdot \left[6,67 \cdot 10^{-5} \cdot \omega_{нч}^3 - 6,3 \cdot 10^{-3} \cdot \omega_{нч}^2 + 0,158 \cdot \omega_{нч} - 0,179\right] \cdot \left(1 - \frac{13,8}{Y_3^2} - \frac{0,1}{Y_3}\right) \quad (2.18)$$

где $\omega_{нч}$ – влажность незерновой части урожая (НЧУ), %;

Y_3 – урожайность зерна, кг/м². При этом необходимо иметь в виду, что $Y_{хл} = Y_3 \cdot (1 + \delta_c)$ – урожайность хлебной массы, кг/м².

Величина влажности незерновой части урожая ($\omega_{нч}$) может быть определена по формуле:

$$\omega_{нч} = \frac{\omega_c \cdot \delta_c \cdot (1 - \varepsilon) + \omega_{сop} \cdot \varepsilon \cdot (1 + \delta_c)}{\delta_c + \varepsilon}, \quad (2.19)$$

где ω_c – влажность соломины стебля при прямом комбайнировании зерновых культур, %;

$\omega_{сop}$ – влажность сорных растений хлебной массы, %.

В расчетах диапазон влажности соломины стебля принимаем в пределах от 40,0 до 15,0% [79,95,47]. Хотя практика показывает, что при влажности соломы до 58,0% комбайны могут убирать зерновые культуры, несмотря на то, что в этих условиях их технологические возможности используются только на 10,0–15,0%. В связи с чем и принимаем ограничения по влажности соломины стебля в вышеуказанном диапазоне. Нижний предел влажности соответствует кондиционной влажности зерна. Практика свидетельствует, что при прямом комбайнировании зерновых культур влажность соломины стебля чаще всего составляет 18,0...20,0% и выше.

В результате расчетов по формулам (2.18) и (2.19) получено изменение влажности незерновой части урожая ($\omega_{нч}$) и пропускной способности молотилки комбайна (q) в зависимости от влажности соломины стебля и сорных растений при различной степени засоренности (ε) хлебной массы. На основе которых построены графические зависимости, представленные на рисунке 2.8.

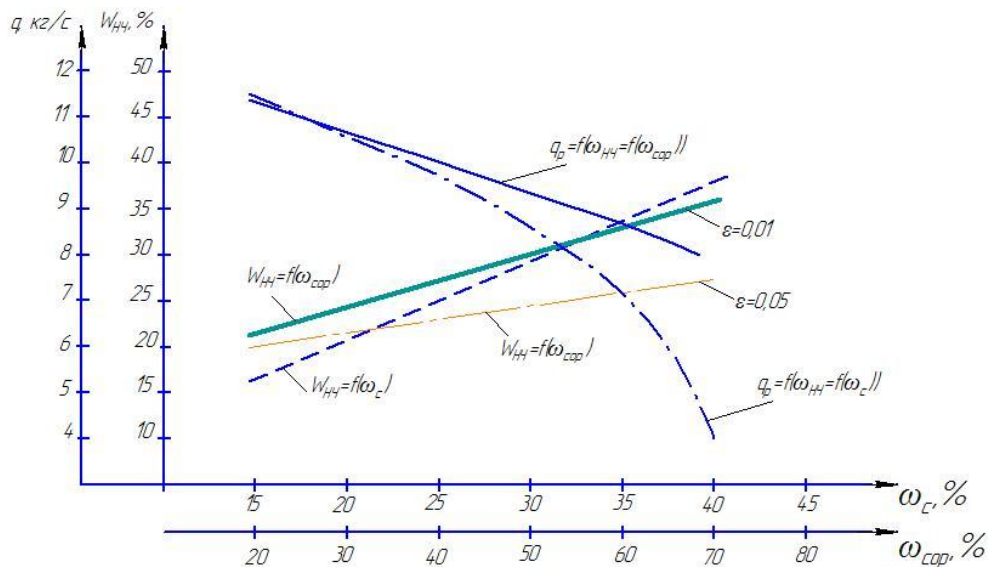


Рисунок 2.8 – Изменение влажности незерновой части урожая ($\omega_{нч}$) и пропускной способности молотилки (q) комбайна в зависимости от влажности соломины стебля (ω_c) и сорных растений ($\omega_{сop}$)

Из графических зависимостей рисунка 2.8 следует, что независимо от объекта воздействия (соломина стебля или сорные растения) происходит увеличение влажности незерновой части урожая (НЧУ) с повышением влажности как соломины стебля, так и сорных растений, а вследствие этого и снижение пропускной способности молотилки комбайна, что, в свою очередь, отражается на рабочей скорости движения комбайна и часовой производительности.

Графические зависимости $\omega_{нч} = f(\omega_{сор})$ при различной степени засоренности (ε) от 5,0% до 10,0% свидетельствуют о том, что с повышением засоренности хлебной массы наблюдается резкое увеличение влажности хлебной массы, что отражается на пропускной способности молотилки, а значит, и на рабочей скорости движения и часовой производительности комбайна (рисунок 2.8).

В производственных условиях практически все поля зерновых колосовых культур засорены в той или иной степени. Средняя засоренность полей зерновых культур составляет около 15,0% (по массе сорняков). Поэтому увеличение высоты среза на каждые 0,10 м (100 мм) [79, 14, 47] приводит к уменьшению засоренности хлебной массы яровых зерновых культур в среднем на 4,3 % (по сравнению на корню).

Для улучшения выполнения технологического процесса молотилки комбайна имеет значение не только уменьшение засоренности, но и сокращение массы (НЧУ), поступающей на рабочие органы молотилки. Так как увеличение высоты среза на каждые 0,10 м приводит к сокращению массы (НЧУ), поступающей в молотилку (яровых на 19,0%) [79, 14, 47]. Это, в свою очередь, уменьшает соотношение зерна и соломы по массе, что приводит к снижению потерь зерна за молотилкой, особенно свободным зерном в соломе, а также к повышению часовой производительности комбайна.

Общеизвестно, что соотношение зерна и соломы по массе определяет коэффициент соломистости хлебной массы, который вычисляется по формуле:

$$\delta_c = \frac{m_c}{m_z + m_c}, \quad (2.20)$$

где m_c – масса соломины стебля, кг;

m_z – масса зерна колоса, кг.

Соотношение зерна и соломы по массе как технологическое свойство, в свою очередь, определяется длиной растения или высотой стеблестоя.

Из выражения (2.20) следует, что общая масса стебля (m_{cm}) состоит из двух частей: массы соломины стебля (m_c) и массы зерна колоса (m_z), которую можно рассматривать как постоянную величину, то есть $m_z = \text{const}$. Поэтому общая масса стебля (m_{cm}) может быть изменена в меньшую сторону за счет снижения массы соломины стебля (m_c).

В результате теоретических исследований была получена аналитическая зависимость вида $\delta_c = f(\Delta l_i)$, которая характеризуется следующим выражением:

$$\delta_c = a \cdot \Delta l_i^2 - b \cdot \Delta l_i + c, \quad (2.21)$$

где Δl_i – уменьшение длины соломины стебля от основания на линии среза стерни, м. Величина Δl_i (0; 0,20) м;

a, b, c – коэффициенты пропорциональности. Определяются опытным путем.

Тогда рабочую скорость движения (V_M) комбайна (формула 2.16) с учетом изменения коэффициента соломистости (δ_c) в зависимости от высоты срезаемой части стеблей можно записать как:

$$V_M = 0,6 \cdot q_{II} \cdot \frac{1 + \frac{1 - \varepsilon}{a \cdot \Delta l_i^2 - b \cdot \Delta l_i + c + \varepsilon}}{B_{ж} \cdot Y_3 \cdot (a \cdot \Delta l_i^2 - b \cdot \Delta l_i + c + 1)} \cdot \chi, \quad (2.22)$$

где Δl_i – уменьшение длины соломины стебля при их срезе, м;

a, b, c – коэффициенты пропорциональности. Определяются опытным путем.

Результаты расчета рабочей скорости движения (V_M) комбайна и графическая зависимость на рисунке 2.9 показывают, что уменьшение длины соломины стебля при их срезе во время скашивания прямым комбайнированием зерновых культур положительно влияет на рабочую скорость движения машин. Из графической зависимости рисунка 2.9 видно, что рабочая скорость движения комбайна (V_M) наиболее интенсивно увеличивается при уменьшении длины соломины стебля (Δl_i) во время их скашивания при прямом комбайнировании на длине

промежуточного продукта от 0 до 0,10 м от вершины точки среза стерни, где наиболее высокая влажность соломины.

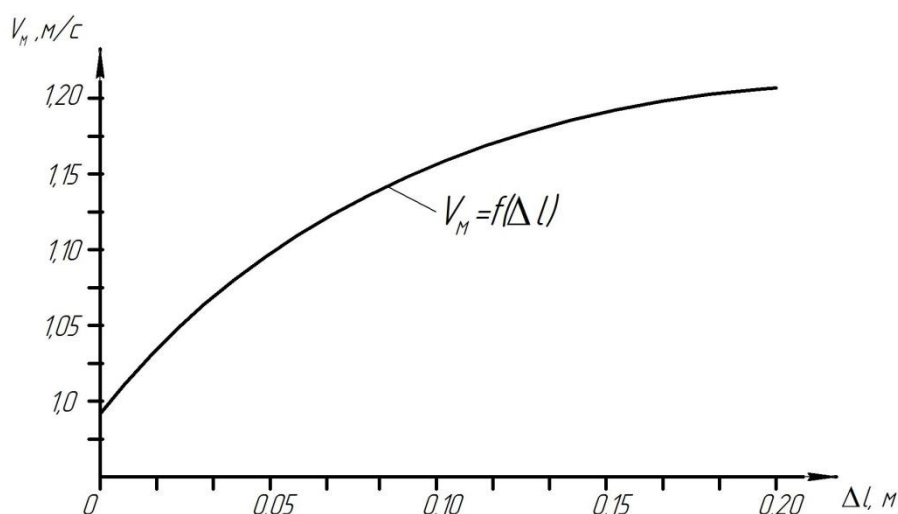


Рисунок 2.9 – Изменение рабочей скорости движения (V_M) комбайна в зависимости от уменьшения длины соломины стебля (Δl_i) от линии среза при прямом комбайнировании зерновых культур

При этом данные таблицы 2.1 свидетельствуют, что уменьшение длины соломины стебля от линии среза при образовании стерни до 0,10 м способствует увеличению рабочей скорости движения комбайна (V_M) до 23,0% по сравнению с традиционным прямым комбайнированием зерновых культур.

Таблица 2.1 – Изменение рабочей скорости движения комбайна (V_M) в зависимости от уменьшения длины соломины стебля

Показатель	Уменьшение длины соломины стебля во время их скашивания при прямом комбайнировании, Δl_i , м			
	0	0,10	0,15	0,20
Рабочая скорость движения, м/с	0,95	1,16	1,19	1,22
Процент увеличения рабочей скорости, %	0	+22,81	-	-
	-	0	+2,38	+5,0
	-	-	0	+2,56

Таким образом, уменьшение соломистости хлебной массы за счет изменения соотношения зерна и соломы по массе посредством уменьшения длины стеблей зерновых культур в момент их скашивания при прямом

комбайнировании позволяет повысить пропускную способность молотилки, а следовательно, рабочую скорость движения и часовую производительность комбайна, что в итоге отразится на сроках уборки и потерях урожая. В соответствии с методологическими положениями для реализации данного технологического приема при прямом комбайнировании зерновых культур необходимо техническое устройство в виде режущего аппарата комбайновой жатки нового типа.

2.4 Математическая модель процесса двойного среза стеблей

Принято считать, что при движении комбайновой жатки с сегментно-пальцевым режущим аппаратом стебли растений сельскохозяйственных культур между двумя соседними пальцами вначале отгибаются перпендикулярно боковым поверхностям противорезающих пластин и сегментов ножа друг другу (рисунок 2.10, где P_{cp} – сила среза; F_{AB} – сила инерции стебля для участка AB ; F_{BC} – сила инерции стебля для участка BC ; l_2 – длина участка BC ; H_{cm} – длина участка AB). Затем стебли, уплотняясь до соприкосновения, препятствуют увеличению размаха собственных колебаний, образуют пучок и срезаются. При этом количество срезаемых стеблей уменьшается по мере движения ножа.

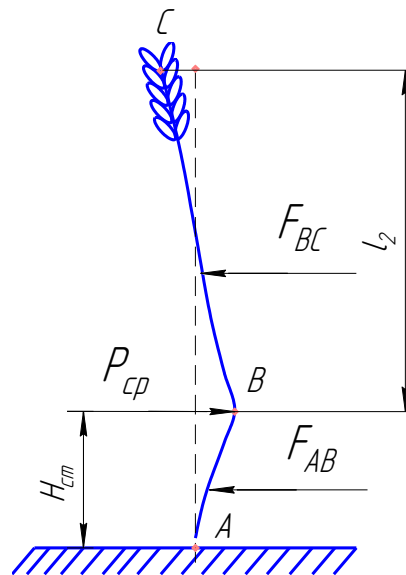
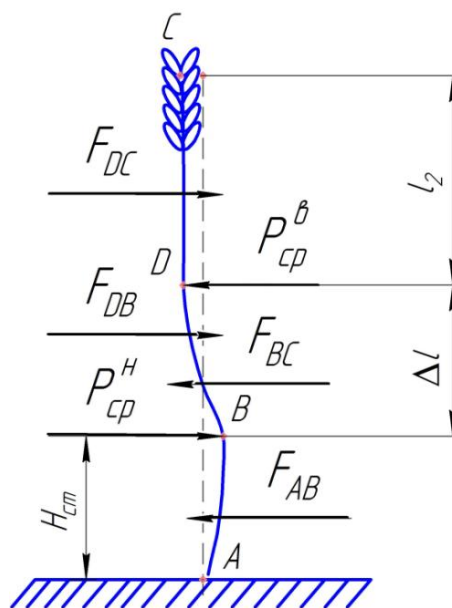


Рисунок 2.10 – Схема сил, действующих на стебель при срезе сегментно-пальцевым режущим аппаратом жатки

В отличие от сегментно-пальцевых, конструктивные особенности режущих аппаратов с бесконечно тягово-режущим элементом с наличием малой густоты стеблей способствуют тому, что стебли растений в зависимости от их расположения на поверхности поля могут значительно отгибаться в продольном и поперечном направлениях до момента их встречи с режущим элементом.

Под действием режущего элемента аппарата с бесконечно тягово-режущим приводом центр тяжести стебля растения описывает дугу и, отклоняясь, начинает колебаться. Вместе со стеблем и колос совершает колебательное движение в различных направлениях с определенной скоростью (рисунок 2.11).



P_{cp}^b , P_{cp}^h – сила среза соответственно в верхней и нижней точках стебля; F_{AB} – сила инерции стебля для участка $AB = H_{cm}$; F_{BD} – сила инерции стебля для участка $BD = \Delta l = (0,10-0,15 \text{ м})$; F_{DB} – сила инерции стебля для участка $DB = \Delta l_i = (0,10-0,15)$; F_{DC} – сила инерции стебля для участка $DC = l_2$.

Рисунок 2.11 – Расчетная схема сил, действующих при двойном срезе стебля режущим аппаратом с бесконечно несущим приводом режущего элемента

При больших скоростях резания стебель подвергается воздействию упругой силы инерции (P_{cp}), следовательно, для описания процесса колебания растения (пшеницы) рассмотрим срез свободностоящего стебля (рисунок 2.11). При этом стебель рассматриваем как защемленную одним концом балку с одной степенью свободы.

Ввиду того, что стебель является сложной конструкцией, телом равного сопротивления изгибу, то будем считать, что площадь его поперечного сечения постоянна.

Учитывая сделанные допущения, решим задачу о перемещении системы с сосредоточенной в точке B и D приложенных сил P_{cp}^H и P_{cp}^6 , причем $P_{cp}^H = P_{cp}^6$, массой $m_{np}^H = m_{np}^6$, под действием указанных сил, изменяющихся во времени $P_{cp} \cdot \Delta t$. Уравнение движения такой системы в общем виде [12,86,16]:

$$F_{упр} - P(t) = F_{ин} , \quad (2.23)$$

где $F_{упр}$ – сила упругости, соответствующая упругому перемещению $\lambda = 1$, или иначе жесткость системы;

$F_{ин}$ – сила инерции эквивалентной системы.

$$F_{ин} = m_{np} \cdot \frac{d^2 y}{dt^2} ,$$

где m_{np} – масса, сосредоточенная в точке приложения силы P_{cp} .

Из уравнения (2.23) следует, что $P(t) = F_{упр} - F_{ин}$ или

$$P(t) = F_{упр} - m_{np} \cdot \frac{d^2 y}{dt^2} . \quad (2.24)$$

Общеизвестно, что частота колебаний равна:

$$\omega = \sqrt{\frac{F_{упр}}{m \cdot l}} , \quad (2.25)$$

где ω – частота колебаний системы, c^{-1} ;

l – длина участка стебля от основания до точки удара, м;

m – приведенная масса ударяющего тела к точке удара, кг.

Величину $F_{упр}$ можно определить из выражения (2.25) как $(\omega)^2 = \left(\sqrt{\frac{F_{упр}}{m}} \right)^2$, тогда

$$F_{упр} = \omega^2 \cdot l \cdot m . \quad (2.26)$$

Внося изменения в выражение (2.24) с учетом выражения (2.26), получим:

$$P(t) = \omega^2 \cdot l \cdot m - m_{np} \cdot \frac{d^2 y}{dt^2} . \quad (2.27)$$

При ударе по стеблю последнему сообщается импульс: $P \cdot \Delta t = m_{np} \cdot V_p$, где V_p – скорость ударяемого тела, м/с; m_{np} – масса, сосредоточенная в точке

приложения силы. Тогда выражение (2.27) с учетом равенства $P \cdot \Delta t = m_{np} \cdot V_p$ имеет следующее решение:

$$y = \frac{m_{np} \cdot V_p}{M \cdot \omega} \cdot \sin \omega t, \quad (2.28)$$

где y – перемещение точки приведения массы стебля, то есть прогиб в месте удара;

M – масса, сосредоточенная в точке удара, причем $M = m_{np} + m$, где m – приведенная к точке удара масса ударяемого тела, кг.

Для случая двойного среза стеблей в общем виде M можно записать как:

$$M = (m_{np}^B + m_2) + (m_{np}^H + m_1), \quad (2.29)$$

где m_1 и m_2 – соответственно приведенная к точке удара нижнего и верхнего режущего элемента масса ударяемого тела (стебля), кг;

m_{np}^H и m_{np}^B – масса, сосредоточенная в точке приложения силы P_{cp}^H и P_{cp}^B соответственно нижнего и верхнего тягово-режущего элемента режущего аппарата жатки, кг. При этом величина $m_{np}^H = m_{np}^H$ и $m_{np}^B = m_{np}^B$;

ω – частота колебаний системы, c^{-1} .

Тогда выражение (2.28) для случая двойного среза стеблей можно записать:

$$\begin{cases} y = \frac{m_{np}^B \cdot V_p}{(m_{np}^B + m_2) \cdot \omega} \cdot \sin \omega t \\ y = \frac{m_{np}^H \cdot V_p}{(m_{np}^H + m_1) \cdot \omega} \cdot \sin \omega t \end{cases} \quad (2.30)$$

Из выражения (2.30) следует, что прогиб стебля в месте удара прямо пропорционален скорости ударяемого тела (V_p) и обратно пропорционален массе (M), сосредоточенной в точке удара, то есть среза стебля.

Общеизвестно, что для среза стебля растения необходим некоторый промежуток времени, зависящий от скорости V_p одностороннего режущего элемента и диаметра стебля d_c , который $d_c \gg 0$. Причем скорость начала среза (V_n) зависит от диаметра (d_c) и физико-механических свойств стебля, а скорость конца среза (V_k) – от конструктивных и кинематических параметров работы режущего аппарата с бесконечно тягово-несущим приводом режущих элементов. Эти две

составляющие процесса среза по сути дела определяют время среза. Величину времени (t_c) среза стебля можно определить как:

$$t_{cp} = t_K - t_H, \quad (2.31)$$

где t_K – время конца резания, с;

t_H – время начала резания, с.

Из выражения (2.31) видно, что время среза определяется «раствором» лезвий режущих элементов режущего аппарата с бесконечно тягово-режущим приводом, то есть расположения нижнего и верхнего режущего элемента относительно друг друга на тяговых ветвях режущего аппарата. Поскольку «раствор» лезвий режущих элементов нижней и верхней тяговых ветвей будет определяться прежде всего двумя факторами: углом заточки (α) лезвия и расположением их относительно друг друга в горизонтальной плоскости. При этом величину времени среза одиночного стебля можно определить из выражения:

$$t_{cp}^{ct} = \frac{d_c}{V_p \cdot \cos \alpha}, \quad (2.32)$$

где d_c – диаметр стебля, м;

V_p – скорость режущего элемента, м/с;

α – угол заточки лезвия режущего элемента, град.

Из формулы (2.32) следует, что от величины t_{cp}^{ct} напрямую зависит отгиб стебля: чем больше величина t_{cp}^{ct} , тем больше отгиб стеблей в процессе их среза. Если за время среза стебля t_{cp}^{ct} режущий аппарат переместился по полю со скоростью (V_M), то за время от начала резания и до его конца стебель будет отогнут в продольном направлении на величину (f_{om}), равную:

$$f_{от} = V_M \cdot t_{cp}^{ct}, \quad (2.33)$$

где V_M – поступательная скорость машины и режущего аппарата, м/с;

t_{cp}^{cm} – время среза одиночного стебля, с.

Если в процессе среза стеблей, как правило, к лезвию режущего элемента нижней и верхней тяговой ветки режущего аппарата подводится группа стеблей числом (n), то время срезания определится как сумма:

$$t_{cp} = \sum_{i=1}^n t_{cp}^{ct}, \quad (2.34)$$

где n – число стеблей в подводимой группе, шт.

Для уменьшения величины t_{cp} выражения (2.34) необходимо уменьшить величину времени среза t_{cp}^{cm} посредством изменения линейной скорости режущих элементов за счет оборотов валов привода режущего аппарата, что в свою очередь отразится и на величине отгиба стеблей (f_{om}) на участке AB и особенно на участке DC , и на качественных показателях процесса среза растений.

При этом необходимо учесть тот факт, что при выполнении процесса среза стеблей образуется не только их отгиб, но и изгиб, который можно приближенно представить в следующем виде: части стебля до момента их контакта с режущей кромкой элемента не имеют кривизны (рисунок 2.12).

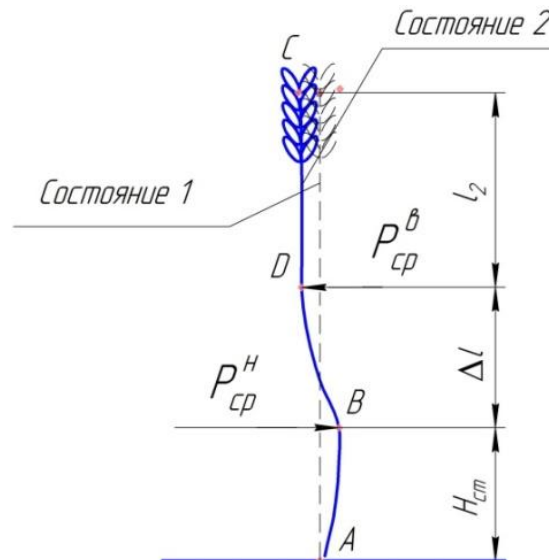


Рисунок 2.12 – Расчетная схема сил, действующих на стебель в процессе двойного среза

Кривизна частей стебля образуется (состояние 2) и возрастает в момент их контакта с режущей кромкой элементов в точках B и D на участке стебля BD или Δl_i и частично на участке AB или H_{cm} , то есть на расстояние $(H_{cm} + \Delta l_i)$ и H_{cm} от опоры стебля. Каждый изогнутый участок стебля можно рассматривать как балку, нагруженную по концам силами $+P_{cp}^H$ и $-P_{cp}^B$ – действующими во взаимно противоположные стороны. При этом возможны два случая, когда $+P_{cp}^H(t) = -$

$P_{cp}^g(t)$ и $+P_{cp}^h(t_1) \neq -P_{cp}^g(t_2)$, то есть действие сил может быть одновременно или разновременно.

Из рисунка 2.12 следует, что изогнутый стебель воздействует усилием от изгиба на режущие кромки элементов режущего аппарата только около точек B и D . Каждый стебель воздействует усилием на режущую кромку элементов от изгиба, которую, согласно работе [13], можно представить как:

$$\begin{cases} +P_{из}^B = \frac{E \cdot J_c}{\Delta l_i + H_{ст}}, \\ -P_{из}^B = \frac{E \cdot J_c}{H_{cm}}, \end{cases} \quad (2.35)$$

где H_{cm} – расстояние от точки A заделки стебля в почве до точки B приложения силы $-P_{из}^B$, то есть высота стерни, м;

Δl_i – расстояние от точки A приложения силы $-P_{из}^B$ до точки B приложения $+P_{из}^B$, то есть промежуточный продукт соломины.

Жесткость стебля ($E \cdot J_c$), которая, как показывают исследования, зависит от его физико-механических свойств и диаметра (d_c), изменяется по высоте стебля согласно выражению (2.36):

$$d_c = r - z \cdot l_c^2 - w \cdot l_c, \quad (2.36)$$

где l_c – длина стебля от основания до колоса (нижняя, средняя, приколосовая часть), м;

r, z, w – коэффициенты определяемы опытным путем.

Система уравнений выражения (2.35) справедливы для случая, когда $-P_{из}^B(t) = +P_{из}^B(t)$, то есть приложены одновременно. При этом возможен случай, когда $-P_{из}^B(t_2) \neq +P_{из}^B(t_1)$, то есть силы приложены к стеблю разновременно, причем $t_2 \gg t_1$, что означает срез стебля в точке B с запаздыванием на величину Δt , поэтому $t_2 = t_1 + \Delta t$. Данный случай можно отобразить системой уравнений:

$$\begin{cases} P_{из}^B = \frac{E \cdot J_c}{(H_{ст} + \Delta l_i)} \\ P_{из}^B = \frac{E \cdot J_c}{H_{ст}} \end{cases} \quad (2.37)$$

Через любое сечение режущей кромки элементов режущего аппарата в одну секунду проходит число стеблей L_{pk}/d_c , где L_{pk} – длина режущей кромки элемента, м; d_c – диаметр одного стебля, м. Число одновременно изгибающихся стеблей равно $\frac{L_{pk}}{d_c} \cdot \frac{V_m}{V_p}$, где V_m – рабочая скорость зерноуборочного комбайна, м/с; V_p – поступательная скорость режущей кромки элементов, м/с. Усилие всех изгибающихся на режущие кромки элементов в случае, когда $+P_{cp}^H(t) = -P_{cp}^6(t)$ равно:

$$\begin{cases} \sum P_{из}^B = \frac{E \cdot J_c \cdot L_{pk} \cdot V_m}{(H_{ст} + \Delta l_i) \cdot d_{c2} \cdot V_p}, \\ \sum P_{из}^H = \frac{E \cdot J_c \cdot L_{pk} \cdot V_m}{H_{ст} \cdot d_{c1} \cdot V_p}, \end{cases} \quad (2.38)$$

где d_{c1} и d_{c2} – соответственно диаметр стебля в точках среза B и D , м.

В этом случае необходимо учитывать тот факт, что число одновременно изгибающихся стеблей при одновременно двойном их срезе будет определять диаметр стебля d_{c1} в точке B , поскольку он всегда больше диаметра стебля d_{c2} точки D ($d_{c1} > d_{c2}$).

Из системы уравнений выражения (2.38) вытекает, что усилия изгибающихся стеблей на режущие кромки элементов зависит от мест приложения сил технологического воздействия рабочих органов режущего аппарата по высоте стебля ($H_{ст}$ и $H_{ст} + \Delta l$).

Помимо этого, из выражения (2.38) следует, что усилия изгибающихся стеблей на режущие кромки элементов определяются рабочей скоростью (V_m) зерноуборочного комбайна и поступательной скоростью (V_p) режущих элементов. Из уравнений видно, что усилия ($P_{из}$) изгибающихся стеблей прямо пропорциональны рабочей скорости зерноуборочного комбайна и обратно пропорциональны скорости режущей кромки односторонних элементов режущего аппарата. Практически это означает, что с увеличением рабочей скорости движения (V_m) зерноуборочного комбайна усилия изгибающихся стеблей на режущие кромки элементов увеличиваются, их возможно уменьшить только за счет изменения скорости (V_p) режущей кромки элементов в большую сторону.

Кроме того, из уравнений выражения (2.38) видно, что физико-механические свойства (жесткость) стебля дифференцированы по его высоте. Дифференциация жесткости стебля по высоте из-за разного диаметра (большой у основания (d_{c1}) и меньший у приколосовой части (d_{c2})) свидетельствует о необходимости предусмотреть дополнительную опору для стебля у режущих элементов верхней ветви режущего аппарата с бесконечно-несущим приводом.

Таким образом, вышеизложенное свидетельствует, что для реализации процесса двойного среза стеблей необходимо свести к минимуму их отгиб, а также изгиб стеблей во время среза, что возможно осуществить за счет обоснованных конструктивно-режимных параметров работы режущего аппарата с бесконечно-несущими режущими элементами и их увязки с рабочей скоростью движения комбайна. В связи с чем далее рассмотрим закономерности взаимосвязи между скоростью режущих элементов режущего аппарата и рабочей скоростью движения зерноуборочного комбайна

2.4.1 Установление закономерностей и зависимостей между поступательной скоростью режущего элемента режущего аппарата и рабочей скоростью движения зерноуборочного комбайна

Процесс двойного среза стеблей реализуется за счет технического устройства (патент № RU2547437 от 10.04.2015 г.) в виде режущего аппарата (рисунок 2.13), у которого режущие элементы закреплены на вращающейся тягово-режущей ветви, что является разновидностью режущего аппарата бесподпорного среза растений, режущие элементы которого в процессе среза стеблей имеют прямолинейное поступательное движение.

По данным работ [13,20] в таких типах режущих аппаратов обеспечивается постоянная скорость резания на всей площади среза и постоянный угол наклона режущих кромок элементов в течение всей фазы резания, что оказывает положительное влияние на качество среза.

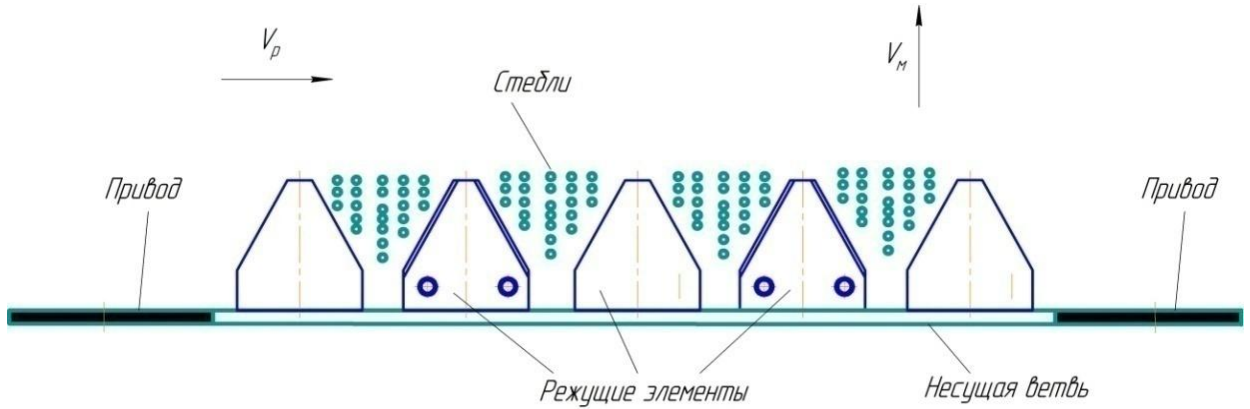


Рисунок 2.13 – Принципиальная схема режущего аппарата с двойным срезом стеблей зерновых культур (вид сверху)

Относительную скорость (V_p) режущего элемента можно определить из выражения [13,20,7,119]:

$$V_{кр} \leq \sqrt{V_M^2 + V_p^2} \quad \text{или} \quad V_p \geq \sqrt{V_{кр}^2 - V_M^2}$$

Так как фактическая скорость резания выбирается в пределах $V_p = (3-5) \cdot V_{кр}$ [13], то можно записать:

$$V_p \geq \sqrt{[(3...5) \cdot V_{кр}]^2 + V_M^2}, \quad (2.39)$$

где $V_{кр}$ – критическая скорость резания;

V_M – рабочая скорость зерноуборочного комбайна, м/с.

Оптимальный кинематический режим работы режущих элементов определим из условия, что отгиб растений режущими элементами отсутствует, то есть достигается условие, что $\Delta x = 0$ (рисунок 2.14).

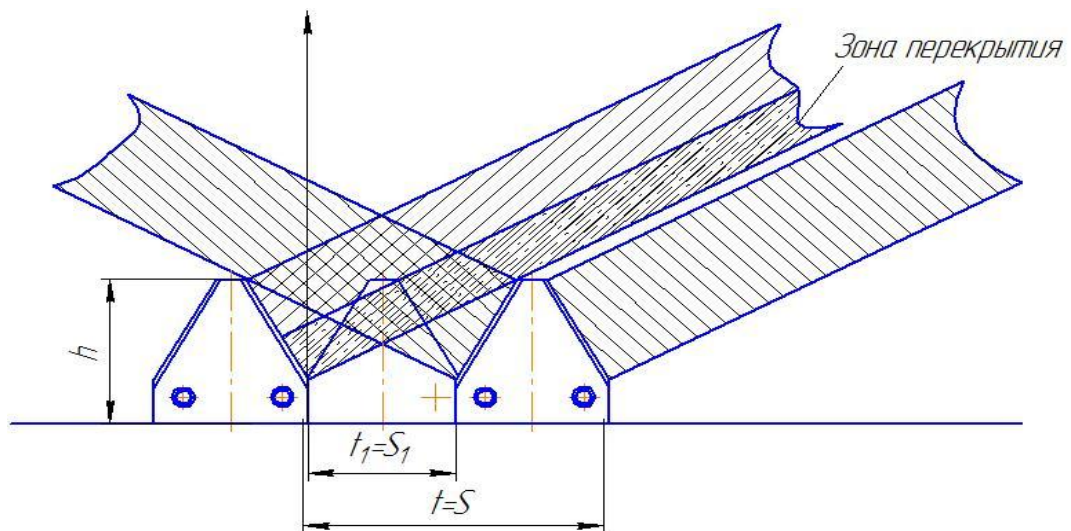


Рисунок 2.14 – Схема для определения расстояния между режущими элементами

Из схемы рисунка 2.14 видно, что расстояние между элементами $t_I = S_I$ имеется зона перекрытия между режущими элементами, поэтому для выполнения условия $\Delta x = 0$ необходимо найти, прежде всего, значение $t = S$.

Тогда, исходя из этого условия, можно определить расстояние между режущими элементами (S) или шаг режущей части (t) по следующей зависимости:

$$t = h \cdot \left(\operatorname{ctg} \alpha + \frac{V_p}{V_M} \right), \quad (2.40)$$

где h – высота режущей кромки, мм. Принимаем в расчетах $h \in (55 \div 60)$ мм;

α – угол наклона режущей кромки элемента, град. Для скользящего среза $\alpha = 60\text{--}70^\circ$ [7,119], поэтому $\alpha = 60^\circ$.

Во время скашивания зерновых культур жаткой комбайна осуществляется подача режущего аппарата (S_M), то есть перемещение машины за один оборот вала привода режущего аппарата. При этом точка несущей ветви режущих элементов переместится на величину $-2\pi r$, где r – радиус привода (звездочки) тяговых ветвей режущего аппарата, м.

Подача режущего аппарата (S_M) может быть найдена из выражения [102,119]:

$$S_M = V_M \cdot \frac{\pi}{\omega_n}, \quad (2.41)$$

где S_M – подача режущего аппарата, м;

V_M – рабочая скорость движения комбайна, м/с;

ω_n – угловая скорость привода режущих элементов, рад/с.

Величина $\omega_n = \frac{\pi \cdot n}{30}$, тогда $S_M = \frac{30}{n} \cdot V_M$, где n – частота вращения привода (звездочки режущего аппарата, с^{-1}).

Ход (S_p) режущего элемента за один оборот звездочки или шкива привода аппарата равен:

$$S_p = 2 \cdot \pi \cdot r, \quad (2.42)$$

где S_p – ход режущего элемента за один оборот звездочки привода режущего аппарата, м;

r – радиус звездочки, м.

При этом скорость режущих элементов за один оборот звездочки привода режущих элементов равна:

$$V_p = \frac{S_p \cdot n}{30} \quad \text{или} \quad V_p = \frac{2 \cdot \pi \cdot r \cdot n}{30} . \quad (2.43)$$

Площадь подачи стеблей в этом случае можно выразить как [98,101,76]:

$$F_n = 2\pi \cdot r \cdot S_M . \quad (2.44)$$

Площадь пробега режущего элемента режущего аппарата найдем из зависимости [102,101,119]:

$$F_{np} = 2\pi \cdot r \cdot h + h \cdot S_M \cdot \operatorname{tg}\alpha' , \quad (2.45)$$

где r – радиус звездочки привода тяговых ветвей режущего аппарата, м. В расчетах величину принимаем дискретно согласно исследованиям (подраздела 2.3), то есть $r \in (0,055; 0,06; 0,08)$ м;

α' – угол заточки кромки режущего элемента, град. По данным работы [102,101,119] $\alpha' = 20^\circ$.

Согласно работам [102,27,28,101,56], во время выполнения процесса среза стеблей должно выполняться условие, что $F_n = F_{np}$, то есть:

$$2\pi \cdot r \cdot S_M = 2\pi \cdot r \cdot h + h \cdot S_M \operatorname{tg}\alpha' .$$

Произведем преобразование данного равенства в следующий вид:

$$2\pi \cdot r \cdot S_M - h \cdot S_M \cdot \operatorname{tg}\alpha' = 2\pi \cdot r \cdot h$$

$$S_M \cdot (2\pi \cdot r - h \cdot \operatorname{tg}\alpha') = 2\pi \cdot r \cdot h$$

Тогда

$$S_M = \frac{2\pi \cdot r \cdot h}{(2\pi \cdot r - h \cdot \operatorname{tg}\alpha')} . \quad (2.46)$$

Исходя из $S_M = \frac{30}{n} \cdot V_M$, выражение (2.46), можно записать как:

$$V_M \cdot \frac{30}{n} = \frac{2\pi \cdot r \cdot h}{(2\pi \cdot r - h \cdot \operatorname{tg}\alpha')} \quad \text{или} \quad V_M = \frac{2\pi \cdot r \cdot h \cdot n}{30 \cdot (2\pi \cdot r - h \cdot \operatorname{tg}\alpha')} , \quad (2.47)$$

где n – частота вращения звездочки привода режущего аппарата, рад/с.

Результаты расчетов по формуле (2.47) отражены на графической зависимости рисунка 2.15.

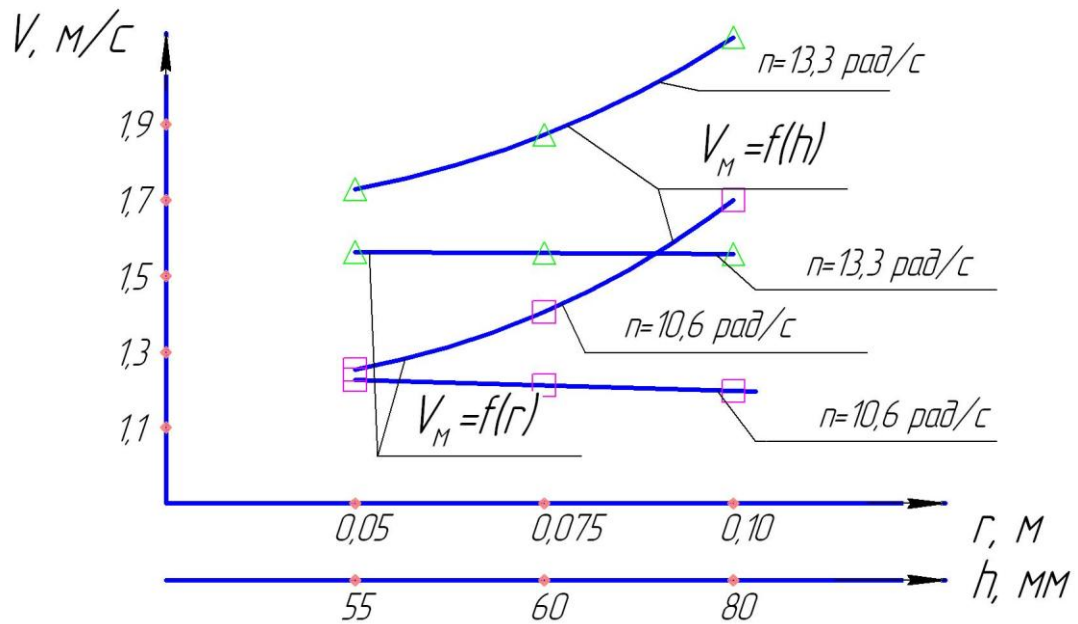


Рисунок 2.15 – Изменение рабочей скорости (V_M) комбайна в зависимости от конструктивно-режимных параметров режущего аппарата

Из графических зависимостей (рисунок 2.15) видно, что на рабочую скорость (V_M) комбайна в большей степени влияет такой конструктивный параметр режущего аппарата, как высота режущей кромки элемента (h) и кинематический режим (n) его работы. Радиус (r) звездочки привода режущего аппарата практически не оказывает существенного влияния на рабочую скорость движения комбайна.

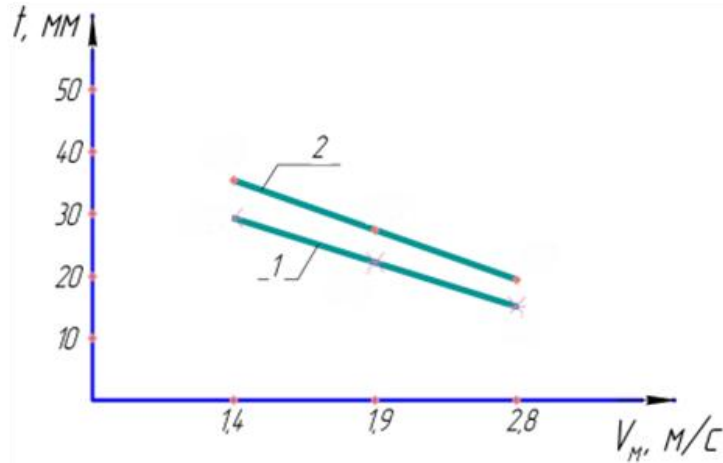
Тогда шаг (t) режущей кромки режущих элементов с учетом выражения (2.47) можно представить:

$$t = h \cdot \left[\text{ctg} \alpha + \frac{V_p}{\frac{2\pi \cdot r \cdot h \cdot n}{(2\pi \cdot r - h \cdot \text{tg} \alpha') \cdot 30}} \right], \quad (2.48)$$

где V_p – поступательная скорость режущих элементов, м/с.

Результаты расчетов по выражению (2.48) свидетельствуют о том, что шаг (t) режущей кромки элементов практически не зависит от конструктивных параметров (r и h) режущего аппарата.

Расчеты по формуле (2.47), представленные графически на рисунке 2.16, показывают, что с увеличением рабочей скорости движения (V_m) комбайна шаг (t) между режущими кромками должен быть уменьшен независимо от кинематического параметра (n) режущего аппарата.



1 – при $r = 0,05$ м, $V_p = 6,69$ м/с, $h = 0,055$ м;

2 – при $r = 0,05$ м, $V_p = 8,36$ м/с, $h = 0,055$ м.

Рисунок 2.16 – Изменение шага (t) режущей кромки в зависимости от рабочей скорости (V_m) комбайна

В выражении (2.47) показатель (n) можно выразить согласно уравнению (2.43):

$$n = \frac{V_p \cdot 30}{2\pi \cdot r}$$

Тогда

$$V_m = \frac{2\pi \cdot r \cdot h \cdot \frac{V_p \cdot 30}{2\pi \cdot r}}{30 \cdot (2\pi \cdot r - h \cdot \operatorname{tg} \alpha')}$$
(2.49)

Произведем преобразование выражения (2.49) в следующий вид:

$$30 \cdot (2\pi r - h \cdot \operatorname{tg} \alpha') \cdot V_m = 2\pi r h \cdot \frac{V_p \cdot 30}{2\pi r}$$

Произведем сокращение правой части по составляющей ($2\pi r$), получим:

$$30 \cdot (2\pi \cdot r - h \cdot \operatorname{tg} \alpha') \cdot V_m = 30 \cdot h \cdot V_p$$

В окончательном виде выражение примет следующий вид:

$$V_p = \frac{V_m \cdot (2\pi \cdot r - h \cdot \operatorname{tg} \alpha')}{h}$$
(2.50)

Из выражения (2.50) следует, что поступательная скорость (V_p) режущего элемента прямо пропорциональна рабочей скорости (V_m) комбайна, радиусу (r) звездочки привода режущих элементов и обратно пропорциональна высоте режущей кромки (h) режущих элементов.

Исходя из выражения (2.50), установим взаимосвязь между рабочей скоростью (V_m) комбайна и поступательной скоростью (V_p) режущих элементов. При этом величина рабочей скорости (V_m) комбайна может быть найдена из выражения:

$$V_m = \frac{V_p \cdot h}{(2\pi \cdot r - h \cdot \operatorname{tg}\alpha')} \quad (2.51)$$

Результаты расчетов по выражению (2.50) и (2.51) с одновременным изменением конструктивных параметров (r и h) режущего аппарата отражены графическими зависимостями на рисунке 2.17.

Из рисунка 2.17 следует, что с увеличением значений параметров (r и h) режущего аппарата при постоянном кинематическом режиме $V_p = 6,69$ м/с ($n = 67$ с⁻¹) следует снижать рабочую скорость (V_m) комбайна. Одновременное увеличение значений конструктивных параметров (r и h) режущего аппарата обеспечивает увеличение поступательной скорости (V_p) режущего элемента. Зависимости рисунка 2.17 свидетельствуют о том, что на малых значениях параметров (r и h) более значим фактор – рабочая скорость движения комбайна.

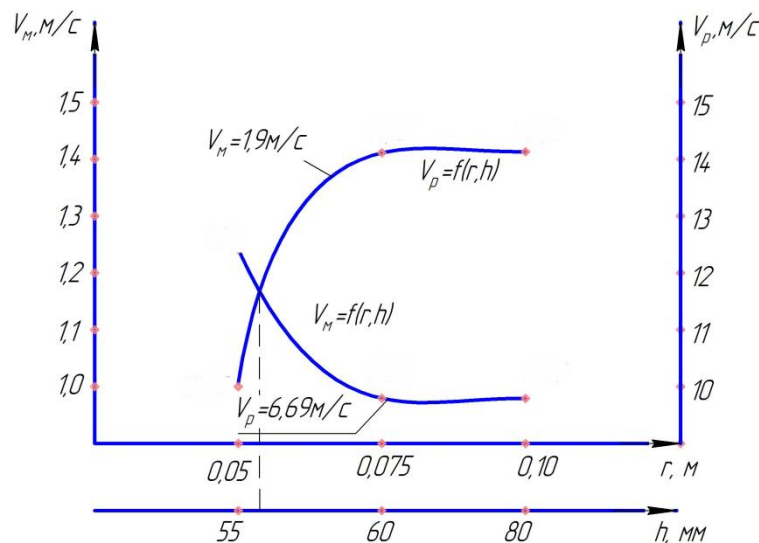


Рисунок 2.17 – Взаимосвязь между рабочей скоростью (V_m) комбайна и поступательной скоростью (V_p) режущего элемента аппарата

После точки пересечения на первый план выходит фактор – скорость (V_p) режущего элемента в области повышения часовой производительности.

Известно, что часовая производительность комбайна равна:

$$W_{\text{ч}} = 0,1 \cdot B \cdot V_M \cdot \tau_T. \quad (2.52)$$

Величину (V_M) в выражении (2.52) можно выразить через уравнение (2.51), тогда:

$$W_{\text{ч}} = 0,1 \cdot B \cdot \frac{V_p \cdot h}{(2\pi r - h \cdot \text{tg} \alpha')} \cdot \tau_T. \quad (2.53)$$

Из выражения (2.53) следует, что часовая производительность зерноуборочного комбайна прямо пропорциональна скорости (V_p) режущего элемента режущего аппарата.

Таким образом, установлено, что рабочая скорость движения зерноуборочного комбайна и скорость режущих элементов находятся во взаимосвязи между собой через конструктивно-режимные параметры режущего аппарата.

Определено, что шаг между режущими элементами зависит как от рабочей скорости движения комбайна, так и от их скорости. Так, с увеличением рабочей скорости комбайна с 1,4 до 2,8 м/с необходимо шаг между режущими элементами уменьшать с 29,4 до 16,3 мм при частоте вращения привода – $\omega = 67 \text{ с}^{-1}$ (640 об/мин) и с 36,0 до 19,5 мм при частоте вращения привода до $\omega = 83,7 \text{ с}^{-1}$ (800 об/мин). Установлено, что шаг между режущими элементами может быть увеличен при повышении их скорости, особенно после значения свыше 8,0 м/с.

Результаты теоретических изысканий и расчетов показывают, что режущий аппарат двойного среза стеблей должен иметь два кинематических режима работы по частоте вращения привода рабочих элементов – это $\omega = 67 \text{ с}^{-1}$ (640 об/мин) и $\omega = 83,7 \text{ с}^{-1}$ (800 об/мин). В этом случае шаг расстановки режущих элементов целесообразно выбирать, исходя из максимальной рабочей скорости движения комбайна и минимальной частоты вращения привода рабочих элементов, то есть $V_M = 2,8 \text{ м/с}$ и $\omega = 67 \text{ с}^{-1}$ (640 об/мин).

Выявлено, что наиболее существенно изменяется как рабочая скорость комбайна, так и скорость режущих элементов при варьировании значениями конструктивных параметров (r и h) в диапазоне $r \in (0,05 - 0,075)$ м и $h \in (55 - 60)$ мм, что практически обеспечивает образование промежуточного продукта соломины по длине в диапазоне 0,10...0,15 м.

Однако ряд вопросов процесса двойного среза стеблей режущими элементами режущего аппарата требует своей практической проверки посредством экспериментов.

Выводы по главе

1. Исходя из методологических положений системного анализа, обоснованы методические подходы к разработке математической модели процесса прямого комбайнирования зерновых культур с двойным срезом стеблей. Разработана информационная модель технологического процесса зерноуборочного комбайна, как преобразующей технической системы, в которой предусматривается техническая подсистема в виде режущего аппарата с двойным срезом стеблей.

2. В ходе анализа математической модели процесса прямого комбайнирования зерновых культур получены закономерности и зависимости, раскрывающие изменение результирующего критерия – часовой производительности зерноуборочного комбайна – от таких технологических свойств зерновых, как соломистость хлебной массы (то есть соотношения зерна и соломы по массе) и засоренности. Установлена взаимосвязь между рабочей скоростью движения, часовой производительностью и коэффициентом соломистости хлебной массы, который взаимосвязан с длиной стеблестоя. При этом взаимосвязь между коэффициентом соломистости хлебной массы и уменьшением длины стеблестоя описывается уравнением 2-го порядка.

3. Выявлено, что уменьшение длины стеблестоя зерновых при их скашивании за счет образования промежуточного продукта соломины (длиной 0,10 м) стебля способствует увеличению рабочей скорости движения комбайна.

Так, расчеты показывают, что за счет этого возможно увеличить рабочую скорость комбайна на 23,0%, что связано с более эффективным использованием пропускной способности молотилки, а это повышение часовой производительности, а следовательно, и сокращение сроков уборки и потерь урожая. Увеличение длины промежуточного продукта до 0,15–0,20 м приводит к повышению рабочей скорости движения комбайна соответственно на 2,4 и 5,0 % относительно длины промежуточного продукта – 0,10 м.

4. Установлено, что для осуществления процесса двойного среза стеблей зерновых целесообразна преобразующая подсистема зерноуборочного комбайна в виде режущего аппарата жатки с бесконечно тягово-режущим элементом. Исходя из этого была обоснована математическая модель, в которой взаимосвязаны между собой основные параметры режущего аппарата и физико-механические свойства стеблей зерновых культур. Из модели следует, что для реализации данного процесса необходимо свести к минимуму отгиб и изгиб стеблей во время их среза, чего возможно добиться за счет обоснованных конструктивно-кинематических режимов работы режущего аппарата с бесконечно тягово-режущим элементом и их увязки с рабочей скоростью движения комбайна.

5. В результате рассмотрения взаимосвязи между поступательной скоростью режущего элемента и рабочей скоростью движения комбайна получены закономерности и зависимости, из которых следует, что шаг между режущими кромками элементов зависит как от рабочей скорости комбайна, так и от их поступательной скорости. Определено, что с увеличением рабочей скорости движения комбайна с 1,4 до 2,8 м/с необходимо шаг между режущими кромками элементов уменьшить с 29,4 до 16,3 мм при частоте вращения вала привода звездочки режущего аппарата 67 с^{-1} (640 об/мин) и с 36,0 до 19,5 мм при частоте вращения вала $83,7 \text{ с}^{-1}$ (800 об/мин). При этом шаг между режущими кромками элементов практически не зависит от таких конструктивных параметров режущего аппарата, как радиус приводной звездочки и высоты режущей кромки элемента. Шаг между режущими кромками элементов может быть увеличен с повышением их поступательной скорости, особенно после значения 8,0 м/с.

3. МЕТОДИКА И ПРОГРАММА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для подтверждения теоретических положений в работе планировалось проведение экспериментальных исследований, в ходе которых определялись значения фактов, характеризующих параметры процесса прямого комбайнирования зерновых культур с двойным срезом стеблей и их описание количественной связью. В общем виде схема исследований базируется на активном и пассивном экспериментах (рисунок 3.1)



Рисунок 3.1 – Общая схема проведения экспериментальных исследований

Метод исследования определяют наблюдения и опыт, а исследования направлены на изучение эксплуатационно-технических и количественных параметров процесса прямого комбайнирования зерновых культур с двойным срезом стеблей и элементов технического устройства двойного среза стеблей.

Основой проведения экспериментальных исследований служит программа работ, а также методика измерений параметров исследуемых закономерностей и

их оценка. В ходе проведения экспериментальных исследований использовались методические положения и рекомендации [19,74,125,123,32,75,84,25,96,109,23,22,21,2,111,26,24,76,99,10,3,71,122].

3.1 Программа экспериментальных исследований

В ходе экспериментальных работ необходимо решать следующие задачи:

1. Определить условия проведения экспериментальных исследований.
2. Провести обследования полей зерновых культур в производственных условиях региона Южного Урала (на примере Челябинской области) с целью установления биометрических (агробиологических) показателей.
3. Установить закономерности высоты стеблестоя зерновых культур, а также соотношение веса зерна и соломы, диаметра стеблей от их длины (высоты), влажности зерна и соломы при обмолоте хлебной массы прямым комбайнированием.
4. Исследовать технико-эксплуатационные параметры технического устройства двойного среза стеблей зерновых культур.
5. Установить зависимость рабочей скорости комбайнов РСМ-101 «Вектор 410», «Джон-Дир» серии 9500 от изменения высоты среза стеблей прямым комбайнированием зерновых культур.
6. Определить потери зерна за комбайнами при прямом комбайнировании зерновых культур с высоким срезом стеблей.
7. Провести качественную оценку бункерного зерна при прямом комбайнировании зерновых культур, при нормальном и высоком срезе стеблей;
8. Провести качественную оценку измельчения незерновой части урожая при прямом комбайнировании зерновых культур с высоким срезом стеблей.
9. Проверить эффективность элементов прямого комбайнирования зерновых культур с высоким срезом стеблей в производственных условиях.

Решение выдвинутых программой задач осуществлялось на основе частных методик исследований, которые определяют способ и необходимые средства для решения поставленной задачи.

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

При испытаниях высокопроизводительных машин и агрегатов допускается определять эксплуатационно-технологические показатели контрольными опытами. Количество контрольных опытов (наблюдений) должно быть не менее десяти [96,109].

Для каждого режима работы зерноуборочного комбайна участок должен состоять из дополнительной делянки, на которой машина набирает заданную скорость движения и входит в технологический режим работы. Длина дополнительной делянки должна быть не менее 25 метров [96,109].

Измерительная аппаратура должна обеспечивать измерение величин с погрешностями, не превышающими указанные в таблице 3.1 [96].

Таблица 3.1. – Погрешность аппаратуры

Наименование измеряемой величины	Допустимая погрешность, %
Время	
Масса	
Частота вращения	
Влажность зерна, соломы, половы	
Высота среза	
Другие линейные замеры	

Погрешность замеров и диапазон параметров комбайнов и других сельскохозяйственных машин и технологического процесса представлена в таблице 3.2 [109].

Таблица 3.2 – Погрешность параметров сельскохозяйственных машин и технологического процесса

Управляемый параметр	Диапазон измерения	Допустимая погрешность измерения, %	Характер используемых сигналов
Наличие растений, шт/м ²	15...20 (зерновые)	3...5	дискретный
Скорости рабочих органов:			
линейные, м/с	0,03...0,05	5-10	непрерывно-дискретный
угловые, рад/с	до 300	5-10	непрерывно-дискретный

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

3.2.1 Определение числа измерений

Ввиду того, что допуски на контроль сельскохозяйственных процессов очень большие (2,0%–10,0%, иногда до 25,0%) [96], число измерений получается меньше. Необходимое число (n) измерений показателя устанавливается на основе теории вероятности с учётом надёжности вычислений и допустимой ошибки, взятой в долях от стандартной, а также сложностью и трудностью операции. Число (n) измерений показателя с вероятностью $P = 0,9$ при ошибке средней величины измерений в 2,0% и 1,0 % соответственно 3 и 5 замеров. Это означает, что показатели, характеризующие биометрические (агробиологические) параметры зерновых культур и работу технических устройств, определяем в 3-кратной повторности и в каждом опыте с 5-кратным измерением, а также в отдельных случаях 10-кратным измерением. Полученные данные обрабатываются методами теории вероятности.

3.3 Установление закономерностей изменения эксплуатационно-технологических показателей элементов процесса прямого комбайнирования зерновых культур с высоким срезом стеблей

3.3.1 Планирование пассивного эксперимента при определении эксплуатационно-технологических показателей зерноуборочных комбайнов

При оценке элементов процесса прямого комбайнирования зерновых колосовых культур с двойным срезом стеблей (пшеница) на базе комбайнов РСМ-101 «Вектор-410» (рисунок 3.2 а) и «Джон-Дир» серии 9500 (рисунок 3.2 б) проводилась экспериментально-исследовательская работа в следующей последовательности:

- снималась агробиологическая характеристика (биометрические параметры) зерновых культур (пшеница Омская 36 и Челябинская 2);
- снималась агробиологическая характеристика зерновых культур (пшеница) перед прямым комбайнированием выбранных участков поля:



а) РСМ-101 «Вектор-410»

б) «Джон-Дир» серии 9500

Рисунок 3.2 – Зерноуборочный комбайн РСМ-101 «Вектор-410» и «Джон-Дир» серии 9500 с жатками на прямом комбайнировании зерновых культур

- определялись показатели работы комбайнов РСМ-101 «Вектор-410» и «Джон-Дир» серии 9500 на прямом комбайнировании зерновых культур с нормальным и высоким срезом стеблей;
- фиксировалось изменение качественных показателей бункерного зерна за комбайнами РСМ-101 «Вектор-410» и «Джон-Дир» серии 9500 на комбайнировании зерновых культур при нормальном и высоком срезе стеблей;
- определялись показатели работы измельчителя-разбрасывателя соломы (ИРС) незерновой части урожая (НЧУ) комбайнов на прямом комбайнировании зерновых культур при нормальном и высоком срезе стеблей.

На основании выполненной работы по пассивному эксперименту получаем эксплуатационно-технологические показатели зерноуборочных комбайнов РСМ-101 «Вектор-410» и «Джон-Дир» серии 9500 на прямом комбайнировании зерновых культур с высоким срезом стеблей, которые в последующем обрабатываются по ГОСТ 23728–88, ГОСТ 23730–88 [84,25].

3.3.2 Установление агробиологической характеристики зерновых культур перед прямым комбайнированием

Перед прямым комбайнированием зерновых культур (пшеница) на каждом участке определялись биометрические параметры, такие, как средняя высота растений, густота, влажность зерна и соломы, засоренность. Характеристика на каждом участке поля снимается по методике – Программа и методы испытаний зерноуборочных машин. Основными показателями являются [96,23]:

- культура, сорт;
- пониклость растений;
- распределение колосьев по высоте, %;
- длина колоса, м;
- отношение веса зерна к весу соломы;
- влажность зерна и соломы, %;
- урожайность зерна, ц/га.

Биометрические параметры зерновых культур (пшеница) определяем на основе частных методик.

При определении влажности зерна и соломы отбор проб осуществляем с различных мест исходного материала с таким расчётом, чтобы отобранные пробы характеризовали весь обрабатываемый материал. Влажность зерна и соломы определяем влагомерами с погрешностью не более 1,5 % при влажности до 25,0% и в случае необходимости через сушильный шкаф.

3.3.3 Методика определения изменения коэффициента соломистости в зависимости от высоты стеблестоя зерновых культур

После установления биометрических параметров зерновых культур (пшеница), решаем вопрос, связанный с определением изменения коэффициента соломистости в зависимости от высоты стеблестоя (пшеница Омская 36).

Количественную связь между коэффициентом соломистости и высотой стеблестоя определяем по следующей схеме. Из проб снопов пшеницы случайным образом выделяем 10 штук стеблей, и это осуществляем в 10-кратной повторности. При этом определяем влажность зерна и соломы. Затем определяем высоту стеблей и длину колоса (рисунок 3.3), взвешиваем стебель с колосом на электронных весах и фиксируем общий вес. После этого выделяем зерно из колоса и взвешиваем его на электронных весах, после этого отдельно взвешиваем соломину стебля и устанавливаем его вес. Всё это выполняем отдельно для каждого стебля из пробы, то есть для 10 штук стеблей в 10-кратной повторности.



Рисунок 3.3 – Определение высоты стеблестоя и длины колоса

На основе полученных данных отношения веса зерна к весу соломины стебля определяем коэффициент соломистости пшеницы, полученное значение рассматриваем как контрольную величину.

Затем длину каждого стебля уменьшаем от основания (от точки среза равной 0,10 м) на величину – 0,10 м; 0,15 м; 0,20 м. При этом каждый раз в зависимости от величины уменьшения длины стебля осуществляем взвешивание его без зерна на электронных весах. Тем самым фиксируем вес соломины каждого стебля. Все замеры осуществляем для пробы, состоящей из 10 стеблей и в 10-кратной повторности. В результате замеров получаем изменение веса зерна к весу соломины стебля в зависимости от уменьшения длины на величину, равную 0,05 м; 0,10 м; 0,15 м; 0,20 м.

Полученные данные заносятся в журнал для регистрации экспериментальных данных, которые в дальнейшем обрабатываются методами статистической теории. На основании полученных усреднённых величин отношения веса зерна к весу соломины по общепринятой методике, определяем значения коэффициента соломистости пшеницы в зависимости от уменьшения длины стебля на величину шага – 0,05 м; 0,10 м; 0,15 м; 0,20 м, что отражается в журнале учёта и регистрации экспериментальных данных.

3.3.4 Методика определения диаметра стебля пшеницы

Из проб снопов пшеницы Омская 36 и Челябинская 2, срезанных на высоте 0,10 м от основания, что соответствует нормальному срезу при прямом комбайнировании зерновых культур, выделяем пробу в количестве 10 стеблей. Всё это выполняем в 5-кратной повторности, то есть пробы берём из 5 первоначальных снопов пшеницы. Далее осуществляем замер диаметра стебля посредством микрометра МКО-20 (ГОСТ 650778) (рисунок А.1 из приложения А). При этом заметим, что стебель по высоте условно разбивается на три участка: основание, середина и приколосовая часть. Выделяются на этих участках средние точки, где и осуществляется замер диаметра стебля.

Полученные значения диаметра стебля в зависимости от его части заносятся в журнал учёта и регистрации экспериментальных данных, которые в последующем обрабатываются методом статистической теории.

3.3.5 Определение эксплуатационно-технологических показателей работы зерноуборочных комбайнов

На контрольных участках - делянках (рисунок 3.4) определяется высота стеблестоя, влажность зерна и соломы на основе ОСТ 70.8.1–81 (Программа и методы испытаний) [23,22]. На одном поле с одинаковой урожайностью выделяют 3 участка - делянки длиной гона 30 метров. При этом к каждому участку

дополнительно присоединяется участок длиной 25–30 метров для разгона и выхода комбайна на соответствующий скоростной режим.



Рисунок 3.4 – Контрольные участки на поле

Степень влияния изменения условий в процессе эксперимента, то есть стационарность исследуемого процесса прямого комбайнирования зерновых культур с двойным или высоким срезом стеблей, определяем за счет работы одного комбайна на различных скоростных режимах в 3-кратной повторности, что соответствует условию повторяемости эксперимента.

При исследовании определяем эксплуатационно-технологические показатели работы комбайна контрольными опытами, продолжительность которых равна затратам времени на обработку контрольного гона участка - делянки с определённой рабочей скоростью. Количество контрольных опытов не менее 3 штук.

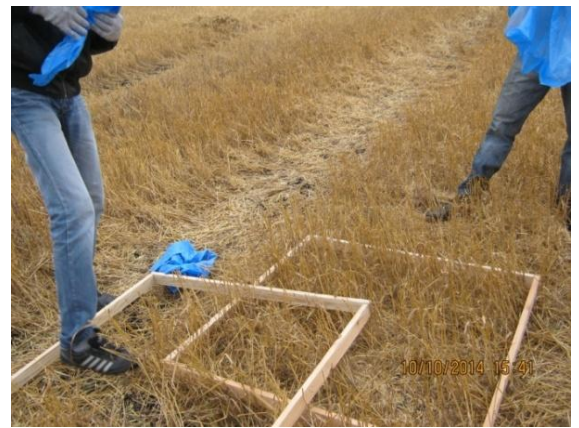
Изменение условий эксперимента в целом, то есть процесса прямого комбайнирования зерновых культур с высоким срезом, определяем фотохронометражом скоростных режимов работы 2–3 комбайнов на контрольных участках-делянках, это соответствует условию повторяемости эксперимента. Этим фиксируем влияние урожайности зерновых культур на скоростной режим работы комбайна.

Полевые исследования работы комбайнов при прямом комбайнировании зерновых культур осуществляем по следующей схеме:

1. На контрольном участке – делянке длиной 30 м производим прямое комбайнирование зерновых (пшеница) на скоростном режиме 1,4 м/с и высоте среза стеблей от основания – 0,10 м. Затем комбайн останавливается, и из бункера берётся проба зерна весом 3,0 кг для анализа по качественным показателям ГОСТ 13586.2–83 [24,23]. После этого на участке – делянке прохода комбайна определяются потери зерна колосом за комбайном в соответствии с частными методиками. Одновременно с этим на площади рамки в 0,5 м² собирается измельчённая солома урожая (рисунок 3.5 б), которая после сбора взвешивается на электронных весах. При этом продукт измельчения соломы фракционируется по данным измельчения: 0,01 м; 0,01–0,05 м; более 0,05 м. Полученные фракции взвешиваются на электронных весах, и далее определяется их процентное соотношение. Все замеры проводятся в 3-кратной повторности.



а) взятие проб на потери зерна колосом за жаткой комбайна



б) взятие проб на измельчение соломы ИРС комбайна

Рисунок 3.7 – Взятие проб на контрольных участках работы комбайнов

2. Далее на контрольном участке-делянке с длиной гона 30 м, а также с дополнительной разгонной полосой длиной 25–30 метров осуществляем прямое комбайнирование зерновых культур на высоте среза стеблей 0,15 м от основания при скоростном режиме работы комбайна 1,4–2,5 м/с. После обмолота хлебной массы контрольного участка останавливается комбайн и берётся проба зерна из бункера весом 3,0 кг для анализа по качественным показателям ГОСТ 13586.2–83 [24,23]. Кроме того, определяются потери зерна за комбайном и показатели качества измельчения соломы так же, как в пункте 1.

3. После данных замеров осуществляем следующий полевой опыт, в котором на контрольном участке-делянке с учётом разгонной полосы производим прямое комбайнирование зерновых культур (пшеница) на высоте среза стеблей 0,20–0,25 м и скоростном режиме работы комбайна 1,4–2,5 м/с. Далее выполняются замеры в соответствии с первым пунктом.

4. Затем проводим серию опытов, в которых на отдельных контрольных участках-делянках длиной 30 метров, а также с наличием дополнительной разгонной полосы длиной 25 метров осуществляем прямое комбайнирование пшеницы на высоте среза стеблей 0,20 м от основания при скоростных режимах работы комбайна соответственно: 1,4 м/с; 1,9 м/с; 2,5 м/с. В каждом опыте из бункера берётся проба зерна весом 3,0 кг для анализа по качественным показателям ГОСТ 13586.2–83 [23], а также определяются потери зерна колосом за комбайном. Качественные показатели измельчения соломы оцениваются в соответствии с методическими положениями первого пункта данного подраздела. Все замеры проводятся в 3-кратной повторности.

Полученные экспериментальные данные заносятся в журнал учёта и регистрации и в последующем обрабатываются методами статистической теории.

3.4 Установление закономерностей изменения параметров технического устройства двойного среза стеблей зерновых культур

3.4.1 Планирование активного эксперимента при определении параметров технического устройства двойного среза стеблей

Для исследования влияния основных факторов на процесс двойного среза стеблей (культура - пшеница), а также обоснования его режимов была разработана следующая программа экспериментальных исследований:

1. Проектирование и изготовление экспериментальной установки двойного среза стеблей зерновых культур.

2. Исследование влияния основных конструктивных и режимных параметров технического устройства на процесс двойного среза стеблей.

3. Определение качественных показателей процесса двойного среза стеблей зерновых культур.

Для реализации программы активного эксперимента были выбраны факторы и обоснована обработка результатов исследований. Из множества факторов, влияющих на процесс двойного среза стеблей, были выбраны два основных: $t (X_1)$ – шаг расстановки режущих элементов, м; $V_p (X_2)$ – рабочая скорость движения комбайна, м/с. Пределы изменения факторов приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Факторы и пределы их изменения

Условия планирования	Кодированное значение	Значения факторов в точках плана	
		X_1	X_2
		t, м	V_p , м/с
Основной интервал	0	0,025	5,0
Интервал варьирования	\triangle	0,025	2,5
Верхний уровень	+1	0,05	7,5
Нижний уровень	-1	0	2,5

Интервалы варьирования факторов выявлялись на основе теоретических изысканий второй главы работы и изучения работ ученых [121,9], выполненных по срезу стеблей зерновых колосовых культур, а также исходя из конструктивных особенностей лабораторной установки и технологических условий процесса двойного среза стеблей зерновых культур.

Опыты проводились в трёхкратной повторности. Постановка параллельных опытов, как правило, не даёт полностью совпадающих результатов, поэтому оцениваем ошибку воспроизводимости по параллельным опытам [71,31]. Для чего определяем дисперсию воспроизводимости по данным параллельных наблюдений. Затем производим проверку однородности дисперсий с помощью критерия того зерна, расчётное значение которого сравниваем с табличными данными. Проверку отдельных коэффициентов в регрессии на значимость проводили с помощью критерия t -Стьюдента при уровне значимости – 0,05. Адекватность проверяем по критерию Фишера при уровне значимости – 0,05.

В качестве критерия оптимизации был выбран показатель – длина промежуточного продукта среза стебля зерновых культур (пшеница).

3.4.2 Описание экспериментальной установки двойного среза стеблей зерновых культур

Для реализации предложенного процесса среза стеблей зерновых культур было разработано и запатентовано техническое решение (патент № RU2547437 от 10.04.2015 г.).

Данное техническое устройство реализуется таким образом: на зерноуборочный комбайн навешивается жатка с режущим аппаратом на бесконечном тяговом элементе, причем кромки режущих элементов расположены в плоскости, параллельной оси вращения ведущих звездочек, тем самым обеспечивается двойной срез стеблей зерновых культур. Для его реализации устройство содержит раму, на которой установлены два привода со звездочками с натянутым бесконечным тяговым элементом с режущими элементами.

Для подтверждения предложенного способа среза стеблей зерновых культур была разработана лабораторная установка, на которой проводились эксперименты в лабораторных условиях с целью возможности варьирования параметрами опытов и размещения измерительных приборов для контроля технологического процесса. Схема лабораторной установки представлена на рисунке 3.6.

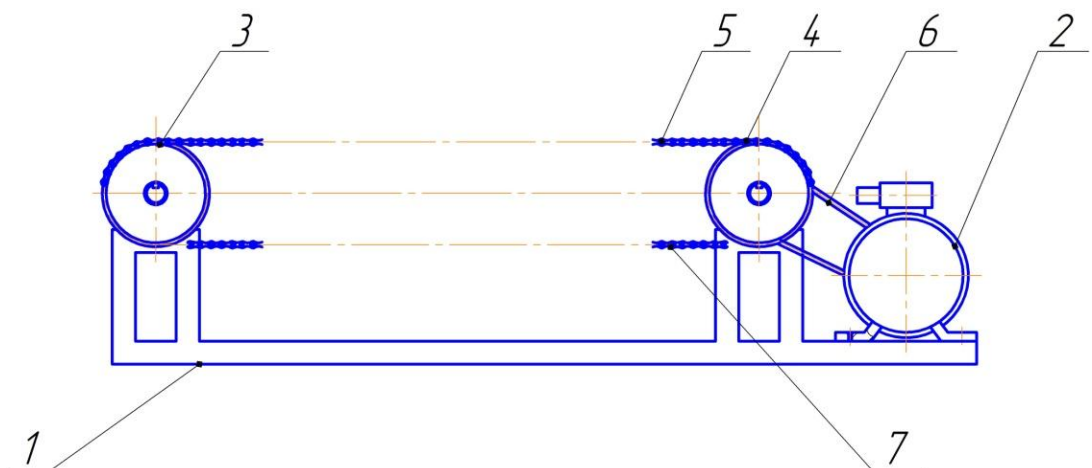


Рисунок 3.6 – Схема лабораторной установки по изучению процесса двойного среза стеблей зерновых культур

Разработанная лабораторная установка (рисунок 3.6) включает в себя: 1 – несущая рама, 2 –тяговый элемент, 3,4 – приводные звёздочки, 5 – режущие элементы, 6 - кронштейны крепления режущих элементов, 7 – электродвигатель.

Основной рабочий орган – это тяговая цепь (шаг цепи – 19 мм), на которой смонтированы кронштейны, а на них крепятся режущие элементы в виде сегментов. Привод тяговой цепи осуществляется через шкив передачей от электродвигателя марки АОМ 22.2, частоту оборотов которого изменяем посредством частотного преобразователя марки Веспер Е2-8300-003Н (рисунок П.А3). Общий вид лабораторной установки приведён на рисунке 3.7.



Рисунок 3.7 – Лабораторная установка для изучения процесса двойного среза стеблей зерновых культур

В ходе проведения экспериментальных исследований были применены средства измерения, которые представлены в приложении А.

3.4.3 Методика исследования параметров процесса двойного среза стеблей на лабораторной установке

Для определения основных закономерностей процесса двойного среза стеблей необходимо изучить влияние скоростных режимов режущих элементов, а также их расстановки (шаг) на тяговой цепи и подачу стеблей в зону резания на качественные показатели длины промежуточного продукта.

Изучение влияния выше перечисленных факторов на процесс двойного среза стеблей позволит установить изменения качественных показателей среза стеблей зерновых культур и оценить технологическую надёжность разрабатываемого процесса.

Цель активного эксперимента: установить влияние конструктивно-режимных параметров технического устройства на качественные показатели среза стеблей зерновых культур и оценить технологическую надёжность разрабатываемого процесса.

Согласно разработанной схеме исследований в опытах используются стебли пшеницы (Омская 36 и Челябинская 2) с влажностью от 18,0% до 25,0 %. Данный диапазон влажности соломины стебля был выбран с целью приближения лабораторных исследований к производственным условиям, поскольку во время прямого комбайнирования зерновых культур в условиях Челябинской области влажность соломы изменяется от 16,0% до 27,0%.

Для определения влияния линейной скорости режущих элементов на качественные показатели среза стеблей и на технологическую надёжность процесса двойного среза стеблей было произведено изменение её в диапазоне от 2,5 до 9 м/с, что соответствовало результатам теоретических исследований. При этом подача стеблей (шт./на 20 мм) была постоянной и составляла 3–5 шт./20 мм, что соответствовало густоте стеблестоя – 250 шт./м². Влияние шага расстановки режущих элементов на тяговой цепи на качественные показатели среза стеблей было выявлено при линейной скорости режущего элемента равной 5,0–9,0 м/с и подачи стеблей (3–5 шт./на 20мм), что соответствовало густоте стеблестоя – 250 шт./м², и при влажности соломы стеблей – 20,0%.

Результаты экспериментов заносятся в журнал учёта и регистрации, которые в последующем обрабатываются методами статистической теории.

3.4.4 Методика по оценке качества среза стеблей зерновых культур

После выполнения процесса двойного среза стеблей пшеницы рассматриваются и оцениваются качественные показатели среза стеблей. Для этих целей исследуются торцы стебля на наличие косого среза, надрывов и отрывов частей друг от друга, а также фиксируется изменение высоты стебля и длины промежуточного продукта из-за возможности увеличения прогиба стеблей.

Для этих целей берётся проба стеблей и промежуточного продукта соломины после их среза в количестве 5–10 штук и оцениваются качественные показатели среза по вышеперечисленным критериям в 5-кратной повторности. Результаты анализа процесса двойного среза стеблей пшеницы в виде соответствующих показателей приведены в таблице 3.4. Замеры производятся в трёхкратной повторности.

Таблица 3.4 – Количественная оценка процесса двойного среза стеблей пшеницы (Челябинская 2)

Показатель	Контроль показателя	Значение	
		штук	%
Количество стеблей промежуточного продукта соломы	-	5–10	100
		5–10	100
Наличие «косого» среза стебля	-	a_1	a_{11}
Наличие «надрыва» стебля	-	a_2	a_{22}
Наличие «надрыва» промежуточного продукта соломы	-	a_3	a_{33}
Наличие «обрыва» стебля из опоры	-	a_4	a_{44}
Наличие «излома» стебля	-	a_5	a_{55}
Увеличение высоты, м	0,10	a_6	a_{66}
Увеличение длины промежуточного продукта соломины, м	0,10-0,15	a_7	a_{77}

По данным таблицы 3.4 определяется вероятность каждого события по формуле:

$$P = \frac{n_{cm}^i}{\sum_{i=1}^{100} N_{cm}} \quad (3.1)$$

где n_{cm}^i – количество событий i -показателя, шт.;

N_{cm} – общее количество стеблей и промежуточного продукта соломины $N_{cm} = N_{np} = 5–10$ шт.

В результате обработки данных таблицы 3.4 получаем соотношение между показателями, которое формирует структуру качественных показателей процесса двойного среза стеблей пшеницы и вероятность этих событий.

3.5 Методика обработки экспериментальных данных и оценки погрешности измеряемых величин

Методической основой обработки экспериментальных данных служит теория математической статистики и случайных величин [41,42, 43, 100, 70, 118].

Обработка результатов опытов, а также вычисление расчётных значений результирующих критериев проводим с использованием пакетов приказных программ Mathcad14 и Microsoft Excel 2007.

Порядок обработки результатов экспериментов сводится к следующему:

1. Обрабатываются наблюдения в экспериментальных опытах.
2. Вычисление статистических характеристик параметров исследуемого процесса, то есть находим m_x, D_x .
3. Сравнение теоретических и экспериментальных зависимостей, определение степени согласия.
4. Установление взаимных связей между случайными процессами.
5. Анализ и обобщение результатов экспериментов.

При получении результата, резко отличающегося от всех других результатов, проверяем, не нарушено ли основное условие измерений. Величина стандартной ошибки измерений неизвестна, но она оценивается приближённо по результатам измерений по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3.2)$$

Абсолютная величина разности $(x^* - \bar{x})$ между «выскакивающим» значением x^* и \bar{x} средним значением, делится на S , и получаем:

$$x_{расч} = \frac{x^* - \bar{x}}{S} \quad (3.3)$$

Далее $t_{расч}$ сравниваем с $t_T(P = 0,95)$ [100]. Если при результатах отношении $t_{расч}$ оказывается между двумя критическими значениями при надёжности P_1 и P_2 , причём $P_1 > P_2$, то с надёжностью вывода большей P_1 , можно считать, что

«выскакивающее» значение содержит грубую ошибку и его целесообразно исключить из численного массива результатов замеров.

3.6 Проверка средних значений измеренных величин параметров

Для выявления случайности или неслучайности расхождений значений некоторого параметра X_i определяем среднее значение параметра \bar{x}_i . Если разность между средними значениями достаточно большая, то имеем практическую уверенность в случайном происхождении обнаруженных различий. Измерения предполагаем независимыми: они проводятся одним и тем же исследователем за одним комбайном, что даёт основание для сравнения средних при неизвестной дисперсии. При серии независимых измерений получаем n_1, \bar{x}_1, S_1^2 и n_2, \bar{x}_2, S_2^2 , тогда:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S \cdot \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}. \quad (3.4)$$

$$S = \sqrt{\frac{(n_1 - 1) \cdot s_1^2 + (n_2 - 1) \cdot S_1^2}{(n_1 - 1) + (n_2 - 1)}}. \quad (3.5)$$

По данным [100, 116] находим t_T ($P = 0,95; K$), $K =$ Если абсолютная величина отношения превосходит найденное значение t_T ($P = 0,95; K$), то расхождение средних значений можно считать неслучайными с надёжностью вывода $P = 0,95$. В противном случае нет оснований считать расхождение значимым.

Выводы по главе

1. Теоретические изыскания свидетельствуют, что для их подтверждения необходимо применить как пассивный, так и активный эксперименты, для проведения которых были разработаны программы их реализации и частные методики по определению основных параметров,

характеризующих качественные показатели функционирования как процесса прямого комбайнирования зерновых культур с двойным или высоким срезом стеблей, так и режущего аппарата двойного среза стеблей в виде лабораторной установки.

2. Обосновано приборное и инструментальное обеспечение запланированных экспериментов. Кроме того, разработана и изготовлена лабораторная установка как аналог режущего аппарата двойного среза стеблей.

3. Разработана последовательность этапов реализации программ экспериментальных исследований. Обоснованы кратность опытов и качество замеров параметров, а также методики обработки первичной информации при выполнении экспериментальных исследований.

Таким образом, на основе изложенных методических положений далее определим эксплуатационно-технологические показатели, характеризующие процесс прямого комбайнирования с двойным срезом стеблей зерновых культур.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Установление закономерностей технологических свойств зерновых культур

4.1.1 Определение агробиологических показателей зерновых культур

В соответствии с разработанными программами и методиками экспериментальных исследований в ООО «Половинка» в течение 2008–2011 гг. и ОАО «Совхоз «Акбашевский» (Челябинская область) в 2014 году проводились наблюдения и определялись изменения агробиологических характеристик (биометрических параметров) зерновых культур в период уборки (рисунок 4.1)



Рисунок 4.1 – Зерновые культуры в период уборки урожая (пшеница)

В ходе экспериментальных исследований были получены первичные данные, которые приведены в приложении Б. Поскольку высота стеблестоя и другие параметры зерновых культур образуются под влиянием многочисленных случайных факторов (семенной материал, агротехника, природно-климатические условия и другие), то мера изменчивости высоты стеблестоя и других параметров оценивается статистически в приложении Б.

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

В результате математической обработки первичной информации определены значения основных параметров, характеризующих закономерности состояния зерновых культур в условиях региона Южного Урала на примере Челябинской области (таблица П.Б1 и рисунок 4.1).

Результаты обработки и анализ данных таблицы П.Б1 свидетельствуют о том, что в неблагоприятные годы (2008–2011 гг.) по природно-климатическим условиям (засушливые годы) распределение стеблестоя пшеницы по ярусности сосредоточено в интервале 0,4–0,5 м.

В благоприятный по природно-климатическим условиям 2014 год распределение стеблей по высоте (пшеница) сосредоточено в интервале 0,7–0,8 м и 0,8–0,9 м при вероятности события соответственно 38,0 % и 54,0 % (таблица П.Б1).

Гистограмма распределения высоты стеблестоя хлебной массы (Саратовская 38), представленная на рисунке 4.2, показывает, что при выполнении процесса прямого комбайнирования зерновых культур с высоким или двойным срезом стеблей возможны потери зерна колосом за комбайновой жаткой.

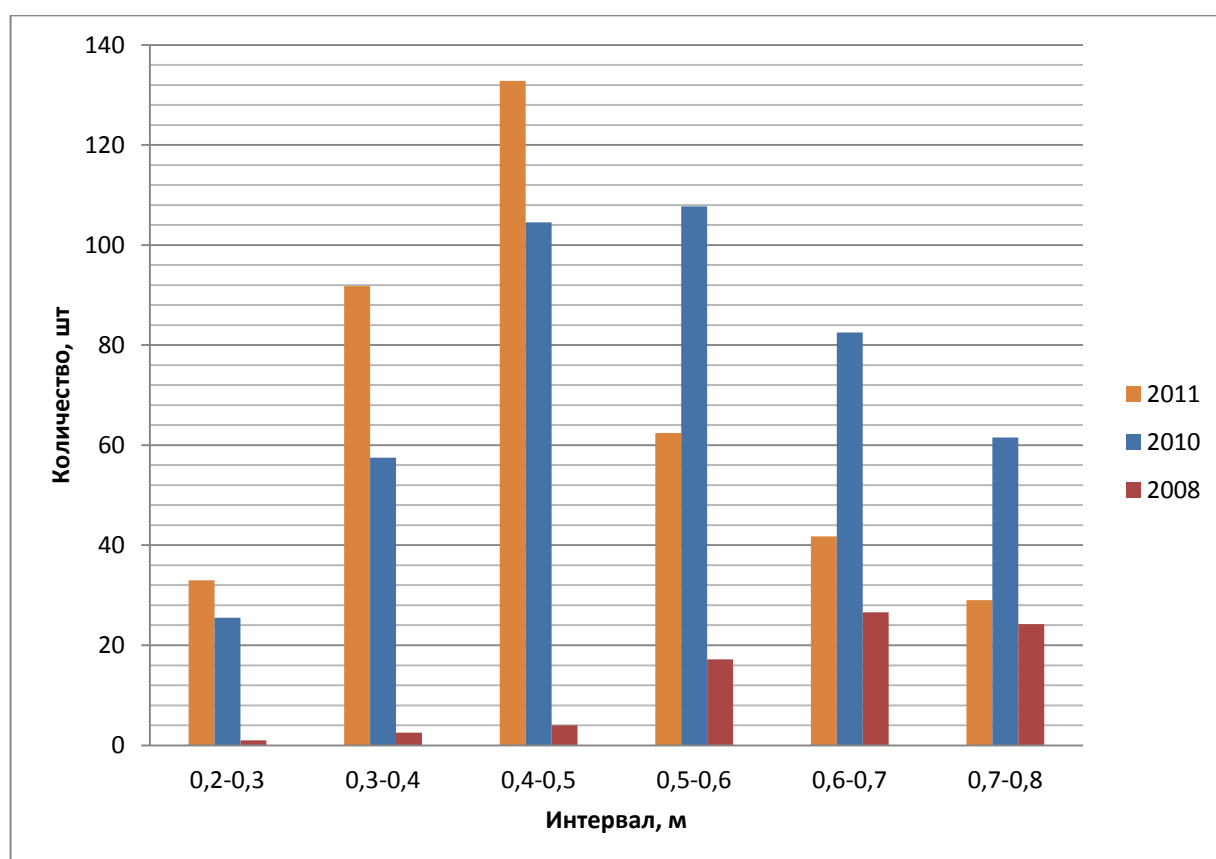


Рисунок 4.2 – Гистограмма распределения ярусности стеблестоя зерновых культур в условиях Челябинской области

Исходя из всей совокупности выборки и отдельных интервалов высоты стеблестоя, можно определить вероятность любого интервала, в том числе и низкорослого хлебостоя (диапазона 0,2–0,3 м) по формуле:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^m n_i}{\sum_{i=1}^m N_i}, \quad (4.1)$$

где n_i – частота событий интервала стеблестоя пшеницы в диапазоне 0,2–0,3 м, шт.;
 N_i – совокупность событий интервала стеблестоя в диапазоне от 0,2–0,3 м до 0,7–0,8 м, шт.

Расчеты свидетельствуют о том, что доля хлебной массы высотой диапазона 0,2–0,3 м составляет 0,058 или 5,8% от общей совокупности исследованного материала. Величина вероятности 5,8% диапазона высоты стеблестоя 0,2–0,3 м говорит о незначительной возможности образования потерь зерна срезанным колосом за комбайновой жаткой при уборке зерновых культур прямым комбайнированием с двойным или высоким срезом стеблей.

Расчет вероятности интервала высоты стеблестоя хлебной массы по формуле 4.1 отражен в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Вероятность интервалов высоты стеблестоя хлебной массы в условиях региона Южного Урала на примере Челябинской области*

Год наблюдений	Вероятность, доля						
	Интервал, м						
	0,2-0,3	0,3-0,4	0,4-0,5	0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-0,8	0,8-0,9
2008	0,013	0,03	0,050	0,235	0,352	0,320	-
2010	0,058	0,13	0,232	0,247	0,193	0,140	-
2011	0,08	0,24	0,34	0,16	0,14	0,07	-
2012	-	-	-	-	-	-	-
2014	-	-	-	0,06	0,02	0,54	0,38

*-пшеница: Саратовская 38; Омская 36; Челябинская 2

Данные таблицы 4.1 показывают, что в неблагоприятные годы по природно-климатическим условиям (2008–2011 гг.) в общей совокупности высоты стеблей

пшеницы доминирующими интервалами является 0,4–0,5 м и 0,5–0,6 м (вероятность соответственно 23,2–34,0% и 23,5–24,7%). С улучшением природно-климатических условий в 2014 году в регионе Южного Урала (Челябинская область) наблюдается доминирование интервала высоты стеблестоя пшеницы в общей совокупности исследуемого материала 0,7–0,8 м и 0,8–0,9 м (вероятность соответственно 40,0–54,0% и 38%), то есть преобладает высокостеблевой хлебостой. При этом, как видно из таблицы 4.1, низкорослый хлебостой практически отсутствует, что и подтверждает рисунок 4.3

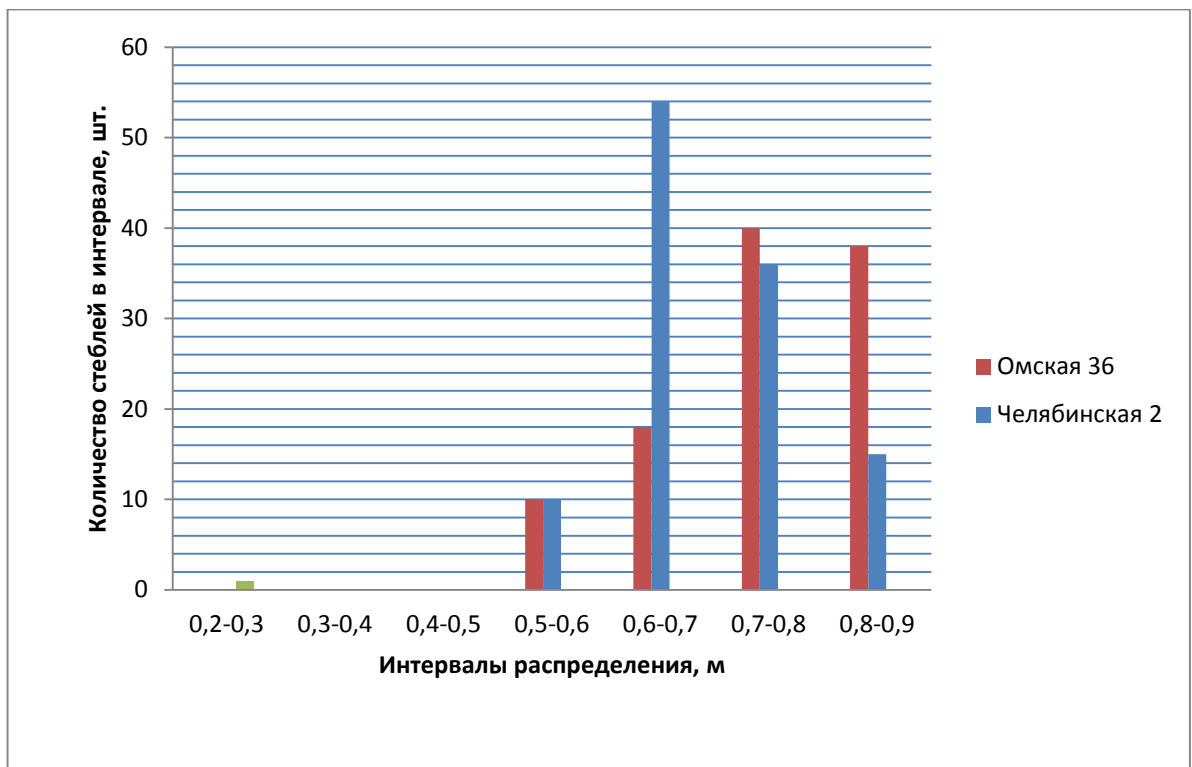


Рисунок 4.3 – Распределение высоты стеблестоя хлебной массы различных культур в полевых условиях 2014 г.

В ходе экспериментальных исследований, кроме высоты стеблестоя, определялись такие основные характеристики стеблестоя, как средняя длина стебля, масса стебля, масса зерна колоса, соломистость хлебной массы и другие показатели. Основные агробиологические и технологические свойства зерновых культур (пшеница) для условий региона Южного Урала на примере Челябинской области отражены в таблице П.Б2.

Из таблицы П.Б2 видно, что пшеница Саратовская 38 имеет существенный разброс как по массе стебля, так и по зерну, о чём свидетельствуют

коэффициенты вариации. Так, для массы стебля $v = 22,35\%$, а для массы зерна колоса – $28,54\%$. Заметим, что коэффициенты вариации для таких характеристик, как длина стебля и соломистость хлебной массы (δ_c), имеют значения $1,49\%$ и $0,25\%$ соответственно, что считаем достоверным. Значения таблицы П. Б2 показывают, что это характерно и для других сортов пшеницы. В ходе экспериментальных исследований была определена масса 1000 зерен (пшеница Саратовская 38), которая представлена в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Масса 1000 зерен, г (пшеница Саратовская 38)

№ опыта	Повторности					Статистические данные		
	1	2	3	4	5	X	σ	v,%
1	27,5	27,7	28,5	29,2	31,1	28,8	8,44	29,3
2	28,0	28,6	29,7	31,4	27,1	28,96	11,01	38,02
3	28,1	27,9	31,1	30,4	27,9	29,08	9,56	32,9
4	27,9	29,4	29,1	28,5	29,7	28,92	2,08	7,22
5	28,7	28,1	27,9	29,3	29,4	28,68	1,84	6,44

Из таблицы 4.2 видно, что среднее значение массы 1000 зерен изменяется в диапазоне $28,68\text{--}29,06$ г. В результате обработки экспериментальных данных была выявлена однородность средних значений в $80,0\%$ из общей совокупности, о чем говорят коэффициенты вариации, не превышающие значения по однородности – $33,0\%$, а $20,0\%$ средних значений массы 1000 зерен не превышают показатель $33,0\%$.

В процессе уборки зерновых культур прямым комбайнированием важную роль играет влажность соломы, которую определяем в полевых условиях посредством серии опытов, данные которых представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Влажность соломы при уборке зерновых культур прямым комбайнированием, % (пшеница Саратовская 38)

Номер опыта	Повторности опыта					Статистические данные		
	1	2	3	4	5	X	σ	v,%
Опыт 1	13	13,9	14,1	12,9	15,1	13,8	3,24	23,47
Опыт 2	12,5	12,6	12,7	18,9	18,6	15,06	45,45	301,80
Опыт 3	18,8	22,2	22,4	22,5	23,5	21,88	12,86	58,81
Опыт 4	24,7	25,2	22,7	17,8	21,7	22,42	34,86	155,52
Опыт 5	20,3	21,7	19,3	20,8	22,4	20,9	5,82	27,84
Опыт 6	22,9	22,9	27,0	28,1	23,4	24,86	24,89	100,12

В результате анализа полученных данных определили, что среднее значение влажности соломы изменяется в диапазоне от 13,8 до 24,2%. Однако однородность показателей значительно различается, о чем свидетельствует коэффициент вариации. Так, 80,0 % совокупности показателей влажности соломы превышают порог в 33,0 % и 20,0 % находятся в пределах нормы.

Кроме того, результаты наблюдений показывают, что величины биометрических параметров пшеницы (h -высота, l_k – длина колоса, засоренность и другие) носят случайный характер изменения. Ошибка полученных средних величин находится в пределах 2,0–5,0 % (при доверительной вероятности $P = 0,90$), а их надежность равна вероятности – 0,85–0,88. Следовательно, полученные значения показателей агробиологических характеристик или биометрических параметров зерновых культур достаточно достоверны для практического применения.

Вероятностная оценка по критерию t -Стьюдента существенности средних значений показала для зерновых культур (пшеница) различие в пределах полей, хозяйств и годов наблюдения. Различия средних величин показателей зерновых культур (пшеница) между отдельными полями хозяйства и по годам наблюдения ($t_p > t_m = 2,447$) достигает 13,0–19,7 %. Объясняется это тем, что возрастает закономерность изменения почвенно-погодных условий в масштабе сельхозпроизводителя и между ними, что и приводит к вариации биометрических параметров зерновых культур. Достигнутый уровень надежности (вероятность – 0,75) и точности позволяют использовать полученные значения биометрических параметров в практических расчетах.

Таким образом, при определении агробиологических показателей, характеризующих технологические свойства зерновых культур, выявлено, что при неблагоприятных погодных условиях (засухи) основной массив стеблестоя пшеницы (Саратовская 38) по ярусности находится в диапазоне 0,4–0,5 м, что будем учитывать в практических расчетах. При этом процент низкорослого стеблестоя хлебной массы (диапазон 0,2–0,3 м) составляет 5,8%, то есть менее 10 % в общей совокупности стеблей. Данный стеблестой хлебной массы может повлиять на потери зерна срезанным колосом за комбайновой жаткой. При благоприятных природно-климатических условиях основной массив стеблестоя пшеницы на

ярусности находится в диапазоне 0,7–0,8 м и 0,8–0,9 м, что практически не отразится на потерях зерна срезанным колосом за жаткой при уборке зерновых культур прямым комбайнированием с высоким или двойным срезом стеблей.

Выполненные полевые исследования позволили с удовлетворительной точностью установить значения биометрических параметров зерновых культур в условиях региона Южного Урала на примере Челябинской области (лесостепной зоны). Эти параметры являются одним из элементов, необходимых при обосновании рациональных параметров процесса прямого комбайнирования зерновых культур с высоким или двойным срезом стеблей.

Таким необходимым элементом для данной цели является установление ряда технологических параметров стеблей зерновых культур.

4.1.2 Определение технологических параметров стеблей зерновых культур

В процессе проведения экспериментальных исследований по определению технологических параметров хлебной массы были получены зависимости коэффициента соломистости от изменения длины стеблестоя пшеницы, которые представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Изменение коэффициента соломистости хлебной массы в зависимости от длины срезаемой части

Показатель	Контроль*	Изменение длины стебля от основания ($l_c - \Delta l$)		
	$l_c=0,495$ м	$\Delta l_1=0,10$ м	$\Delta l_2=0,15$ м	$\Delta l_3=0,20$ м
Соломистость δ_c при $\omega_c=20,0-22,0\%$	0,726	0,598	0,587	0,578
Соломистость δ_c при $\omega_c=9,0-11,0\%$	0,295	0,245	0,171	0,085

На основании данных таблицы 4.4 построена графическая зависимость коэффициента соломистости хлебной массы от длины срезаемой части стебля (Δl_i) без учета высоты стерни, что отражено на рисунке 4.4.

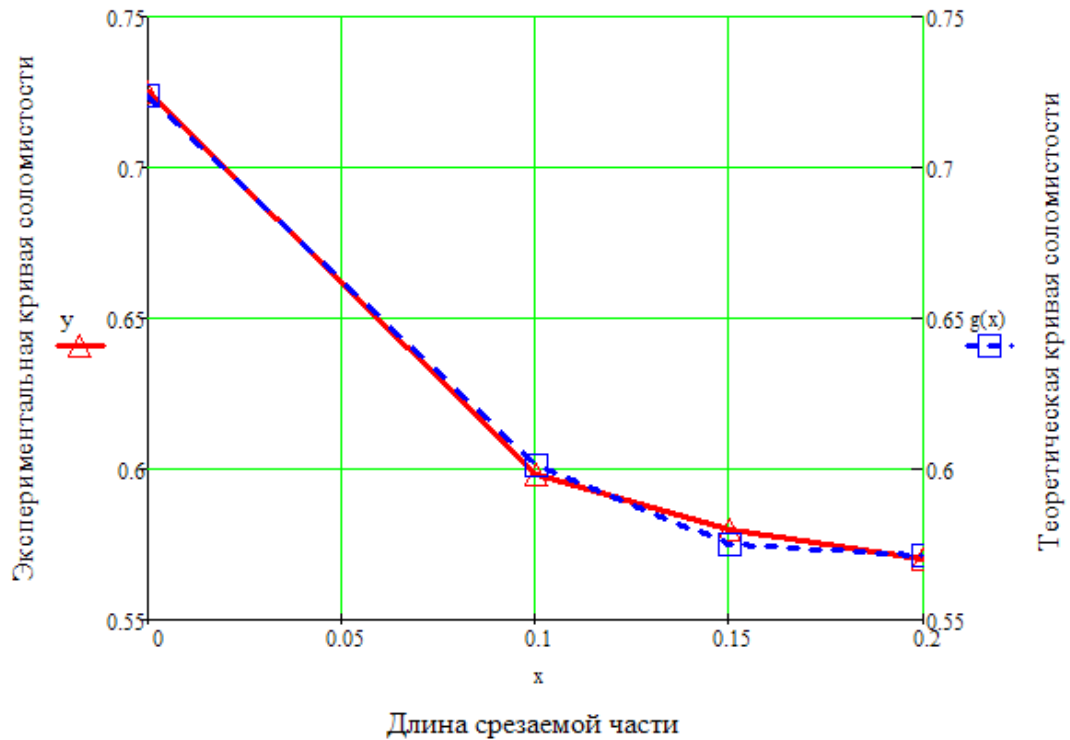


Рисунок 4.4 – Изменение коэффициента солоmistости хлебной массы в зависимости (теоретическая и экспериментальная) от длины срезаемого промежуточного продукта солоminy стеблестоя (Δl_i)

В результате обработки данных таблицы 4.4 методом наименьших квадратов (МНК) получена следующая аналитическая зависимость:

$$\delta_c = 4,645 \cdot \Delta l_i^2 - 1,692 \cdot \Delta l_i + 0,724 \quad \text{при } \omega_c = 20,0\text{--}22,0\% , \quad (4.2)$$

где δ_c – коэффициент солоmistости;

Δl_i – длина промежуточного продукта стебля, м.

Значения, представленные в таблице 4.4, показывают, что наиболее существенно солоmistость хлебной массы уменьшается при отделении от основания стебля первых 100 мм (0,10 м) относительно контроля. При этом дальнейшее снижение коэффициента солоmistости замедляется, переходя в более пологую кривую, что видно на участке 0,1–0,2 м (рисунок 4.5). Интенсивность снижения коэффициента солоmistости (δ_c) в зависимости от длины промежуточного продукта солоminy от основания стебля существенно снижается, что и подтверждают данные таблицы 4.5.

Таблица 4.5 – Изменение коэффициента соломиности хлебной массы в зависимости от уменьшения длины стеблестоя (пшеница Саратовская 38)

Показатель	Контроль		Снижение соломиности хлебной массы					
	Длина стебля, $l_{ст}=0,49$ м	%	$\Delta l_c - \Delta l_1 = 0,1$ м		$\Delta l_c - \Delta l_2 = 0,15$		$\Delta l_c - \Delta l_3 = 0,20$	
			δ_c^1	%	δ_c^2	%	δ_c^3	%
Соломистость хлебной массы	0,726	100	0,598	-17,64	0,587	-19,14	0,579	-20,25
Соломистость хлебной массы	–	–	контроль	100	–	-1,84	–	-3,17
Соломистость хлебной массы	–	–	–	–	контроль	100	–	-1,36

Во время проведения экспериментальных исследований было определено изменение массы промежуточного продукта соломины стебля в зависимости от его длины, что представлено в таблице П.Б3.

По данным таблицы П.Б3 построена графическая зависимость изменения массы промежуточного продукта соломины стебля от его длины, что отражено на рисунке 4.5. Из рисунка 4.5 видно, что независимо от ботанического сорта пшеницы масса промежуточного продукта соломины стебля изменяется нелинейно.

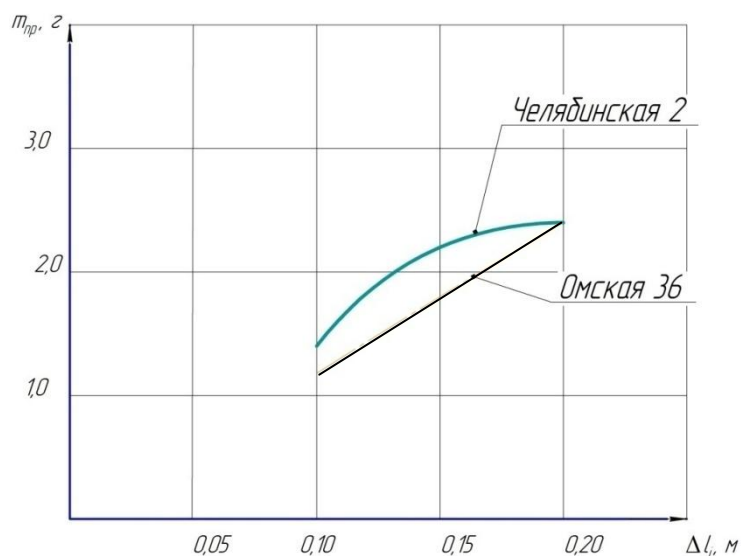


Рисунок 4.5 – Изменение массы промежуточного продукта соломины стебля в зависимости от его длины (отчет от линии среза стерни)

Помимо оценки технологического свойства зерновых колосовых культур по показателю соотношения зерна к соломе были получены такие данные, как зависимость диаметра стебля от его высоты, что представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Изменение диаметра стебля по высоте, мм (пшеница Саратовская 38)

Показатель	Повторности опыта					Статистические данные		
	1	2	3	4	5	$d_{cp}(X)$	σ	$V, \%$
Основание колоса	1,24	1,19	1,46	1,50	1,39	1,35	0,07	5,43
Середина стебля	2,00	2,27	2,50	2,19	2,28	2,24	0,13	5,77
Основание стебля	2,24	3,00	2,90	2,91	3,01	2,81	0,42	14,9

На основании данных таблицы 4.6 была построена графическая зависимость изменения диаметра стебля от его высоты, которая представлена на рисунке 4.6.

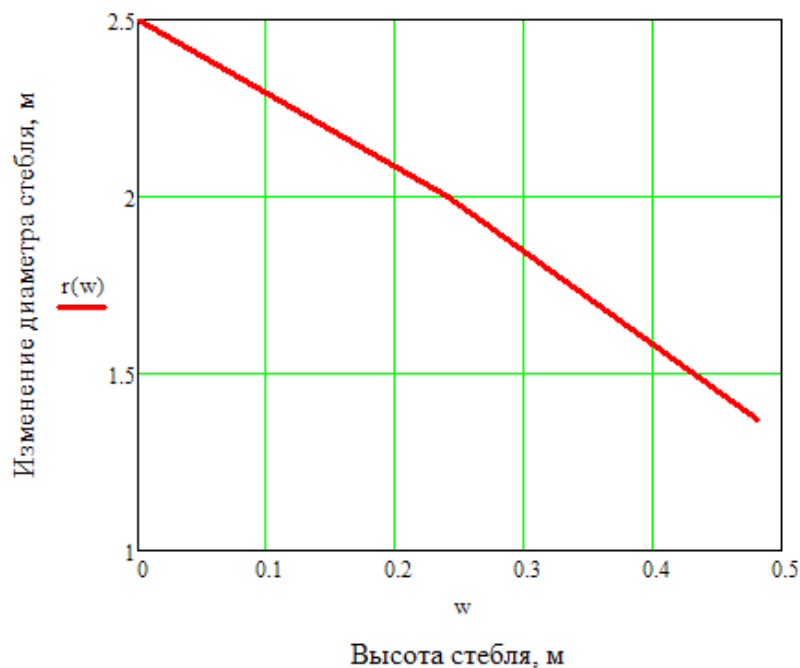


Рисунок 4.6 – Изменение диаметра (d_{cm}) стебля пшеницы (Саратовская 38) в зависимости от высоты стебля (h_c)

Из рисунка 4.6 видно, что с изменением высоты стебля от основания диаметр его уменьшается. При этом разница в величинах составляет следующее: основание – 2,81 мм (100%), средняя часть – 2,24 мм (79,7%) и приколосовая часть – 1,35 мм (48%). Данная зависимость показывает нелинейный характер

изменения диаметра. В результате обработки экспериментальных данных методом наименьших квадратов (МНК) по программе MathCAD 14 была получена аналитическая зависимость:

$$d_c = -1,2 \cdot l_c^2 - 1,8 \cdot l_c + 2,5, \quad (4.3)$$

где d_c – диаметр стебля (пшеница), мм;

l_c – высота стебля (основание, середина, приколосовая часть), м Показатель l_c изменяется от 0,10 до 0,55 м.

Кроме того, определено изменение влажности соломины стебля в зависимости от его высоты, что отражено в таблице П.Б4. Из данных таблицы П.Б4 видно неравномерное распределение влажности по высоте соломины стебля. Причем максимальная величина наблюдается у основания стебля, а минимальная – в приколосовой части. Поскольку влажность соломины стебля существенно влияет на пропускную способность молотилки комбайна, то удаление нижней части стебля в виде промежуточного продукта соломины будет положительно отражаться на пропускной способности молотилки комбайна, а следовательно, и на его часовой производительности.

Математическая обработка полученных данных показывает, что ошибка средних значений находится в пределах 2,0–5,0 % (при доверительной вероятности $P = 0,90$), а их надежность равна вероятности 0,85–0,89. Следовательно, можно утверждать, что полученные данные технологических параметров зерновых культур (пшеница) достаточно достоверны для практического применения в теоретических исследованиях.

Таким образом, в результате обработки экспериментальных данных получены технологические параметры стеблей пшеницы, которые в последующем используются в теоретических исследованиях при обосновании параметров процесса прямого комбайнирования зерновых культур с высоким срезом стеблей.

Получена аналитическая зависимость 2-го порядка, характеризующая изменение коэффициента соломистости хлебной массы от длины промежуточного продукта соломины, удаленного от стебля с колосом, перед подачей его в молотильный аппарат зерноуборочного комбайна.

Данные технологические параметры зерновых культур являются одним из элементов, необходимых при обосновании рациональных режимов работы зерноуборочного комбайна как преобразующей технической системы, так и технического устройства в виде режущего аппарата как преобразующей технической подсистемы комбайновой жатки.

4.2 Определение эксплуатационно-технологических показателей работы зерноуборочных комбайнов при уборке зерновых культур прямым комбайнированием с высоким срезом стеблей

Эксплуатационно-технологические показатели работы зерноуборочных комбайнов при уборке зерновых культур (пшеница Омская 36, Челябинская 2) прямым комбайнированием с высоким срезом стеблей определялись в производственных условиях лесостепной зоны Челябинской области в таких хозяйствах, как ООО «Песчаное» и ОАО «Совхоз «Акбашевский».

Так, производственная проверка процесса прямого комбайнирования зерновых культур (пшеница Челябинская 2, коэффициент пониклости – 0,82) в ОАО «Совхоз «Акбашевский» с высоким срезом стеблей комбайном РСМ-101 «Вектор-410» с жаткой РСМ 081.27 (6,0 м) показала возможность повышения рабочей скорости движения машин. Комбайнирование зерновых культур с более высоким срезом стеблей на повышенных рабочих скоростях движения практически возможно, поскольку потери зерна срезанным колосом за жаткой (таблица П.Б5–П.Б7), несмотря на их рост, остаются в пределах агротехнических требований (1,0 % – при уборке прямостоящих и 1,5 % для полеглих [4]), о чем свидетельствуют графические зависимости рисунков 4.7 и 4.8.

Из зависимостей рисунков 4.7 и 4.8 видно, что при повышении высоты скашивания пшеницы (Челябинская 2) и образованием стерни высотой от 0,15 до 0,30 м при постоянной рабочей скорости движения комбайна РСМ-101 «Вектор-410», равной 1,4 м/с, наблюдается рост потерь зерна колосом за жаткой (рисунок 4.7) в 1,88 раза (до 0,45%). Тем не менее данные потери зерна колосом находятся

в агротехнических допустимых пределах (1,0% за жаткой). С увеличением рабочей скорости движения комбайна «Вектор-410» с 1,4 м/с (5,0 км/ч) до 2,5 м/с (9,0 км/ч), как видно из рисунка 4.7, просматривается тенденция роста потерь зерна колосом за жаткой до 0,44% или в 1,1 раза.

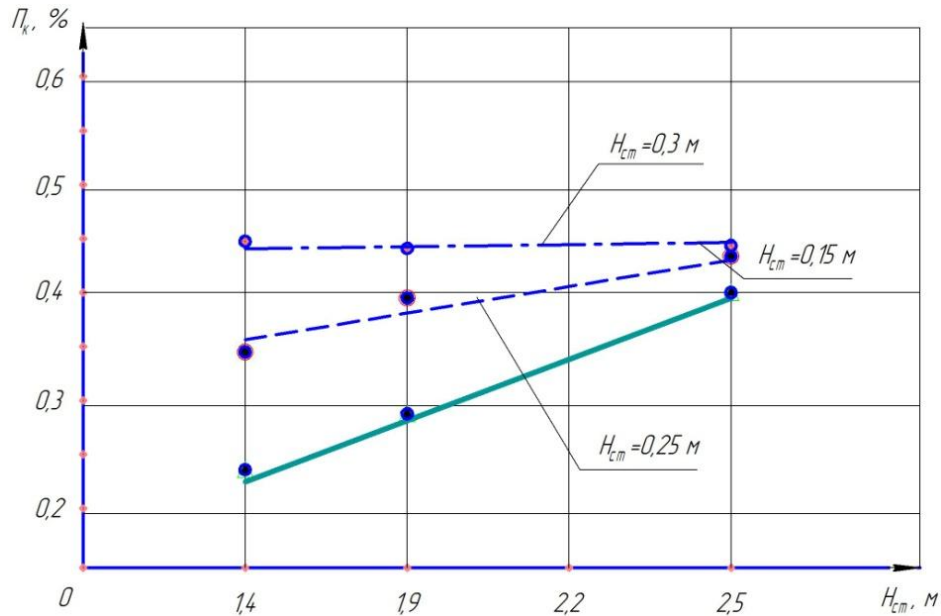


Рисунок 4.7 – Потери зерна колосом за жаткой комбайна РСМ-101 «Вектор-410» в зависимости от рабочей скорости движения (V_m) при разной высоте стерни (H_{cm})

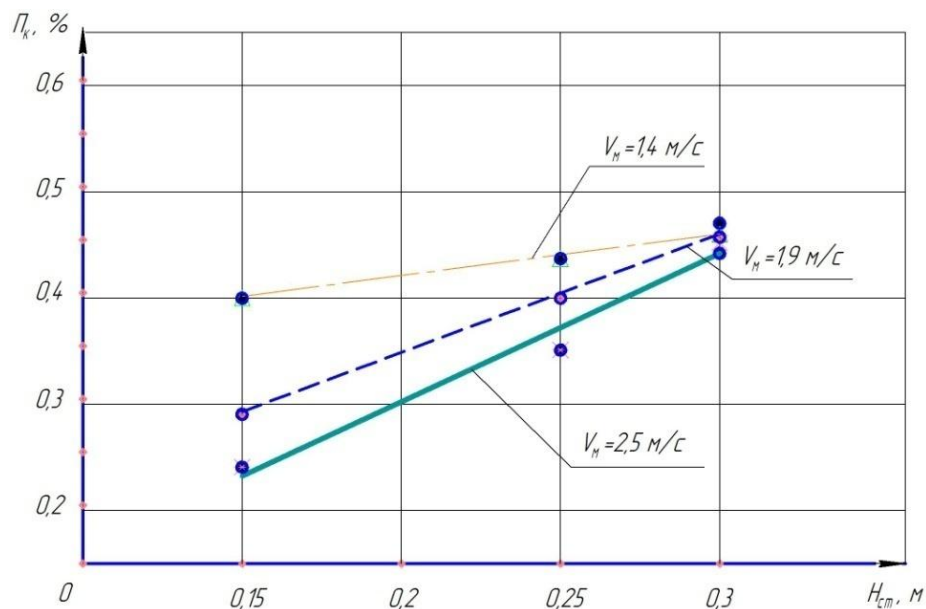


Рисунок 4.8 – Потери зерна колосом за жаткой комбайна РСМ-101 «Вектор-410» в зависимости от высоты стерни (H_{cm}) при разных рабочих скоростях (V_m)

Графические зависимости рисунка 4.8 отражают аналогичную тенденцию

роста потерь зерна колосом за жаткой комбайна РСМ-101 «Вектор-410» при повышении рабочей скорости движения машины с 1,4 м/с (5,0 км/ч) до 2,5 м/с (9,0 км/ч). Графическая зависимость рисунка 4.8 свидетельствует о том, что интенсивность прироста потерь зерна колосом за жаткой возрастает в 1,1–1,66 раза.

Из рисунков 4.7 и 4.8 можно сделать вывод, что с увеличением рабочей скорости движения комбайна РСМ-101 «Вектор-410» и высоты скашивания зерновых культур разброс количественных потерь зерна уменьшается при росте их абсолютных значений.

Прямое комбайнирование пшеницы Омская 36 с коэффициентом пониклости 0,96 в производственных условиях ООО «Песчаное» Челябинской области комбайном «Джон-Дир» серии 9500 с жаткой шириной захвата 7,2 метра свидетельствует о том, что с увеличением высоты скашивания, а следовательно, и высоты стерни с 0,15 м до 0,30 м, и рабочей скорости движения машины с 1,4 м/с (5,0 км/ч) до 2,5 м/с (9,0 км/ч) наблюдается рост потерь зерна колосом за жаткой комбайна (таблицы П.Б8–П.Б10). Однако их количественные значения находятся в агротехнически допустимых пределах (1,0 %), что отражено на графических зависимостях рисунка 4.9 и 4.10.

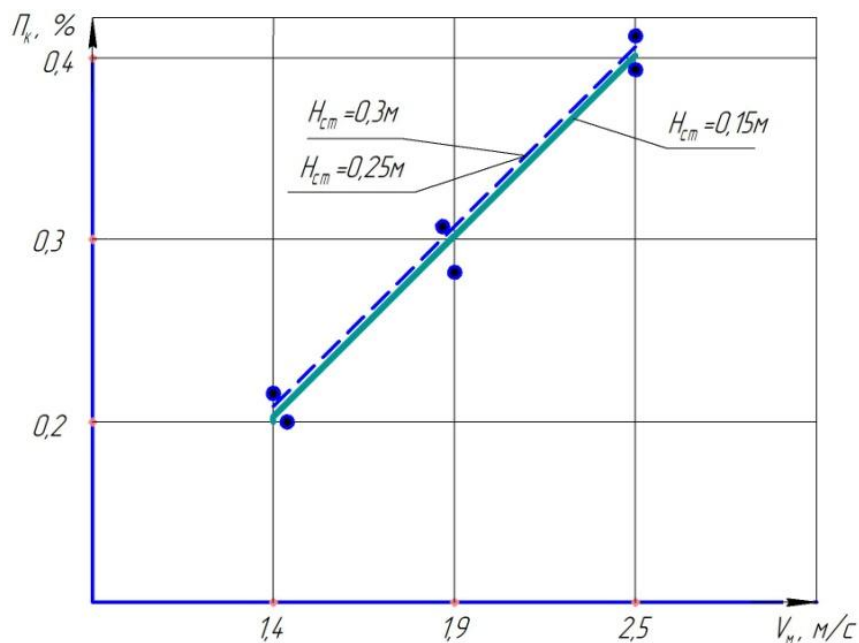


Рисунок 4.9 – Потери зерна колосом за жаткой комбайна «Джон-Дир» серии 9500 в зависимости от рабочей скорости движения (V_m) при разной высоте стерни (H_{cm})

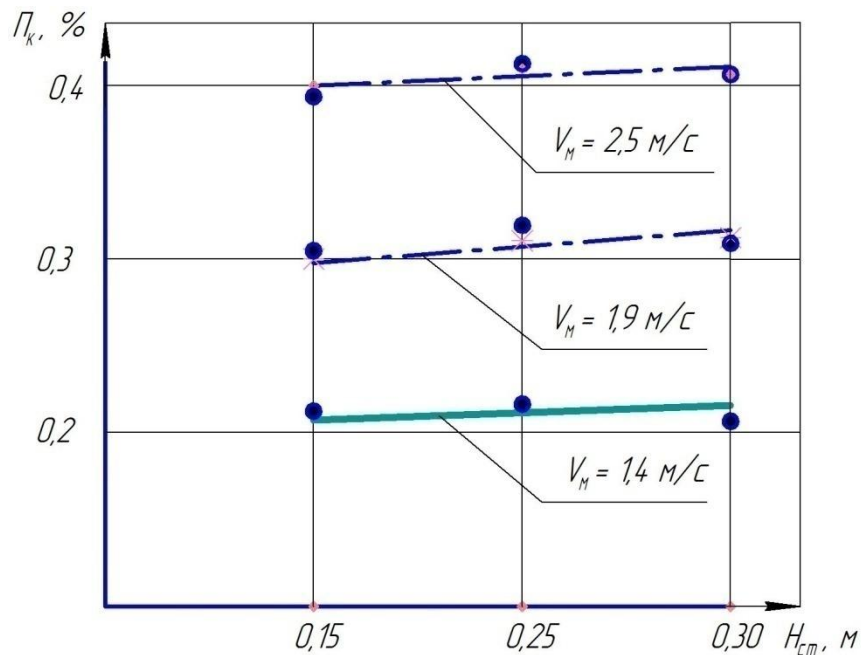


Рисунок 4.10 – Потери зерна колосом за жаткой комбайна «Джон-Дир» серии 9500 в зависимости от высоты стерни ($H_{см}$) при разной рабочей скорости (V_M)

Графические зависимости рисунка 4.9 показывают, что в случае увеличения высоты стерни с 0,15 м до 0,30 м, то есть высоты скашивания зерновых культур, при постоянной скорости комбайнирования (1,4 м/с; 1,9 м/с; 2,5 м/с) интенсивность прироста потерь зерна колосом за жаткой комбайна составляет 4,3–10,0 %. С повышением рабочей скорости движения комбайна с 1,4 м/с до 2,5 м/с и при постоянной высоте стерни (0,15 м; 0,25 м; 0,30 м) интенсивность прироста потерь зерна колосом за жаткой составляет 73,9–75,0 % (рисунок 4.10). Сопоставление зависимостей рисунка 4.9 и 4.10 свидетельствует о том, что фактор – рабочая скорость движения машины при прямом комбайнировании зерновых культур – более существенно влияет на образование потерь зерна колосом за жаткой, чем высота скашивания зерновых культур. Причиной роста абсолютных значений потерь зерна колосом за жаткой комбайна РСМ-101 «Вектор-410» в отличие от комбайнирования зерновых культур «Джон-Дир» серии 9500 объясняется тем, что в этом случае осуществлялось скашивание хлебной массы с высокой пониклостью стеблестоя (коэффициент пониклости – 0,82). При уборке зерновых культур (пшеница Омская 36) прямым комбайнированием «Джон-Дир» пониклость стеблестоя составляла 0,96).

Таким образом, результаты полевых исследований процесса прямого комбайнирования зерновых культур с высоким срезом стеблей показали, что на практике данный способ уборки урожая возможно осуществлять на повышенных рабочих скоростях, поскольку потери зерна колосом за жаткой комбайнов не превосходят агротехнические допустимые значения.

Выявлено, что отдельные агробиологические характеристики зерновых культур существенно влияют на потери зерна колосом за жаткой комбайна, это, прежде всего, пониклость стеблестоя хлебной массы.

Для полной ясности в данном вопросе далее рассмотрим, как изменяются качественные показатели бункерного зерна и измельчения соломы при уборке зерновых культур прямым комбайнированием с высоким срезом стеблей.

4.2.1 Качественные показатели бункерного зерна пшеницы прямым комбайнированием с высоким срезом стеблей

Агротехническая оценка качественных показателей бункерного зерна за комбайнами РСМ-101 «Вектор-410» и «Джон-Дир» серии 9500 в производственных условиях ОАО «Совхоз «Акбашевский» и ООО «Песчаное» Челябинской области производилась по общепринятой методике, которая изложена в III главе. Результаты обработки первичных данных представлены в таблице П.Б11 и таблице П.Б12. Из таблиц П.Б11 и П.Б12 следует, что с увеличением высоты скашивания пшеницы (Омская 36 и Челябинская 2) и образованием стерни высотой от 0,15 м до 0,25 м, независимо от марки зерноуборочного комбайна, качественные показатели бункерного зерна практически соответствуют агротехнически допустимым значениям (чистота зерна в бункере не ниже 95,0%, дробление не должно превышать 1,0% для семенного и 2,0% для продовольственного зерна [4]).

Низкий уровень дробления зерна за комбайнами РСМ-101 «Вектор-410» и «Джон-Дир» серии 9500 при прямом комбайнировании пшеницы с высоким

срезом стеблей объясняется высокой влажностью зерна, поскольку в этом случае происходит в большей степени смятие, чем дробление.

Таким образом, результаты полевых исследований свидетельствуют, что при уборке зерновых культур прямым комбайнированием с высоким срезом стеблей даже в тяжелых условиях обеспечиваются качественные показатели зерна, соответствующие агротехническим требованиям.

4.2.2 Оценка измельчения соломы пшеницы при прямом комбайнировании с высоким срезом стеблей

В процессе прямого комбайнирования пшеницы с высоким срезом стеблей в производственных условиях ОАО «Совхоз «Акбашевский» и ООО «Песчаное» Челябинской области определялись не только потери зерна колосом за жаткой и показатели бункерного зерна, но и качественные показатели измельчения соломы измельчителями комбайнов РСМ-101 «Вектор-410» и «Джон-Дир» серии 9500. Результаты данной оценки представлены в таблицах П.Б13 и П.Б14.

Из данных таблицы П.Б13 видно, что в структуре фракции измельченной соломы (пшеница Челябинска 2) за комбайном РСМ-101 «Вектор-410» преобладает диапазон более 120 мм, который составляет 67,1–52,5%, а мелкоизмельченная фракция соломы изменяется в пределах 8,0–25,2%. При этом данные таблицы П.Б13 говорят о том, что увеличение высоты скашивания хлебной массы при ее обмолоте комбайном положительно сказывается на структуре фракций измельченной соломы. В этом случае доля крупной фракции снижается и увеличивается доля средней и мелкой измельченных фракций соломы, что в последующем положительно отразится на работе почвообрабатывающих машин и на плодородии почвы.

В отличие от комбайна РСМ-101 «Вектор-410», скашивание и обмолот хлебной массы (пшеница Омская 36) с последующим измельчением соломы комбайном «Джон-Дир» серии 9500 существенно отличается балансом фракций измельченной соломы, что подтверждают данные таблицы П.Б14.

Из таблицы П.Б14 видно, что при скашивании и обмолоте хлебной массы (пшеница) комбайном «Джон-Дир» серии 9500 с повышением рабочей скорости движения машины с 1,4 м/с до 2,5 м/с баланс измельченных фракций соломы практически не изменяется. При этом данные показывают, что в балансе измельченных фракций соломы преобладает диапазон 50–60 мм (72,5–73,5%), а мелкоизмельченных фракций (менее 10 мм) – только 7,8–9,8%. С увеличением высоты скашивания пшеницы, следовательно, и высоты стерни с 0,15 м до 0,25 м наблюдается видоизменение баланса фракций измельченной соломы. Так, данные таблицы П.Б14 свидетельствуют, что доля фракций измельченной соломы длиной 50–60 мм снижается до 56,1–69,3%, то есть уменьшается на 6,1–28,7%. Доля фракций мелкоизмельченной соломы (не менее 10 мм) увеличивается до 11,7–33,0%, то есть наблюдается рост в 1,5–3,37 раза.

Таким образом, агротехническая оценка качественных показателей работы измельчителя соломы комбайнов РСМ-101 «Вектор-410» и «Джон-Дир» серии 9500 свидетельствует о том, что с увеличением высоты скашивания зерновых культур (пшеница) при прямом комбайнировании от 0,15 м до 0,25 м наблюдается улучшение структуры фракций измельченной соломы. Практически баланс измельченных фракций смещается в сторону увеличения долей средне- и мелкоизмельченной фракций соломы независимо от рабочей скорости движения комбайнов.

4.2 Лабораторные исследования процесса двойного среза стеблей

зерновых культур

4.3.1 Определение минимальной критической скорости резания стеблей

зерновых культур при двойном срезе

Для исследования процесса двойного среза стеблей зерновых культур была сконструирована лабораторная установка по определению конструктивно-

кинематических параметров режущего аппарата с бесконечно несущим режущим элементом (рисунок 4.11).



Рисунок 4.11 – Лабораторная установка режущего аппарата с двойным срезом стеблей

По методике, приведенной в главе III «Методика и программа экспериментальных исследований», был исследован процесс двойного среза стеблей пшеницы в лабораторных условиях. По итогам экспериментов были получены данные по качеству среза стеблей верхней и нижней ветвей режущего аппарата, что представлено в таблице 4.7. В ней представлены основные результаты среза стеблей (пшеница Челябинская 2) при различных скоростях резания режущих элементов (4,4 м/с; 5,5 м/с; 7,5 м/с; 9 м/с).

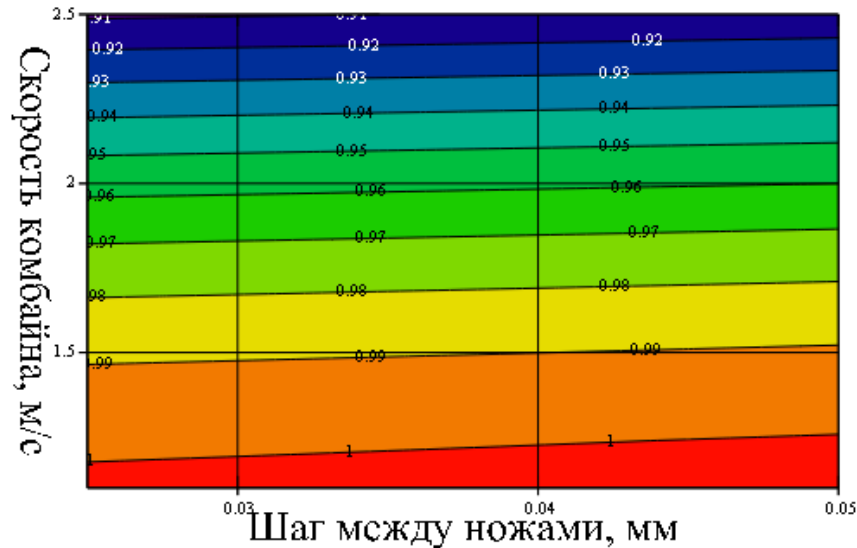
Таблица 4.7 – Результаты по срезу стеблей пшеницы в лабораторных условиях

Скорость ножа, м/с		Количество срезанных стеблей из общей совокупности, доля		
		с подпором верхней ветви	бесподпорный	с подпором двух ветвей
4,4	верхний	1,0	0	1,0
	нижний	1,0	0	1,0
5,5	верхний	1,0	0	1,0
	нижний	1,0	0,4	1,0
7,5	верхний	1,0	0	0,8
	нижний	0,8	0,8	1,0
9	верхний	1,0	0,4	1,0
	нижний	0,8	0,8	1,0

Анализ данных таблицы 4.7 показывает, что бесподпорный срез стеблей зерновых культур не представляется возможным в приколосовой части при скорости ниже 9 м/с по причине малой жесткости стебля, то есть не создается необходимого упругого сопротивления ножевому элементу. При этом нижняя (приземная) часть стебля срезается в 8 из 10 (80%) случаев бесподпорным способом при скорости ножа в 4,4 м/с. Однако срез с помощью подпорных ребер, то есть подпорный срез двух тягово-режущих ветвей, обеспечивается на 100% на двух уровнях при различных скоростях резания, но технологический процесс скашивания при данном способе не реализуется по причине забивания пространства между верхним и нижним тягово-режущими ветвями режущего аппарата промежуточным продуктом среза (средней частью стебля).

Результат анализа двойного среза стеблей зерновых культур при помощи установки подпора только для верхней ветви режущего аппарата показал, что данный способ реализации процесса среза является наиболее оптимальным, так как 8 из 10 случаев (80%) среза происходит стабильно, что подтверждает первая колонка таблицы 4.7. При этом установлено, что минимальная критическая скорость ножей, при которой происходит технологический процесс среза стеблей, равен 4,4 м/с.

На рисунке 4.12 представлен контурный график по результатам серии опытов по срезу стеблей режущим аппаратом двойного среза. На графике показана зависимость среза стеблей от рабочей скорости комбайна и длины шага режущих элементов. Видно, что с уменьшением рабочей скорости комбайна и длины шага режущих элементов срез стеблей равен 1, то есть срез стеблей на верхней и нижней ветвях режущих элементов близок к 100%. При скорости комбайна $V_m = 2,5$ м/с (9 км/ч) и длине шага ножей $t = 0,03-0,05$ м показатель равен 0,9, то есть качество среза стеблей снижается на 10 % по причине малой жесткости приколосовой части стебля зерновых культур, что ведет к потерям несрезанным колосом. Поэтому при дальнейших исследованиях нам необходимо придерживаться рабочей скорости комбайна не более 2,5 м/с.



У1

Рисунок 4.12 – Контурный график зависимости качества среза стеблей режущим аппаратом двойного среза

Таким образом, в результате проведенных лабораторных исследований по двойному срезу стеблей зерновых культур пришли к тому, что процесс двойного среза включает одновременно наличие подпорного среза (верхняя часть стеблестоя) и бесподпорного среза (нижняя часть стеблестоя, то есть стерни). Также определена минимальная критическая скорость среза стебля равной 4,4 м/с, которая представлена вышеприведенными опытами. Полученные результаты будем учитывать при проведении последующих полевых исследований опытного образца.

4.3.2 Полевые эксперименты по исследованию опытного образца режущего аппарата двойного среза стеблей

Для определения математической модели по влиянию конструктивных параметров на длину промежуточного продукта среза методом планирования экспериментов [п. 3.4.1 III главы] был поставлен опыт в производственных условиях. Исследовался опытный образец режущего аппарата двойного среза стеблей шириной захвата 1,35 м (рисунок 4.13).



Рисунок 4.13 – Опытный образец режущего аппарата с двойным срезом стеблей

Определялась зависимость длины промежуточного продукта от факторов:

- поступательной скорости машины;
- расстояния между ножами.

Интервалы изменения факторов были приняты соответствующим возможным крайним показателям производственных условий работы. Значения условий приведены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Наименование факторов и уровни их варьирования

Наименование факторов	Нижний уровень	Нулевой уровень	Верхний уровень	Интервал варьирования	Обозначение
Поступательная скорость, V_M , м/с	1,1	1,8	2,5	0,7	X_1
Расстояние между ножами, t , м	0,025	0,0375	0,05	0,0125	X_2

Зависимые факторы:

Y – длина промежуточного продукта соломины двойного среза стеблей, м.

На опытном образце был реализован эксперимент двухфакторного плана Бокса-Бенкена. Эксперимент выполнен в трех повторностях.

План эксперимента, а также результаты эксперимента после усреднения и проверки на совместимость по статистике Кохрена приведены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – План двухфакторного эксперимента

№ опыта	Кодовое обозначение		Натуральные значения		Параметры оценки $Y = \Delta l_{пр}, \text{ м}$
	X_1	X_2	$V_m, \text{ м/с}$	$t, \text{ м}$	
1	-1	-1	1,1	0,025	0,145
2	+1	-1	1,1	0,05	0,235
3	-1	+1	2,5	0,025	0,31
4	+1	+1	2,5	0,05	0,355
5	0	0	1,8	0,0375	0,191
6	+1	0	1,8	0,05	0,215
7	-1	0	1,8	0,025	0,176
8	0	+1	2,5	0,0375	0,288
9	0	-1	1,1	0,0375	0,26

Обработка данных эксперимента выполнена в программе MathCAD 14 с отсеиванием незначимых факторов. В результате обработки, расчеты которой представлены в приложении В, получена следующая математическая модель:

$$Y = 0,146 \cdot V_m^2 - 44,8 \cdot t^2 - 0,4 \cdot V_m + 7,99 \cdot t - 1,285 \cdot V_m \cdot t + 0,3, \quad (4.4)$$

где V_m – скорость комбайна во время уборки зерновых культур, м/с;

t – шаг расстановки режущих элементов на несущей поверхности, м.

Все коэффициенты уравнений проверены на значимость по t -критерию Стьюдента на уровне вероятности 0,95.

Дисперсионный анализ влияния факторов на зависимую переменную показывает, что на длину промежуточного продукта среза стебля влияет в большей степени поступательная скорость комбайна, чем длина шага режущих элементов, при этом совместное влияние факторов незначительно.

Таким образом, проведение полнофакторного эксперимента позволило сделать анализ влияния таких факторов, как поступательная скорость комбайна и шаг расстановки ножей на длину промежуточного продукта среза (рисунок 4.14).

Полученная регрессионная модель по двум факторам с тремя уровнями показывает, что на качество процесса среза режущим аппаратом с двойным срезом стеблей влияет такой косвенный показатель, как длина промежуточного продукта среза.

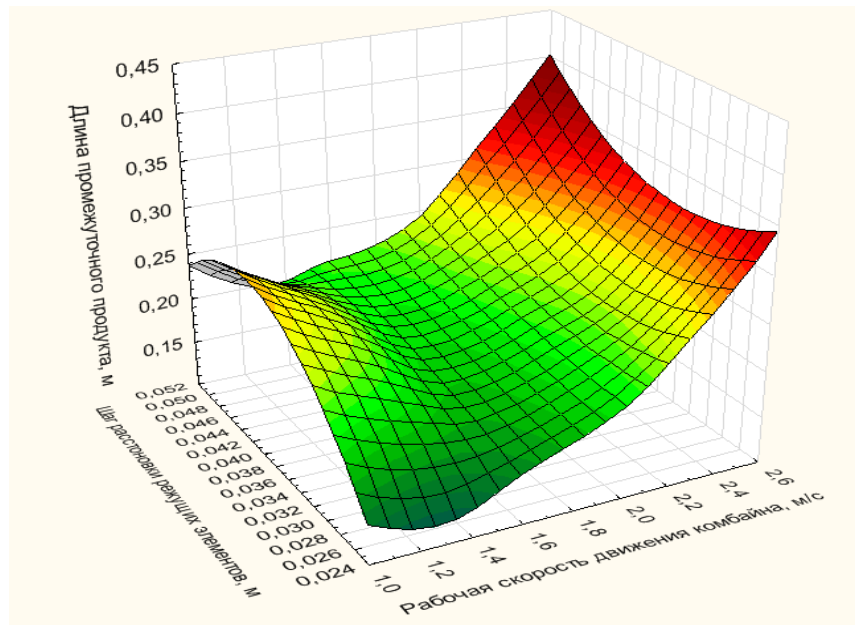


Рисунок 4.14 – Поверхность отклика регрессионной модели по двум факторам

Таким образом, на конструктивно-кинематические параметры режущего аппарата с двойным срезом стеблей влияет фактор – рабочая скорость комбайна.

4.4 Оценка достоверности теоретической гипотезы работы

В период зерноуборочных работ в производственных условиях проводились экспериментальные исследования, наблюдения за работой отдельных зерноуборочных комбайнов; при необходимости вносились корректировки в скоростные режимы их движения при скашивании и обмолоте хлебной массы.

В исследуемых хозяйствах Челябинской области были внедрены элементы процесса прямого комбайнирования зерновых культур с высоким или двойным срезом стеблей, что подтверждалось образованием стерни высотой 0,25 м и 0,30 м. Промежуточный продукт соломины пшеницы длиной 0,10–0,15 м образовался за счет второго прохода комбайна. Результаты внедрения позволили повысить рабочую скорость движения комбайнов при скашивании и обмолоте хлебной массы. При этом наблюдался рост количественных потерь зерна колосом за жаткой в пределах агротехнически допустимых значений. Тем самым подтвердили правильность основных теоретических положений работы и позволили дать сравнительную оценку по потерям зерна колосом за жаткой,

бункерного зерна и степени измельчения соломы в зависимости от скоростных режимов работы как отечественных, так и зарубежных комбайнов, а также оценить достоверность теоретических расчетов.

4.4.1 Адекватность теоретических и экспериментальных данных

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

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

Как видно из данных результатов исследования, основная исходная информация об объекте воздействия (пшеница) была получена с погрешностью до 2,0–5,0%, а ошибка функции (δ_c – коэффициента соломистости хлебной массы) находилась на уровне 5,0–8,0%. Расхождения (14,0–21,7 %), полученные по скоростным режимам использования зерноуборочных комбайнов, объясняется главным образом отклонением реальной пропускной способности молотилки комбайнов от расчетной (в расчетах $q = 8,5$ кг/с, а на практике РСМ-101 «Вектор-410 $q = 7,5$ кг/с, «Джон=Дир» серии 9500 $q = 8,0$ кг/с), то есть расхождение составило соответственно 11,8 % и 5,9 %. Кроме того, имеется расхождение между теоретическими данными и фактическими по урожайности, влажности зерна и соломы хлебной массы.

По скоростным режимам использования комбайнов расхождение между теоретическим максимальным значением скорости и на практике составило 9,2 %, а по средним значениям скорости движения машин расхождение между теоретическим и фактическим значением составило 15,2–18,2%. Расхождение между теоретическими и фактическими значениями по шагу и скорости перемещения режущей кромки сегмента составило соответственно 23,5 % и 12,8 %, что объясняется главным образом конструктивными особенностями несущей ветви технического устройства двойного среза стеблей зерновых культур. Небольшая величина расхождений свидетельствует об удовлетворительном соответствии принятых методических

положений реальным взаимосвязям факторов процесса прямого комбайнирования зерновых культур с высоким или двойным срезом стеблей.

Выводы по главе

1. Определено, что при средней высоте стеблестоя пшеницы 0,50 м процент низкорослого (диапазон стеблестоя 0,2–0,3 м) составляет 5,8%, то есть менее 10,0% в общей совокупности стеблей, что может повлиять на потери зерна срезанным колосом за комбайновой жаткой. При благоприятных природно-климатических условиях основной массив стеблестоя пшеницы находится по ярусности в пределах 0,7–0,8 м и 0,8–0,9 м (соответственно вероятность события 0,38 и 0,54), что практически не отразится на потерях зерна срезанным колосом за жаткой в случае уборки зерновых культур прямым комбайнированием с высоким (двойным) срезом стеблей.

2. Получена аналитическая зависимость 2-го порядка, раскрывающая связь между коэффициентом соломиности хлебной массы и длиной промежуточного продукта соломины, удаляемого от стебля с колосом перед подачей его в молотильный аппарат зерноуборочного комбайна.

3. Результаты полевых исследований процесса прямого комбайнирования зерновых культур (пшеница) с высоким (двойным) срезом стеблей показали, что на практике данный способ уборки урожая возможен. При этом комбайнирование пшеницы возможно осуществлять на рабочих скоростях от 1,4 м/с (5,0 км/ч) до 2,5 м/с (9,0 км/ч), поскольку потери зерна колосом за комбайновой жаткой не превышает агротехнически допустимые значения независимо от марки комбайна. Выявлено, что с увеличением высоты скашивания пшеницы и образования стерни высотой от 0,15 м до 0,30 м при постоянной рабочей скорости машины в 1,4 м/с наблюдается рост потерь зерна колосом за жаткой как комбайна «Джон-Дир» серии 9500, так и РСМ-101 «Вектор-410» соответственно на 4,3 – 10,0 % и в 1,88 раза, тем не менее потери зерна соответствуют агротехническим требованиям. Данная закономерность характерна и для рабочей скорости движения комбайнов в 2,5 м/с (9,0 км/ч).

4. Агротехническая оценка бункерного зерна комбайнов РСМ-101 «Вектор-410» и «Джон-Дир» серии 9500 показала, что при уборке пшеницы прямым комбайнированием с высоким или двойным срезом стеблей даже в тяжелых условиях (влажность зерна 20,0–24,0% и выше) обеспечиваются показатели зерна в соответствии с агротехническими значениями. Так, чистота зерна находится на уровне 96,0%, а дробление зерна составляет 0,4%. Малое значение дробления зерна объясняется высокой влажностью, поскольку в этом случае преобладает смятие зерна.

5. Определено, что с повышением высоты скашивания пшеницы при прямом комбайнировании комбайном РСМ-101 «Вектор-410» и образованием стерни высотой от 0,15 м до 0,25 м наблюдается улучшение структуры фракции измельченной соломы, которая смещается в сторону увеличения доли средне- и мелкоизмельченной независимо от рабочей скорости движения комбайна. При этом доля крупноизмельченной фракции соломы за комбайном «Вектор-410» снижается на 10,6 %, то есть с 62,7 % до 52,1 %.

6. Установлено, что при поступательной скорости комбайна в 2,5 м/с и шаге ножей 0,3–0,5 м вероятность среза составляет – 0,9. Снижение качества среза на 10,0% объясняется малой жесткостью приколосовой части стебля пшеницы, что ведет к потерям несрезанным колосом. Поэтому поступательная скорость должна быть в этом случае не более 2,5 м/с. При этом минимальная критическая скорость среза стеблей равна 4,5 м/с. Кроме того, выявлено, что для режущих элементов верхней ветви режущего аппарата с бесконечно-несущим приводом целесообразна дополнительная опора.

7. На основе регрессионной модели взаимосвязи между длиной промежуточного продукта и такими факторами, как поступательная скорость комбайна и шаг расстановки режущих элементов на бесконечно несущей ветви, установлено, что с увеличением длины промежуточного продукта (соломины) среза стеблей необходимо снижать поступательную скорость комбайна. Исследования показали, что конструктивно-кинематические параметры режущего аппарата с двойным срезом стеблей не так значительно влияют на его производительность и качество работы, как поступательная скорость комбайна.

5 ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

5.1 Экономическая эффективность применения комбайновой жатки с двойным срезом стеблей

Расчет показателей экономической эффективности (приложение Б) внедрения новой или модернизируемой техники в растениеводстве проводят в следующих основных показателях [29,72,78,35]:

- производительность машины за час рабочего времени, смену, сезон;
- энергоемкость процесса;
- материалоемкость;
- удельный расход топлива.

Изменение производительности машин оказывает наибольшее влияние на экономические показатели по сравнению со всеми другими исходными данными.

При скашивании хлебной массы при прямом комбайнировании будем сравнивать предлагаемую нами жатку с двойным срезом стеблей с жаткой РСМ 081.27 на базе комбайна РСМ-101 «ВЕКТОР-410». Их технические характеристики представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Технические характеристики сравниваемых валковых жаток

Показатели	Жатка	
	РСМ 081.27	Предлагаемая
Ширина захвата жатки, м	6,0	6,0
Масса, кг	1565	2320
Рабочая скорость движения, м/с (км/ч)	1,5 (5,5)	1,8 (6,7)

5.2 Расчет экономической эффективности

Производительность за час сменного времени определим по формуле (5.1):

$$W_q = 0,1 \cdot B_{ж} \cdot V_p \cdot \tau_T, \quad (5.1)$$

где W_q – часовая производительность машины, га/ч;

$B_{ж}$ – рабочая ширина жатки, м;

V_p – рабочая скорость движения машины, м/с;

τ_m – коэффициент использования времени смены, ч.

Годовая (сезонная) загрузка жатки, выражаемая в гектарах, определяется по формуле:

$$Z_{CEZ} = Z_G \cdot W_q, \quad (5.2)$$

где Z_{CEZ} – годовой объем работы, га;

Z_G – годовая (сезонная) нормативная загрузка жатки в часах, $Z_G = 150$ ч [78,35].

Энергоемкость процесса определим по формуле:

$$E = H_E / W_q, \quad (5.3)$$

где E – энергоемкость процесса, кВт-ч/га;

H_E – эффективная мощность РСМ-101 «ВЕКТОР-410», $H_E = 154$ кВт [52].

Материалоемкость операций определим по формуле:

$$M_{уд} = (M_{КБ} + M_{Ж}) / Z_{CEZ}, \quad (5.4)$$

где $M_{уд}$ – материалоемкость операций, кг/га;

$M_{КБ}$ – масса комбайна, $M_{КБ} = 11075$ кг (комбайн РСМ-101 «ВЕКТОР-410»);

$M_{Ж}$ – масса жатки, $M_{Ж}^B = 1565$ кг (масса жатки РСМ 081.27) [39], $M_{Ж}^П = 1780$ кг (масса жатки с режущим аппаратом двойного среза).

Расход топлива на 1 гектар определим по формуле:

$$\Gamma_{ГА} = Q_q / W_q, \quad (5.5)$$

где $\Gamma_{ГА}$ – расход топлива на 1 гектар, кг/га;

Q_q – часовой расход топлива, $Q_q = 14,1$ кг/ч [52].

Удельную трудоемкость определим по формуле:

$$TE_{уд} = L / W_q, \quad (5.6)$$

где $TE_{уд}$ – удельная трудоемкость операций, чел.-ч/га.;

L – количество обслуживающего персонала, $L = 1$ чел.

Экономия удельных затрат определим по формуле:

$$\mathcal{E}_{TE} = TE_{уд} - TE_{уд}^{\Pi}, \quad (5.7)$$

где \mathcal{E}_{TE} – экономия удельных затрат, чел.- ч/га;

Годовую экономию затрат труда определим по следующей формуле:

$$\mathcal{E}_{TEГ} = (TE_{уд} - TE_{уд}^{\Pi}) \cdot 3_{СЕЗ}^{\Pi}, \quad (5.8)$$

где $\mathcal{E}_{TEГ}$ – годовая экономия удельных затрат, чел.-ч.

Для определения заработной платы трактористов-машинистов следует использовать следующую формулу:

$$I_3 = TC_{CM} \cdot 2,1 / (7 \cdot W_ч), \quad (5.9)$$

где I_3 – заработная плата обслуживающего персонала, руб./га.;

2,1 – коэффициент, учитывающий все доплаты, надбавки и начисления на заработную плату;

7 – количество рабочих часов в день;

TC_{CM} – дневная тарифная ставка тракториста-машиниста 5-го разряда, определяется по следующей формуле:

$$TC_{CM} = MPOТ \cdot K_{СЛ} \cdot K_3 \cdot K_T / 25,2, \quad (5.10)$$

где $MPOТ$ – минимальный размер оплаты труда (устанавливается и индексируется постановлениями Правительства РФ), $MPOТ = 5965$ руб.;

$K_{СЛ}$ – коэффициент профессиональной сложности, для трактористов-машинистов работающих сдельно $K_{СЛ} = 1,8$;

K_3 – зональный коэффициент, $K_3 = 1,2$;

K_T – тарифный коэффициент, для трактористов-машинистов V категории $K_T = 1,54$;

25,2 – нормативное число рабочих дней в месяце.

Амортизационные отчисления на единицу работы определяют по формуле:

$$I_{AM} = (BC_{KB} \cdot A_{KB} + BC_{Ж} \cdot A_{Ж}) / (100 \cdot 3_{СЕЗ}), \quad (5.11)$$

где I_{AM} – амортизационные отчисления на единицу работы, руб./га;

A – норма амортизационных отчислений для сельскохозяйственной техники составляет 15%.

$BC_{КБ}$, $BC_{Ж}$ – балансовая стоимость комбайна и жатки соответственно, $BC_{КБ} = 6230000$ руб. Балансовую стоимость жаток определим методом сопоставимых масс по формуле:

$$BC_{Ж} = BC_{КЖ} \cdot M_{Ж} / M_{Ж}^{\Pi}, \quad (5.12)$$

где $BC_{ПН}$ – балансовая стоимость жатки РСМ 081.27, $BC_{КЖ} = 520000$ руб.

$M_{Ж}$ – масса жаток, $M_{Ж} = 1565$ кг, $M_{Ж}^{\Pi} = 1780$ кг;

Затраты на технические уходы и текущие ремонты машин рассчитываются по формуле, при этом норма отчислений для комбайна составляет 10 %, а для жаток составляет 12 %

Затраты на горюче-смазочные материалы определяют по формуле:

$$I_{ГСМ} = \Gamma_{ГА} \cdot Ц_{К}, \quad (5.13)$$

где $I_{ГСМ}$ – затраты на горюче-смазочные материалы, руб./га;

$Ц_{К}$ – комплексная цена 1 кг топлива, включающая стоимость основного топлива, всех смазочных материалов и расходы на их перевозку, $Ц_{К} = 34,50$ руб./кг.

Устанавливаются прямые эксплуатационные затраты на единицу работы по формуле:

$$I_{У} = I_{З} + I_{АМ} + I_{ТР} + I_{ГСМ} \quad (5.14)$$

где $I_{У}$ – удельные эксплуатационные затраты, руб./га;

Экономия удельных эксплуатационных затрат на единицу работы определяют по формуле:

$$\mathcal{E}_{ИУ} = I_{У} - I_{У}^{\Pi} I_{ГСМ} \quad (5.15)$$

где $\mathcal{E}_{ИУ}$ – экономия удельных эксплуатационных затрат на единицу работы, руб./га.

Годовую экономию эксплуатационных затрат определяют по формуле:

$$\mathcal{E}_{ИГ} = \mathcal{E}_{ИУ} \cdot Z_{СЕЗ}^{\Pi} \quad (5.16)$$

где $\mathcal{E}_{ИГ}$ – годовая экономия эксплуатационных затрат, руб.

Степень снижения эксплуатационных затрат определяют по формуле:

$$C_{И} = 100 \cdot (I_{У} - I_{У}^{\beta}) / I_{У} \quad (5.17)$$

где $C_{И}$ – степень снижения эксплуатационных затрат, руб.

5.3 Расчет годового экономического эффекта

Расчет годового эффекта произведем по приведенным затратам.

Сумма приведенных затрат включает наряду с эксплуатационными издержками и часть капиталовложений, приведенных через нормативный коэффициент эффективности капиталовложений к сопоставимому периоду (году).

Приведенные затраты определяются по формуле:

$$ПЗ = И_v + E_H \cdot K_{уд}, \quad (5.18)$$

где $ПЗ$ – приведенные затраты, руб./га;

E_H — отраслевой нормативный коэффициент эффективности капиталовложений, применяемый для с.-х. машиностроения в размере 0,15...0,20, принимаем 0,175;

$K_{уд}$ — удельные капиталовложения в машину, руб./га.

Удельные капиталовложения в машину определяются по формуле:

$$K_{уд} = K / Z_{СЭЗ}, \quad (5.19)$$

где K — капитальные вложения в машину, $K = 560000$ руб., $K^П = 648135,6$ руб.

Годовой экономический эффект от внедрения одной машины определяют по формуле:

$$\mathcal{E}_Г = (ПЗ^Б - ПЗ^П) \cdot Z_{СЭЗ}^П, \quad (5.20)$$

где $\mathcal{E}_Г$ — годовой экономический эффект, руб.

5.4 Определение эффективности капиталовложений

Срок окупаемости первоначальных капиталовложений рассчитывается в том случае, если предполагается полная замена базовой машины или технологии новой, или внедрение ранее не применявшейся машины, агрегата или технологии, и определяется по формуле:

$$O_K = K^Б / \mathcal{E}_Г \quad (5.21)$$

где O_K — срок окупаемости первоначальных капиталовложений, лет;

Таблица 5.1 – Экономические показатели эффективности использования проектируемой и базовой машины.

Показатели	Комбайновая жатка	
	РСМ 081.27	предлагаемая
Технико-эксплуатационные:		
– производительность, га/ч	2,6	3,11
– сезонная выработка, га	390	466,5
– энергоемкость, кВт·ч/га	59,2	49,5
– расход топлива, кг/га	10,2	8,5
– материалоемкость, кг/га	32,6	27,8
Затраты труда:		
– трудоемкость, чел·ч /га;	0,38	0,32
– годовая экономия затрат труда, чел·ч	–	28
Эксплуатационные затраты, руб./ га	3572,1	3035,8
Годовая экономия эксплуатационных затрат, руб.	–	250184
Степень снижения эксплуатационных затрат, %	–	15
Эффективность капиталовложений:		
– балансовая стоимость машины, тыс. руб.;	560	648,1
– годовой экономический эффект, тыс. руб.	–	253,8
– срок окупаемости капиталовложений, лет	–	2,55

Расчет экономической эффективности показал, что предлагаемое решение комбайновой жатки с двойным срезом стеблей позволяет достичь экономического эффекта от внедрения в 253776 руб. Ожидаемый срок окупаемости первоначальных капиталовложений составит 2,55 года.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Результаты анализа технического перевооружения комбайнового парка в условиях Южного Урала на примере Челябинской области показывают, что замена физически и морально устаревших комбайнов осуществляется высокотехнологическими машинами класса «4», «5» и выше как отечественного производства, так и зарубежного. В настоящее время уборка зерновых культур производится как прямым комбайнированием, так и раздельным способом с преобладанием первого. При этом практика показала, что технико-экономический потенциал данного класса комбайнов при прямом комбайнировании зерновых культур из-за низкой урожайности полностью не реализуется. В связи с чем требуется поиск новых технологических и технических решений в области прямого комбайнирования зерновых культур. Поэтому дальнейшие исследования закономерностей функционирования процесса прямого комбайнирования и установления зависимостей параметров машин и режимов их использования с учетом технологических свойств зерновых культур являются актуальной научно-производственной проблемой.

2. Обзор и анализ научно-технической литературы показал, что дальнейшее совершенствование прямого комбайнирования зерновых культур целесообразно осуществить посредством разработки метода двойного среза стеблей. Исходя из этого была разработана информационная модель прямого комбайнирования зерновых культур, в которой зерноуборочный комбайн рассматривается как преобразующая техническая система, включающая в себя преобразующую техническую подсистему в виде режущего аппарата комбайновой жатки. При этом техническая система и подсистема характеризуются входными и выходными параметрами. Наличие технической системы и подсистемы, их соотношение позволяют применить в исследованиях методологию системного анализа.

3. На основе информационной модели была разработана математическая модель прямого комбайнирования зерновых культур с двойным срезом стеблей. В результате чего выявлены закономерности и зависимости, которые показывают, что прямое комбайнирование с двойным срезом стеблей характеризуется

образованием промежуточного продукта в виде соломины стебля длиной от 0,10 до 0,20 м. А это изменяет показатель технологического свойства зерновых – соотношение зерна и соломы по массе, что отражается на соломистости хлебной массы. В результате чего получена аналитическая зависимость, характеризующая изменения коэффициента соломистости хлебной массы от длины промежуточного продукта в виде соломины стебля, которая достаточно точно описывается аналитической зависимостью 2-го порядка.

4. В ходе теоретических изысканий установлена взаимосвязь между рабочей скоростью движения комбайна, его часовой производительностью и коэффициентом соломистости хлебной массы, который изменяется в зависимости от длины промежуточного продукта в виде соломины стебля. Выявлено, что с уменьшением длины стеблестоя зерновых культур при прямом комбайнировании за счет образования промежуточного продукта длиной 0,10 м возможно повышение рабочей скорости комбайна на 23,0%, что приведет к более эффективному использованию пропускной способности молотилки. Дальнейшее увеличение длины промежуточного продукта до 0,15–0,20 м приведёт к увеличению рабочей скорости комбайна только на 2,4–5,0 %.

5. Установлено, что для осуществления процесса двойного среза стеблей зерновых культур целесообразна преобразующая техническая подсистема зерноуборочного комбайна в виде режущего аппарата жатки с бесконечным тягово-режущим элементом. В ходе математического описания данного процесса выявлено, что для его реализации необходимо свести к минимуму отгиб и изгиб стеблей во время их среза, чего возможно добиться за счет конструктивно-режимных параметров режущего аппарата.

6. В результате рассмотрения взаимосвязи между поступательной скоростью режущего элемента и рабочей скоростью движения комбайна получены закономерности и зависимости, из которых следует, что шаг между режущими кромками элементов зависит как от рабочей скорости движения комбайна, так и от их поступательной скорости. Определено, что с увеличением рабочей скорости комбайна с 1,4 м/с до 2,8 м/с необходимо уменьшить шаг между режущими кромками элементов с 29,4 до 16,4 мм при частоте вращения вала

приводе $10,6 \text{ с}^{-1}$ и с 36,0 до 19,5 мм при частоте – $13,3 \text{ с}^{-1}$. При этом шаг между режущими кромками элементов практически не зависит от таких конструктивных параметров, как радиус приводной звездочки и высота режущей кромки.

7. Результаты экспериментальных исследований показывают, что при средней высоте стеблестоя пшеницы ($l_{cm} \approx 0,50 \text{ м}$) в условиях Южного Урала на примере Челябинской области процент низкорослого стеблестоя (интервал высоты 0,2–0,3 м) составляет 5,8%, то есть менее 10% от общей совокупности стеблей, которые могут повлиять на потери зерна срезанным колосом за комбайновой жаткой. При благоприятных природно-климатических условиях основной массив стеблестоя пшеницы по ярусности находится в пределах 0,7–0,8 и 0,8–0,9 м (соответственно вероятность – 3,8 и 5,4), что практически не отразится на потерях зерна срезанным колосом за жаткой при уборке зерновых культур прямым комбайнированием с двойным срезом стеблей.

8. В ходе лабораторно-полевых исследований технического устройства с двойным срезом стеблей установлено, что для обеспечения технологической надежности процесса среза необходима конструкция режущего аппарата комбинированного типа, то есть верхняя ветвь тягово-режущих элементов должна иметь дополнительные рабочие органы в виде противорежущих пальцев, при этом нижняя ветвь остается без подпора. В этом случае наблюдается устойчивый чистый срез стеблей при поступательной скорости несущего режущего элемента не менее, чем 4,5 м/с. Выявлено, что чистый срез стеблей обеспечивается при расстоянии от 20 до 40 мм между противорежущими пальцами и несущим режущим элементом.

9. Расчетами установлено, что годовой экономический эффект от применения предлагаемой конструкции режущего аппарата на комбайновой жатке составит 253,8 тыс. руб. Ожидаемый срок окупаемости – 2,55 года.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. «Палессе GS12»: к максимальной эффективности [Электронный ресурс]. Режим доступа [http:// www.agronews.ru](http://www.agronews.ru), [http:// www.gomselmash.by](http://www.gomselmash.by) – Загл. с экрана.
2. Аблин Л.К., Константинов М.М. К методике определения рабочей скорости движения самоходного зерноуборочного комбайна // ЧИМЭСХ. Вып. 65. Эксплуатация и техническое обслуживание МТП. Челябинск, 1972.
3. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер. – М.: Наука, 1966. – 93с.
4. Алферов С.А., Калошин А.И., Угаров А.Д. Как работает зерноуборочный комбайн. М.: Машиностроение, 1981. – 190с.
5. Артемов В.Е. Совершенствование технологии уборки зерновых колосовых культур с использованием прицепного подборщика-измельчителя соломы. Автореферат на соискание ученой степени канд. техн. наук. Краснодар, 2005. – 20с.
6. Барабаш Г.И. Операционная технология уборки колосовых культур. М.:Россельхозиздат, 1983. – 201с.
7. Бледных В.В., Косилов Н.И. и др. Прицепные валковые жатки для ресурсоэнергосберегающих технологий // Достижения науки и техники АПК, № 10, 2008. – С. 9-14.
8. Бледных В.В., Косилов Н.И., Рогоза В.Е., Урайкин В.М. Совершенствование технологии уборки и послеуборочной обработки урожая зерновых, зернобобовых и крупяных культур в условиях Южного Урала. Челябинск, ЧГАУ, 1995. – 89с.
9. Босой Е.С. Режущие аппараты уборочных машин. М.: Машиностроение, 1967. – 167с.
10. Бравериан Э.М., Мучник И.Б. Структурные методы обработки эмпирических данных. – М.: Наука. 1983. – 462с.

11. Бурьянов А.И., Пасечный Н.И. Обоснование класса комбайна для уборки зерновых методом очеса // Механизация и электрификация сельского хозяйства. № 4, 2004. – С.21-23.

12. Бурьянов М.А. Параметры и режимы процесса очеса зерновых культур навесной на комбайн очесывающей жаткой. / А.М. Бурьянов: автореферат дис. канд. тех. наук. Зеленоград, 2011. – 18с.

13. Василенко И.Ф. Теория режущих аппаратов жатвенных машин // Труды ВИСХОМ, Сборник 5. – М. 1937. – С. 7-114.

14. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям с.х. машин. Киев, Изд-во УАСХН, 1960. – 283с.

15. Васько М.А., Яковенко А.В. Слагаемые урожайности // Зерновое хозяйство.-1987. - №1. – С. 33-35.

16. Высокий срез – доступная альтернатива жаткам очеса на корню [Электронный ресурс]. Режим доступа <http://www.agroru.com>. – Загл.с экрана;

17. Гольцяпин В.Я. Тенденции развития зерноуборочных комбайнов. // Техника и оборудование для села. 2004, №1.-С.9-14.

18. Горшенин В.И., Михеев Н.В. и др. Машины для уборки зерновых культур / Мичуринск – Научоград РФ, 2006. – 244с.

19. Горшков Ю.Г., Четыркин Ю.Б. и др. Повышение эффективности мобильных машин и улучшение условий труда операторов АПК. Челябинск: ЧГАА, 2013. – 555с.

20. Горячкин В.П. Собрание сочинений. Том 3. М.: Колос, 1965. – 316с.

21. ГОСТ 10842-76 Зерно. Метод определения массы 1000 зерен.

22. ГОСТ 10939-64 Зерно. Методы определения засоренности, прохода мелких зерен, выравненности и крупности.

23. ГОСТ 12036-66 Семена сельскохозяйственных культур. Отбор образцов.

24. ГОСТ 13586.2-83. Зерно. Методы определения содержания сорной, зерновой, особо учитываемых примесей, мелких зерен и крупности. – М.: Стандарт, 1982. – 83с.

25. ГОСТ 20915-75 Сельскохозяйственная техника. Методы определения условий испытаний. М.: Стандарт. 1975. – 27с.

26. ГОСТ 24055-80 – ГОСТ 24059-80. Методы эксплуатационно-технологической оценки. – М.: Стандарт. 1980. – 14с.
27. ГОСТ 24055-88 – ГОСТ 24059-88 Методы эксплуатационно-технологической оценки. – М.: Стандарт. 1988. – 45с.
28. ГОСТ 28301-89 (СТСЭВ 6542-88) Методы испытаний. Комбайны зерноуборочные. М.: Стандарт. 1989. – 21с.
29. ГОСТ Р 53056-2008. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. – М.: Стандартинформ, 2009. – 20с.
30. Гранберг А.Г. Моделирование экономики. М.: Экономика, 1988. – 487 с.
31. Давидсон Е.И. Научные исследования мобильных сельхозмашин. СПб. Изд-во СПбГАУ, 2009. – 123с.
32. Долгов И.А. Уборочные сельскохозяйственные машины (конструкция, теория и расчет). Красноярск, Изд-во КрасГАУ, 2005. – 724с.
33. Дранишников А. Как увеличить производительность комбайна? // Зерно [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.zerno-ua.com/?p2062>. – Загл. с экрана.
34. Жалнин Э.В. Презентация курса лекций по теоретическим и прикладным проблемам механизации сельскохозяйственного производства. М-Алматы. Изд. «Агроуниверситет», 2011. – 216 с.
35. Жалнин Э.В. Презентация курса лекций по теоретическим и прикладным проблемам механизации сельскохозяйственном производстве. М., 2011.-116с.
36. Жалнин Э.В. Расчет основных параметров зерноуборочных комбайнов с использованием принципа гармоничности их конструкции. М. ГНУ ВИМ. 2011.- 104с.
37. Жалнин Э.В., Мурашов А.Д., Буланец В.И. Автоматизированная система формирования агротехнологий и оптимизации состава машино-тракторного парка хозяйства (АСФАТ МТП). – М.: ВИМ, 1999.
38. Жалнин Э.В., Савченко А.Н. Технология уборки зерновых комбайновыми агрегатами. М.: Россельхозиздат, 1985.-207с.
39. Жатка РСМ 081.27. Руководство по эксплуатации РСМ-081.27 РЭ / ООО «КЗ «Ростсельмаш». – Ростов н/Д, 2013, 75с.

40. Зарубин В.С. Математическое моделирование в технике / В.С. Зарубин. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 496 с.
41. Зерноуборочные комбайны «ACROS» Прайс-лист. ООО «КЗ «Ростсельмаш», 2014г. – 30с.
42. Зерноуборочные комбайны «CLAAS». Прайс-лист фирмы «CLAAS». 2012г. – 76с.
43. Зерноуборочные комбайны «John Deere». Прайс-лист фирмы «John Deere». 2013г. – 47с.
44. Измельчитель соломы ИРСН – 1200 к зерноуборочным комбайнам «Нива» и «Енисей», Протокол испытаний № 06-30-2006 (4060322), КГЗМС, 2006. – 4с.
45. Инструкция по эксплуатации и техническому обслуживанию РСМ-101ИЭ. Комбайн зерноуборочный самоходный РСМ-101 ВЕКТОР. ООО «КЗ «Ростсельмаш» / Версия 3. 2008. – 289с.
46. Инструкция по эксплуатации и техническому обслуживанию РСМ-142 ACROS. ООО «КЗ «Ростсельмаш» / Версия 3. 2008. – 300с.
47. Иофинов С.А., Лышко Г.П. Индустриальные технологии возделывания сельскохозяйственных культур. М: Колос, 1981. – 191с.
48. Ищейков В.Я., Мечкало Л.Ф. Определение энергозатрат комбайнов «Дон-1500» и КТР-10 на уборке озимой пшеницы и кукурузы на зерно / Информационный выпуск №1. Передовой производственный опыт и научно-технические достижения. М. 1990. – С.17-24.
49. Карташов Л.П. Параметрический и структурный анализ технологических объектов на основе системного подхода и математического моделирования / Л.П. Карташов, Т.М. Зубкова. – Екатеринбург: УрО РАН, 2009. – 225 с.
50. Карташов Л.П. Системный анализ технологических объектов АПК / Л.П. Карташов, В.Ю. Полищук. – Екатеринбург: УрО РАН, 1998.-185с.
51. Ковырялов Ю.П. Зерновое хозяйство СССР: тенденции, достижения, проблемы// Зерновое хозяйство. – 1987.-№3.-С. 2-6.
52. Комбайн зерноуборочный самоходный РСМ-101 «Вектор». Инструкция по эксплуатации и техническому обслуживанию, Ростов-на-Дону, 2009, 355с.

53. Константинов М.М., Ловчиков А.П., Ловчиков В.П. Проектирование и организация эффективного процесса уборки зерновых культур [Текст]. Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2011. – 144с.

54. Константинов М.М., Ловчиков А.П., Ловчиков В.П., Огородников П.И., Четыркин Ю.Б. Проектирование и организация эффективного процесса уборки зерновых культур. Екатеринбург: Институт экологии УрО РАН, 2011. – 144с.

55. Косилов Н.И., Стоян С. и др. Прицепная жатка ЖВП – 9,1 // сельский механизатор. М., 2004, №11. – С. 20-21.

56. Ксенович И.П. и др. Концепция автоматизации мобильной с.х. техники // Тракторы и с.х. машины. 1990. №1. – С. 2-6.

57. Кузьмин М.В. Предельные законы теории производительности машинно-технологических агрегатов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. № 10, 2005. – С. 6-8.

58. Кушнарев А.С., Леженкин А.Н. Энергосберегающая технология уборки зерновых для фермерских и крестьянских хозяйств // Сб. докл. Междунар. научн.-технич. конф. «Перспективные технологии уборки зерновых культур, риса и семян трав» / ТГАТА. – Мелитополь, 2003. – С. 17-21.

59. Лапшин П.Н. Зерноуборочные комбайны. Прочность, виброустойчивость, надежность. Курган, 2010, КГСХА, 2009. – 133с.

60. Леженкин А.Н. Методология формирования энерго- и ресурсосберегающей технологии уборки зерновых культур в условиях фермерских хозяйств (на примере Украины). / А.Н.Леженкин: автореферат дис. докт. техн наук. М, 2008 – 35с.

61. Леженкин А.Н. Перспективная технология уборки зерновых для фермерских и крестьянских хозяйств Юга Украины // Актуальные проблемы инженерного обеспечения АПК: Международ.научн.конф. Сб.научн.тр. – Ярославль, 2003. – Ч.III. – С. 28-29.

62. Леженкин А.Н. Уборка зерновых методом очесывания // Сельский механизатор. – 2004. - №11. – С. 27.

63. Ловчиков А.П. Повышение эффективности технологических систем уборки зерновых культур (на примере регионов Южного Урала и Северного Казахстана СНГ): дис. докт. тех. наук. Оренбург, ОГАУ. 2006. – 271с.

64. Ловчиков В.П. Совершенствование уборки зерновых культур при обмолоте хлебной массы в стационарных условиях // дис. на соис. кан. техн. наук. Челябинск, ЧИМЭСХ, 1990.-160с.

65. Ловчиков В.П., Бутко В.Н., Румянцев Н.Н. Влияние агрометеорологических факторов на режимы и качество работы уборочной техники. / Труды НПО «ЦСХМ», Алма-Ата, 1986. – С. 146-155.

66. Логинов Л.Н., Серый Г.Ф., Косилов Н.И. Зерноуборочные комбайны двухфазного обмолота. – [Текст]. – М., 1999. – 336с.

67. Ломакин С. зерноуборочные комбайны: потребности покупателей, предложения производителей // Аграрное обозрение, №3, 2010г. – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.agroobzor.ru/sht/a-143.html> - Загл. с экрана.

68. Лубнин М.Г. Влияние агрометеорологических условий на работу с.х. машин и орудий. М.: Гидрометеиздат, 1983.- 113с.

69. Ловчиков А.П. Теоретический аспект технологического процесса прямого комбайнирования зерновых культур с двойным срезом стеблей / Ловчиков В.П., Иксанов Ш.С // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015. № 3 (53). С.92-95.

70. Машины для уборки и послеуборочной обработки урожая. Зерноуборочные комбайны и рабочие узлы. (Определения, характеристики и производительность). Международный стандарт ИСО 6689-81. М.: Стандарт, 1983. – 15с.

71. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин. – Л.: Колос, 1980. – 168с.

72. Методы экономической оценки технологий и машин в сельском хозяйстве. М., 2010 – 125с.

73. Мамбеталин К.Т. Рекомендации по повышению эффективности возделывания сельскохозяйственных культур. – Челябинск, 2006. – 39 с.

74. Мурашев А.Д. Задачи инженерного расчета и проектирование производственных процессов и методы их реализации // методы оптимального проектирования сельскохозяйственных процессов. М, 1962. – С.77-161.

75. Новиков М.А. Сельскохозяйственные машины. Технологические расчеты в примерах и задачах. СПб.: Проспект. Наука, 2011. – 208с.

76. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешности результатов измерений. Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 245с.

77. О состоянии и тенденциях развития сельского хозяйства. Аналитическая записка, 2010 г. – Челябинск; Челябинский областной комитет государственной статистики. №12 – 33/11. 10.03.2011.-43с.

78. Ожерельев В.И. Современные зерноуборочные комбайны. 2009. – 128с.

79. Орманджи К.С. Уборка колосовых культур в сложных условиях. М. Россельхозиздат, 1985. – 145 с.

80. Осенчугов В.В., Фрумкин А.К. Автомобили (анализ конструкций, элементы расчета). М.: Машиностроение, 1989ю\, – 302с.

81. Оснащение хозяйств Новосибирской области отечественной и зарубежной техникой для уборки и обработки урожая зерновых культур / Рекомендации СибММЭ. Новосибирск, 2010. – 92с.

82. Основные показатели уровня механизации агропромышленного комплекса Российской Федерации в 1999 – 2002 гг. (аналитико-статистический сборник). – М.: Союзагромаш, 2003.

83. Особов В.И. Механическая технология кормов. М.: Колос, 2009. – 344с.; 27

84. ОСТ 20.8.1-81 Программы и методы испытаний. Испытания с.-х. техники. Машины зерноуборочные. М., 1981.

85. Отчет о научно-исследовательской работе по теме «Определение эффективности использования прицепных жаток ЖВП-9,1 и ЖВП-9,1Р при непрерывной технологии уборки зерновых культур в различных агроклиматических зонах Челябинской области. Государственный контракт № 873-П. Челябинск, 2007. – 73с.

86. Очесывающие жатки: - взгляд инженера [Электронный ресурс]. Режимы доступа <http://www.ukragroservice.narod.ru>.- Загл. с экрана.

87. Пенкин М.Г., Алексашов А.А. Подготовка урожая зерновых культур к обмолоту. Алма-Ата. КазНИИНТИ, 1987. – 65с.

88. Петерсон Г. Сберегать и накапливать воду в почве – все равно что хранить деньги в банке [Электронный ресурс]. Режим доступа //www.agropressa.ru Аграрный эксперт, декабрь 2007. – С. 18-21.

89. Плаксин А.М. Обеспечение работоспособности МТА в растениеводстве. Челябинск, ЧГАУ, 1996.-221с.

90. Повышение эффективности работ при уборке урожая зерновых культур (рекомендации) // Ловчиков А.П., Ловчиков В.П., Иксанов Ш.С. и др. Челябинск, 2014. – 40с.

91. Производство продукции растениеводства в Челябинской области в 2009-2014 годах: Стат. сб. / Челябинскстат, - Челябинск, 2015. – 62с.

92. Прибытков П.Ф., Скробач В.Ф. Безотказность уборочных агрегатов и комплексов. Ленинград: ВО Агропроиздат, 1987.-201с.

93. Проспект фирмы «КЛААС КгаА мбХ». Зерноуборочные комбайны Мега 350 и Мега 360. Харзевинкель, 2004. – 23 с.

94. Проспект фирмы ООО «Ростсельмаш». Каталог продукции. Ростов-на-Дону, 2014.-17с.

95. Пугачев А.Н. Контроль качества уборки зерновых культур. М.: Колос, 1980.-255с.

96. Пугачев А.Н. Повреждение зерна пшеницы. М.: Колос, 1975. – 196с.

97. Рекомендации по снижению потерь и механических повреждений зерна при уборке урожая // Ловчиков А.П., Коновалов С.М., Константинов М.М., и др. Омск, ЗАО «Полиграф», 2012. – 40с.

98. Россия в цифрах. 2012: Крат.стат.сб./Росстат-М., 2012. – 573 с.

99. Румшинский А.З. Математическая обработка результатов эксперимента. – М.: Наука. 1971. – 191 с.

100. Пятаев М.В. Моделирование механизированных процессов в растениеводстве: методические указания / сост. М.В. Пятаев. – Челябинск: ЧГАА, 2014. – 44с.

101. Саакян Д.Н. Система показателей комплексной оценки мобильных машин. М. 1988. – 495с.
102. Сабликов М.Е. Сельскохозяйственные машины. М.: колос, 1968. – 298с.
103. Саклаков В.Д., Сергеев М.П. Техничко-экономическое обоснование выбора средств механизации. М.: Колос, 1973.
104. Сатановский Р.Л. Методы снижения производственных потерь. М.: Экономика, 1988. – 301с.
105. Системные исследования. Методологические проблемы. М.: Наука, 1988.-491с.
106. Смолинский С.В., Мироненко В.Г. Высота срезания как фактор повышения эффективности функционирования зерноуборочного комбайна // Сборник статей международной научно-практической конференции «Техника будущего: перспективы развития сельскохозяйственной техники». Краснодар, КубГАУ, 2013. – С.38-39.
107. Советов Б.Я. Моделирование систем / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев – М.: Высшая школа, 2001. – 343 с.
108. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин. В 2-х томах. Том 2. / Под ред. А.В. Красниченко. М.: Машиностроительная литература, 1961. – 860с.
109. Степанов В.Н. Практикум по основам агрономии. М.: Колос, 1969 – 267с.
110. Степанов Л.С. Методика расчета производительности комбайнов // Тракторы и сельхозмашины. №1, 1970. – С. 12-18.
111. Степанов Л.С. Методика расчета производительности комбайнов // Тракторы и с.-х. машины. 1970. №1. – С. 12-18.
112. Стратегия машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России на период до 2020 года / Ю.Ф.Лачуга и др.: - М. ФГНУ и Росинформагротех.2009.- 80с.
113. Стратегия перспективного развития механизации уборки зерновых культур / В.И. Анискин, акад. Россельхозакадемии, Э.В. Жалнин [электронный ресурс] [http:// www.traktorg.ru/18/567.htm](http://www.traktorg.ru/18/567.htm).
114. Технические и технологические требования к перспективной с.х. техники. М.: Росинформагротех. 2011. – 246с.

115. Технологии и технические средства заготовки кормов // Рекомендации // Ловчиков А.П., С.М. Коновалов, Уваров В.В., Иксанов Ш.С. и др. // Челябинск, РЕКПОЛ, 2012. – 48с.

116. Трубилин Е.И., Абликов В.А. Машины для уборки сельскохозяйственных культур (конструкции, теория и расчет): Учеб.посю – 2 изд. перераб. и дополн. – КГАУ, Краснодар, 2010 – 325с.

117. Файффер А. 10 рекомендаций по оптимизации уборки урожая [Электронный ресурс]. Режим доступа faili/kombaini_story2.pdf. – Загл. с экрана;

118. Федосеев П.Н. Уборка зерновых культур в районах повышенной влажности. М.: Колос, 1969.-175с.

119. Фирсов М.М. Планирование эксперимента при создании с.х. техники. М.: Изд-во МСХА, 1999. – 125с.

120. Фирсов М.М. Планирование эксперимента при создании с.х. техники. М, Изд-во МСХА, 1999. – 125с.

121. Фомин В.И. Исследование бесподпороного среза трав // Исследование новых технологических процессов и рабочих органов сеноуборочных машин. Труды ВИСХОМ, Вып. 39, М. 1962. – С. 3-56.

122. Хромова Т.Ф., Марьенко О.А. Математическая статистика. М: Изд-во ТСХА, 1985. – 120с.

123. Цыбульников В.И., Леженкин А.Н., Масленников В.В. Результаты исследований уборочной машины // Совершенствование рабочих органов машин и повышение эффективности их технологических процессов в растениеводстве. – Л., 1991. – С. 34-37.

124. Эйлон С., Голд Б., Сезан Ю. Система показателей эффективности производства (прикладной анализ). М.: Экономика, 1980. – 210 с.

125. Энциклопедический словарь [Электронный ресурс] // <http://tolkslovai.ru/i3170.html>\$.

126. Эффективность сложных систем. Динамические модели. М.: Наука, 1989.-281с.

127. Эшли Х. Оптимизация в авиации. О том как делать все наилучшим образом // Аэрокосмическая техника. Том 1 № 4, 1983. – С. 161-190.

ПРИЛОЖЕНИЯ



Рисунок А.1 – Микрометр МКО-20 мм (ГОСТ 650778)



Рисунок А.2 – Влагомер растительных кормов марки Wile 26 W-251



Рисунок А.3 – Частотный преобразователь марки ВЕСПЕР E2-8300-003H



Рисунок А.4 – Электронные весы марки UNIGRAM ET-600-M



Рисунок А.5 – Влагомер зерна Колос-1

Все приборы и оборудование перед применением проходят проверку на точность и погрешность измерения.

Таблица П.Б1 – Распределение частоты ярусности стеблей по интервалам в условиях Челябинской области, шт.

Интервал, м	Повторности опыта, №					Вероятность события	
	1	2	3	4	5	Доля	%
ООО «Нижняя Санарка», Саратовская 38 Год наблюдений 2008 г.							
0,2-0,3	1	1	-	-	-	0,0057	0,57
0,3-0,4	-	5	2	1	2	0,029	2,9
0,4-0,5	3	5	4	5	3	0,058	5,8
0,5-0,6	8	27	27	13	11	0,249	24,9
0,6-0,7	34	31	33	17	18	0,384	38,4
0,7-0,8	39	16	-	23	19	0,280	28,0
Год наблюдений 2010 г.							
0,2-0,3	9	25	24	44	-	0,062	6,2
0,3-0,4	27	72	45	86	-	0,14	14
0,4-0,5	68	155	95	100	-	0,255	25,5
0,5-0,6	131	86	96	118	-	0,263	26,3
0,6-0,7	143	47	26	114	-	0,202	20,2
0,7-0,8	94	-	-	29	-	0,075	7,5
Год наблюдений 2011 г.							
0,2-0,3	11	70	39	30	15	0,090	9,0
0,3-0,4	25	124	176	93	41	0,251	25,1
0,4-0,5	64	99	224	164	113	0,364	36,4
0,5-0,6	57	59	47	91	58	0,171	17,1
0,6-0,7	31	11	-	21	104	0,091	9,1
0,7-0,8	9	-	-	-	49	0,032	3,2
ООО «Песчаное», пшеница Омская 36. Год наблюдений 2014 г.							
0,2-0,3	-	-	-	-	-	-	-
0,3-0,4	-	-	-	-	-	-	-
0,4-0,5	-	-	-	-	-	-	-
0,5-0,6	-	10	10	-	-	0,04	4,0
0,6-0,7	20	20	30	10	10	0,18	18,00
0,7-0,8	40	40	30	40	50	0,40	40,0
0,8-0,9	40	30	20	50	40	0,38	38,0
ОАО «Совхоз «Акбашевский», Челябинская 2. Год наблюдений 2014 г.							
0,2-0,3	-	-	-	-	-	-	-
0,3-0,4	-	-	-	-	-	-	-
0,4-0,5	-	-	-	-	-	-	-
0,5-0,6	-	-	20	10	-	0,06	6,0
0,6-0,7	-	10	-	-	-	0,02	2,0
0,7-0,8	60	60	60	80	10	0,54	54,0
0,8-0,9	40	30	10	10	90	0,38	38,0

Таблица П.Б2 – Основные агробиологические характеристики и технологические свойства хлебной массы

Показатель	Повторности опыта, №						Статистические показатели		
	1	2	3	4	5	6	\bar{m}	σ	$v, \%$
Пшеница Саратовская 38 (ООО «Нижняя Санарка»)									
Длина стебля, м	0,54	0,47	0,51	0,47	0,43	0,498	0,486	0,007	1,44
Масса стебля, г	2,64	1,94	2,64	2,08	1,98	2,22	2,25	0,503	22,35
Масса зерна колоса, г	1,10	0,64	1,2	0,78	0,70	0,86	0,88	0,251	28,54
Соломистость(δ_c) хлебной массы	0,705	0,751	0,705	0,727	0,744	0,721	0,725	0,0018	0,25
Пшеница Омская 36 (ООО «Песчаное»)									
Длина стебля, м	0,77	0,73	0,74	0,8	0,8	-	0,77	0,0043	0,56
Масса стебля, г	18,2	14,9	14,5	18,9	18,1	-	16,92	16,88	99,7
Масса зерна колоса, г	10,6	9,0	8,9	11,3	10,7	-	10,1	4,7	46,5
Соломистость(δ_c) хлебной массы	0,632	0,623	0,619	0,625	0,628	-	0,625	8,82·10 ⁻⁵	14·10 ⁻³
Пшеница Челябинская 2 (ОАО «Совхоз «Акбашевский»)									
Длина стебля, м	0,796	0,782	0,734	0,74	0,858	-	0,782	0,01	0,002
Масса стебля, г	22,7	21,7	15,3	17,5	25,3	-	20,5	65,36	13,07
Масса зерна колоса, г	14,2	13,2	9,0	10,6	15,2	-	12,44	26,51	5,3
Соломистость(δ_c) хлебной массы	0,615	0,621	0,629	0,622	0,624	-	0,622	0,0001	206* 10 ⁻⁷

Таблица П.Б3 – Изменение массы промежуточного продукта соломины стебля, г

Показатель	Повторности опыта					Статистические показатели	
	1	2	3	4	5	—	v, %
Пшеница* Омская 36							
Длина стебля, м	0,77	0,73	0,74	0,8	0,8	0,77	0,56
Масса стебля, г	18,2	14,9	14,5	18,9	18,1	16,92	99,7
Масса промежуточного продукта длиной, м							
$\Delta_1 = 0,10$	1,2	1,2	1,0	1,2	1,3	1,18	4,06
$\Delta_2 = 0,15$	1,9	1,8	1,5	1,9	1,9	1,80	6,66
$\Delta_3 = 0,20$	2,5	2,4	1,9	2,5	2,5	2,36	11,52
Пшеница** Челябинская 2							
Длина стебля, м	0,796	0,782	0,734	0,74	0,858	0,782	0,002
Масса стебля, г	22,7	21,7	15,3	17,5	25,3	20,5	13,07
Масса промежуточного продукта длиной, м							
$\Delta_1 = 0,10$	1,6	1,7	1,1	1,2	1,6	1,44	20,2
$\Delta_2 = 0,15$	2,4	2,6	1,6	1,8	2,4	2,16	34,8
$\Delta_3 = 0,20$	3,0	3,3	2,1	2,3	3,3	2,36	54,23

* - влажность соломы – 21,2 – 23,8%;

** - влажность соломы – 24,2%.

Таблица П. Б4 – Изменение влажности (%) соломины стебля в зависимости от высоты, м

Номер опыта	Влажность стебля ω_c , %			
	высота стеблестоя, м			
	контроль $l_c=0,49$ м	$\omega_{0,10}$ $\Delta l_1=0,10$ м	$\omega_{0,15}$ $\Delta l_2=0,20$	$\omega_{0,20}$ $\Delta l_3=0,20$
Опыт №1				
1	22,80	22,64	22,06	21,48
2	23,20	22,34	22,05	21,96
3	23,10	22,16	22,06	21,91
–	23,00	22,38	22,06	21,38
σ/V	0,086/0,004	0,12/0,0052	0,000067/ 0,000003	0,14/0,0065
Опыт №2				
1	23,10	22,48	22,06	21,80
2	23,00	22,29	22,04	21,76
3	22,90	22,37	22,08	21,70
–	23,00	22,38	22,06	21,75
σ/V	0,02/0,00087	0,0182/0,0008	0,0008/ 0,000036	0,005/ 0,00023
Опыт №3				
1	23,00	22,62	22,27	21,70
2	23,10	22,31	22,40	21,79
3	23,00	22,21	22,49	21,77
–	23,00	22,38	22,38	21,79
σ/V	0,0066/ 0,00029	0,091/0,0041	0,024/0,001	0,0044/0,0002
Среднее значение по серии опытов				
–				
Снижение влажности, %	23,00	22,38	22,07	21,77
Относительно общей длины, %	-	0,62	0,31	0,30
При срезе $\Delta l_1=0,1$ м, %	100	2,69	-	-
При срезе $\Delta l_2=0,15$ м, %		100	1,38	-
При срезе $\Delta l_3=0,2$ м, %	-	-	100	1,36

Таблица П.Б5 – Потери зерна колосом за жаткой комбайна

PCM-101 «Вектор-410»

Опыт	Рабочая скорость	Повторности опыта			Статистические данные		Потери зерна %
	км/ч (м/с)	1	2	3	–	σ	
1	Высота стерни, $H_{ст} = 0,15$ м						
	5 (1,4)	0,7	0,1	0,5	0,43	0,08	0,22
	5 (1,4)	0,8	0,3	0,4	0,5	0,10	0,25
	5 (1,4)	0,8	0,47	0,67	0,65	0,09	0,25
2	Высота стерни, $H_{ст} = 0,25$ м						
	5 (1,4)	0,10	0,60	0,40	0,37	0,08	0,19
	5 (1,4)	0,70	0,85	0,98	0,84	0,12	0,42
	5 (1,4)	1,0	0,79	0,84	0,87	0,09	0,44
3	Высота стерни, $H_{ст} = 0,30$ м						
	5 (1,4)	0,89	0,90	0,93	0,91	0,17	0,46
	5 (1,4)	0,82	0,90	0,87	0,86	0,20	0,43
	5 (1,4)	0,97	0,88	0,91	0,92	0,27	0,46

Таблица П.Б6 – Потери зерна колосом за жаткой PCM-101 «ВЕКТОР-410»

Опыт	Рабочая скорость	Повторности опыта			Статистические данные		Потери зерна %
	км/ч (м/с)	1	2	3	–	σ	
1	Высота стерни, $H_{ст} = 0,15$ м						
	7 (1,9)	0,35	0,70	0,30	0,45	0,08	0,23
	7 (1,9)	0,47	0,70	0,65	0,61	0,09	0,31
	7 (1,9)	0,53	0,67	0,80	0,66	0,14	0,33
2	Высота стерни, $H_{ст} = 0,25$ м						
	7 (1,9)	0,90	0,89	0,60	0,79	0,13	0,40
	7 (1,9)	0,90	0,92	0,54	0,78	0,17	0,39
	7 (1,9)	0,76	0,88	0,89	0,84	0,13	0,42
3	Высота стерни, $H_{ст} = 0,30$ м						
	7 (1,9)	0,89	0,90	0,82	0,87	0,17	0,44
	7 (1,9)	0,76	0,84	0,90	0,88	0,12	0,42
	7 (1,9)	0,89	0,72	0,69	0,77	0,18	0,39

Таблица П. Б7 - Потери зерна колосом за жаткой РСМ-101 «ВЕКТОР-410»

Опыт	Рабочая скорость км/ч (м/с)	Повторности опыта			Статистические данные		Потери зерна %
		1	2	3	—	σ	
1	Высота стерни, $H_{ст} = 0,15$ м						
	9 (2,5)	0,65	0,86	0,91	0,84	0,19	0,41
	9 (2,5)	0,76	0,82	0,86	0,82	0,14	0,41
	9 (2,5)	0,82	0,70	0,71	0,74	0,17	0,37
2	Высота стерни, $H_{ст} = 0,25$ м						
	9 (2,5)	0,90	0,87	0,61	0,79	0,18	0,40
	9 (2,5)	0,82	0,86	0,76	0,81	0,12	0,41
	9 (2,5)	0,89	0,90	0,77	0,85	0,14	0,47
3	Высота стерни, $H_{ст} = 0,30$ м						
	9 (2,5)	0,91	0,92	0,89	0,91	0,17	0,46
	9 (2,5)	0,88	0,96	0,80	0,88	0,12	0,44
	9 (2,5)	0,76	0,81	0,94	0,84	0,13	0,42

Таблица П. Б8 – Потери зерна колосом за жаткой комбайна Джон-Дир 9500

Опыт	Рабочая скорость км/ч (м/с)	Повторности опыта			Статистические данные		Потери зерна %
		1	2	3	—	σ	
1	Высота стерни, $H_{ст} = 0,15$ м						
	5 (1,4)	0,40	0,30	0,47	0,39	0,07	0,21
	5 (1,4)	0,50	0,45	0,48	0,48	0,09	0,26
	5 (1,4)	0,40	0,47	0,42	0,43	0,10	0,23
2	Высота стерни, $H_{ст} = 0,25$ м						
	5 (1,4)	0,5	0,4	0,5	0,46	0,09	0,24
	5 (1,4)	0,3	0,5	0,6	0,47	0,09	0,25
	5 (1,4)	0,2	0,4	0,6	0,4	0,08	0,22
3	Высота стерни, $H_{ст} = 0,30$ м						
	5 (1,4)	0,4	0,5	0,6	0,43	0,09	0,23
	5 (1,4)	0,5	0,6	0,3	0,47	0,09	0,25
	5 (1,4)	0,4	0,4	0,5	0,43	0,08	0,23

Таблица П.Б9 – Потери зерна колосом за жаткой комбайна Джон-Дир 9500

Опыт	Рабочая скорость	Повторности опыта			Статистические данные		Потери зерна %
	км/ч (м/с)	1	2	3	—	σ	
1	Высота стерни, $H_{ст} = 0,15$ м						
	7 (1,9)	0,6	0,5	0,7	0,6	0,08	0,32
	7 (1,9)	0,4	0,5	0,6	0,5	0,10	0,27
2	7 (1,9)	0,7	0,5	0,6	0,6	0,11	0,32
	Высота стерни, $H_{ст} = 0,25$ м						
	7 (1,9)	0,7	0,5	0,6	0,60	0,10	0,32
	7 (1,9)	0,5	0,6	0,6	0,57	0,09	0,31
3	7 (1,9)	0,6	0,7	0,7	0,67	0,08	0,36
	Высота стерни, $H_{ст} = 0,30$ м						
	7 (1,9)	0,7	0,6	0,7	0,67	0,10	0,36
	7 (1,9)	0,6	0,5	0,7	0,60	0,12	0,32
3	7 (1,9)	0,5	0,6	0,7	0,60	0,09	0,32

Таблица П. Б10 – Потери зерна колосом за жаткой комбайна Джон-Дир 9500

Опыт	Рабочая скорость	Повторности опыта			Статистические данные		Потери зерна %
	км/ч (м/с)	1	2	3	—	σ	
1	Высота стерни, $H_{ст} = 0,15$ м						
	9 (2,5)	0,7	0,8	0,8	0,77	0,10	0,42
	9 (2,5)	0,7	0,7	0,8	0,73	0,12	0,39
2	9 (2,5)	0,8	0,7	0,6	0,70	0,14	0,38
	Высота стерни, $H_{ст} = 0,25$ м						
	9 (2,5)	0,7	0,8	0,8	0,77	0,13	0,42
	9 (2,5)	0,7	0,7	0,8	0,73	0,14	0,39
3	9 (2,5)	0,8	0,8	0,9	0,83	0,12	0,45
	Высота стерни, $H_{ст} = 0,30$ м						
	9 (2,5)	0,8	0,7	0,8	0,77	0,10	0,43
	9 (2,5)	0,7	0,8	0,7	0,73	0,09	0,39
3	9 (2,5)	0,7	0,9	0,8	0,8	0,09	0,43

Таблица П. Б11 – Засоренность и дробление бункерного зерна комбайна

PCM-101 «ВЕКТОР-410»

Опыт	Рабочая скорость км/ч (м/с)	Чистое зерно		Статистические данные		Потери зерна		Масса1000 зерен г
		г	%	г	%	г	%	
1	Высота стерни, $H_{ст} = 0,15$ м							
	5 (1,4)	46,5	93,0	3,4	6,8	0,1	0,2	33,3
	5 (1,4)	48,5	97,0	1,0	2,0	0,1	0,2	31,3
	5 (1,4)	49,1	98,2	0,8	1,6	0,1	0,2	30,6
	5 (1,4)	48,0	96,0	1,5	3,0	0,5	1,0	34,6
	5 (1,4)	48,5	97,0	1,2	2,4	0,3	0,6	39,2
	—	48,2	96,2	1,58	3,2	0,2	0,4	33,8
2	Высота стерни, $H_{ст} = 0,25$ м							
	9 (2,5)	47,6	95,2	1,9	3,8	0,5	0,1	33,9
	9 (2,5)	48,7	97,4	1,3	2,6	0	0	32,9
	9 (2,5)	48,0	96	2,0	4	0	0	31,7
	9 (2,5)	48,4	96,8	1,1	2,2	0,3	0,6	33,8
	9 (2,5)	48,4	96,8	1,4	2,8	0,2	0,4	32,4
	—	48,26	96,5	1,54	3,1	0,2	0,4	32,9

Таблица П. Б12 – Засоренность и дробление бункерного зерна Джон-Дир 9500

Опыт	Рабочая скорость км/ч (м/с)	Чистое зерно		Статистические данные		Потери зерна		Масса1000 зерен г
		г	%	г	%	г	%	
1	Высота стерни, $H_{ст} = 0,15$ м							
	5 (1,4)	46,75	93,4	3,1	6,2	0,15	0,3	28,4
	5 (1,4)	47,9	95,8	1,8	3,6	0,30	0,6	32,3
	5 (1,4)	48,15	96,3	1,7	3,4	0,15	0,3	31,3
	5 (1,4)	47,9	95,8	2,0	4	0,10	0,2	31,4
	5 (1,4)	49,3	98,6	0,5	1	0,20	0,4	33,1
	—	48,0	96	1,82	3,6	0,20	0,4	31,3
2	Высота стерни, $H_{ст} = 0,25$ м							
	9 (2,5)	48,0	96	1,8	3,6	0,2	0,4	31,6
	9 (2,5)	48,4	96,8	1,2	2,4	0,4	0,8	30,7
	9 (2,5)	47,9	95,8	2,0	4	0,1	0,2	32,8
	9 (2,5)	48,25	96,5	1,6	3,2	0,15	0,3	31,9
	9 (2,5)	48,3	96,6	1,4	2,8	0,3	0,6	31,1
	—	48,0	96,0	1,77	2,9	0,23	0,46	31,62

Таблица П. Б13 – Распределение по фракциям измельченной соломы
PCM-101 «ВЕКТОР-410»

Диапазон фракций, мм	Высота стерни $H_{ст}$, м			
	0,15		0,25	
	Масса, г	%	Масса, г	%
Рабочая скорость $V_M = 5,0$ км/ч (1,4 м/с)				
Более 120	254,15	67,1	81,95	62,7
100-120	-	-	-	-
80-100	-	-	-	-
60-80	-	-	-	-
50-60	22,45	5,9	18,25	14,0
50-20	24,90	6,6	9,5	7,3
10-40	31,25	8,2	10,45	8,0
Менее 10	45,25	12,2	10,40	8,0
Всего	378,5	100	130,55	100
Рабочая скорость $V_M = 9,0$ км/ч (2,5 м/с)				
Более 120	55,5	52,5	63,8	52,1
100-120	-	-	-	-
80-100	-	-	-	-
60-80	-	-	-	-
50-60	8,6	8,1	16,60	15,7
50-20	8,6	8,1	8,40	7,1
10-40	6,5	6,1	6,95	5,9
Менее 10	26,8	25,2	22,75	19,2
Всего	106	100,0	118,5	100,0

* - рамка 0,5x0,5 м; $S = 0,25$ м²

Таблица П.Б14 – Распределение по фракциям измельченной соломы комбайном
Джон-Дир 9500

Диапазон фракций, мм	Высота стерни $H_{ст}$, м			
	0,15		0,25	
	Масса, г	%	Масса, г	%
Рабочая скорость $V_M = 5,0$ км/ч (1,4 м/с)				
Более 120	-	-	-	-
100-120	-	-	-	-
80-100	-	-	-	-
60-80	-	-	-	-
50-60	38,5	72,2	138,85	56,1
50-20	3,6	6,8	9,5	3,9
10-40	5,95	11,2	16,85	7,0
Менее 10	5,2	9,8	79,95	33,0
Всего	53,25	100,0	242,15	100,0
Рабочая скорость $V_M = 9,0$ км/ч (2,5 м/с)				
Более 120	-	-	-	-
100-120	-	-	-	-
80-100	-	-	-	-
60-80	-	-	-	-
50-60	41,7	73,5	44,8	69,3
50-20	3,6	6,4	6,6	10,2
10-40	7,0	12,3	5,7	8,8
Менее 10	4,4	7,8	7,6	11,7
Всего	56,7	100,	100,	100,0

* - рамка 0,5x0,5 м; $S = 0.25 \text{ м}^2$

Расчет экономической эффективности

Часовая производительность жатки за час сменного времени:

$$W_{\text{ч}} = 0,36 \cdot 1,5 \cdot 6 \cdot 0,8 = 2,6 \text{ га/ч.}$$

$$W_{\text{ч}}^{\text{II}} = 0,36 \cdot 1,8 \cdot 6 \cdot 0,8 = 3,11 \text{ га/ч.}$$

Годовая (сезонная) загрузка жатки, выражаемая в гектарах:

$$Z_{\text{СЕЗ}} = Z_{\text{Г}} \cdot W_{\text{ч}} = 150 \cdot 2,6 = 390 \text{ га,}$$

$$Z_{\text{СЕЗ}}^{\text{II}} = Z_{\text{Г}} \cdot W_{\text{ч}}^{\text{II}} = 150 \cdot 3,11 = 466,5 \text{ га.}$$

Энергоемкость процесса определим по формуле:

$$E = H_E / W_{\text{ч}} = 154 / 2,6 = 59,2 \text{ кВт·ч/га,}$$

$$E^{\text{II}} = H_E / W_{\text{ч}}^{\text{II}} = 154 / 3,11 = 49,5 \text{ кВт·ч/га.}$$

Материалоемкость операций определим по формуле:

$$M_{\text{УД}} = (M_{\text{КБ}} + M_{\text{Ж}}) / Z_{\text{СЕЗ}} = (11075 + 1652) / 390 = 32,6 \text{ кг/га,}$$

$$M_{\text{УД}}^{\text{II}} = (M_{\text{КБ}} + M_{\text{Ж}}^{\text{II}}) / Z_{\text{СЕЗ}}^{\text{II}} = (11075 + 1912) / 466,5 = 27,8 \text{ кг/га.}$$

Расход топлива на 1 гектар определим по формуле:

$$\Gamma_{\text{ГА}} = Q_{\text{ч}} / W_{\text{ч}} = 26,45 / 2,6 = 10,2 \text{ кг/га,}$$

$$\Gamma_{\text{ГА}}^{\text{II}} = Q_{\text{ч}} / W_{\text{ч}}^{\text{II}} = 26,45 / 3,11 = 8,5 \text{ кг/га.}$$

Удельную трудоемкость определим по формуле:

$$TE_{\text{УД}} = L / W_{\text{ч}} = 1 / 2,6 = 0,38 \text{ чел.-ч/га,}$$

$$TE_{\text{УД}}^{\text{II}} = L^{\text{II}} / W_{\text{ч}}^{\text{II}} = 1 / 3,11 = 0,32 \text{ чел.-ч/га.}$$

Экономии удельных затрат определим по формуле:

$$\mathcal{E}_{TE} = TE_{уд} - TE_{уд}^{\Pi} = 0,38 - 0,32 = 0,06 \text{ чел.-ч/га}$$

Годовую экономию затрат труда определим по следующей формуле:

$$\mathcal{E}_{TEГ} = (TE_{уд} - TE_{уд}^{\Pi}) \cdot Z_{СЕЗ}^{\Pi} = (0,38 - 0,32) \cdot 466,5 = 28 \text{ чел.-ч.}$$

Для определения заработной платы трактористов-машинистов следует использовать следующую формулу:

$$I_3 = TC_{CM} \cdot 2,1 / (7 \cdot W_ч) = 787,38 \cdot 2,1 / (7 \cdot 2,6) = 91 \text{ руб./га,}$$

$$I_3^{\Pi} = TC_{CM} \cdot 2,1 / (7 \cdot W_ч^{\Pi}) = 787,38 \cdot 2,1 / (7 \cdot 3,11) = 68,46 \text{ руб./га.}$$

Амортизационные отчисления на единицу работы определяют по формуле:

$$I_{AM} = (4260000 \cdot 15 + 560000 \cdot 15) / (100 \cdot 390) = 1854 \text{ руб./га,}$$

$$I_{AM}^{\Pi} = (4260000 \cdot 15 + 648135,6 \cdot 15) / (100 \cdot 466,5) = 1578 \text{ руб./га.}$$

Затраты на технику и текущие ремонты машин рассчитываются по формуле:

$$I_{TR} = (4260000 \cdot 10 + 560000 \cdot 12) / (100 \cdot 390) = 1265 \text{ руб./га,}$$

$$I_{TR}^{\Pi} = (4260000 \cdot 10 + 648135,6 \cdot 12) / (100 \cdot 466,5) = 1080 \text{ руб./га.}$$

Затраты на горюче-смазочные материалы определяют по формуле:

$$I_{ГСМ} = \Gamma_{ГА} \cdot Ц_к = 10,2 \cdot 35,5 = 362,1 \text{ руб./га,}$$

$$I_{ГСМ}^{\Pi} = \Gamma_{ГА}^{\Pi} \cdot Ц_к = 8,5 \cdot 35,5 = 301,8 \text{ руб./га.}$$

Устанавливаются прямые эксплуатационные затраты на единицу работы по формуле:

$$I_V = 91 + 1854 + 1265 + 362,1 = 3572,1 \text{ руб./га,}$$

$$I_V^{\Pi} = 76 + 1578 + 1080 + 301,8 = 3035,8 \text{ руб./га.}$$

Экономия удельных эксплуатационных затрат на единицу работы определяют по формуле:

$$\mathcal{E}_{IV} = I_V - I_V^{\Pi} = 3572,1 - 3035,8 = 536,3 \text{ руб./га.}$$

Годовую экономию эксплуатационных затрат определяют по формуле:

$$\mathcal{E}_{IG} = \mathcal{E}_{IV} \cdot Z_{CEZ}^{\Pi} = 536,3 \cdot 466,5 = 250184 \text{ руб.}$$

Степень снижения эксплуатационных затрат определяют по формуле:

$$C_{II} = 100 \cdot (3572,1 - 3035,8) / 3572,1 = 15 \text{ \%}.$$

Удельные капиталовложения в машину определяются по формуле:

$$K_{UD} = K / Z_{CEZ} = 560000 / 390 = 1436 \text{ руб./га,}$$

$$K_{UD}^{\Pi} = K^{\Pi} / Z_{CEZ}^{\Pi} = 648135,6 / 466,5 = 1389,3 \text{ руб./га.}$$

Приведенные затраты определяются по формуле:

$$ПЗ = I_V + E_H \cdot K_{UD} = 3572,1 + 0,175 \cdot 1436 = 3823 \text{ руб./га,}$$

$$ПЗ^{\Pi} = I_V^{\Pi} + E_H \cdot K_{UD}^{\Pi} = 3035,8 + 0,175 \cdot 1389,3 = 3279 \text{ руб./га.}$$

Годовой экономический эффект от внедрения одной машины определяют по формуле:

$$\mathcal{E}_T = (ПЗ^B - ПЗ^П) \cdot З_{СЕЗ}^П = (3823 - 3279) \cdot 466,5 = 253776 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости первоначальных капиталовложений определяется по формуле:

$$O_K = K^П / \mathcal{E}_T = 648135,6 / 253776 = 2,55 \text{ года.}$$

Ортогональное планирование для 2 факторов ORIGIN := 1

Вычисление числа экспериментов и звездного плеча

$$N := 4 + 2 \cdot 2 + 1 \quad N = 9 \quad \alpha := \sqrt{\frac{\sqrt{4 \cdot N} - 4}{2}} \quad \alpha = 1$$

$z1_{\max} := 0.05$ расстояние между ножами $z2_{\max} := 2.5$ скорость комбайна $z1_{\min} := 0.025$ $z2_{\min} := 1.1$

Перейдем от натуральных значений к безразмерной системе координат

Составляем матрицу ортогонального планирования:

$$M1 := \begin{pmatrix} 0.025 & 1.1 & -1 & -1 \\ 0.05 & 1.1 & 1 & -1 \\ 0.025 & 2.5 & -1 & 1 \\ 0.05 & 2.5 & 1 & 1 \\ 0.0375 & 1.8 & 0 & 0 \\ 0.05 & 1.8 & 1 & 0 \\ 0.025 & 1.8 & -1 & 0 \\ 0.0375 & 2.5 & 0 & 1 \\ 0.0375 & 1.1 & 0 & -1 \end{pmatrix} \quad Y := \begin{pmatrix} 0.145 \\ 0.235 \\ 0.31 \\ 0.355 \\ 0.191 \\ 0.215 \\ 0.176 \\ 0.288 \\ 0.26 \end{pmatrix}$$

Расчитаем коэффициенты регрессии

$$X1 := M1^{(3)} \quad X2 := M1^{(4)}$$

Расчитаем корректирующие координаты

$$X1i := X1^2 - \left[\frac{\left(\sum X1^2 \right)}{N} \right] \quad X2i := X2^2 - \left(\frac{\sum X2^2}{N} \right)$$

Расчитаем коэффициенты уравнения регрессии

$$b1 := \frac{\sum_{i=1}^N (X1_i \cdot Y_i)}{\sum X1^2} \quad b2 := \frac{\sum_{i=1}^N (X2_i \cdot Y_i)}{\sum X2^2} \quad b11 := \frac{\sum_{i=1}^N (X1i_i \cdot Y_i)}{\sum X1i^2} \quad b22 := \frac{\sum_{i=1}^N (X2i_i \cdot Y_i)}{\sum X2i^2}$$

$$b12 := \frac{\sum_{i=1}^N (X1_i \cdot X2_i \cdot Y_i)}{X1^2 \cdot X2^2} \quad b0 := \frac{\sum Y}{N} - 0.67 \cdot b11 - 0.67 \cdot b22$$

Полученные коэффициенты:

$$b_1 = 0.029 \quad b_2 = 0.052 \quad b_{12} = -0.011 \quad b_0 = 0.198 \quad b_{11} = -7 \times 10^{-3}$$

$$b_{22} = 0.072$$

$$Y(x_1, x_2) := b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_{11} \cdot (x_1^2) + b_{22} \cdot x_2^2 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2$$

Находим дисперсию воспроизводимости

$$Y := \begin{pmatrix} 0.145 \\ 0.235 \\ 0.31 \\ 0.355 \\ 0.191 \\ 0.215 \\ 0.176 \\ 0.288 \\ 0.26 \end{pmatrix} \quad Y_1 := \begin{pmatrix} 0.16 \\ 0.24 \\ 0.32 \\ 0.38 \\ 0.2 \\ 0.225 \\ 0.18 \\ 0.295 \\ 0.27 \end{pmatrix} \quad Y_2 := \begin{pmatrix} 0.14 \\ 0.235 \\ 0.31 \\ 0.35 \\ 0.19 \\ 0.22 \\ 0.175 \\ 0.29 \\ 0.26 \end{pmatrix} \quad Y_3 := \begin{pmatrix} 0.135 \\ 0.23 \\ 0.3 \\ 0.335 \\ 0.185 \\ 0.21 \\ 0.17 \\ 0.28 \\ 0.25 \end{pmatrix}$$

$$t_1 := (Y_1 - Y)^2 \quad t_2 := (Y_2 - Y)^2 \quad t_3 := (Y_3 - Y)^2$$

$$S_2 := t_1 + t_2 + t_3 \quad S_{22} := S_2^T \quad S_{23} := \sum S_{22}$$

$$S_{23} = 2.288 \times 10^{-3}$$

Находим дисперсию воспроизводимости

$$S_{24} := \frac{1}{9} \cdot S_{23}$$

Определяем среднеквадратичное отклонение

$$S_{25} := \sqrt{\frac{S_{24}}{9 \cdot 3}}$$

$$S_{25} = 3.068 \times 10^{-3}$$

Из таблиц распределения Стьюдента по числу степеней свободы $n=18$ при уровне значимости $\alpha=0,05$ находим $t_{кр} = 2.101$ Следовательно $t_{кр} \times S_{25} = 0.0064$

$$Y_{111} := 0.072 + 0.029 \cdot x_1 + 0.052 \cdot x_2 + 0.007 \cdot x_1^2 + 0.072 \cdot x_2^2 - 0.011 \cdot x_1 \cdot x_2$$

Проверим адекватность уравнения по критерию Фишера. Вычислим остаточную дисперсию $S_{ост}$

$$yy1 := 0.072 - 0.029 - 0.052 + 0.007 + 0.072 - 0.011 \quad yy1 = 0.059$$

$$yy2 := 0.072 + 0.029 - 0.052 + 0.007 + 0.072 + 0.011 \quad yy2 = 0.139$$

$$yy3 := 0.072 - 0.029 + 0.052 + 0.007 + 0.072 + 0.011 \quad yy3 = 0.185$$

$$yy4 := 0.072 + 0.029 + 0.052 + 0.007 + 0.072 - 0.011 \quad yy4 = 0.221$$

$$yy5 := 0.072$$

$$yy6 := 0.072 + 0.029 - 0 + 0.007 + 0 - 0 \quad yy6 = 0.108$$

$$yy7 := 0.072 - 0.029 - 0 + 0.007 + 0 - 0 \quad yy7 = 0.05$$

$$yy8 := 0.072 - 0 + 0.052 + 0 + 0.072 - 0 \quad yy8 = 0.196$$

$$yy9 := 0.072 - 0 - 0.052 + 0 + 0.072 - 0 \quad yy9 = 0.092$$

$$yy11 := 0.059 + 0.139 + 0.185 + 0.221 + 0.072 + 0.108 + 0.05 + 0.196 + 0.092 \quad yy11 = 1.122$$

Расчетное значение критерия Фишера

$$F_{\text{расч}} := \frac{3 \left[(0.059 - 0.145)^2 + (0.139 - 0.235)^2 + (0.185 - 0.31)^2 + (0.221 - 0.355)^2 + (0.072 - 0.191)^2 + (0.108 - 0.215)^2 + (0.05 - 0.176)^2 + (0.196 - 0.288)^2 + (0.092 - 0.202)^2 \right]}{9 - 6}$$

$$F_{\text{расч}} = 0.128$$

Табличное значение критерия Фишера находим из таблиц критических точек распределения Фишера при уровне значимости $\alpha=0,05$ по соответствующим степеням свободы $k_1=3$ и $k_2=18$

$$F_{\text{табл}} := 3.17$$

Так как $F_{\text{расч}} < F_{\text{табл}}$

то уравнение регрессии адекватно

$$Y_{111}(-1, -0.438) = 0.036$$

Анализ полученной регрессионной модели

$$Y_{111}(x_{111}, x_{222}) := 0.072 + 0.029 \cdot x_{111} + 0.052 \cdot x_{222} + 0.007 \cdot x_{111}^2 + 0.072 \cdot x_{222}^2 - 0.011 \cdot x_{111} \cdot x_{222}$$

$$x_{111} := 0.1 \quad x_{222} := 0.1$$

$$\text{Minimize}(Y_{111}, x_{111}, x_{222}) = \begin{pmatrix} -1 \\ -0.438 \end{pmatrix}$$

Given

$$-1 \leq x_{111} \leq 1$$

$$-1 \leq x_{222} \leq 1$$

ООО «Песчаное»

ООО «ПЕСЧАНОЕ» 457016 Челябинская обл. Увельский р-он с Половинка
ИНН 7440007514 КПП 744001001 р/с 4070281087218000024
к/с 30101810700000000602 Южноуральское ОБС № 8043 БИК 047501602

в специализированный Совет
по защите диссертаций

СПРАВКА

Дана аспиранту, Иксанову Шамилю Салиховичу, кафедры уборочных машин ФГБОУ ВПО Челябинской государственной агроинженерной академии, в том, что в ООО «Песчаное» проводилась производственная проверка элементов прямого комбайнирования зерновых культур с высоким срезом. ООО «Песчаное» рассмотрело полученные результаты экспериментальных исследований по повышению эффективности уборки зерновых культур прямым комбайнированием в условиях Челябинской области, и приняло их к сведению в своей профессиональной деятельности.

Директор ООО «Песчаное»  Н.С. Питин



«УТВЕРЖДАЮ»
 Первый проректор по научной
 работе ФГБОУ ВО
 «Южно-Уральский ГАУ»
 М.Ф. Юдин
 _____ 2015 г.



«УТВЕРЖДАЮ»
 Директор
 ООО «Совхоз «Акбашевский»
 Н.С. Зарипов
 _____ 2015 г.



АКТ

производственной проверки элементов процесса прямого комбайнирования с высоким срезом стеблей зерновых культур на базе комбайна «Вектор-410»

Мы, ниже подписавшиеся: представители Открытого акционерного общества «Совхоз «Акбашевский» – директор Н.С. Зарипов с одной стороны и представители ФГБОУ ВО «Южно-Уральской ГАУ» – заведующий кафедрой «Уборочные машины» д.т.н., профессор А.П. Ловчиков; аспирант кафедры «Уборочные машины» Ш.С. Иксанов с другой стороны, составили настоящий акт о том, что в результате научно-исследовательских работ проведенных в сентябре-октябре 2014 года на полях ОАО «Совхоз «Акбашевский» при скашивании зерновых культур (пшеница Челябинская 2) выполнена производственная проверка элементов процесса прямого комбайнирования с высоким срезом стеблей зерновых культур на базе комбайна «Вектор-410».

Цель проверки – определение эффективности прямого комбайнирования зерновых культур с высоким срезом стеблей (на базе комбайна «Вектор-410» + жатка РСМ 081.27, ширина захвата – 6 м), а также агротехническая оценка работы жатки комбайна в зависимости от изменения технологических и эксплуатационных параметров.

При проведении производственной проверки было принято:

- срез стеблей, образованный жатвенным агрегатом на основе жатки РСМ 081.27 + комбайн «Вектор-410», на стандартной высоте называть контрольными;
- срез стеблей, образованные жатвенным агрегатом на основе жатки РСМ 081.27 + комбайн «Вектор-410» с различной высотой среза, называть экспериментальными.

Для проведения производственной проверки осуществлялось срезание стеблей жаткой РСМ 081.27 на различной высоте среза ($h_{ст} = 0,15$ м; 0,20 м; 0,25 м) при условиях уборки зерновых культур приведенных в табл. П.1. Основные агробиологические и технологические свойства зерновых культур представлены в табл. П.2. После чего были произведены экспериментальные срезы стеблестоя. Потери зерна за жаткой при проведении контрольного и экспериментальных срезов приведены в табл. П.3-П.5. Засоренность и дробление бункерного зерна представлено в табл. П.6. Также учитывались показатели работы измельчителя разбрасывателя соломы комбайна, что приведено в табл. П.7.

При сравнении данных по контрольному срезу с экспериментальными выявлено следующее:

1. При увеличении высоты скашивания пшеницы (Челябинская 2) и образованием стерни высотой от 0,15 м до 0,30 м при постоянной рабочей скорости движения комбайна «Вектор-410» равной 1,4 м/с (5,0 км/ч) наблюдается рост потерь зерна колосом за жаткой (табл. П.3, П.4, П.5) в 1,88 раза (до 0,45%). Тем не менее данные потери зерна колосом находятся в агротехнически допустимых пределах (1,0% за жаткой);
2. С увеличением рабочей скорости движения комбайна «Вектор-410» с 1,4 м/с (5,0 км/ч) до 2,5 м/с (9,0 км/ч), просматривается тенденция роста потерь зерна колосом за жаткой до 0,44% или в 1,1 раза. Тем не менее они находятся в агротехнически допустимых пределах (1,0% за жаткой).

Полевые исследования прямого комбайнирования зерновых культур с высоким срезом проводились в течении 5-7 часов, при этом было скошено 0,3 га пшеницы сорта «Челябинская 2».

Во время полевых исследований в производственных условиях при прямом комбайнировании зерновых культур изменялась высота стерни и поступательная скорость зерноуборочного комбайна.

Результаты производственной проверки прямого комбайнирования в полевых условиях с различной высотой среза стеблестоя показали, что агротехнические показатели работы жатки зерноуборочного комбайна «Вектор-410» не ухудшились и находились в агротехнически допустимых значениях.

Представители от ОАО «Совхоз «Акбашевский»

Директор 

Н.С. Зарипов

Представители от ФГБОУ ВО «Южно-Уральский ГАУ»

Заведующий кафедрой «Уборочные машины»

Аспирант кафедры «Уборочные машины»



А.П. Ловчиков

Ш.С. Иксанов

Приложение на 5 страницах.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2547437

**УСТРОЙСТВО ДВОЙНОГО СРЕЗА СТЕБЛЕЙ ЗЕРНОВЫХ
КУЛЬТУР**

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Челябинская государственная агроинженерная академия" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2013151596

Приоритет изобретения **19 ноября 2013 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **11 марта 2015 г.**

Срок действия патента истекает **19 ноября 2033 г.**

*Врио руководителя Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Л.Л. Кирий



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU**⁽¹¹⁾ **2 547 437**⁽¹³⁾ **C1**(51) МПК
A01D 34/83 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013151596/13, 19.11.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
19.11.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 19.11.2013

(45) Опубликовано: 10.04.2015 Бюл. № 10

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: SU 1738130 A1, 07.06.1992. SU 1521346
A1, 15.11.1989. SU 231943 A1, 28.11.1968. RU
2461174 C1, 20.09.2012. US 5845474 A,
08.12.1988

Адрес для переписки:

454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 75, ФГБОУ
ВПО "Челябинская государственная
агроинженерная академия", кафедра
"Уборочные машины"

(72) Автор(ы):

Ловчиков Александр Петрович (RU),
Иксанов Шамиль Салихович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Челябинская государственная
агроинженерная академия" (RU)

(54) УСТРОЙСТВО ДВОЙНОГО СРЕЗА СТЕБЛЕЙ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

(57) Реферат:

Изобретение относится к сельскохозяйственному машиностроению и может быть использовано в жатвенных устройствах уборочных машин. Устройство двойного среза стеблей зерновых культур содержит раму, на которой установлены мотовило, режущий аппарат, приемный шнек и транспортирующее устройство. Режущий аппарат выполнен в виде бесконечного тягового элемента с прикрепленными к нему ножами. Тяговый элемент представляет собой нижнюю и верхнюю

рабочие ветви режущего аппарата. Привод ножей режущего аппарата обеспечивается двумя шкивами. Каждый шкив имеет собственный привод вращения. Оси вращения шкивов режущего аппарата расположены горизонтально и совпадают с направлением движения комбайна. Устройство двойного среза стеблей зерновых культур обеспечивает равномерную нагрузку на режущий аппарат и срез колосовой и стеблевой частей зерновых культур. 1 з.п. ф-лы, 3 ил.

RU 2 547 437 C 1

RU 2 547 437 C 1



