

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Коровина Виктория Александровна

**Параметры и режимы очесывающего устройства при уборке  
семенных посевов пшеницы**

**ОТЧЕТ**

по проекту на назначение гранта  
Государственного Совета Республики Крым молодым  
ученым Республики Крым

Симферополь- 2024

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ОБОСНОВАНИЕ ТЕМЫ И СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ.....	5
1.1 Тенденции развития технологий уборки зерновых культур.....	5
1.2 Технология уборки и машины для обмолота методом очесывания соцветий.....	8
1.3 Анализ существующих машин и рабочих органов для обмолота зерновых культур на корню.....	15
1.4 Выводы по разделу.....	17
2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ К ОБОСНОВАНИЮ ПАРАМЕТРОВ ПРИВОДА ОЧЕСЫВАЮЩЕГО БАРАБАНА.....	18
2.1 Кинематика очесывающего барабана.....	18
2.2 Теоретическое определение формы гребенок и количества рядов гребенок барабана.....	25
2.3 Обоснование кинематических параметров привода жатки комбайна с очесывающим барабаном.....	28
2.4 Теоретическое определение радиуса кривизны верхнего кожуха.....	31
2.5 Вывод по разделу.....	33
3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	33
3.1 Цель и программа лабораторных исследований.....	33
3.2 Экспериментальная установка для проведения лабораторных исследований.....	34
3.3 Методика лабораторных исследований.....	36
4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	36
4.1 Результаты исследования по определению зазора в гребенках.....	36
4.2 Результаты полевых исследований.....	38
4.2.1 Подготовка поля и проведение исследований.....	38
4.2.2 Обработка двухфакторного эксперимента.....	39
5. РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ.....	41
Заключение.....	42

## ВВЕДЕНИЕ

Обеспечить сельскохозяйственные предприятия высококачественными семенами – важная и ответственная задача, от решения которой зависит урожайность будущих посевов зерновых. Крупные хозяйства и холдинги, как правило, выращивают семена на специальных участках по технологии, принятой в регионе.

Уборка семенного зерна занимает особое место в технологии производства посевного материала и имеет свои особенности. Прежде всего, это правильный выбор способов уборки, определение оптимальных сроков начала уборки и минимальной продолжительности проведения уборочных операций, не допуская механического смешивания культур и сортов, травмирования семян при обмолоте, технологических потерь зерна и от самоосыпания при перестое урожая на корню. В настоящее время в большинстве сельскохозяйственных предприятий для уборки семенных посевов применяют две технологии: – раздельная (двухфазная) технология; – прямое комбайнирование.

При раздельной уборке в момент полной восковой спелости зерна выполняется 1 фаза – срез стеблей и укладка в валок для дозревания зерна. Через 2–3 дня, в зависимости от погодных условий, проводят подбор и обмолот валков (2 фаза). Применение раздельной уборки позволяет получить семена хорошего качества, менее травмированные, с повышенной энергией прорастания. Недостаток такой технологии – повышение расхода топлива и затрат труда, но, главное, результаты зависят от погодных условий, которые могут повлиять на продолжительность уборочного процесса и привести к большим потерям зерна.

Прямое комбайнирование сокращает продолжительность уборочных работ, но повышает травмируемость семян, особенно крупного размера, обмолот которых проводится при их полной спелости [1–5].

Перспективной ресурсосберегающей технологией уборки зерновых (колосовых) культур, направленной на сокращение продолжительности уборочных работ за счет увеличения производительности комбайна, уменьшения потерь зерна: технологических и от самоосыпания при перестое урожая на корню, уменьшения травмирования зерна, сокращения расхода дизельного топлива – технология очёса семян очёсывающей жаткой с домолотом очёсанного вороха и очисткой зерна комбайном, перевозка зерна автотранспортом на ток.

Все указанные выше достоинства применения технологии очёса семян очёсывающей жаткой говорят об актуальности исследований параметров и

режимов работы очесывающего устройства для уборки семенных посевов пшеницы.

Результаты исследований по изучению и совершенствованию конструкций очесывающих устройств и их рабочих органов представлены в работах многих ученых А.В. Авдеева, А.И. Бурьянова, М.А. Бурьянова, В.И. Гончарова, Э.В. Жалнина, Н.И. Косилова, В.И. Кравчука, А.С. Кушнарёва, А.Н. Леженкина, О.В. Моисеенко, М.А. Пустыгина, Р.А. Ростовцева, А.И. Савченкова, П.И. Чуксина, Е.И. Трубилина, А.Ю. Фусточенко, П.А. Шабанова, Н.П. Шабанова, Н.Н. Данченко, Н.Н., Аблогина, А.Ф. Самойленко и др.

Важнейшей задачей человечества было и остается решение проблемы обеспечения населения продуктами питания. Развитие научно-технического прогресса в сельскохозяйственном процессе неразрывно связано с дальнейшим развитием уборочных технологий.

Поэтому целью работы является улучшение качественных показателей уборки семенных посевов пшеницы путем оптимизации параметров и режимов работы очесывающего устройства.

Для достижения цели решены задачи: разработана конструктивная схема очесывающего устройства, для уборки семенных посевов пшеницы; определены оптимальные параметры рабочих органов и взаимного расположения основных элементов очесывающей жатки для уборки семенных посевов пшеницы; теоретически определены затраты энергии на процесс обмолота очесывающей жаткой; экспериментально определено влияние рабочих параметров очесывающей жатки на качественные показатели уборки семенных посевов пшеницы; определена технико-экономическая оценка эффективности применения селекционного комбайна с очесывающей жаткой при уборке семенных посевов пшеницы.

# 1. ОБОСНОВАНИЕ ТЕМЫ И СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

## 1.1 Тенденции развития технологий уборки зерновых культур

Основные направления экономического и социального развития России предусматривают в широких масштабах осуществить техническую перестройку производства, которая позволит более полно удовлетворять потребности сельского хозяйства в необходимой высокоэффективной технике с учетом его зональных особенностей, обеспечить создание и выпуск высокопроизводительных зерноуборочных комбайнов. Ускорение и устойчивое наращивание производства зерна – ключевая проблема сельского хозяйства, решение которой в немалой степени зависит от совершенства уборочных машин и технологий уборки.

За последние годы в хозяйствах количество зерноуборочной техники значительно увеличилось. Закрепленные земли за отдельными севооборотами, имеющими ограниченное количество тракторов, с. х. машин и комбайнов, требует значительно усовершенствовать технологию возделывания и уборки зерновых, с тем чтобы сократить затраты труда, горюче-смазочных материалов и материальных ресурсов.

Производство зерновых культур характеризуется различными способами их возделывания и уборки. Причем уборка хлебов была и остается наиболее напряженным периодом не только для сельского хозяйства, но и для перерабатывающих сельскохозяйственное сырье отраслей. Поэтому технологии и средства уборки зерновых культур постоянно совершенствуются. Особый импульс этому процессу придала необходимость интенсификации зернового хозяйства. Практически единственным путем дальнейшего роста производства зерна является повышение культуры земледелия. Конечная ее цель – рост урожайности, снижение потерь при уборке, сохранение высокого качества зерна, сокращение сроков уборки. Все эти факторы зависят от принятой технологии уборки.

*Технологии и способы уборки*, (рисунок 1.1).

*Прямое комбайнирование* применяют в следующих случаях:

- 1) при уборке не засоренных хлебов;
- 2) на редких и низкорослых хлебах, валки которых не могут хорошо удерживаться на стерне и проваливаются на землю, усложняя работу подборщика;

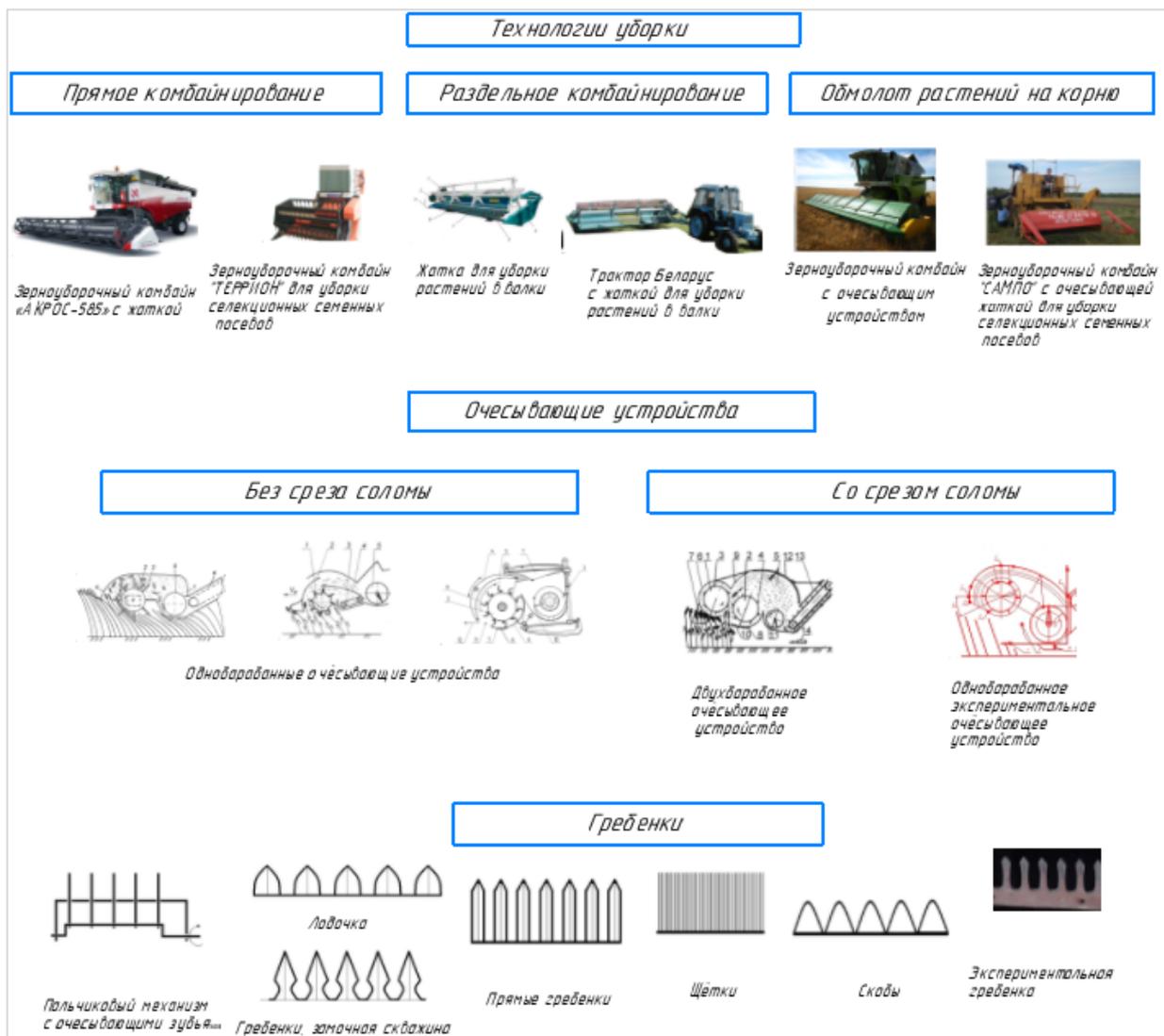


Рисунок 1.1 – Классификация технологий уборки, очесывающих устройств и гребенок

3) на полеглых хлебах, требующих среза растений на минимальной высоте. Раздельно убирать такие хлеба нельзя, так как валки приходится укладывать на землю. Полеглые хлеба убирают раздельно только на сильно засоренных полях и при условии, что до обмолота валки не попадут под дождь;

4) при частых кратковременных дождях. После них нескошенный стеблестой просыхает за 1—2 ч, а валки в этих условиях могут не подсохнуть до нормальной влажности в течение всего дня;

5) если предполагаются затяжные дожди. В таких условиях зерно в валках может погибнуть полностью или резко ухудшится его качество, особенно у сильной пшеницы;

б) при достаточной насыщенности зерноуборочной техникой для уборки возможно большей площади посевов прямым комбайнированием.

**Раздельный способ** применяют в следующих случаях:

1) в начальный период уборочной страды, когда хлеба в восковой спелости зерна можно начать косить раньше, а, следовательно, и раньше завершить;

2) при уборке полей, засеянных сортами с легкоосыпающимся зерном, потери которого с затяжкой кошения сильно возрастают;

3) на засоренных полях, так как зелень сорняков сильно усложняет работу при прямом комбайнировании, резко снижает производительность комбайна, повышает потери зерна в солому и особенно в полу. Подсохшие в валках сорняки не затрудняют работу комбайнового агрегата;

4) на уборке полей с неравномерно созревающим зерном;

5) на полях, сильно поврежденных пилильщиком.

Для скашивания растений в валки используют валковые жатки ЖВН-6А, ЖВР-10А, ЖВП-6А, ЖРБ-4,2А и др. (рисунок 1.1). Навесными жатками прокашивают и обкашивают поля при подготовке их к уборке раздельным способом.

Технологии обмолота зерновых культур на корню, для ее осуществления предъявляют особые требования к состоянию стеблестоя и физико-механическим свойствам растений, изменяющимся в широком диапазоне в зависимости от вида и сорта культуры, от зоны возделывания и погодно-климатических условий. Выбрать оптимальный способ обмолота и разработать технические средства для уборки, которые бы удовлетворяли всем зерновым культурам, особенностям их возделывания в различных зонах страны – задача чрезвычайно сложная. Из анализа результатов исследований, проводимых в нашей стране и за рубежом, определены основные требования к физико-механическим свойствам зерновых культур, которыми они должны обладать для их качественного обмолота на корню.

К основным требованиям, предъявляемым к зерновым культурам при уборке очесом, относятся следующие требования:

- малая ветвистость растения и прямостоящий стебель;
- расположение колоса на верхнем конце стебля на высоте не менее чем 0,15...0,20 м от поверхности почвы;
- колосья не закрыты листьями растения;
- минимальная зона расположения колосьев в растениях – 0,2...0,5 м;

- значительное превышение усилия теребления растений из почвы над усилием отрыва колоса от стебля.

## **1.2 Технология уборки и машины для обмолота методом очесывания соцветий**

Для уборки семенных посевов зерновых культур возможно применение (в зависимости от погодных условий) четырех ускоренных технологий уборки урожая, обеспечивающих сбор и доставку зерна или зернового вороха с поля под «крышу» зернового тока в сжатые сроки, где проводится послеуборочная обработка семян зерноочистительными и зерносортировальными машинами с электроприводом: 1 – технология уборки колосьев на высоком срезе стеблей с обмолотом биологической массы и очисткой зерна комбайном, перевозка зерна на ток автомобильным транспортом; 2 – технология-уборка колосьев «Невейка», при которой в поле комбайном выполняются операции скашивания, обмолота колосьев с погрузкой обмолоченного вороха, а трактором осуществляется перевозка обмолоченного (неочищенного) вороха в прицепе на зерноток; 3 – технология очёса семян очёсывающей жаткой с домолотом очёсанного вороха и очисткой зерна комбайном, перевозка зерна автотранспортом на ток; 4 – технология очёса семян очёсывающей жаткой с домолотом биологической массы комбайном, перевозкой вороха тракторными прицепами на зерноток – «Невейка».

Технико-эксплуатационная и экономическая оценка четырёх ускоренных технологий уборки семенных посевов пшеницы и ячменя проводились путем сравнения эксплуатационных и приведенных затрат на выполнение всех технологических операций, уборки и транспортировки в сравнении с традиционными технологиями – прямое комбайнирование и раздельная уборка.

Расчет затрат выполняли по общепринятой методике по материалам (нормы выработки, расход топлива, заработная плата) применяемым в сельхозпредприятии ООО «Борис-Агро» при уборке семенных участков пшеницы и ячменя с урожайностью зерна 40 ц/га и соотношением массы зерна к соломе – 1:1,5.

Стоимость тракторов, комбайнов, автомашин, сельскохозяйственных машин взяты из каталогов «Техноторга»:

- зерноуборочный комбайн «Акрос 550» – 7,5 млн. руб.;
- зерноуборочный комбайн СК-5-М «Нива» – 2 млн. руб.;
- жатка серийная ЖВН-6 - 720 тыс. руб.;
- очёсывающая жатка «Славянка» – 1,5 млн. руб.;

- косилка - мульчировщик КЗП-2 – 350 тыс. руб.;
- трактор Т-150К – 1 млн. руб.;
- трактор МТЗ-80 – 900 тыс. руб.;
- трактор «Беларусь 1221.2» – 2,1 млн. руб.;
- прицеп тракторный ПТС-40 – 2,0 млн. руб.;
- автомашина «КАМАЗ-5511» – 5 млн. руб.

Срок амортизации зерноуборочных комбайнов (отечественных) – 10 лет, комбайнов фирмы «Клаас» (Германия) - 15 лет, годовые отчисления на текущий ремонт и техническое обслуживание – 5%; банковский процент по депозиту – 10%; социальные начисления на зарплату – 1,42. Годовая наработка комбайнов – 500 ч; годовая наработка очёсывающей жатки «Славянка» – 300 ч; годовая наработка жатки ЖВН-6 – 300 ч; годовая наработка зерноочистительных машин – 500 ч; годовая наработка косилки-измельчителя – 300 ч; годовой пробег автомобиля – 40 тыс. км; годовая наработка тракторов МТЗ-80 и «Беларусь-1221» – 1600 ч.

Производительность комбайна зависит от пропускной способности молотилки комбайна и урожайности зерна и соломы, которая характеризуется соотношением массы зерна к массе соломы. При традиционных технологиях уборки зерновых культур – это соотношение составляет 1:1 – короткостебельные сорта; 1:1,5 – среднестебельные; 1:2 – высокостебельные сорта. При технологии срезания и обмолота колосьев с оставлением высокой стерни соотношение массы зерна к массе соломы – 1:0,5, а при очёсе зерна соотношение равно 1:0,2-0,3. В этих технологиях скорость комбайна и его производительность ограничиваются пропускной способностью системы решетной очистки комбайна, которая в современных комбайнах равна 0,5 пропускной способности молотилки при уборке пшеницы и 0,4 при очистке ячменя. Применение технологий «Невейка», при которой очистка зерна проводится на зернотоке на стационарных зерноочистительных машинах с электроприводом, позволяет применять максимальную скорость комбайна и его производительность по пропускной способности молотилки комбайна, но требует дополнительных транспортных средств из-за перевозки зернового вороха.

Рабочая скорость комбайна определялась из отношения: пропускная способность молотилки (кг/с) к количеству хлебной массы с одного квадратного (кг/м<sup>2</sup>) и ширины захвата жатки при уборке с очисткой комбайном, для участков с соотношением массы зерна к массе соломы не менее 1:1, а при использовании

технологии с соотношением 1:0,5 и 1:0,3 по пропускной способности системы решетной очистки (кг/с) зерна комбайна «Акрос 550».

При традиционных технологиях уборки семенных посевов применяют однофазную уборку – прямое комбайнирование или отдельную уборку двухфазную. Первая фаза – скашивание и укладка в валок хлебной массы, вторая фаза – подбор валка, обмолот, очистка зерна, погрузка зерна в транспортное средство, измельчение соломы.

При прямом комбайнировании скашивание стеблей проводят на низком срезе, поэтому в молотилку комбайна поступает большой объем биологической массы, зависящий от урожайности зерна и соломы. Скорость комбайна (производительность) зависит от пропускной способности молотилки и количества биологической массы, подаваемой в молотилку в единицу времени. Пропускная способность молотилки комбайна «Акрос 550» 10 кг/с биологической массы. При урожайности зерна 40 ц/га и соломиности 1:1,5 биологическая масса с 1 га состоит из 4000 кг зерна и 6000 кг соломы. При ширине захвата жатки комбайна 6 м максимальная скорость комбайна – 6 км/ч, производительность (теоретическая) 3,6 га/ч. За 1 час работы будет намолочено 14,4 тонн зерна, которое поступит в систему очистки, пропускная способность которой при уборке пшеницы 18,36 т/ч, то есть очистка будет загружена на 78%.

При применении технологий, где соотношение массы зерна к массе соломы 1:0,5 масса зерна в 2 раза больше, чем соломы. Поэтому для разной урожайности зерна и соломы требуется определить максимальную часовую производительность комбайна по пропускной способности молотилки и по пропускной способности системы очистки.

Применение технологий, при которых показатель соломиности 1:0,5 позволяет повысить на уборке пшеницы рабочую скорость комбайна до 20 км/ч и обеспечить производительность до 12 га/ч, в то время, как система очистки комбайна допускает развивать скорость только до 15 км/ч (производительность – 9га/ч), что на 25% меньше, чем позволяет молотилка. С увеличением урожайности зерна до 50 ц/га на 33% меньше.

Следовательно, максимальную производительность по пропускной способности молотилки можно обеспечить при применении технологии «Невейка», при которой очистка зерна проводится на стационарном зернотоку. Повышение производительности комбайна Акрос 550 при применении ускоренных технологий уборки в сравнении с традиционной технологией уборки семенных посевов пшеницы – прямое комбайнирование с высотой стерни 7-10 см, соломиности 1:1,5, применение технологий ускоренной уборки,

при которых соотношение массы зерна к массе соломы 1:0,5, наблюдается существенное повышение производительности комбайна 25-29%. На полях, где соотношение зерна к соломе 1:2 – производительность повышается на 43-60 % и зависит от урожайности зерна.

При уборке семенных участков ячменя - технология срез колосьев и обмолот с очисткой зерна комбайном - повышение производительности на 17–43 % имеет место только на полях с соломистостью 1:2. Это объясняется тем, что пропускная способность системы решетной очистки комбайна на обработке ячменя на 20% меньше, чем при очистке зерна пшеницы.

Применение технологии «Невейка», при которой очистка зерна проводится на току производительность комбайна «Акрос 550» возрастает в сравнении с традиционной технологией на полях с соломистостью 1:1 на 33 – 36%; 1:1,5 на 65 – 73%, при соотношении 1:2 – в два раза. Технология «Невейка» требует дополнительного транспорта для перевозки зернового вороха от комбайна на ток, увеличение площади тока и значительных затрат на организацию послеуборочной обработки зернового вороха на току.

Анализ данных процессов уборки (без транспортирования зерна) показывает, что применение традиционной технологии - прямое комбайнирование полей с урожайностью зерна 40 ц/га и соломистостью 1:1,5 комбайном «Акрос 550» в сравнении с традиционной двухфазной уборкой обеспечивает снижение (на 1 т зерна): затрат труда - на 0,06 чел.-ч., расхода топлива - 1,4 л., эксплуатационных затрат - на 154 руб., приведенных затрат на 205 руб. Ожидаемое улучшение посевных качеств семян зависит от погодных условий в период сбора урожая.

Применение технологии - срезание и обмолот колосьев с очисткой зерна пшеницы комбайном в сравнении с традиционной однофазной уборкой пшеницы сокращает затраты труда - на 0,09 чел.-ч., дизельного топлива на 1,4 л/т., эксплуатационные на 132 руб/т., приведенные на 200 руб/т. В сравнении с традиционной (двухфазной уборкой) экономия расходов составляет: затраты труда - 0,15 чел.-ч/т, дизельного топлива - 2,8 л/т, эксплуатационные затраты - 286 руб/т, приведенные затраты – 405 руб/т.

Применение технологии очес зерна жаткой «Славянка» с погрузкой в автотранспорт комбайном «Акрос 550», обеспечивает в сравнении с традиционной (однофазной) уборкой комбайном «Акрос 550» экономию затрат труда - 0,06 чел.-ч/т, дизельного топлива - 1,5 л/т, эксплуатационных затрат - 106 руб/т, приведенных затрат – 167 руб/т. В сравнении с традиционной

(двухфазной) технологией уборки экономия составляет: затрат труда - 0,08 чел-ч/т, дизельного топлива - 2,9 л/т, эксплуатационных затрат - 372 руб/т.

Применение технологии - очёс зерна, обмолот колосьев без очистки зерна «Невейка» комбайном «Акрос 550» в сравнении с традиционной (однофазной) уборкой обеспечивает снижение затрат: затрат труда - 0,1 чел-ч/т, топлива - 1,5 л - 1,3 л/т (очёс), эксплуатационных расходов - 136 руб - 162 руб/т (очёс), приведенных затрат – 202 руб/т (срез колосьев) и 251 руб/т (очёс).

В сравнении с традиционной (двухфазной) уборкой экономия составляет: затрат труда - 0,16 чел-ч/т, дизельного топлива - 2,7 л/т, эксплуатационных расходов - 290 – 316 руб/т (очёс), приведенных затрат - 407 - 456 руб/т.

Применение ускоренных технологий уборки семенных участков с перевозкой и очисткой зернового вороха на току «Невейка» при срезании и обмолоте колосьев комбайном позволяет в сравнении с традиционной уборкой комбайном «Акрос 550» (при урожайности зерна 40 ц/га и соломиности 1:1,5) сократить продолжительность уборки зерновой части урожая с поля под «крышу» с поля в 2 раза, за счёт высокой производительности комбайна с отключенной системой очистки зерна. Однако, перевозка зернового вороха от комбайна на ток большегрузным прицепом ПТС-40 в агрегате с тракторами Т-150К или «Беларусь2112» приводят к значительному перерасходу дизельного топлива, если автомобиль «КАМАЗ-5511» на одну тонну зерна расходует 0,7 л/т (на расстоянии 5 км), то трактор Т-150К – 4,25 л/т – в шесть раз больше, эксплуатационные затраты – 71 руб/т, то Т-150К+ ПТС – 316 руб/т в 4,5 раза больше.

Применение технологии «Невейка» при уборке пшеницы и ячменя очёсывающей жаткой «Славянка» требует значительного переоборудования комбайна «Акрос 550». Переоборудование заключается в установке в системе очистки комбайна транспортёра для подачи вороха в большегрузный прицеп типа ПТС-40, прицепленного к уборочной машине. Сбор зернового вороха в бункер комбайна приводит к большим потерям времени из-за простоев, связанных с выгрузкой вороха в транспортное средство. Затраты времени на отсоединение от комбайна полного прицепа и присоединения порожнего занимает около 4 мин. Время заполнения прицепа 28-29 мин, поэтому коэффициент использования рабочего времени при транспортировке прицепа ПТС-40 трактором Т-150К составляет 0,6.

При работе комбайна «Акрос 550» с очёсывающей жаткой «Славянка» в технологии «Очёс - Невейка» не удаётся полностью использовать технические возможности современных комбайнов. Для применения технологии очёс,

домолот колосьев, очистка зерна требуется комбайн с новой технологической схемой работы его механизмов. В новом комбайне должны быть 2 системы: первичной и вторичной очистки. Первичная очистка отделяет очёсанное зерно (60-70%) и направляет его на вторичную очистку, оставшаяся масса направляется в молотильный аппарат, где домолачивается. Продукты домолота направляются на вторичную очистку. Такая схема позволит повторно не молотить очёсанное зерно, уменьшить дробление и травмирование зерна, что очень важно при уборке семенных посевов.

Отметим, что в сравнении с прямым комбайнированием семенных посевов пшеницы с урожайностью зерна 40 ц/га и соломистостью 1:1,5 по традиционной технологии комбайном «Акрос 550» технология срез колосьев на высоком срезе, обмолот, очистка зерна комбайном с транспортировкой зерна на расстояние 5 км автомобилем «КАМАЗ-5511» обеспечивает сокращение затрат труда на 1 тонну зерна 0,09 чел-ч/т (30%), расход ГСМ – на 1,4 л/т (33%), эксплуатационные затраты на 132,0 руб/т (на 29%), приведенные – на 200 рублей за тонну (31,7%). В сравнении с традиционной технологией двухфазной уборки семенных посевов, технология срез и обмолот колосьев с очисткой зерна комбайном и перевозкой зерна снижение затрат составляет на 1 тонну зерна: труда – 0,15 чел-ч (41,7%), ГСМ – 2,8 л (50%), эксплуатационных расходов на 285 рублей (47%), приведенных – 405 рублей (48,5%).

Применение технологии срез и обмолот колосьев с перевозкой зернового вороха трактором Т-150К с прицепом ПТС-40 на расстояние 5 км в сравнении с традиционной уборкой прямым комбайнированием снижение затрат на тонну зерна: труда – 0,01 чел-ч (3,3%), но увеличился расход ГСМ – на 2 л (47%), эксплуатационные расходы возросли на 109 рублей (24%), приведенные затраты возросли на 104 рубля (16,5%).

В сравнении с традиционной двухфазной уборкой пшеницы технология «Невейка» обеспечит снижение затрат труда на 0,07 чел-ч/т (19,4%), эксплуатационные расходы уменьшились на 45 руб/т (7,4%), приведенные затраты сократились на 101,0 руб/т (12%), но расход ГСМ возрастает на 0,65 л/т (11,6%).

Технология – очёс, домолот, очистка зерна комбайном «Акрос 550» с жаткой «Славянка» при традиционной однофазной уборке семенной пшеницы обеспечивает снижение: затрат труда – 0,06 чел-ч (20%), расхода ГСМ – 1,5 л/т (35,7%), эксплуатационных расходов – 106,0 руб/т (23,4%), приведенных затрат – на 167 руб/т (26,5%). В сравнении с традиционной двухфазной технологией снижение затрат на 1 тонну зерна: труда – 0,12 чел-ч (33,3%), расхода ГСМ – 2,9

л (51,7%) , эксплуатационные издержки – 260 рублей ( 42,8%), приведенные затраты на 372 рубля (44,6%).

Технология – очёс, домолот, «Невейка» комбайном «Акрос 550» с очёсывающей жаткой «Славянка» в сравнении с традиционной однофазной сборкой обеспечивает снижение затрат труда на 0,03 чел-ч/т (10%), повышение эксплуатационных расходов на 83 рубля (18,3%), расхода ГСМ – 2,25л/т (53,6%), приведенные затраты возросли на 55 рублей за тонну (8,7%). В сравнении с двухфазной традиционной технологией технология очёс - «Невейка» позволяет снизить затраты труда на 0,07 чел-ч. на тонну (19,4%), эксплуатационные расходы на 71 руб/т (11,7%), приведенные затраты на 150 руб/т (18%), но расход ГСМ возрастает на 0,85 л/т (15,2%) за счёт повышенного расхода топлива трактором Т-150К в сравнении с автомобилем «КАМАЗ-5511».

Анализируя технико-экономические показатели технологии уборки зерновой части урожая (зерно или зерновой ворох) с поля от комбайна под «крышу» тока (таблица 5), можно отметить, что в сравнении с традиционной однофазной и двухфазной технологиями уборки наибольшую эффективность обеспечивает (по снижению приведенных затрат на тонну семенного зерна) ускоренная технология: с операциями выполняемыми комбайном «Акрос 550» срезание колосьев на высоком срезе стеблей, обмолот и очистка зерна с перевозкой зерна на расстояние 5 км автомобилем «КАМАЗ-5511». При применении такой технологии в сравнении с традиционной однофазной технологией, обеспечивается снижение приведенных затрат (на уборке семенных участков пшеницы с урожайностью зерна 40 ц/га и соломистостью 1:1,5) и составляет 200 руб/т (31,7%), в сравнении с традиционной двухфазной уборкой – 405 руб/т (48,5%).

Технология – очёс зерна, домолот и очистка зерна пшеницы комбайном обеспечивает снижение приведенных затрат по сравнению с традиционной однофазной уборкой на 167 руб/т (26,5%), а в сравнении с двухфазной традиционной технологией сокращение приведенных затрат на 260 руб/т (42,8%).

Технологии: срезание колосьев, обмолот – «Невейка» и очёс зерна, домолот – «Невейка» значительно уступают в эффективности технологиям с очисткой зерна комбайном из-за больших затрат на транспортировку зернового вороха тракторными транспортными средствами.

Окончательную оценку эффективности ускоренных технологий следует определять с учётом приведенных затрат на послеуборочную обработку семян на току и утилизацию высокой стерни(соломы), с учётом потерь зерна от

самоосыпания при перестое урожая на корню при увеличении продолжительности уборки семенных посевов.

Как видно из обзора технологий обмолот растений на корню имеет ряд серьезных преимуществ при уборке различных зерновых культур. При уборке риса обмолот растений осуществляется за один проход. При уборке трав значительно уменьшаются потери осыпью в результате создания воздушного потока очесывающими рабочими органами. При уборке способом обмолота растений на корню имеет место мягкий режим обмолота, позволяющий обеспечить наличие семенного не травмированного материала. Очесывающие устройства, навешиваемые на серийные зерноуборочные комбайны, также позволяют обеспечить полный сбор урожая, увеличить качество уборки при увеличении рабочих скоростей, сокращении сроков уборки и снижении затрат топлива на единицу продукции. Все это прямым или косвенным образом положительно сказывается на экологии в сравнении с существующими способами уборки.

Таким образом, анализ технологий уборки зерновых культур показывает, что очесывающее устройство и серийный зерноуборочный комбайн является эффективным сочетанием для реализации технологии очеса растений зерновых культур на корню.

### **1.3 Анализ существующих машин и рабочих органов для обмолота зерновых культур на корню**

Рост количества изобретений в области уборки зерновых культур методом очеса на корню свидетельствует об актуальности и перспективности данного способа уборки. Метод очеса является более производительным, по сравнению с традиционными методами уборки, снижается расход топлива и удельные эксплуатационные затраты. Проведенные патентные исследования позволили проследить тенденцию развития нового способа уборки. Очесывающие устройства и их рабочие органы представлены на рисунке 1.1

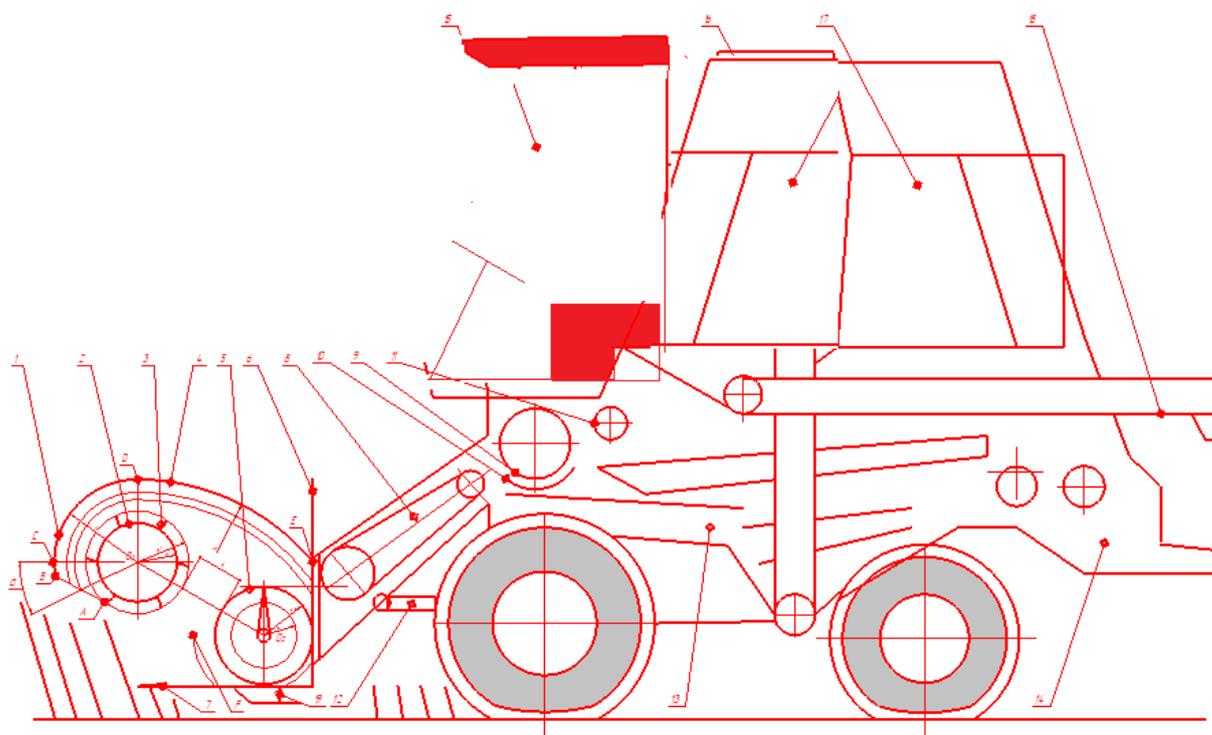
Мы предлагаем изменить конструкцию жатки зерноуборочного комбайна «САМПО», а именно установить очесывающий барабан, убрав мотовило (рисунок 1.11), который будет выполнять функции мотовила при уборке. Привод барабана осуществляется от контрпривода мотовила возможно использование гидромотора МГ152.

Модернизированная жатка будет иметь следующие технические показатели работы: рабочая ширина захвата 2,3 м; высота среза 0,05 – 0,15 м при

копировании; высота работы очесывающего барабана, выполняющего функции мотовила 0,25 – 0,4м; минимальная высота работы барабана при подборе и уборке полеглых растений 0,2 м;

Предложенная схема очесывающего устройства имеет существенный недостаток в конструкции, затрудняющий уборку полеглых и низкорослых культур. Первым элементом, очесывающего устройства, взаимодействующим с растениями является нижний кожух 4, который отгибает их и тем самым резко снижает эффективность воздействия рабочих органов щеточного типа на растения.

**Предлагаемая технологическая схема** предполагает увеличение производительности комбайна за счет предварительного обмолота растений на корню, разгрузки молотильного барабана.



1 – передний кожух очесывающего устройства; 2 – очесывающий барабан;  
3 – гребенки; 4 – верхний кожух; 5,18 – шнеки; 6 – корпус жатки; 7 – режущий аппарат; 8 – наклонная камера; 9 – молотильный барабан; 10 – дека; 11 – отбойный битер; 12 – гидроцилиндры; 13 – молотилка комбайна; 14 – измельчитель;  
15 – кабина; 16 – бункер; 17 – двигатель; 19 – копирующие башмаки. переходник.

Рисунок 1. 2 – Технологическая схема комбайна “Сампо”  
с жаткой-очесывателем.

Технологический процесс экспериментального комбайна протекал следующим образом. При движении комбайна очесывающее устройство 1 воздействовало на растения гребенками 3 очесывающего барабана 2,

обмолачивая колосья за счет удара и прочесывания. Очесанный ворох, полученный в результате воздействия гребенок, направлялся на отражающую поверхность верхнего кожуха 4, весь очесанный ворох поступал к сужающему шнеку 5, который направлял его в наклонную камеру.

Таблица 1.1 – Техническая характеристика комбайна САМПО-2010

Модель	SR 2010
Ширина жатки, м	1,5/2/2,3
Диаметр/ширина молотильного барабана, мм	500/780
Площадь сепарации, кв.м	1,4
Емкость бункера, л	1700
Мощность двигателя, кВт/л.с.	60/82
Объем топливного бака, л	140
Масса, кг	3400
Габариты ДхШхВ, мм	2500/2500/3300
Радиус поворота, м	3500

При работе очесывающего устройства барабан 2 создаёт мощный всасывающий воздушный поток, который способствует втягиванию растений в зону очеса и транспортированию продуктов обмолота к шнеку 5. Для выхода воздушного потока из камеры очеса на кожухе 4 предусмотрена сетка.

После очесывающего устройства, полученный ворох направляется в наклонную камеру 8 и принимается плавающим транспортером. Транспортер передает массу, направляет ворох в молотилку комбайна между барабаном 9 и декой 10. После деки зерно направляется на транспортную доску комбайна, большая часть зерна просыпается через начало деки минуя молотильный аппарат, что позволяет резко сократить дробление зерна.

Дальнейший технологический процесс, протекает, как и в серийном зерноуборочном комбайне. При работе комбайна солоmistая масса стебли измельчаются и укладываются в валок.

#### 1.4 Выводы по разделу

1. Технологии производства семян на семенных участках требуют прежде всего, выбора правильного способа уборки, который обеспечивает минимальную продолжительность уборочных операций, малое травмирование посевного материала, сокращение потерь зерна от самоосыпания при перестое урожая на корню, одной из наиболее перспективных технологий уборки зерновых культур является обмолот растений на корню.

2. В настоящее время осуществление данного способа уборки наиболее эффективным будет при навешивании очесывающего устройства на серийный зерноуборочный комбайн или оборудование серийной жатки очесывающим барабаном с направляющим кожухом.

3. Согласно анализу конструкций очесывающих устройств и их качественных показателей работы определена рациональная схема однобарабанного очесывающего устройства, монтируемого на комбайновую жатку с направляющим кожухом.

4. Повысить эффективность использования однобарабанного очесывающего устройства можно путем обоснования его кинематических и геометрических параметров, а также экспериментально определив их влияние на качественные показатели работы.

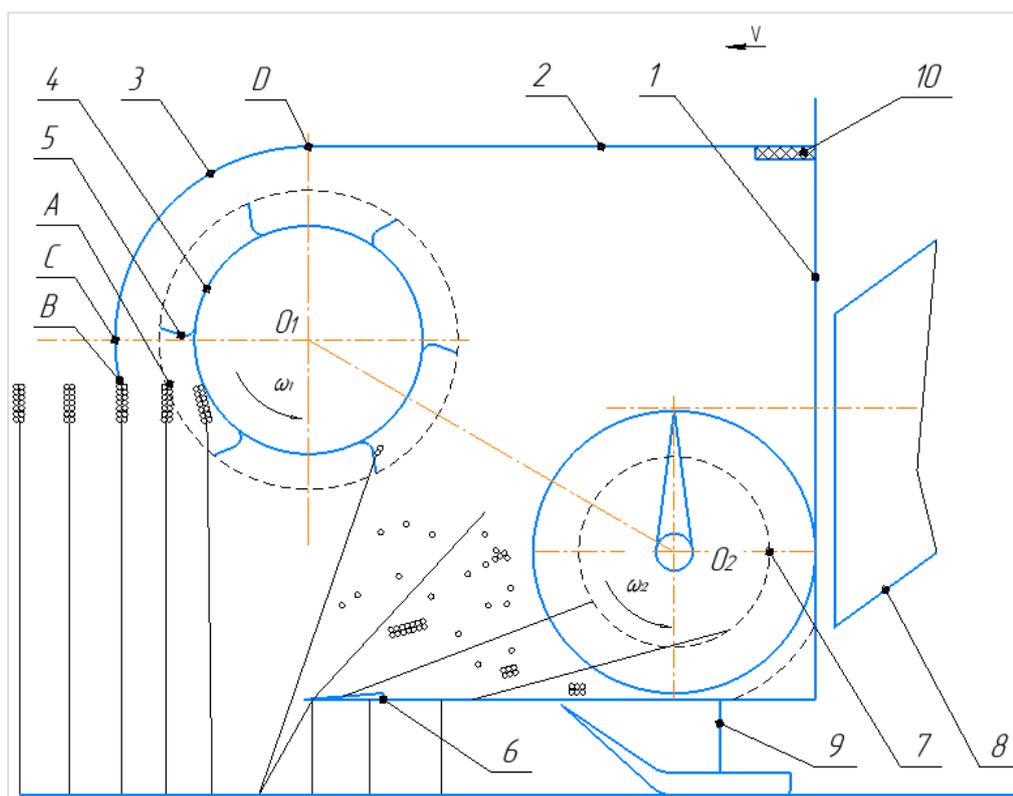
## **2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ К ОБОСНОВАНИЮ ПАРАМЕТРОВ ПРИВОДА ОЧЕСЫВАЮЩЕГО БАРАБАНА**

### **2.1. Кинематика очесывающего барабана**

В зависимости от устройства очесывающей жатки функции очесывающего барабана отличаются друг от друга. Но основная задача — это обмолот соцветий на корню. Как показывает анализ исследований, при обмолоте соцветий растений очесывающие барабаны создают воздушный поток, сопутствующий улучшению качественных показателей уборки. Как показывает анализ лабораторных и полевых исследований различных конструкций жаток используются устройства с одним барабаном, реже с двумя барабанами. Эффективность использования очесывающих устройств зависит от многих параметров, но в первую очередь от убираемой культуры. Для уборки семенных посевов пшеницы и других культур применяются щадящие режимы обмолота. Важным моментом при обмолоте является сравнение воздействий рабочих органов на обмолачиваемые соцветия, для пшеницы это колос.

Для сравнения с традиционным обмолотом в молотилке зерноуборочного комбайна частота  $n$  вращения молотильного барабана в зависимости от

влажности растений от базовой модели зерноуборочного комбайна и диаметра молотильного барабана находится в диапазоне  $800...1100 \text{ мин}^{-1}$ . Для очесывающих устройств частота  $n$  вращения очесывающего барабана находится в диапазоне  $350...700 \text{ мин}^{-1}$ . При этом обмолот в традиционном молотильном аппарате осуществляется за счет удара и перетирания, а при обмолоте на корню в первую очередь за счет прочесывания т.е. трения и потом только ударных воздействий смягченных протаскиванием очесанных стеблей гребенкой. В основу исследований положим модель очесывающего устройства с очесывающим барабаном в виде диаметрального вентилятора с закрепленными на нем гребенками рисунок 1. Предложенная очесывающая жатка для уборки семенных посевов пшеницы включает корпус жатки 1, на который монтируется верхний кожух очесывающего устройства 2, передний кожух очесывающего устройства 3, очесывающий барабан 4, гребенки 5, режущий аппарат 6; шнек 7, наклонная камера 8, копирующие башмаки 9, сетка 10.



- 1 – корпус жатки; 2 – верхний кожух очесывающего устройства; 3 – передний кожух очесывающего устройства; 4 – очесывающий барабан; 5 – гребенки;  
 6 – режущий аппарат; 7 – шнек; 8 – наклонная камера;  
 9 – копирующие башмаки; 10 – сетка.

Рисунок 2.1 – Схема жатки комбайна «САМПО» с очесывающим барабаном

Одной из проблем, при уборке методом обмолота растений на корню является утилизация не зерновой части, поэтому предлагаемая конструкция монтируется на жатку зерноуборочного комбайна. Предложенное конструктивное решение запатентовано, патент РФ № 216072 Жатка для очеса колоса зерновых культур.

Как показали полевые исследования обмолота, важным моментом является определение кинематики работы очесывающей жатки. В первую очередь необходимо определить направление вращения очесывающего барабана. Соответственно рассмотрев технологическую схему работы жатки, второй задачей является определение взаимного расположения очесывающего барабана, ножа режущего аппарата, шнека и положения крайних точек кожуха очесывающего устройства.

В целом мы должны определить все вышеуказанные параметры из кинематики очесывающего барабана.

Для проведения исследования принимаем следующие допущения:

- количество прочесов одного колоса не должно быть меньше двух;
- при передаче очесанной хлебной массы к режущему аппарату воздействие гребенки на массу только наклонного характера;
- высота среза при работе жатки должна соответствовать агротехническим требованиям и находится в пределах 50 – 150 мм.;
- срезанная масса не зерновой части должна быть направлена в нижнюю часть шнека жатки не выше горизонтальной осевой.

Рассмотрим кинематику очесывающего барабана, уравнение движения и траектории точек очесывающей гребенки.

Очесывающая гребенка совершает сложное движение: переносное, поступательное вместе с комбайном (жаткой) со скоростью  $V$  и относительное с угловой скоростью  $\omega$ .

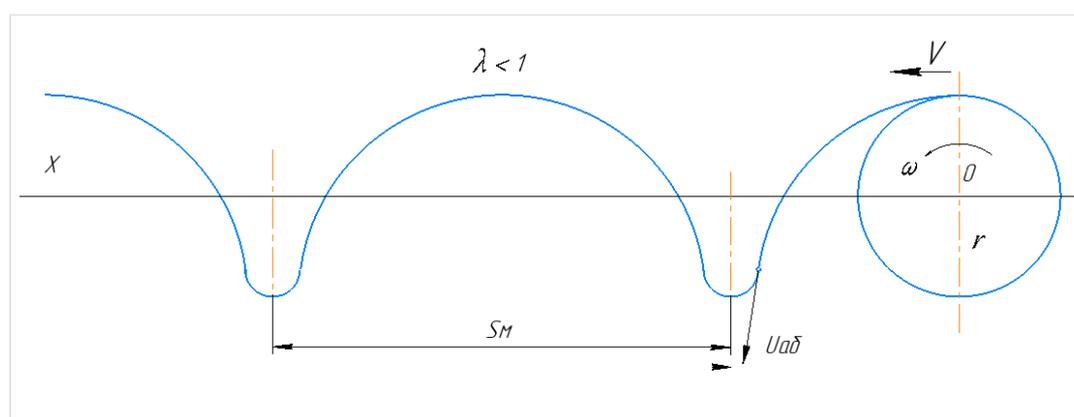


Рисунок 2.2 – Траектория движения точек конца гребенки очесывающего барабана, укороченная циклоида

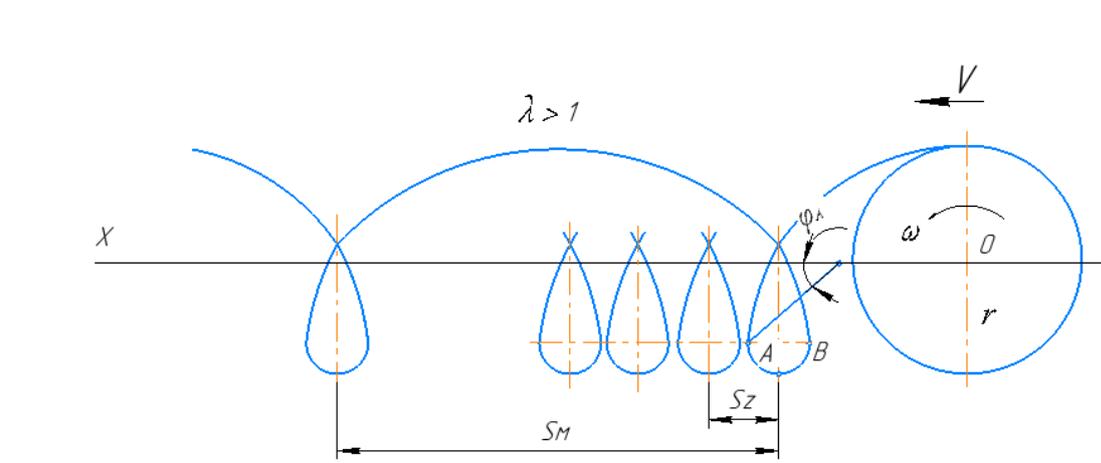


Рисунок 2.3 – Траектория движения точек конца гребенки очесывающего барабана, удлиненная циклоида.

Координаты крайней точки очесывающей гребенки могут быть выражены следующими уравнениями:

$$x = r\left(\frac{\varphi}{\lambda} + \cos \varphi\right), \quad (1)$$

$$y = r \sin \varphi, \quad (2)$$

где  $r$  – радиус барабана по концам очесывающей гребенки, м;

$\lambda$  – показатель кинематического режима,  $\lambda = U/V$ ;

$U = \omega r$  – линейная скорость конца гребенки очесывающего барабана.

Траектория как отмечено на рисунках 1 и 2, определяемая уравнениями 1 и 2 представляет собой циклоиду. Форма циклоиды будет зависеть от значения показатель кинематического режима  $\lambda$ . Соответственно при  $\lambda < 1$  циклоида, будет укороченная рисунок 2, а при  $\lambda > 1$  циклоида будет удлиненная рисунок 3.

Рассматривая укороченную циклоиду, проекция скорости  $U_{ab}$  абсолютного движения конца гребенки на ось  $X$  по всей траектории направлена в сторону движения комбайна. В этом случае стебли отклоняются очесывающими гребенками и очеса не происходит. Соответственно растения будут отклоняются от ножа режущего аппарата, т.е. полностью не соблюдаются допущения 1 и 2.

Рассмотрев удлиненную циклоиду на участке ACB, проекция абсолютной скорости  $U_{ab}$  на ось  $X$  направлена в сторону противоположную скорости движения комбайна. На этом участке гребенки очесывающего барабана

производят очесывание колосьев и осуществляют наклон стеблей и подвод их к ножу режущего аппарата.

Согласно вышесказанного для выполнения допущений необходимо что бы выполнялось условие  $\lambda > 1$ , т.е. циклоида была удлиненной. При этом количество прочесов будет определяться абсолютной скоростью гребенок и количеством рядов гребенок. Для определения скорости гребенки очесывающего барабана продифференцируем уравнения 1 и 2 по углу поворота  $\varphi$ . Получим выражения для проекции скорости абсолютного движения точек конца очесывающей гребенки на оси  $X$  и  $Y$ .

$$\begin{aligned} U_x &= r(1/\lambda - \sin \varphi) d\varphi/dt, \\ U_y &= r \cos \varphi d\varphi/dt, \end{aligned}$$

Заменив  $d\varphi/dt$  на  $\omega$  и  $r\omega$  на  $U$  получим выражение (3).

$$\begin{aligned} U_x &= V - U \sin \varphi, \\ U_y &= U \cos \varphi, \end{aligned} \quad (3)$$

Тогда скорость  $U_{аб}$  абсолютного движения определится из выражения:

$$U_{аб} = \sqrt{U_x^2 + U_y^2}$$

Подставив значения  $U_x$  и  $U_y$  из выражения 3 получим уравнение для определения абсолютной скорости очесывающей гребенки:

$$U_{аб} = V \sqrt{1 - 2\lambda \sin \varphi + \lambda^2}, \quad (4)$$

Из технологической схемы работы очесывающего устройства, положение точки А будет иметь следующее значение. До точки А очесывающие гребенки будут отклонять стебли создавая помехи для очесывания колосьев, по этому точка А определит положение начальной точки переднего кожуха должна быть не выше точки А.

Следующим этапом определим скорость гребенки в точке А петли циклоида. Скорость абсолютного движения гребенки в точке А направлена вниз а горизонтальная составляющая  $U_{ха}$  абсолютной скорости равна нулю, т.е.

$$U_{ха} = V - U \sin \varphi_A = 0 \quad \text{или} \quad U \sin \varphi_A = V$$

Выразив скорость через  $\lambda$  будем иметь

$$\sin \varphi_A = 1/\lambda \quad (5)$$

Из выражения 4 видно, что наибольшая абсолютная скорость соответствует точкам А и В. Решив совместно уравнения 4 и 5 получим выражение для определения скорости  $U_A$  конца очесывающей гребенки в точке А.

$$U_A = V \sqrt{\lambda^2 - 1} \quad (6)$$

Рассмотрим особенность вхождения очесывающей гребенки в хлебную массу в точке А петли циклоиды, при этом очесывающая гребенка ударяет по

колосу со скоростью  $UA$  и при этом  $UA$  большего предельного значения  $U_d$  при котором происходит обмолот колоса за счет удара.

Такой процесс может способствовать увеличению процента обмолота при очесывании т.к. после точки А гребенки погружаются очесывающими зубьями в хлебную массу и начинают полноценный очес. В нашем случае  $UA \geq U_d$ .

Подставляя, предложенное неравенство в формулу 6 получим

$$\lambda \geq \sqrt{U\delta^2/V^2 + 1}, \quad (7)$$

Из этого выражения следует, что при увеличении скорости можно увеличить. Заменив в неравенстве  $\lambda$  на  $U/V$ , получим

$$U \geq \sqrt{U\delta^2 + V^2}$$

Это выражение говорит о том, что для комбинированного воздействия на колос а именно ударного и прочесывания при увеличении скорости движения комбайна скорость очесывающего барабана будет увеличенной. На вымолот зерна из колоса оказывает влияние число воздействий гребенок на очесываемые колосья на метре пути. Чем больше воздействий тем выше процент обмолота. Количество прочесов зависит от скорости и числа очесывающих гребенок. При увеличении скорости движения комбайна при постоянной скорости вращения барабана количество воздействий гребенок на растения уменьшается, но при этом не должны нарушаться допущения.

Для определения количества прочесов  $k$  необходимо определить шаг очесывающего барабана  $S_z$  (см. рисунок 3) между соседними циклоидами.

Величину шага очесывающего барабана  $S_z$  можно определить из выражения:

$$S_z = S_m/z$$

где  $S_m$  – перемещения комбайна за время одного оборота вала очесывающего барабана;

$z$  – число очесывающих гребенок.

Так как  $S_m = Vt = V2\pi/\omega$ , то получим:

$$S_z = (2\pi/z)(V/\omega)$$

или 
$$S_z = (2\pi/z\lambda)r$$

Отсюда следует, что шаг очесывающего барабана изменяется прямо пропорционально его радиусу, с увеличением отношения скоростей  $\lambda$  и числа гребенок  $z$  шаг уменьшается.

От значения шага зависит число прочесов  $k$  гребенкой очесываемых колосьев при движении комбайна.

$$k = 1/S_z = z\lambda/2\pi r, \quad (8)$$

Определив параметры очесывающего барабана можем определить коэффициент полезного действия (кпд) взаимодействия очесывающего барабана с ножом режущего аппарата  $\eta$  используя рисунок 4 кпд характеризует ширину  $b_d$  полосы очесанных стеблей, которые срезает нож при воздействии гребенки.

Показатель  $\eta$  выражаем отношением ширины  $b_d$  к шагу  $Sz$  очесывающего барабана т.е.

$$\eta = b_d / Sz \quad (9)$$

Определим ширину  $b$  полосы стеблей после очеса подаваемую на нож режущего аппарата очесывающей гребенкой.

Сделаем допущения:

- прямостоящий стеблестой длиной  $L$ ;
- конец гребенки входит в стеблестой в точке  $A$  при этом  $U_{xA}=0$ ;
- конец очесывающей гребенки движется по циклоиде  $ABC$ .

Рассмотрим процесс наклона растений к ножу режущего аппарата. Особенностью конструкции гребенки является то, что во время наклона рабочая часть гребенки погружается в хлебную массу и очесывает колосья.

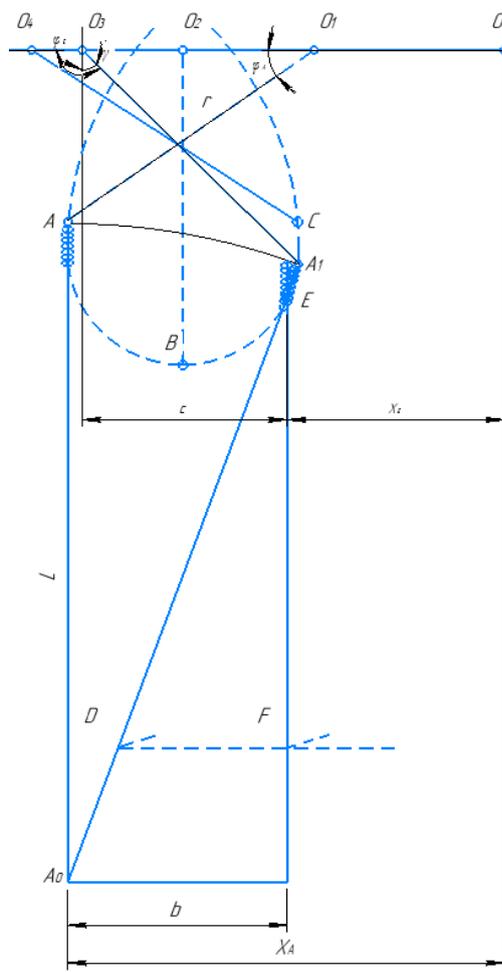


Рисунок 2.4 – Траектория движения точек конца гребенки очесывающего барабана, при подводе и очесе колосьев.

При вращении барабана с гребенками встречается стебель  $AO$   $A$  который будет очесываться при наклоне до точки  $A1$ , на чертеже определяется радиусом  $AO$   $A$  равным длине растения  $L$  пересечением с циклоидой на промежутке  $BC$  поступление следующей порции обеспечит подпорный срез.

Поэтому положение ножа режущего аппарата должно быть не раньше точки  $D$ . Особенностью предложенной очесывающей жатки является также то, что колосья и стебли находятся под воздействием очесывающих гребенок на всем участке циклоиды  $ABA1$  соответственно положение точки  $F$  будет толщиной растений подаваемого слоя на нож режущего аппарата одной гребенкой и определится выражением:  $b = XA - XF$

## 2.2 Теоретическое определение формы гребенок и количества рядов гребенок барабана

Теоретические исследования проведены для обоснования конструктивных параметров очесывающего устройства и его рабочих органов. Такие задачи были решены в работе П.А. Шабанова.

Мы предлагаем схему к определению ширины очесывающего не прямого пальца (рис. 2.5).

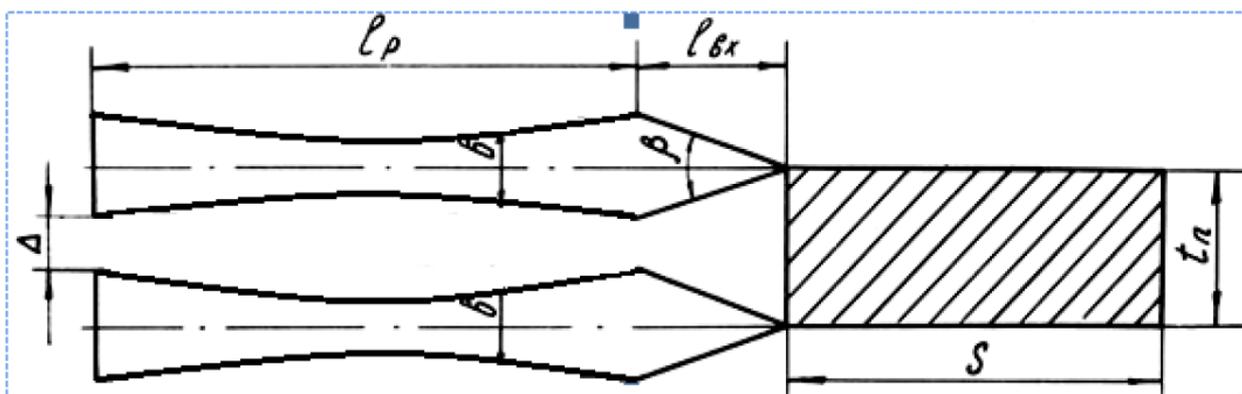


Рисунок 2.5 – Схема к определению размеров очесывающей гребенки.

В результате обработки в программе Microsoft excel получены графики зависимости зазора в гребенках от длины гребенки, рисунок 2.9 и данные расчетов при минимальном зазоре 8 мм сведены в таблицу 2.1.

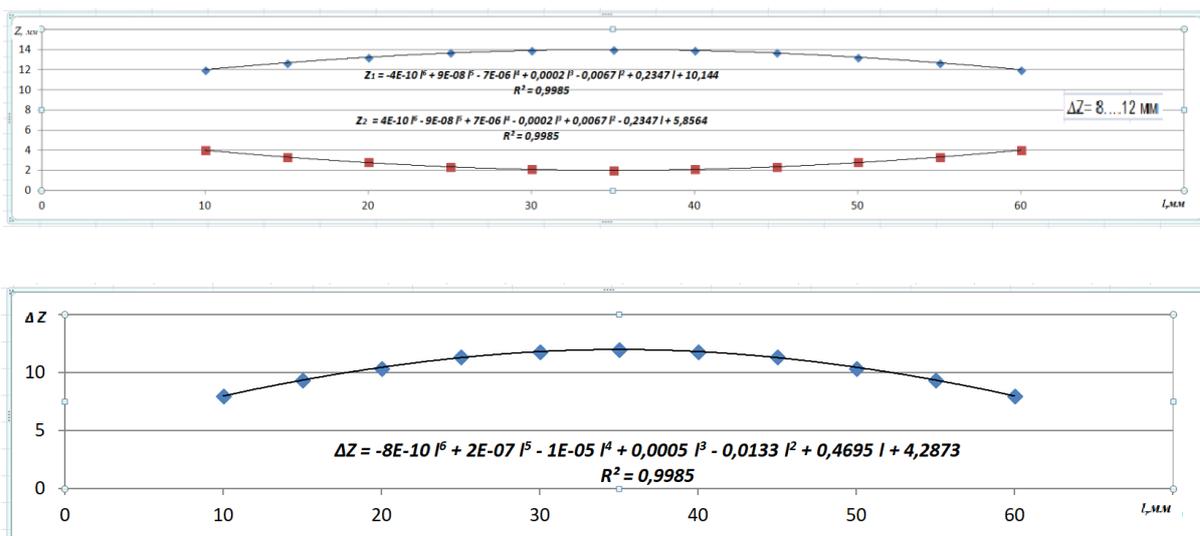


Рисунок 2.6 – Зависимости зазора в гребенках от длины гребенки

Таблица 2.1 – Определение зазора между пальцами гребенок.

$L_p$	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
$Z_1$	12	12,7	13,2	13,7	13,9	14	13,9	13,7	13,2	12,7	12
$Z_2$	4	3,3	2,8	2,3	2,1	2	2,1	2,3	2,8	3,3	4
$\Delta Z$	8	9,4	10,4	11,4	11,8	12	11,8	11,4	10,4	9,4	8

Получены уравнения (2.3) для расчёта количества рядов гребёнок очёсывающего барабана  $Z$ , рабочей длины пальца  $l_p$ , ширины очёсывающего пальца  $b$ , длины заострённой части входящей в стеблестой  $l_{bx}$ , общей длины очёсывающего пальца  $l_o$ .

$$Z = \frac{2\pi \cdot V_i \cdot n_o}{l_b \cdot \omega}, \quad (2.14)$$

где:  $V_m$  – скорость комбайна, м/с;

$n_o$  – обороты очёсывающего барабана, мин<sup>-1</sup>;

$l_p$  – рабочая длина гребенки, м.;

$\omega$  – угловая скорость барабана, с<sup>-1</sup>.

Для определения рабочей длины и ширины гребенки воспользуемся формулами полученной Шабановым П.А.

$$l_p = R_o + \frac{V_m \cdot t - R_o \cdot \sin \alpha_n}{\sin(\omega t + \alpha_n)}, \quad (2.15)$$

$$b = \frac{Q \cdot \omega \cdot z}{2\pi \cdot V_m \cdot p} - \Delta, \quad (2.16)$$

$$l_{bx} = \frac{b \cdot (1 + \cos \beta)}{2 \sin \beta}, \quad (2.17)$$

$$l_o = l_p + l_{bx}. \quad (2.18)$$

Параметры определены с учётом скорости движения комбайна  $V_m$ , количества прочёсов необходимых для полного вымолота соцветия  $n_o$ , угловой скорости вращения барабана  $\omega$ , радиуса барабана  $R_o$ , количества стеблей обмолачиваемых за рабочий ход одним пальцем  $Q$ , зазора между очёсывающими пальцами  $\Delta$ , густоты стеблестоя  $p$ , угла заострения пальца  $\beta$ . Для определения количества прочесов воспользуемся рабочей характеристикой очесывающего барабана:

- скорость движения комбайна  $V = 1,5 \dots 2,7$  м/с;
- частота вращения очесывающего барабана  $n_o = 540$  мин<sup>-1</sup>;
- радиус барабана  $r = 0,25$  м;
- длина гребёнки  $l = 0,08$  м;
- рабочая длина гребёнки  $l_p = 0,06$  м;
- путь, пройденный комбайном за время  $t = l_c - S$ , м;
- путь, пройденный комбайном за 1 оборот барабана  $x$ , м.

На рисунке для определения количества прочесов показана циклоида одной гребенки, при скорости  $V = 10$  км/ч, что соответствует 2,7 м/с.

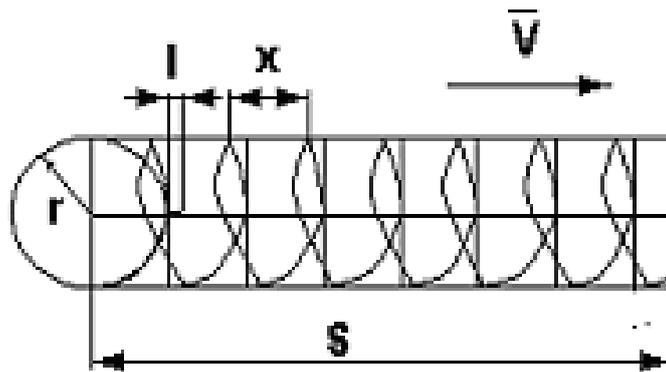


Рисунок 2.7. Схема для определение количества прочесов гребенками барабана при движении очесывающего устройства.

Определить число прочесов одной гребенкой за единицу времени можно из соотношения (2.19)

$$Z_{np} = \frac{n_o}{60} \quad (2.19)$$

где:  $X$  – расстояние пройденное комбайном за один прочес барабана, м.

$S$ – расстояние пройденное комбайном за единицу времени, м.

$$X = \frac{S}{Z_{np}}, \text{ м.} \quad (2.20)$$

$$S = \frac{V_p}{t}, \text{ м.} \quad (2.21)$$

$$n_{np} = \frac{X}{l_p}, \text{ м.} \quad (2.22)$$

Согласно проведенного анализа, работы очесывающего устройства с учетом расчетных формул и конструктивных особенностей принимаем 6 рядов гребенок.

### 2.3 Обоснование кинематических параметров привода жатки комбайна с очесывающим барабаном

В настоящее время для привода рабочих органов жатки комбайна с очесывающим барабаном используются механические передачи (Рисунок 2.8), общая суммарная длина межосевых расстояний которых составляет более 2-х метров. Механический привод стационарного очёсывающего устройства осуществляется с использованием; фрикционной передачи - I, ременных передач - II, III, IV, конической зубчатой передачи – карданной передачи – VI, V, цепных передач - VII, VIII.

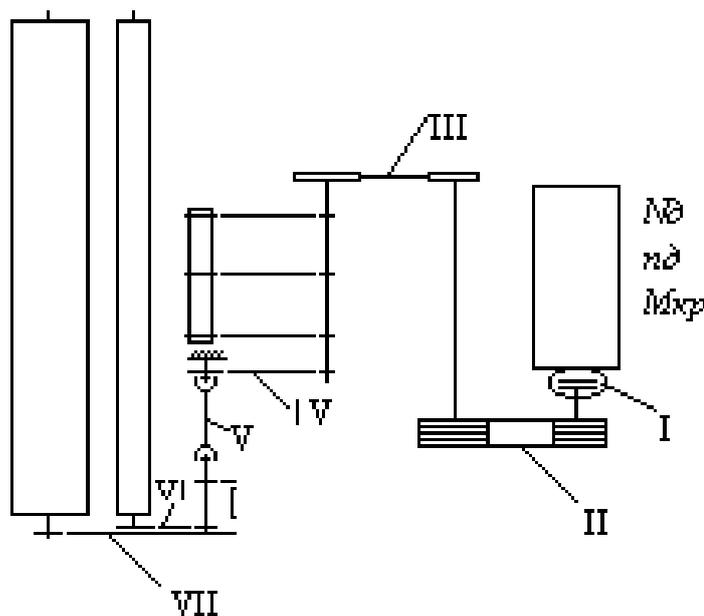


Рисунок 2.8 – Кинематическая схема механического привода  
очёсывающей жатки

Для приводов очёсывающего устройства основным параметром будет коэффициент полезного действия привода, позволяющий определить потери мощности в передачах. С целью определения КПД, составлена структурная схема привода очёсывающего устройства Рисунок 2.9, по аналогии с.

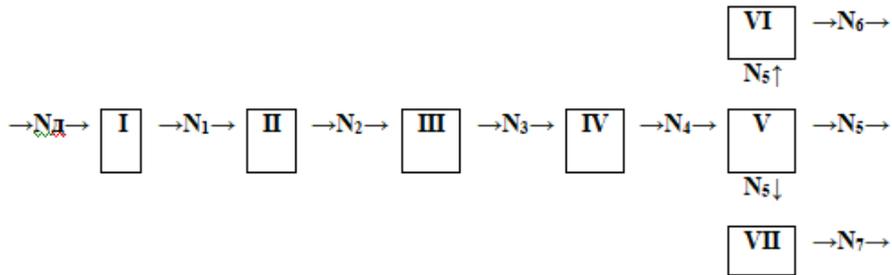


Рисунок 2.9 – Структурная схема привода жатки комбайна с  
очесывающим барабаном

Общий коэффициент полезного действия очесывающего устройства с учетом мощности необходимой для привода очёсывающего барабана –  $N_{об}$   $\eta_{об}$  – кпд привода очёсывающего барабана и  $\eta_{к}$  – кпд привода, мощности необходимой для привода–  $N_{к}$  определяется из выражений 2. 20.

$$\eta_{об} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3$$

$$\eta_{к} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 \cdot \eta_5 \cdot \eta_6 \cdot \eta_7 \quad (2,20)$$

где:  $\eta_i$  – кпд соответствующих передач привода.

При определении кинематических параметров очесывающего устройства принималось условие равенства окружных скоростей ( $u_7 = u_8$ )

1. Угловая скорость очесывающего барабана

$$\omega_1 = u_1 / r_1,$$

где  $u_1$  – окружная скорость очесывающего барабана, м/с;

2. Частота вращения (мин<sup>-1</sup>)

$$n_1 = \frac{30\omega_1}{\pi},$$

где  $n_1$  – частота вращения очесывающего барабана.

Мощность на привод очесывающего барабана при очесе растений.

$$N_p = P_{очл} \cdot l \cdot B_p \cdot H \cdot r_1 \cdot \omega_1 \cdot i$$

Где:  $P_{оч1}$  – усилие, необходимое для очеса одного соцветия, Н;

$H$  – густота стеблестоя, шт/м<sup>2</sup>.

$l$  – длина зуба очесывающей гребенки, м;

$r_1$  – радиус очесывающего барабана, м;

$I$  – передаточное число.

Мощность, необходимая на привод холостого хода барабана, [3].

$$N_{1x} = a_1\omega_1 + b_1\omega_1^3,$$

где  $a_1$  – коэффициент, учитывающий массу барабана, трение в подшипнике;

$b$  – коэффициент, учитывающий вентиляционные способности барабана.

Общая мощность на привод очесывающего барабана будет состоять из суммы [3]

$$N_{об.} = N_p + N_x,$$

В таблицу 2.1 сведены результаты расчета кинематических параметров очесывающего устройства, при следующих допущениях принятых исходя из обзора предыдущих теоретических исследований:

- радиус очесывающего барабана определен по результатам анализа обзора исследований проведенных ранее 0,25 м;

- окружная (линейная) скорость барабанов находится в пределах 14 – 16,5 м/с, что обеспечит, обмолот растений.

Таблица 2.2 – Результаты расчета кинематических параметров

Показатели	Обозначения	значения			
		0,250	0,250	0,350	0,350
Радиус очесывающего барабана, м	$r_1$	0,250	0,250	0,350	0,350
Окружная скорость очесывающего барабана, м/с	$u_1$	14	14	14	14
		16,5	16,5	16,5	16,5
Угловая скорость очесывающего барабана, с <sup>-1</sup>	$w_1$	56	56	40	40
		66	66	46,7	46,7
Частота вращения очесывающего барабана, мин <sup>-1</sup>	$n_1$	535	535	382	382
		630	630	446	446

По результатам расчета построены графики Рисунок 2.10 и 2.11

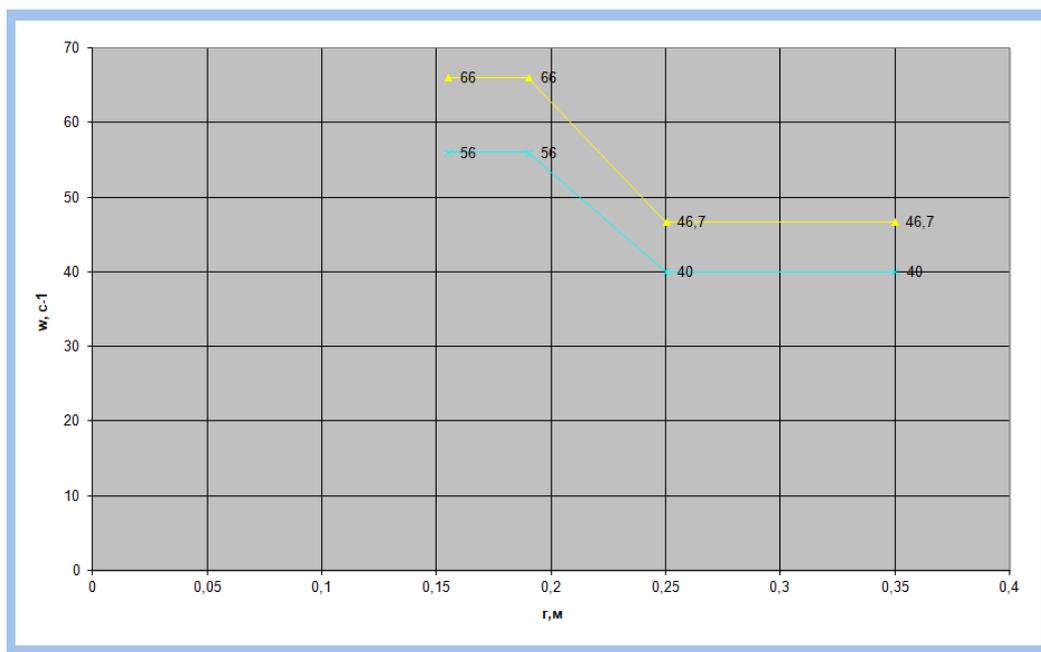


Рисунок 2,10 – График зависимости угловых скоростей очесывающего барабана от его радиуса.

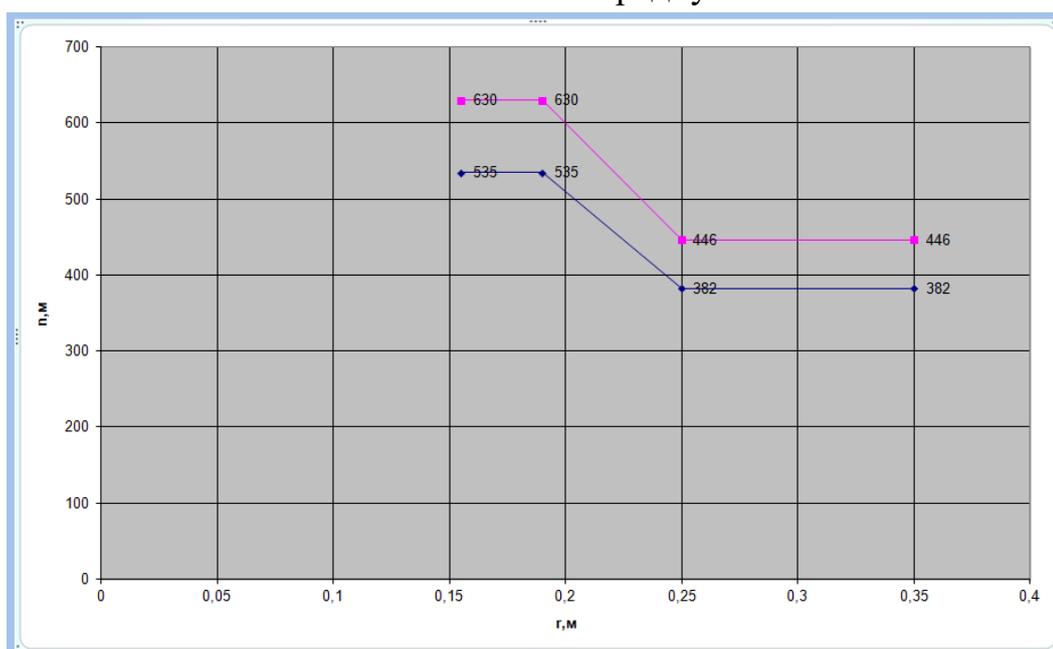


Рисунок 2,11 – График зависимости числа оборотов очесывающего барабана от его радиуса.

#### 2.4 Теоретическое определение радиуса кривизны верхнего кожуха

Для обеспечения работы очесывающего устройства с минимальными потерями рассмотрим три положения (три варианта положения передней части)

при одинаковых стартовых условиях. Как видно из линий траектории отраженного зерна от очесывающего барабана видно преимущества кожуха с минимальным радиусом кривизны. Отраженный ворох полностью направлен в сборник очесанного вороха при этом, средний и максимальный радиус явно приводит к увеличению потерь осыпью, в связи с этим возникла необходимость рассмотрения движения зерна по поверхности верхнего отражающего кожуха. Задача состоит в определении скорости движения зерна по поверхности кожуха и достаточна ли она для прохождения поверхности его до сборника очесанного вороха. В случае недостаточной скорости зерно может попасть в зону вращения очесывающего барабана и на поверхность поля, тем самым увеличивая процент потерь.

Исходя из схемы (Рисунок 2.5) для определения радиуса кривизны верхнего кожуха видно, что на технологический процесс транспортировки очесанного вороха влияние оказывает кривизна, как передней, так и задней части кожуха.

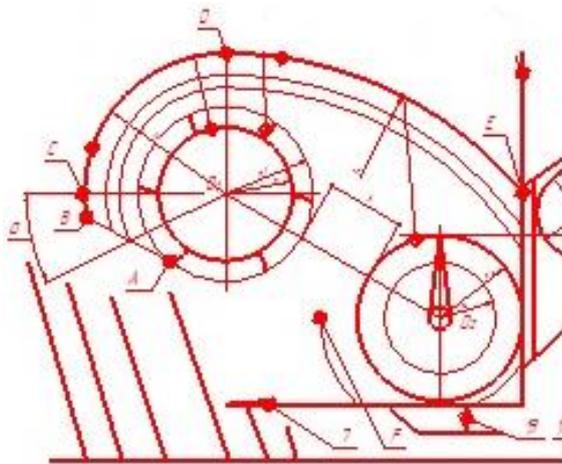


Рисунок 2.7 – Схема жатки комбайна «САМПО» с очесывающим барабаном для определения радиуса кривизны кожуха.

Как показывает анализ работы различных устройств, важным моментом является форма и в целом геометрические параметры верхнего кожуха. Исследования по обоснованию радиуса кривизны верхнего кожуха проведены были в работе.

Для определения радиуса кожуха воспользуемся формулой (2.15) для определения необходимой начальной скорости движения зерна достаточной для прохождения поверхности кожуха

$$V_0 = \sqrt{g\rho(3 + f\pi)}. \quad (2.15)$$

Согласно теории обмолота на корню процесс отделения зерна от соцветия нормально протекает при  $V_{or}=14,0...16,5$  м/с [17].

В результате подстановки в уравнение (2.15), при фиксированных значениях  $R = 1$  м,  $g = 9,8$  м/с<sup>2</sup>;  $f = 0,32$  получили достаточную начальную скорость  $V_0 = 6,3$  м/с для прохождения поверхности участка  $OA$ . Максимальный радиус кожуха очёсывающего барабана жатки комбайна «САМПО» - 2,5 метра – данное значение входит в определенный диапазон.

## 2.5 Вывод по разделу

1. В результате проведения расчетов определен диаметр очесывающего барабана  $D = 0,50$  м, окружная скорость очесывающего барабана  $u_1 = 14...16,5$  м/с, частота вращения очесывающего барабана,  $n_1 = 540...700$  мин<sup>-1</sup>; получена зависимость изменения зазора между пальцами гребенок по их длине  $\Delta Z = -8E-10 l^6 + 2E-07 l^5 - 1E-05 l^4 + 0,0005 l^3 - 0,0133 l^2 + 0,4695 l + 4,2873$ ,  $R^2 = 0,9985$  по расчетам зазор между пальцами гребенок составил  $\Delta Z = 8...12$  мм

2. По результатам теоретической энергооценки работы очесывающего барабана, мощность на привод  $N_{500} = 0,16$  кВт/м.

3. Согласно проведенного анализа, работы очесывающего устройства с учетом расчетных формул и конструктивных особенностей принимаем 6 рядов гребенок

Таким образом, мы получили показатели, нуждающиеся в подтверждении экспериментальными исследованиями.

## 3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 3.1. Цель и программа лабораторных исследований

Целью лабораторных исследований является определение качественных показателей работы в зависимости от оборотов очесывающего барабана и зазора между зубьями гребенок.

Лабораторные исследования проводились в соответствии разработанной методики. Программа лабораторных исследований предусматривала решение задачи по определению процента потерь осыпью в зависимости от радиуса верхнего кожуха однобарабанного очесывающего устройства.

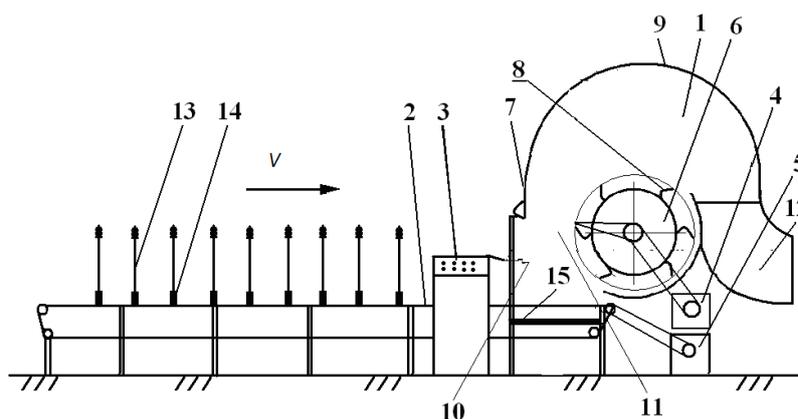
### 3.2. Экспериментальная установка для проведения лабораторных исследований

Для проведения исследований была разработана и изготовлена лабораторная установка, изображенная на (Рисунок 3.1, 3.2). За основу установки взята однобарабанная модификация очесывающего устройства. Лабораторная установка (Рисунок 3.1 и Рисунок 3.2) состояла из очесывающего устройства 1, транспортера-питателя 2, пульта управления лабораторной установкой 3, привода очесывающего устройства 4, привода транспортера-питателя 5,.



Рисунок 3.1 – Лабораторная установка:

Очесывающее устройство 1 состояло из корпуса 6, очесывающих валцов 3 с гребенками 2, кожуха 4, материаллопровода 5, делителя 7. На виде сбоку, (Рисунок 3.2.) показаны элементы привода



1 – очесывающее устройство; 2 – транспортер-питатель; 3 – пульт управления; 4 – привод очесывающего устройства; 5 – привод транспортера-питателя; 6 – очесывающий барабан; 7 – обтекатель переднего кожуха; 8 – гребенки очесывающего барабана; 9 – верхний кожух; 10, 11 – щитки для регулировки переднего кожуха; 12 – материал - сборник; 13 – растение; 14 – кассета, 15 – сборник потерь.

Рисунок 3.2 – Схема лабораторной установки:

Транспортер-питатель 2, состоял из несущей рамы и цепочно-планчатого транспортера с кассетами 14 для закрепления растений. К опорам транспортера под очесывающим устройством стоит лоток для сбора потерь зерна осypью 15.

Привод очесывающего устройства 4 состоял из электродвигателя, редуктора, цепной и клиноременной передач (Рисунок 3.3.). Привод транспортера-питателя также осуществлялся от электродвигателя через редуктор и цепную передачу (Рисунок 3.4.).



Рисунок 3.3 – Растения закрепленные в кассеты; *a* - до проведения опыта, *в* – после проведения опыта.

При проведении эксперимента перед началом каждого опыта проводилась подготовка лабораторной установки к работе. При работающем очесывающем устройстве производились контрольные замеры скорости вращения очесывающего барабана ( $n_{оч.б.} = 450 \text{ мин}^{-1}$ ). Установка оборудована датчиком Холла. Контроль скорости вращения производили тахометром Т 410 -Р,

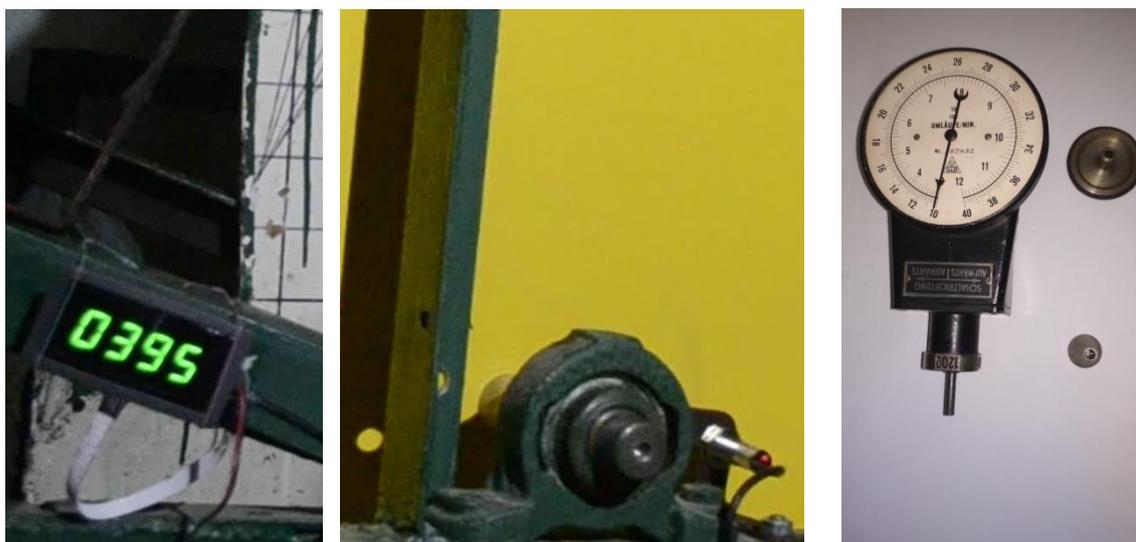


Рисунок 3.4 – Датчик Холла. Тахометр Т 410-Р:

### 3.3. Методика лабораторных исследований

При работающем очесывающем устройстве производились контрольные замеры скорости вращения очесывающего барабана ( $n_1=400$  мин<sup>-1</sup>)  $n_2=600$  мин<sup>-1</sup>). Также измерение скорости вращения производили цифровым тахометром OSTACH. (Рисунок 3.5.)



Рисунок 3.5 – Цифровой тахометр OSTACH.

Лабораторные экспериментальные исследования были поставлены на базе математического планирования эксперимента, основанного на статистических методах обработки опытных данных. На основе анализа априорной информации, полученной из литературных источников, предыдущих исследований, мнений специалистов и поисковых экспериментов устанавливаются наиболее существенные факторы, влияющие на процесс. Обработка результатов экспериментальных данных проводилась на основе стандартных методик с использованием специально разработанных программ на ПЭВМ.

## 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 4.1 Результаты исследования по определению зазора в гребенках

Место проведения испытаний – учебно-научно-исследовательская лаборатория кафедры «Технических систем в агробизнесе» Института «Агротехнологическая академия» «КФУ им В.И. Вернадского».

В основу лабораторных исследований положен двухфакторный эксперимент с использованием лабораторной установки. В результате анализа влияния факторов, проведение многофакторного эксперимента сводится к

двухфакторному эксперименту, который описывается следующим уравнением регрессии

$$y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_{1,2}X_1X_2, \quad (4.1)$$

где  $B_0$  – свободный член, равный выходу при  $X = 0$ ;

$B_1, B_2$  – коэффициент регрессии соответствующих факторов на изучаемый объект;

$B_{1,2}$  – коэффициент регрессии 1,2 факторов взаимодействия.

Таблица 4.1 – Уровни варьирования факторов

№ п/п	Факторы	Обозначения	Уровни факторов	
			-1	+1
1	Частота вращения очесывающего барабана, мин <sup>-1</sup>	$X_1$	400	600
2	Зазоры в гребенках, м	$X_2$	0,008	0,024

Таким образом, мы имеем два фактора  $X_1$  и  $X_2$  и количество опытов определялось по формуле

$$N = 2^n \quad (4.2)$$

Для нашего эксперимента  $N = 2^2 = 4$ . Следующим этапом была составлена матрица планирования эксперимента представленная в таблице 4.2.

Согласно составленной рабочей матрице были проведены эксперименты с 3-х кратной повторностью. Параметры оптимизации ( $y$  – потери осыпью) внесены в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 – Матрица планирования и результаты эксперимента

Коровина В. А.								
№ опыта	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_1X_2$	Вектор выхода $Y$			Среднее значение $Y_{cp}$
					Повторности			
					$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	
1	+	-	-	+	$Y_{11} = 0,12$	$Y_{12} = 0,16$	$Y_{13} = 0,14$	$Y_{cp1} = 0,14$
2	+	+	-	-	$Y_{21} = 0,09$	$Y_{22} = 0,11$	$Y_{23} = 0,08$	$Y_{cp2} = 0,09$
3	+	-	+	-	$Y_{31} = 0,58$	$Y_{32} = 0,48$	$Y_{33} = 0,49$	$Y_{cp3} = 0,52$
4	+	+	+	+	$Y_{41} = 0,24$	$Y_{42} = 0,32$	$Y_{43} = 0,28$	$Y_{cp4} = 0,28$

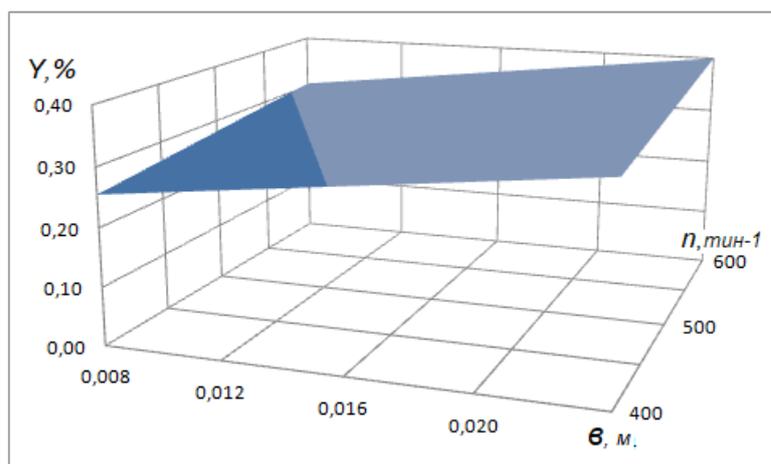
$$Y=0,1075+0,00025 n +5,9375 b$$

где  $Y$ – процент потерь осыпью;

$n$  – обороты барабана,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$b$  – зазор в гребенках, м;

По результатам исследований была получена зависимость



**Вывод.** По результатам, исследований определена зависимость показывающая увеличение потерь осыпью до 0,40% с увеличением зазора в гребенках от 0,008 до 0,024 м.и уменьшением оборотов барабана.  $n = 400 \dots 600 \text{ мин}^{-1}$ . от 14 до 16,51 м/с.

630 $\text{мин}^{-1}$  подтвержден практически 500 $\text{мин}^{-1}$  – 600 $\text{мин}^{-1}$ .

## 4.2 Результаты полевых исследований

### 4.2.1 Подготовка поля и проведение исследований

Место проведения испытаний – Опытное поле УНТРС Учебно-научного технологического комплекса Института «Агротехнологическая академия» ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И.Вернадского» и учебно-научно-Исследовательская лаборатория кафедры «Технических систем в агробизнесе» Института «Агротехнологическая академия» ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И.Вернадского».

В основу исследований положен двухфакторный эксперимент с использованием зерноуборочного комбайна «САМПО» с очесывающей жаткой (Рисунок 4.1. - 4.3.)

Подготовка участка к проведению исследований, проводилась агро оценка участка, разметка

После проезда проводили контрольные замеры и отборы проб.



Рисунок 4.2 – Проведение исследований.

#### 4.2.2 Обработка двухфакторного эксперимента

В результате анализа влияния факторов, проведение многофакторного эксперимента сводится к двухфакторному эксперименту, который описывается следующим уравнением регрессии

$$y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_{1,2}X_1X_2, \quad (4.1)$$

Где  $B_0$  – свободный член, равный выходу при  $X = 0$ ;

$B_1, B_2$  – коэффициент регрессии соответствующих факторов на изучаемый объект;

$B_{1,2}$  – коэффициент регрессии 1,2 факторов взаимодействия.

Таблица 4.1 - Уровни варьирования факторов

	Факторы	Обозначения	Уровни факторов	
			-1	+1
1	Частота вращения очесывающего барабана, мин <sup>-1</sup>	$X_1$	460	630
2	Скорость движения комбайна, м/с	$X_2$	0,75	1,25

Таким образом, мы имеем два фактора  $X_1$  и  $X_2$  и количество опытов определялось по формуле

$$N = 2^n \quad (4.2)$$

Для нашего эксперимента  $N = 2^2 = 4$ . Следующим этапом была составлена матрица планирования эксперимента (табл.4.2).

Таблица 4.2 – Матрица планирования двухфакторного эксперимента

Коровина В.А.									
№ опыта	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_1X_2$	Вектор выхода $Y$				Среднее значение $Y_{cp}$
					Повторности			$Y_3$	
					$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$		
1	+	-	-	+	$Y_{11}= 58$	$Y_{12}= 54$	$Y_{13}= 56$	$Y_{cp1}= 56,00$	
2	+	+	-	-	$Y_{21}= 78$	$Y_{22}= 79$	$Y_{23}= 75$	$Y_{cp2}= 77,33$	
3	+	-	+	-	$Y_{31}= 50$	$Y_{32}= 52$	$Y_{33}= 48$	$Y_{cp3}= 50,00$	
4	+	+	+	+	$Y_{41}= 47$	$Y_{42}= 52$	$Y_{43}= 59$	$Y_{cp4}= 52,67$	

Согласно составленной рабочей матрице были проведены эксперименты с 3-х кратной повторностью. Параметры оптимизации ( $y$  – процент обмолота) внесены в таблицу 4.1. Дробление и обрушивания зерна отсутствовали.

Полученные результаты многофакторного эксперимента были математически обработаны на воспроизводимость процесса, оценки значимости коэффициентов регрессии и на адекватность принятой линейной модели. Воспроизводимость процесса проверялась по критерию Кохрена.

Следовательно, уравнение (4.8) адекватно. и в раскодированном виде имеет вид

$$Y = 0,845 + 0,117 \cdot n + 1,78 \cdot V$$

где  $Y$  – процент обмолота вороха в бункере;

$n$  – обороты очесывающего барабана.

$V$  – скорость движения м/с..

По результатам сравнительных исследований была получена зависимость процента обмолота от скорости движения комбайна и числа оборотов очесывающего барабана.

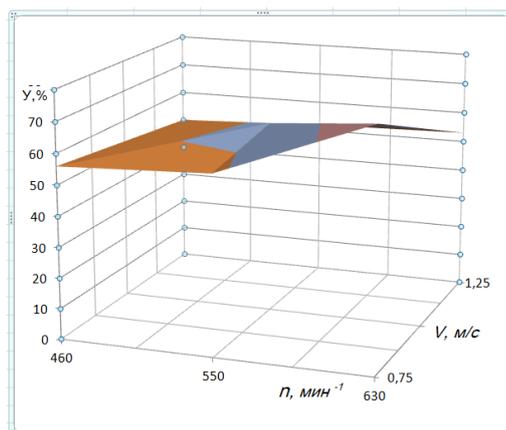


Рисунок 4.3 – Зависимость процента обмолота от скорости движения комбайна и числа оборотов очесывающего барабана

## 5. РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Расчет экономической эффективности произведен в соответствии с ГОСТ 34393-2018 «Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки», по итогам экспериментальных исследований. За базовую технологию была принята существующая технология возделывания и уборки. Расчет экономической эффективности уборки озимой пшеницы. По причине больших потерь за комбайном при уборке зерновых культур, возникла необходимость пересмотра действующей применения предложенного агрегата (САМПО) производится по типовым методикам в ценах на 2024 года.

Оценка обоснована по результатам внедрения технологии и сравнения базового зерноуборочного комбайна для уборки селекционных семенных участков пшеницы САМПО и модернизированного (САМПО с очесывающей жаткой). В качестве базовой принята существующая технология возделывания и уборки прямым комбайнированием. Предлагаемая технология возделывания и уборки – прямое комбайнирование с использованием обмолота растений на корню.

Годовой экономический эффект от внедрения технологии с учетом стоимости дополнительного урожая составит 56 тыс. руб. Срок окупаемости дополнительных капитальных вложениях 52 тыс. руб. составит один год.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании анализа конструкций очесывающих устройств разработана конструктивно-технологическая схема жатки с очесывающим барабаном и гребенками, а также изменяющимися по ширине пальцами. Получена теоретическая зависимость изменения зазора между пальцами гребенок с учетом их длины, по расчетам зазор между пальцами гребенок составил  $\Delta Z = 8\text{--}12$  мм.

2. Теоретически обоснованы параметры и режимы работы очесывающего устройства: рабочая скорость зерноуборочного комбайна  $V = 1,5\text{--}2,7$  м/с; частота вращения очесывающего барабана  $n_{об} = 540$  мин<sup>-1</sup>; его диаметр по концам гребенок  $D = 0,5$  м; длина пальца очесывающей гребенки  $l = 0,08$  м; рабочая длина пальца  $l_p = 0,06$  м; количество рядов гребенок  $n = 6$ .

3. Результаты теоретической энергооценки работы очесывающего барабана: частота вращения  $n = 630$  мин<sup>-1</sup>; диаметр по концам гребенок  $D_{об} = 0,5$  м; мощность на привод  $N_{xx} = 0,16$  кВт/м, на выполнение технологического процесса очесывания колосьев  $N_{mn500} = 0,628$  кВт/м и суммарная мощность на работу очесывающего барабана  $N_{об} = 0,788$  кВт/м. При проведении экспериментальных исследований мощность составила  $N_{обэ} = 0,791$  кВт/м, несоответствие полученных результатов достигло 0,36 %.

4. По итогам лабораторных исследований определена зависимость, показывающая снижение потерь зерна осыпью до 0,4 %. Установлены оптимальные параметры и режимы работы очесывающего устройства: частота вращения очесывающего барабана  $n = 630$  мин<sup>-1</sup>; диаметр по концам гребенок  $D_{об} = 500$  мм; зазор в гребенках овальной формы  $\Delta Z = 0,008\text{--}0,012$  м, расхождение с теоретическими исследованиями составило менее 1,5 %. Состав очесанного вороха: свободное зерно – 79 %, необмолоченный колос – 9 %, крупная солома – 8 %, мелкие примеси – 4 %.

5. По результатам полевых исследований обоснована экспериментальная зависимость, показывающая снижение процента обмолота вороха при увеличении скорости движения и уменьшении числа оборотов. Рациональный скоростной режим работы зерноуборочного комбайна при  $V = 0,75\text{--}1,0$  м/с, частота вращения очесывающего барабана  $n = 630$  мин<sup>-1</sup>; его диаметр по концам гребенок  $D_{об} = 500$  мм; зазор в гребенках овальной формы  $\Delta Z = 0,008\text{--}0,012$  м; состав очесанного вороха по фракциям: свободное зерно – 77 %, необмолоченный колос – 7 %, крупная солома – 6 %, мелкие примеси – 10 %. Доля расхождения результатов лабораторных и полевых исследований составила менее 1,5 %.

6. Годовой экономический эффект от внедрения технологии с учетом стоимости дополнительного урожая соответствует 56 тыс. руб. Период окупаемости эксплуатации очесывающей жатки при дополнительных капитальных вложениях 52 тыс. руб. – один год.