

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина»

На правах рукописи



Драгуленко Владислав Владимирович

**ПАРАМЕТРЫ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ УСТРОЙСТВА
ДЛЯ ОБМОЛОТА ЛЮЦЕРНЫ**

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. Е. Литвинов

Краснодар, 2022

Оглавление

Введение	4
1 Современное состояние механизации обмолота мелкосеменных культур.....	11
1.1 Люцерна как объект обмолота семян	11
1.2 Способы и технические средства обмолота бобов люцерны	14
1.3 Обзор научно-исследовательских работ по уборке урожая семян мелкосеменных культур.....	31
1.4 Выводы по главе. Цель и задачи исследований.....	37
2 Теоретическое исследование процесса обмолота бобов люцерны	40
2.1 Обоснование конструктивно-технологической схемы устройства для обмолота бобов люцерны	40
2.2 Описание процесса обмолота бобов люцерны рабочими органами в виде пластины и сплошного диска.....	44
2.3 Движение боба в камере устройства для обмолота	52
2.4 Условие затягивания боба люцерны	59
2.5 Обоснование угла наклона поверхностей устройства для обмолота.....	61
2.6 Выводы по главе	63
3 Результаты экспериментальных исследований обмолота бобов люцерны....	64
3.1 Программа экспериментальных исследований	64
3.2 Экспериментальные установки для проведения исследований	64
3.3 Приборное обеспечение	67
3.4 Методика экспериментальных исследований	71
3.5 Результаты проверки работоспособности предложенного способа обмолота бобов люцерны.....	72
3.6 Исследование процесса обмолота молотильным устройством для селекционных номеров.....	76
3.7 Исследование молотильного устройства второй модификации.....	86
3.8 Выводы по главе.....	91
4 Экономическая эффективность применения устройства для обмолота бо-	93

бов люцерны.....	
Заключение	98
Список использованных источников	100
Приложение	115

Введение

Люцерна – многолетняя бобовая кормовая культура, возделываемая во многих странах. Она относится к семейству бобовых (Leguminosae Loss). Насчитывают до 60 видов люцерны, однако в сельскохозяйственном производстве используют лишь несколько видов и гибридных их форм, образовавшихся в результате естественных и искусственных скрещиваний [13]. Широко возделываются люцерна синяя посевная (*Medicago sativa* L.) люцерна желтая (*Medicago falcata* L.) и люцерна голубая (*Medicago coerulea* L.) [106]. Из люцерны получают высокобелковые корма. Зеленую массу люцерны используют для приготовления витаминной травяной муки и резки, сена и сенажа. Средняя урожайность зеленой массы люцерны составляет до 300 ц/га, сена – 100 ц/га [115]. Эта культура улучшает структуру почвы и ее плодородие, снижает потребность в дорогостоящем азоте. Ее применяют как средство борьбы с ветровой и водной эрозией почв на орошаемых землях и в рисовых севооборотах сельскохозяйственных культур. Обусловлено это тем, что люцерна за счет мощной корневой системы снижает уровень грунтовых вод, а ее густой травостой затеняет поверхность почвы, предупреждая вторичное засоление орошаемых земель [13]. За достоинства этой кормовой культуры ее, используя первую букву греческого алфавита, называют alfalfa (альфальфа – первая из первых) [128, 129].

Люцерну возделывают на семена в южных регионах России и Украины, в Средней Азии и Закавказье.

Актуальность исследования Ежегодно потребность семян люцерны только в Краснодарском крае составляет 1,5 тыс. тонн. Поскольку люцерна – многолетняя бобовая кормовая травяная культура, то в селекционном процессе и семеноводстве люцерны убирают урожай семян и зеленой массы, а в товарном производстве – зеленую массу. Обмолот люцерны важная технологическая операция. По назначению, принципу действия и условиям эксплуатации селекционно-семеноводческие машины, а также машины, применяе-

мые в агротехнических опытах, во многом отличаются от машин общепроизводственных, при том, что выполняют они те же технологические операции.

Особенность производственных процессов в селекции, сортоиспытании и первичном семеноводстве - прерывистость технологического процесса уборки урожая семян так, как обрабатывают порции урожая селекционных номеров [1, 107, 109, 110, 120]. Для обработки отдельных порций селекционного материала применяют машины двух типов. Для относительно больших порций применяют производственные машины, но с прерывистой (порционной) загрузкой. Для малых порций используют машины порционного действия с замкнутым циклом обработки селекционного материала. В селекционной работе с люцерной есть потребность обмолачивать бобы, собранные с одного или нескольких растений, при этом не допуская смешивания семян селекционных номеров. Причем порции бобов, собираемые с делянок, относительно небольшие. Поэтому количество семян, выделяемых из порций бобов, тоже относительно небольшое. Отсюда повышенные требования к предотвращению потерь семян селекционных номеров недомолотом, россыпью семян и их травмированием в процессе сбора их с растений люцерны на опытных делянках.

В товарном семеноводстве используют поточный способ выполнения технологических операций, как и в общепроизводственных машинах, но предъявляют повышенные требования при уборке урожая. Это полное отсутствие сортосмешивания и сведение к минимуму потерь семян. Однако существующие сельскохозяйственные машины допускают значительные потери семян люцерны в процессе уборки урожая [79, 108].

Таким образом, актуальна задача совершенствования обмолота люцерны на основе поиска новых технических решений. Исследования проводились по госбюджетной тематике в 2016-2020 гг. ЕГИСУ НИОКР АААА-А16-116022410038-8, по разделу: 9.14 «Обоснование технологических комплексов и роботизированных систем производства: зерна и семян зерновых культур, кормовых трав и конопли».

Степень разработанности темы. Теория обмолота сельскохозяйственных культур разработана достаточно полно. Молотильные тангенциальные устройства с бильным ротором исследовались целым рядом ученых. Среди них следует отметить работы В. П. Горячкина [19], В. С. Кравченко [44], Ю. Д. Ахламова [67], Э. В. Жалнина [33], В. В. Куцеева [48], А. С. Старцева [98, 99, 100]. Аксиально-роторные молотильно-сепарирующие устройства исследовались И. В. Горбачевым [119], А. П. Тарасенко [100], В. Е. Панасенко [65]. Уборка сельскохозяйственных культур очесом исследовалась Э. В. Жалниным [35], И. В. Горбачевым [14], А. И. Бурьяновым [11], И. В. Червяковым [12], Ю. Д. Ахламовым [4], Р. Н. Карпенко [41], А. М. Машковым [56]. Для тангенциальных аппаратов зерноуборочных комбайнов разрабатываются и выпускаются специальные приспособления [17, 44, 49]. Но из-за малого размера и большой текучести семян люцерны, её потери превышают агротехнические требования. В целом как тангенциальные, так и аксиально-роторные молотильные устройства предназначены для обмолота больших партий и практически непригодны для обмолота бобов люцерны на этапах селекции и первичного семеноводства.

Для обмолота бобовых культур в селекционном и семеноводческом процессах, как правило, используют обмолачивающие устройства терочного типа [3]. Но для люцерны требуется повторный дообмолот бобов, что существенно снижает производительность терочных молотильных устройств.

Следовательно, существует объективная необходимость в разработке устройства для обмолота бобов люцерны на этапах селекции и первичного семеноводства, обеспечивающего минимальные потери семян дроблением, недомолотом и россыпью.

Научная гипотеза – рациональным способом выделения семян люцерны из бобов, который позволит снизить потери семян дроблением и недомолотом, является деформация сжатия бобов с одновременным воздействием на них сил трения в псевдооживленном циркулирующем замкнутом потоке.

Целью работы является оптимизация параметров и режима работы обмолачивающего устройства с рабочими органами в форме плоской вращающейся пластины и в форме диска для снижения потерь семян люцерны на этапах селекции и первичного семеноводства.

Объект исследования – технологический процесс обмолота бобов люцерны и устройства для его осуществления.

Предмет исследования – зависимость потерь семян люцерны от конструктивных и режимных параметров обмолачивающего устройства.

Задачи исследования:

- разработать конструктивно-технологические схемы устройств для обмолота бобов люцерны на этапах селекции и первичного семеноводства;
- установить математические зависимости обмолота бобов люцерны в псевдоожиженном слое;
- изучить размерную характеристику бобов и семян люцерны;
- экспериментальным путем определить оптимальные параметры и режимы работы устройств для обмолота бобов люцерны на этапах селекции и первичного семеноводства;
- провести сравнительную оценку результатов теоретических и экспериментальных исследований процесса обмолота бобов люцерны разработанными устройствами;
- дать экономическую оценку эффективности применения разрабатываемых устройств для обмолота бобов люцерны.

Методы исследования – теоретические исследования выполнялись с использованием основных положений математики, физики и теоретической механики. Экспериментальные исследования проводились в лабораторных условиях с использованием общепринятых и частных методик в соответствии с действующими ГОСТами, а также с использованием общепринятых методик планирования многофакторного эксперимента. Обработка экспериментальных данных проводилась с использованием методов математической статистики с использованием ПЭВМ и программы MathCad 7.

Научную новизну работы составляют:

- математические зависимости обмолота бобов люцерны в псевдооживленном слое;
- оптимальные по критерию скорости разрушения боба и целостности семени параметры устройств для обмолота бобов люцерны на этапах селекции и первичного семеноводства;
- регрессионные зависимости геометрических параметров и кинематического режима работы устройств для обмолота бобов люцерны на этапах селекции и первичного семеноводства от показателей недомолота, и производительности.

Теоретическая и практическая значимость результатов исследования. Теоретическую значимость представляют: зависимости величин высоты и скорости частицы (боба) обмолачиваемого вороха в камере устройства для обмолота; зависимости величины и скорости деформации боба люцерны в молотильном устройстве.

Практическую значимость представляют: конструктивно-технологические схемы устройств для обмолота бобов люцерны на этапах селекции и первичного семеноводства, которые позволяют разработать технические решения конструкции обмолачивающих устройств; регрессионная зависимость геометрических параметров и кинематического режима работы обмолачивающего устройства с рабочим органом в форме плоской вращающейся пластины от недомолота семян, позволяющая обосновать параметры устройства для обмолота бобов люцерны на этапе селекции; регрессионная зависимость геометрических параметров и кинематического режима работы обмолачивающего устройства с рабочим органом в форме диска, позволяющая обосновать параметры устройства для обмолота бобов люцерны на этапе первичного семеноводства. Конструкция устройств для обмолота люцерны защищена патентами РФ на полезную модель RU № 125814, № 128448, № 155627 и № 186227.

На защиту выносятся следующие основные положения:

- конструктивно-технологические схемы устройств для обмолота бобов люцерны на этапах селекции и первичного семеноводства;
- математические зависимости обмолота бобов люцерны в псевдооживленном слое;
- оптимальные по критерию скорости разрушения боба и целостности семени параметры устройств для обмолота бобов люцерны на этапах селекции и первичного семеноводства;
- регрессионные зависимости геометрических параметров и кинематического режима работы устройств для обмолота бобов люцерны на этапах селекции и первичного семеноводства от показателей недомолота и производительности.

Степень достоверности полученных результатов.

Экспериментальные данные получены с использованием известных методов, применяемых в подобных исследованиях, современной вычислительной техники и измерительных приборов. Идея базируется на основе практики применения известных устройств для обмолота зерновых и бобовых культур. Используются результаты опубликованных исследований по теме диссертации Э. В. Жалнина, Ю. Д. Ахламова и В. В. Куцеева. Установлено качественное и количественное совпадение результатов теоретических исследований и экспериментальных данных. Используются современные методы обработки экспериментальных данных.

Реализация и внедрение результатов исследований.

Устройство для обмолота бобов люцерны прошло производственную проверку в «ИП Глава КФХ Ильченко Ю. В.» Динского района Краснодарского края, а также в учебном процессе ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ.

Апробация работы.

Основные положения диссертационной работы были представлены: на V Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых (Краснодар, 2011 г.); на II Межрегиональной научно-практической конфе-

рениции студентов, аспирантов и молодых ученых (Анапа, 2012 г.); VI Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых (Краснодар, 2012 г.); VIII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, посвященной 110-летию П.Ф. Варухи (Краснодар, 2014 г.); IX Всероссийской конференции молодых ученых (Краснодар, 2015 г.); на II научно-практической конференции молодых ученых Всероссийского форума по селекции и семеноводству (Краснодар, 2018 г.); Международной научно-практической конференции «Цифровые технологии в сельском хозяйстве Российской Федерации и мирового сообщества» (2021 г.)

Публикации.

По результатам исследований опубликовано 8 научных работ, из них 3 в изданиях из перечня рекомендованного ВАК РФ, а также получено 5 патентов на полезную модель. Общий объем публикаций составляет 2,1 печатных листа, из них личный вклад автора 1,8 печатных листа.

Объем и структура работы.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего 135 наименований и приложения. Текст диссертационной работы изложен на 155 страницах машинописного текста, включая 41 страницу приложений, содержит 41 рисунок и 17 таблиц.

1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕХАНИЗАЦИИ ОБМОЛОТА МЕЛКОСЕМЕННЫХ КУЛЬТУР

1.1 Люцерна как объект обмолота семян

Люцерна (*Medicago L.*) – многолетнее бобовое травяное растение. Стебли люцерны сочные, в поперечном сечении округлые, достигают в первом укосе высоты 100...150 см и более. Число стеблей одного растения – от 2 до 20. Кусты растения полупрямостоячие или развалистые (рисунок 1.1). Листья люцерны разнообразной формы – от округлой до ланцетной [13].



Рисунок 1.1 – Внешний вид куста люцерны сорта Крона с созревшими бобами

Соцветие люцерны – кисть разной плотности, содержит до 35 цветков. Количество завязей, образующихся на соцветии к концу цветения, определяется условиями погоды в период цветения, количеством насекомых-опылителей и наличием таких вредителей, как цветочный комарик и клопы. Последние вызывают усыхание бутонов [24].

Люцерна при широкорядном посеве с шириной междурядий 45 см., 60 см., 70 см. лучше обеспечена влагой и расходует ее более продуктивно в годы с сухой второй половиной лета, чем на сплошных посевах. Однако хорошее опыление не всегда гарантирует получение высокого урожая семян. Люцерне свойственно сбрасывание завязей и образования щуплых семян при израстании и недостатке влаги в почве. Израстание или появление новых побегов из зоны кущения или боковых ветвей из пазух листьев при наличии на стеблях соцветий и плодов, обычно приводит к опаданию бутонов, цветков, завязей, образованию щуплых семян и пустых бобов. Интенсивность израстания зависит от общего состояния растений и запаса питательных веществ в корнях. Причиной может стать избыточное увлажнение почвы [13].

Люцерну на семена можно оставлять в первом или во втором укосе в зависимости от почвенно-климатической зоны и сложившихся погодных условий. Урожай семян во втором укосе в значительной степени зависит от своевременности уборки укоса на сено. При оставлении второго укоса на семена люцерну надо косить не позднее фазы бутонизации, так как чем раньше скошена люцерна, тем лучше она обеспечена влагой во втором укосе [13, 107].



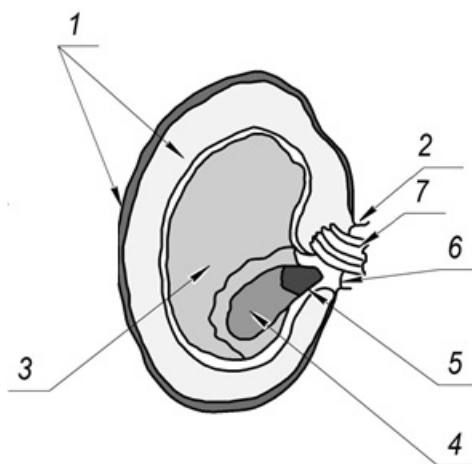
а) – бобы люцерны

б) – семена люцерны

Рисунок 1.2 – Фото бобов и семян люцерны сорта Крона

Плод люцерны – многосемянный боб, серповидный или спирально закрученный до 5 оборотов, в форме усеченного конуса или цилиндра. Плод – полое тело, образованное створками, внутри которого закреплены семена. Семена мелкие. Масса 1000 семян - 1,3...2,7 г [13, 111]. Форма семян шаровидная: фасолевидная, овальная, почковидная, угловатая (рисунок 1.2).

В строении семени люцерны выделяют: семенную оболочку и заключенный в нее зародыш [111] (рисунок 1.3).



1 – семенная оболочка, 2 – рубчик, 3 – семядоли, 4 – сосудисто-волокнистый пучок, 5 – зародышевый корешок, 6 – зародышевая почка, 7 – вход в микропиле

Рисунок 1.3 – Схема семени люцерны в продольном сечении

Семенная оболочка имеет многослойное строение. Покровная ткань семенной оболочки, находясь на границе с внешней средой, защищает зародыш от механических повреждений и одновременно выполняет физиологические функции. В семенной оболочке есть так называемый рубчик – место крепления к семяножке. Через рубчик в период созревания семени, осуществляется его питание растением. Аналогичным образом при набухании и прорастании семян люцерны в семя проникают вода и воздух. Механические ткани семенной оболочки – склеренхима [85] образует каркас, выполняющий роль арматуры, которая находится в монолитном единстве с мягкими тканями семенной оболочки. В результате зародыш находится в «панцире». Такая

конструкция семенной оболочки приспособлена к сопротивлению деформациям сжатия [85].

В отличие от зерновых злаков, семена люцерны не содержат эндосперм. Запасные питательные вещества находятся в семядолях зародыша [56, 57, 61, 111].

У твердокаменных семян люцерны оболочка и рубчик непроницаема для воды [111]. Для обеспечения всхожести таких семян необходимо проводить дополнительную технологическую операцию – скарификацию.

Небольшие по размеру семена в сравнении с семенами большинства других сельскохозяйственных культур, небольшая масса семени и высокая степень неравномерности созревания этой бобовой культуры затрудняют уборку урожая семян без потерь [96]. Поскольку семена находятся в бобах, то необходима технологическая операция выделения семян из бобов, которая может выполняться отдельно или совмещаться со скашиванием травостоя. Это следует учитывать при разработке рабочих органов для уборки урожая семян люцерны.

1.2 Способы и технические средства обмолота бобов люцерны

В механизации процессов в селекции, сортоиспытании, первичном семеноводстве и полевом эксперименте лидерами являются две зарубежные фирмы «H.U. Nege» (Германия) [130, 131, 132] и «WalterWintersteiger» (Австрия) [135]. «Наименование последней, в результате реорганизации, было изменено на «Wintersteiger AG», которая в настоящее время является ведущим мировым производителем селекционных машин.

В Российской Федерации ведущая роль в механизации трудоемких процессов в селекции, сортоиспытании, первичном семеноводстве и полевом эксперименте принадлежит Федеральному научному агроинженерному центру «Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства РАСХН» (ГНУ ВИМ) [1, 115].

В селекции, сортоиспытании и первичном семеноводстве люцерны для уборки урожая используют преимущественно машины, разработанные в Российской Федерации для зерновых, зернобобовых и крупяных культур [115]. Для обмолота отдельных растений и их пучков ГНУ ВИМ разработал молотилку колосовую МКС-1М, молотилку МЗБ-1, молотилку-терку пучковую МТПУ-500. ОАО «Зерноочистка» разработало молотилку-терку пучковую МПСУ-375. ОКБ СибНИИСХ разработало колосовые молотилки МК-1 и МК-1М и пучковую – МПС-1М.

Для уборки урожая делянок прямым комбайнированием и отдельным способом ГНУ ВИМ разработал специальные малогабаритные комбайны: селекционные зерноуборочные модели КЗС-1,5; КС-1,2 и КСС-1,8 и жатку-косилку селекционную ЖКС-1,8 для зерновых колосовых и семенных посевов трав.

Фирма «Wintersteiger AG» (Австрия) выпускает селекционный зерноуборочный комбайн «CLASSIC» для третьего этапа селекционных работ (контрольный питомник и предварительное сортоиспытание) и селекционно-семеноводческий зерноуборочный комбайн «DELTA» для четвертого этапа селекционных работ (конкурсное сортоиспытание и питомники предварительного размножения новых сортов) [115]. Кроме этого для обмолота пучков растений зерновых, зернобобовых культур и трав фирма выпускает селекционные колосовую молотилку «LD 180» и сноповую молотилку «LD 350». В молотилке «LD 350» бесступенчато регулируют частоту вращения барабана и в комплекте – 18 типов сменных подбарабаний [115].

Фирма «H.U. Hege» (Германия) выпускает селекционный зерноуборочные комбайны «HEGE-125C» [115].

Компания «Sampo Rosenlev» (Финляндия) производит селекционно-семеноводческий зерноуборочный комбайн «SAMPO-580». Селекционный зерноуборочный комбайн «SR 2010» совместно выпускают фирма «Sampo Rosenlev» (Финляндия) и ОАО «Сампо-Ростов» [115].

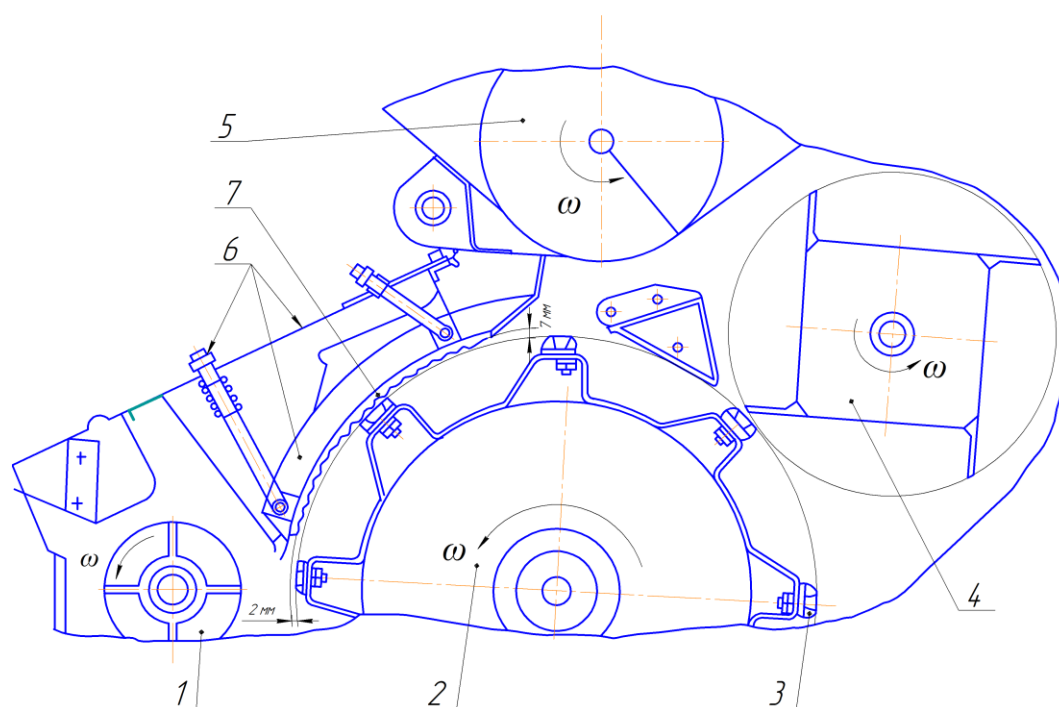
В селекционной работе обмолачивают бобы люцерны, выращенные на делянках селекционных номеров. Порции бобов, собираемых с делянок, небольшие, поскольку сбор осуществляется с одного или нескольких растений. Поэтому количество семян, выделяемых из порций незначительно. Отсюда повышенные требования к предотвращению потерь семян селекционных номеров недомолотом, россыпью семян и их травмированием в процессе уборки. Однако разработанные молотилки пучковые допускают потери семян. Кроме того, процесс обмолачивания существующих молотилок является достаточно трудоемким, что обусловлено предотвращением сортосмешения. Для чего необходим тщательный осмотр рабочих органов и удаление оставшихся семян.

Рабочие органы вышеперечисленных селекционных комбайнов в сортоиспытании и первичном семеноводстве аналогичны рабочим органам производственных зерноуборочных комбайнов и как последние допускают недомолот люцерны. Поэтому необходима дополнительная операция – обмолот бобов, выделенных из обмолоченного вороха.

В товарном семеноводстве используют проверенные способы уборки семян люцерны, а также разрабатывают новые технические решения, ориентированные на минимизацию потерь семян. Наиболее распространенными способами уборки урожая семян люцерны являются прямое комбайнирование и раздельный способ уборки [37]. Уборку прямым комбайнированием проводят при побурении в травостое люцерны 60...90 % бобов. Урожай семян убирают за один проход зерноуборочного комбайна по полю. Для улучшения условий обмолота скошенной массы молотильным устройством зерноуборочного комбайна предварительно травостой обрабатывают химическими препаратами: десикантами, дефолиантами, сеникантами [37, 44, 63]. А.Н. Садыров в условиях поливного земледелия Средней Азии экспериментально установил, что десикация травостоя люцерны увеличивает потери семян в 1,5 раза за жаткой при скашивании травостоя [91]. Следовательно, при применении десикантов следует решать задачу устранения потерь за жаткой.

Зерноуборочный комбайн разработан для уборки зерновых колосовых культур [82]. Как показала практика применения зерноуборочного комбайна, на уборке урожая семян люцерны он допускает значительные потери семян россыпью, а его рабочие органы допускают значительный недомолот семян из бобов. Для предотвращения потерь семян россыпью разработаны разные способы их герметизации [44, 46, 49]. Для более полного вымолота из бобов семян в технологическую схему зерноуборочного комбайна введена технологическая операция – дополнительный обмолот бобов. Разработан ряд конструкций домолачивающих устройств, включающих активный рабочий орган, взаимодействующий с терочной поверхностью [4, 16].

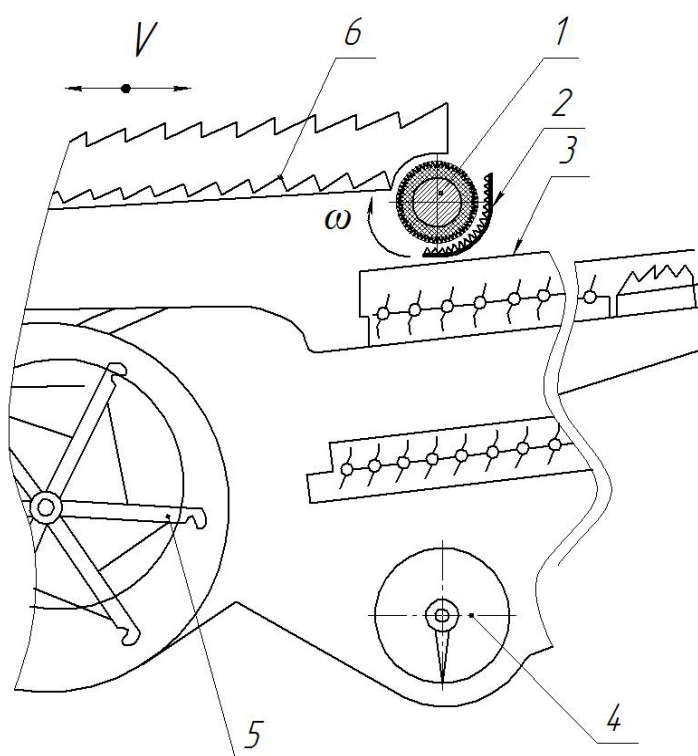
При этом существует несколько вариантов размещения домолачивающего устройства в конструктивной схеме комбайна. Приспособление 54-108А дополняет молотильное устройство комбайна [40] (рисунок 1.4). В других вариантах исполнения домолачивающее устройство расположено за декой молотильного устройства [16], за грохотом [26, 71] (рисунок 1.5), за колосовым элеватором [52, 56, 57].



1 – приемный бичер, 2 – молотильный барабан, 3 – бич, 4 – отбойный бичер, 5 – выгрузной шнек, 6 – приспособление 7 – терочная поверхность

Рисунок 1.4 – Схема приспособления 54-108А для люцерны зерноуборочного комбайна [40]

Н. В. Мурзин разработал домолачивающее устройство, включающее барабан в виде многогранника, на вершинах граней которого расположены рифы, а поверхность подбарабанья выполнена рифленой. Вымолот семян из бобов люцерны разработанным устройством составил 99,0% [63].



1 – обрешиненный барабан уменьшенного диаметра; 2 – дека с обрешиненной терочной поверхностью; 3 – верхнее решето зерноочистки; 4 – шнек; 5 – вентилятор; 6 – грохот

Рисунок 1.5 – Схема домолачивающего устройства люцерны в зерноуборочном комбайне [71]

Существует тенденция в разработке домолачивающего устройства для бобов люцерны – разрабатывают домолачивающее устройство одновременно для люцерны и клевера или модернизируют для обмолота бобов люцерны клеверотерку [14, 16].

И. В. Горбачев и В. Е. Панасенко изучили домолот семян люцерны и клевера терочным устройством аксиально-роторного типа, включающего ротор с бичами и рифленую терочную поверхность [16, 66, 67]. Окружную скорость бича в исследовании устанавливали в интервале 18,8...23,6 м/с [16].

М. В. Симонов разработал клеверотерку-сепаратор КС-1,0. Эта клеверотерка-сепаратор при испытании обеспечила степень обмолота бобов люцерны в интервале 93,2...95,5 %, а дробление семян люцерны – 1,1...1,2 % [93].

Классификация домолачивающих устройств бобов люцерны, разработанная нами с учетом классификации терочных устройств для клевера и люцерны И.В. Горбачева [16] и классификации В. М. Мокиева [62], представлена на рисунке 1.6.

Раздельный способ уборки урожая семян люцерны является двухфазным способом. Раздельный способ уборки рекомендуют применять при побурении в травостое люцерны 60...90 % бобов [40, 44].

В первой фазе раздельного способа уборки урожая семян люцерны травостой скашивают в валки валковыми навесными жатками ЖВН-6А, ЖРБ-4,2Б, прицепными жатками ЖВП-6, ЖВС-6, самоходными косилками Е-301, Е-302 или КПС-5Г, Мещера Е-403 [37, 96, 97, 98, 99].

Во второй фазе уборки валки подбирают и обмолачивают зерноуборочным комбайном, на жатке которого устанавливают полотенно-транспортный подборщик.

Люцерна принадлежит к культурам со значительной неравномерностью созревания семян. Раздельный способ уборки позволяет увеличить время созревания семян. Однако созревшие семена даже при незначительных механических воздействиях осыпаются из растрескивающихся бобов или в бобах. Для снижения потерь семян в процессе скашивания травостоя в валки применяют дополнительную технологическую операцию – сбор семян, обмолаченных рабочими органами жатки самоходной косилки. Разработаны разнообразные приспособления к рабочим органам самоходных косилок и жаток для сбора семян [44, 90, 91]. Например, за выгрузным окном жатки устанавливают устройство для сбора семян – семяулавливатель (рисунок 1.7).

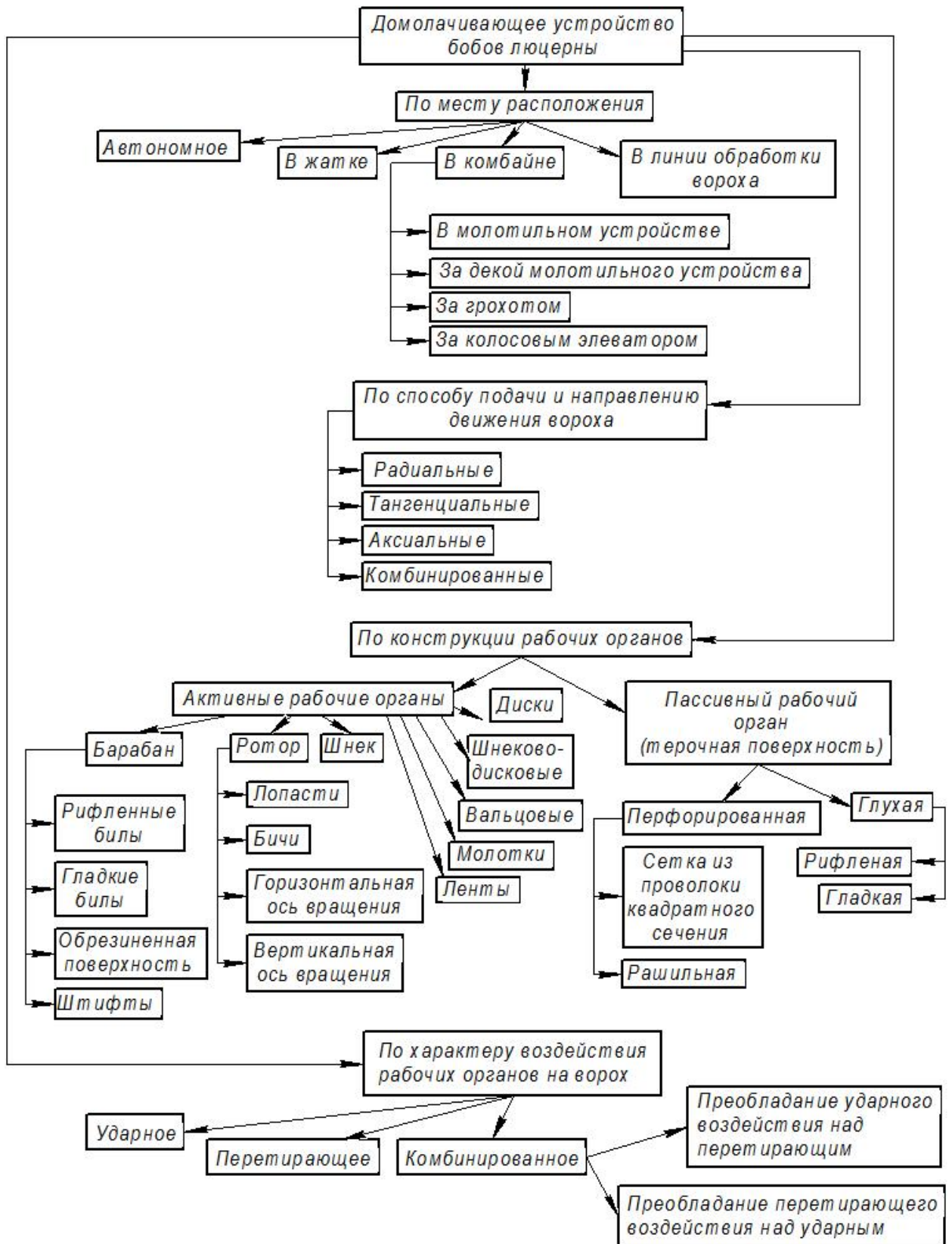
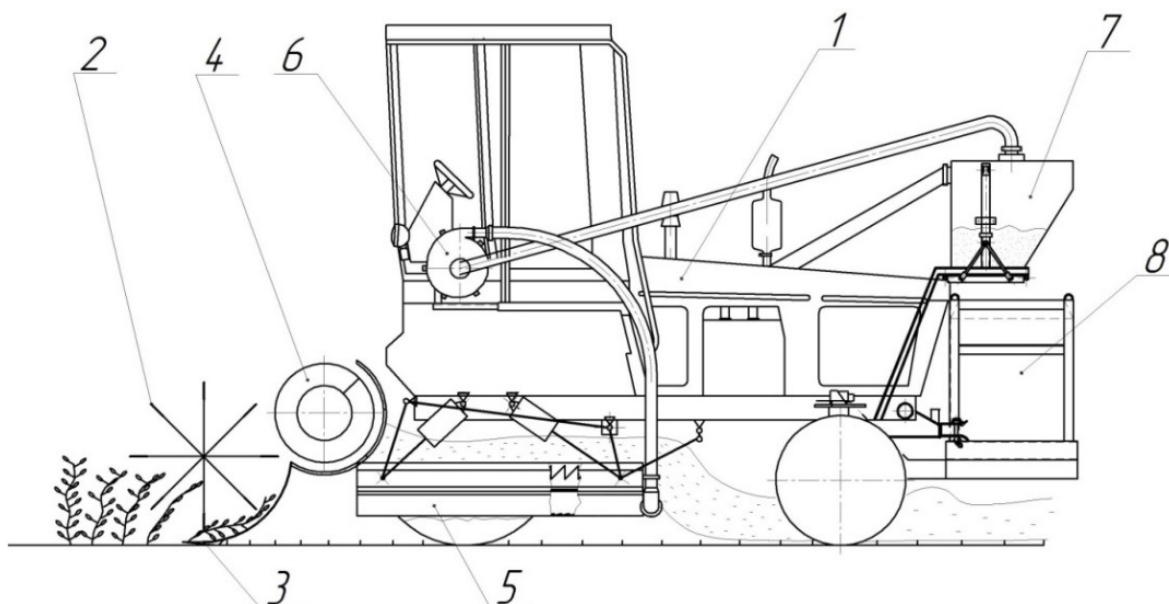


Рисунок 1.6 – Классификация домолачивающих устройств бобов люцерны



- 1- самоходная косилка; 2 - жатка; 3 – режущий аппарат; 4 – шнековый транспортер; 5 – семяулавливатель; 6 – вентилятор; 7 – бункер для семян; 8 – сменный бункер для семян.

Рисунок 1.7 – Схема самоходной косилки с устройством для сбора семян

Разработан еще один вариант раздельного способа уборки урожая семян люцерны, согласно гипотезе о том, что для сокращения потерь семян при уборке и перевозке, семена не следует выделять из бобов, а перевозить их в бобах с последующим обмолотом бобов на стационаре [14]. В этом варианте во вторую фазу уборки перед обмолотом валков регулируют режим работы рабочих органов комбайна, исходя из того, чтобы максимально снизить интенсивность воздействия на бобы рабочих органов, а створкам бобов нанести минимальные повреждения.

В Краснодарском НИИСХ имени П. П. Лукьяненко при полевых исследованиях данного варианта раздельного способа уборки использовали семеноводческий зерноуборочный комбайн «Сампо-500» (Финляндия) [13]. Скорость вращения молотильного барабана комбайна установили минимальную - 600 мин^{-1} . Зазор на выходе из рабочей щели молотильного устройства выставили максимальный – 30 мм. Частоту вращения лопастей вентилятора зерноочистки комбайна установили минимальной. Зазоры между жалюзи верхнего (мякинного) решета и удлинителя выбрали в процессе пробного

прохода комбайна по опытному полю – 14 мм. Прутки прутково-планчатого подбарабанья молотильного устройства комбайна были разрезаны через один. Ворох, полученный в бункере комбайна в процессе испытания, был изучен. Его разобрали на три фракции. Структура вороха из бункера семеноводческого зерноуборочного комбайна «Сампо-500» после обмолота валков приведена в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Структура вороха в бункере комбайна «Сампо-500»

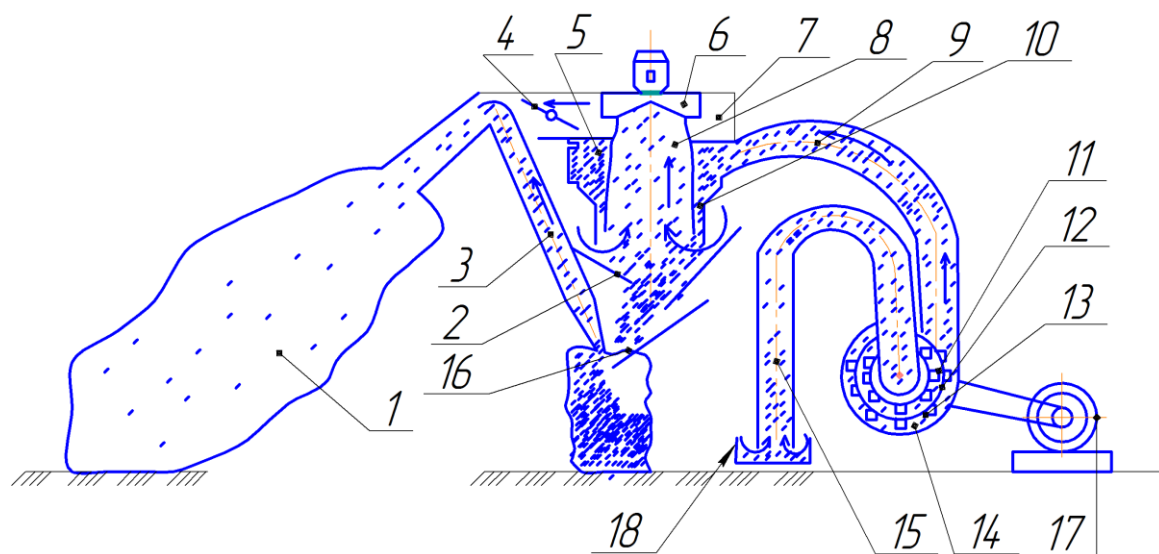
Фракции вороха	Результаты статистической обработки				
	$\bar{x}\%$	S	S \bar{x}	V	S \bar{x} %
Бобы	72,2	5,86	1,85	8,10	2,60
Семена	20,1	5,26	1,66	26,15	8,30
Обломки стеблей и примеси	7,70	2,44	0,08	31,82	10,10

Из таблицы 1.1. следует, что бильное молотильное устройство комбайна при окружной скорости бичей барабана – 15,7 м/с и зазоре на выходе рабочей щели – 30 мм позволяет получить структуру обмолоченного вороха, содержащего $72,2 \pm 1,85$ % бобов. Для еще большего уменьшения вымолота бобов предложена конструкция молотильного барабана, обмолачивающими элементами которого являются планки аналогичные планкам прутково-планчатого подбарабанья [127].

Следующая технологическая операция данного варианта отдельного способа уборки – выделение семян из вороха и отдельно бобов. Эту технологическую операцию выполняют в стационарных условиях. Семяочистительную машину «Петкус-Супер» К-541 подготовили к работе следующим образом [13]. Триерный цилиндр, имеющий диаметр ячеек 5,6 мм и предназначенный для удаления коротких примесей из урожая зерновых культур, был выведен из технологической схемы машины, т.е. отключен. Использовали двухрешетную схему очистки плоскими пробивными решетками. Она обеспечивала полное разделение бобов и семян люцерны на верхнем решете с круг-

лыми отверстиями диаметром 2,2 мм и нижнем с продолговатыми отверстиями шириной 0,6 мм, а также семян и примесей при верхнем решете с круглыми отверстиями диаметром 2,5 мм и нижнем – с продолговатыми отверстиями шириной 0,6 мм.

Вымолот семян из бобов, выделенных из вороха, выполнили с помощью модернизированной для этой цели клеверотерки К-0,5 (рисунок 1.8).



- 1- мешкотара для мелких примесей; 2 - скатный желоб; 3- пневмоканал для забора мелких примесей; 4 – заслонка; 5 - приемная камера; 6 – вентилятор; 7 - пневмоканал; 8 - циклон; 9 – пневмоканал; 10 – канал подачи вороха; 11 – обечайка; 12 – бич; 13 – обмолачивающий элемент; 14 - корпус; 15 - пневмоканал; 16 – скатный желоб; 17 - электропривод; 18 – емкость

Рисунок 1.8 - Схема переоборудованной клеверотерки К-0,5

Скорость вращения барабана-обечайки установили минимальную - 2130 мин⁻¹. Величину молотильных задоров увеличили до 8 мм против рекомендуемых при работе с клевером - 4±1 мм. Было установлено, что используемая конструкция клеверотерки не обеспечивает полное выделение семян из вороха. Поэтому необходимо было выполнить еще одну технологическую операцию - очистку семян люцерны от примесей и необмолоченных бобов. Семяочистительную машину «Петкус-Супер» К-541, подготовленную для предварительного выделения семян из вороха переоборудовали следующим образом. Заменяли верхнее решето на решето с круглыми отверстиями диаметром

2,5 мм. Это позволило обеспечить устойчивое протекание технологической операции и полное отделение семян от примесей.

В результате производственных испытаний вышеизложенного способа уборки семян люцерны сорта Крона собрано 2,6 ц/га семян на фоне средней урожайности, получаемой хозяйствами Краснодарского края за предыдущие 10 лет – 1,2 ц/га [13].

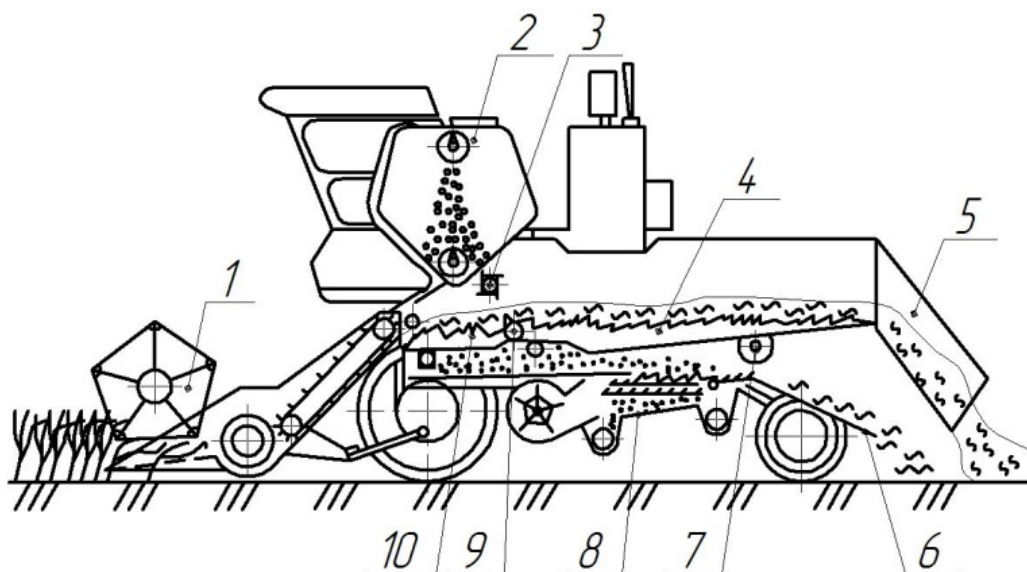
Для вышеизложенного варианта отдельного способа уборки как альтернатива переоборудованному семеноводческому зерноуборочному комбайну «Сампо-500» разработан молотильный барабан с обмолачивающими элементами в виде планок [127], устанавливаемый в зерноуборочный комбайн.

Разновидностью двухфазного способа уборки является двукратное комбайнирование [48]. Особенность двукратного комбайнирования в том, что частоту вращения молотильного барабана комбайна уменьшают до 600 мин⁻¹, а зазоры на входе и выходе молотильного устройства устанавливают максимальными. При первом проходе комбайна по полю происходит обмолот спелых семян и поступают в бункер комбайна, а стебли с необмолоченными семенами укладываются за комбайном в валок. После дозревания семян валки подбирают, установив на жатку комбайна подборщик, увеличив частоту вращения молотильного барабана и уменьшив зазоры на входе и выходе молотильного устройства.

Способ двукратного комбайнирования положен в основу создания зерноуборочных комбайнов с двухбарабанным молотильным устройством, предложенный В. П. Горячкиным и обоснованный К. Г. Колгановым [52].

Разновидностью двукратного комбайнирования является способ уборки в котором зерноуборочный комбайн «Нива-Эффект» для первой фазы готовят следующим образом [44]. В комбайне демонтируют молотильное устройство (барабан и подбарабанье), а на его место устанавливают удлинитель клавиш соломотряса, шарнирно связанные с последним и перемещаю-

щиеся в процессе работы по одной с ним траектории. На сходе соломотряса устанавливают скатный желоб (рисунок 1.9).



1 - жатка; 2 - бункер; 3 - битер; 4 - соломотряс; 5 - скатный желоб; 6 –скатный лист; 7 - опоры; 8 - зерноочистка; 9 - шарнир; 10 - удлинитель клавиш соломотряса

Рисунок 1.9 – Схема модернизированного зерноуборочного комбайна «Нива-Эффект»

Эта модернизация реализует гипотезу о том, что для сбора созревших семян необходимо в первой фазе уборки урожая люцерны обеспечить минимальное обмолачивающее воздействие на скошенную листостебельную массу люцерны при максимальном встряхивающем воздействии на нее.

В процессе движения модернизированного комбайна по убираемому полю, скошенная жаткой травяная масса подается приемным битером на удлинитель клавиш соломотряса. На соломотрясе начинается процесс сепарации семян и продолжается по мере прохождения травяной массы по соломотрясу. Затем травяная масса по скатному желобу укладывается в валок для дозревания семян. После дозревания семян валки подбирают, установив на жатку обычного зерноуборочного комбайна подборщик.

Разработан еще один двухфазный способ уборки – сбор семян люцерны очесом травостоя на корню [41]. За рубежом – в США ведутся исследования по уборке урожая очесом [121]. П. А. Шабанов разработал механико-технологические основы очеса зерновых культур на корню [123]. М. А. Бурь-

янов разработал процесс очеса на корню навешиваемой на зерноуборочный комбайн жаткой специальной конструкции [11]. Р. Н. Карпенко разработал способ очеса травостоя люцерны на корню в наклонной камере полевой машины [41], а Р. С. Соколов изучил обмолот травостоя люцерны в наклонной камере полевой машины [95].

Для большей независимости от погодных условий применяют следующие два двухфазных способа уборки семян люцерны. Это технологический процесс уборки, получивший название «Невейка» [63, 86, 98, 105, 108] и уборка с вывозом всего биологического урожая люцерны на стационар и последующим обмолотом на стационаре [15, 32, 35, 39, 44, 53, 87, 94].

И. В. Горбачев [14] пришел к выводу, что наиболее рациональным из разработанных в настоящее время способов уборки урожая является технологический процесс уборки со сбором и обработкой на стационаре невяного вороха - «Невейка». В этом направлении интенсивно ведутся научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР). А. Н. Попов разработал полевую машину на базе комбайна СК-5 «Нива» со сбором невяного вороха одним транспортным грузопотоком [78]. С. Д. Ридный модернизировал зерноуборочный комбайн, поставив задачу обеспечить при обмолоте безударное вычесывающее воздействие на скошенную листостебельную массу люцерны. Для этого он заменил бильный барабан молотильного устройства комбайна на штифтовый барабан и уменьшил его частоту вращения [86]. Р. С. Соколов разработал технологический процесс уборки, совмещающий очес на корню и «Невейку». В этом способе уборки очес травостоя люцерны выполняют в поле в наклонной камере полевой машины, а собранный невяный ворох вывозят и обрабатывают на стационаре [95].

И. В. Горбачев [14] определил, что в ворохе, выгруженном из бункера зерноуборочного комбайна содержится 24...36 % необмолоченных бобов, а в ворохе, полученном очесом травостоя на корню – 45...63 % необмолоченных бобов. Это указывает на необходимость технологической операции – домолота бобов.

Уборка с вывозом всего биологического урожая люцерны на стационар и последующим там обмолотом включает технологические операции: скашивание травостоя, измельчение и погрузку всего биологического урожая в тележки, транспортировка измельченного биологического урожая на стационарный пункт под навес-накопитель с последующей дозированной подачей на конвейерную сушилку-сепаратор, обмолот, загрузка семян в емкости, подача листостебельной массы к местам переработки и хранения.

Для скашивания травостоя и погрузки в транспортное средство применяют полевую уборочную машину МПУ-150 или переоборудованный зерноуборочный комбайн, в котором демонтировано молотильное устройство и установлен вентилятор с материалопроводом [96]. Для транспортирования скошенной листостебельной массы используют тракторные прицепы 2ПТС-4-887А, которые предварительно герметизируют. Для рационального заполнения транспортных средств скошенным травостоем его необходимо измельчать. Для обмолота на стационаре используют зерноуборочный комбайн совместно с серийно выпускаемыми стационарными машинами. Поэтому существует потребность в совершенствовании этих сельскохозяйственных машин [18]. В частности, на стационаре после обмолота вороха комбайном остается потребность в обмолоте бобов, оставшихся в ворохе. Для устранения потерь недомолотом на стационаре В. А. Корякиным разработано терочное устройство к семяочистительной машине [43].

Ведутся исследования по измельчению скошенного травостоя люцерны. Изучена возможность применения для скашивания травостоя люцерны на семена кормоуборочным комбайном КСК-100 [17].

В ФРГ в 1950 г. были проведены исследования с измельчением снопов. По результатам этих исследований фирма «Альгайер» разработала стационарный пункт с молотилкой НД-28 для обработки измельченной хлебной массы [87]. Скошенный хлебостой в снопах, доставленный с поля на стационарный пункт, подавался в измельчитель. Затем измельченная масса по пневмопроводу направлялась в молотильно-сепарирующее устройство, а

очищенное от примесей зерно самотеком поступало в закрома. В 1978 г. шведская фирма «Кокумс Констракшн АБ» построила стационарный пункт обмолота производительностью 30 т/ч [87]. В это же время исследования некомбайновых способов уборки всего биологического урожая зерновых культур проводили в США, Великобритании и датская фирма «Шелл форм». Отмечено повышение стоимости уборки урожая по сравнению с комбайновыми способами уборки [87]. В настоящее время способ уборки с вывозом всего биологического урожая на стационар как зерновых колосовых, так и люцерны, не нашел широкого применения из-за значительной сложности ни у нас в стране, ни за рубежом.

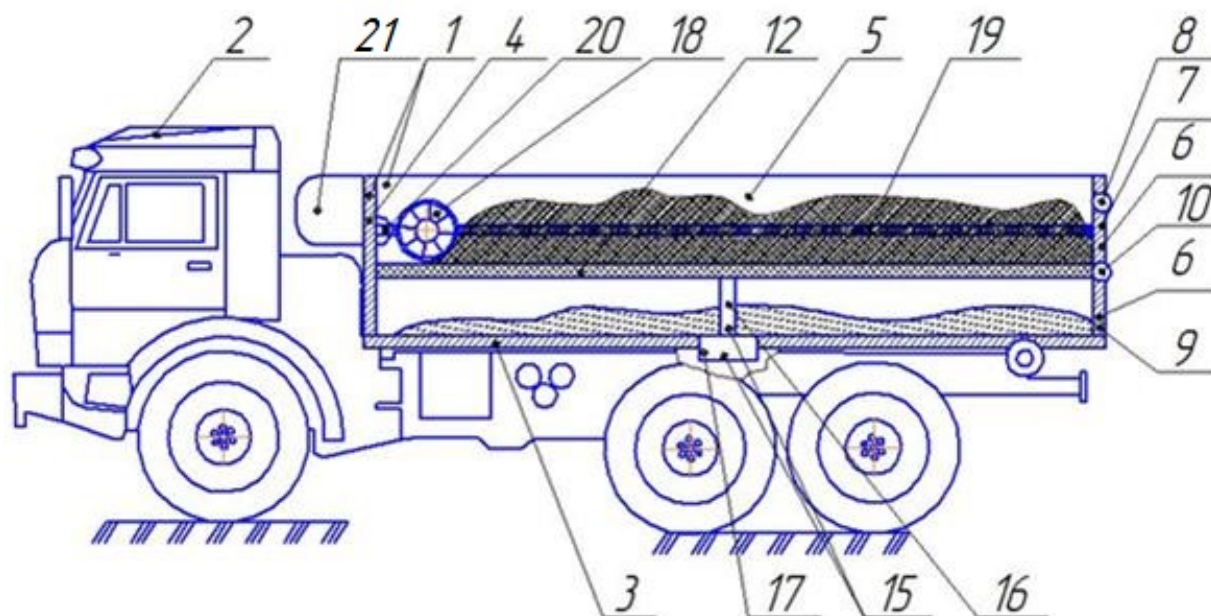
Для сокращения потерь недозревшими семенами разрабатывают многофазный способ уборки при котором уборочная машина проходит несколько раз через определенное время по убираемому полю, обмолачивая травостой на корню заданное количество раз. Причем обмолот созревших бобов с семенами осуществляют следующими воздействиями на растения: потоками атмосферного воздуха [70], механическим воздействием, например, очесом [78] и комбинированным воздействием – механическим и потоками воздуха [68].

Обмолот урожая на краю поля позволяет до минимума сократить длину пути вывоза урожая, упрощая решение транспортной задачи [76, 79]. Положительный эффект отмечен на уборке зерновых колосовых культур [81]. На уборке семян люцерны этот способ до настоящего времени не находит применения. Однако разрабатывается разновидность этого способа – совмещение обмолота с транспортированием вороха на стационар [76].

Конструкция кузова самосвального транспортного средства выполнена в виде молотильного устройства (рисунок 1.10) [76].

Скошенную листостебельную массу, сформированную в кузове в виде копны, выдерживают под действием солнечных лучей несколько часов. Самосвальное транспортное средство в это время может стоять на краю поля, ехать на стационар или стоять на стационаре. Затем перфорированную гибкую мембрану кузова приводят периодически в действие с помощью вибро-

привода. Выделенные семена и мелкие примеси, сепарирующие через перфорированную гибкую мембрану, периодически удаляют из кузова. Для этого кузов помощью гидроцилиндра подъема и опускания поднимают и открывают нижнюю часть заднего борта кузова.



1 – кузов; 2 – транспортное средство; 3 – дно кузова; 4 – передний борт; 5 – боковые борты; 6 – задний борт; 7 – верхняя часть заднего борта; 8 – шарнир; 9 – нижняя часть; 10 – шарнир; 11 – гидроцилиндр; 12 – перфорированная гибкая мембрана (дека-решето); 13 – аккумулятор; 14 – сетка; 15 – вибропривод; 16 – кинематическая связь вибратора и деки-решета; 17 – вибратор; 18 – обмолачивающий барабан; 19 – направляющие; 20 – лебёдка, 21 – аккумуляторная батарея

Рисунок 1.10 – Схема конструкции молотильного устройство люцерны на базе автомобиля

В завершение процесса обмолота обмолачивающим барабаном прикапывают обмолачиваемую массу. Обмолачивающий барабан установлен с возможностью перемещения с помощью лебедки над перфорированной гибкой мембраной (рисунок 1.10). Обмолачиваемая масса деформируется обмолачивающим барабаном, в ней создается дополнительное трение, что интенсифицирует процесс обмолот. Выгружаемый из кузова, ворох, включающий бобы, семена и мелкие примеси, подвергают активному вентилированию, например, в аэрожелобе, очистке семян в аспирационном канале и обмолоту бобов. В этом способе уборки также требуется домолот бобов.

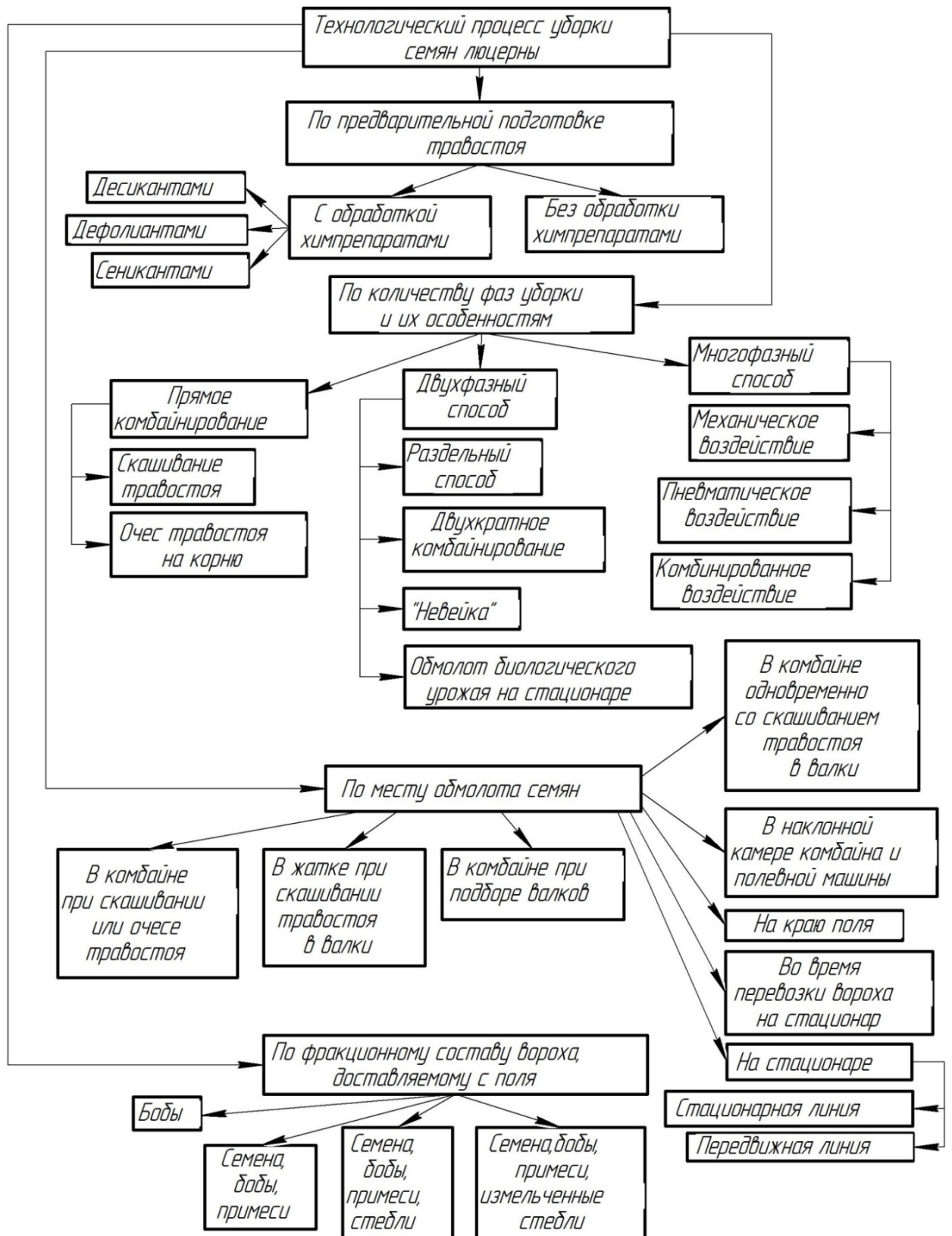


Рисунок 1.11 – Классификация технологического процесса уборки семян люцерны

Разработанная классификация технологического процесса уборки семян люцерны представлена на рисунке 1.11.

Анализ существующих и разрабатываемых технологических процессов уборки урожая люцерны позволяет сделать вывод, что разработанные и применяемые способы допускают значительные потери урожая семян. В отечественной и зарубежной практике используют разнообразные способы уборки урожая семян люцерны, что вызвано стремлением сократить потери урожая семян [101, 109, 116, 119]. Во всех рассмотренных способах уборки урожая семян (рисунок 1.11) присутствует технологическая операция домолота бобов люцерны. Однако разработанные домолачивающие устройства также допускают значительный недомолот и дробление семян. Это делает актуальным создание новых технических решений домолачивающего устройства. Ведутся исследования домолота семян люцерны [104].

С учетом специфики селекционной работы и семеноводческого процесса люцерны домолачивающее устройство должно работать в режимах порционной и непрерывной загрузки.

1.3 Обзор научно-исследовательских работ по уборке урожая семян мелкосеменных культур

Существующие семеноводческие и селекционные уборочные сельскохозяйственные машины разработаны на основе сельскохозяйственных уборочных машин производственного назначения.

Зерноуборочный комбайн создавался в первую очередь для обмолота зерновых колосовых культур. Поэтому, для обмолота других культур молотильное устройство комбайна адаптировалось к новым условиям путём изменения параметров рабочей щели и кинематического режима работы барабана, а также установкой дополнительных рабочих органов.

Значительный вклад в изучение процессов обмолота сельскохозяйственных культур и создания конструкций молотильных устройств внесли

В. П. Горячкин, В. А. Желиговский, Н. М. Летошнев, М. А. Пустыгин, И. Д. Василенко, М. В. Сабликов, Н. И. Клёнин, В. Г. Антипин, Э. И. Липкович, А. С. Старцев, А. М. Машков.

Научные основы механизации производственных процессов в селекции, сортоиспытании и первичном семеноводстве были заложены Н. Н. Ульрихом [112, 114]. Механизацией производственных процессов в селекции, сортоиспытании и первичном семеноводстве занимались А. А. Губанов, И. А. Алдошин, В. И. Анискин, Ю. Ф. Некипелов, А. С. Рохлин.

Исследованием технологического процесса уборки урожая семян кормовых трав, в частности люцерны, и созданием конструкций молотильных устройств для люцерны занимались Э. В. Жалнин, В. М. Халанский, И. В. Горбачев, В. С. Кравченко, М. И. Волошин, Г. Г. Маслов, Ф. М. Канарев, А. П. Тарасенко, С. Д. Ридный, В. Н. Солнцев, Р. С. Соколов, А. Н. Попов, Р. Н. Карпенко и др.

Урожайность семян люцерны низкая – 1,0...2,0 ц/га, в то время как на орошении получают 4,0...5,0 ц/га [6]. Снижение потенциального урожая семян, которым обладают сорта люцерны, от вредителей и болезней люцерны, а также сорной растительности происходит еще до уборки урожая [24, 77]. Потери семян люцерны в процессе уборки урожая, обусловленные агробиологическими особенностями этой культуры и физико-механическими свойствами ее семян, изучали многие исследователи [13, 34, 44, 46, 49, 50, 54, 78, 81, 96, 113, 118]. Потери семян люцерны происходят в течении всего технологического процесса уборки урожая: при скашивании травостоя, при обмолоте скошенной листостебельной массы, в скошенной массе, уложенной в валки, при подборе валков, при обработке вороха на стационаре.

В результате взаимодействия с рабочими органами машин семена подвергаются деформации сжатия, динамическим ударным нагрузкам и трению, меняя при этом форму, размеры, травмируя зародыш или разрушаясь. А. А. Пугачев [81], А. П. Тарасенко [103, 106], С. Д. Птицын [80], Н. Г. Соколов [95] пришли к выводу, что способность семенного материала сопротив-

ляться повреждениям от механических воздействий зависит от его состояния – содержания влаги и величины исходных повреждений, а также физико-механических свойств (геометрических параметров, массы, прочностных характеристик). Наличие поврежденных семян приводит к снижению полевой всхожести и как следствие снижению урожайности [81, 125].

Разработанная классификация видов потерь урожая семян люцерны представлена на рисунке 1.12.

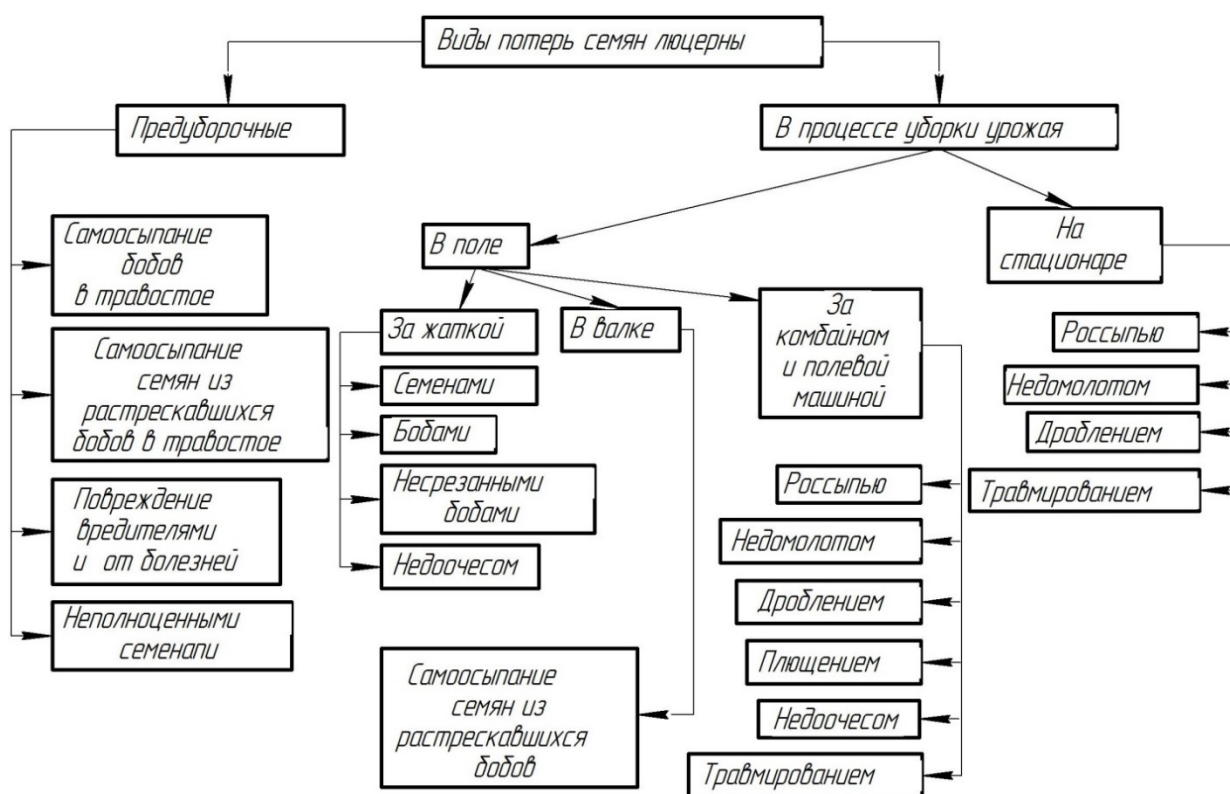


Рисунок 1.12 – Классификация видов потерь урожая семян люцерны

Разработано несколько методов исследования разрушения связей зерна в колосе: метод удара с трением на маятниковом копре, метод инерционных сил, метод выделения зерна при ударе по колосу вращающейся плоской пластиной и выделение зерна из колоса центрифугированием [10, 42]. Эти методы позволяют количественно определить усилие на работу, которую необходимо провести для выделения одного зерна из колоса. Однако они не раскрывают сущность физического явления разрушения связей зерна в колосе

или разрушения боба и связи семян в нем, в результате чего семена выделяются из боба.

В. Н. Еремин и В. В. Гагулин изучили усилия, вызывающие разрушение зерна в зависимости от их размеров [34]. Крупные зерна разрушались при следующей прикладываемой нагрузке: твердой пшеницы при 17...21 кгс, ячменя при 17...21 кгс, ржи при 16...18 кгс. Разрушение мелких зерен происходило при нагрузке: твердой пшеницы при 8...11 кгс, ячменя при 12...14 кгс, ржи при 6...8 кгс.

С. В. Мельников изучил усилия, вызывающие разрушение зерна ячменя в зависимости от положения прикладываемой нагрузки [56]. Он определил усилия, вызывающие разрушение зерна ячменя, прикладываемые в трех положениях: «спинка-бороздка» - 20,9 кгс, «бочок-бочок» - 13,7 кгс, «стоя» - 14,5 кгс.

А. В. Асатурян экспериментально определил величину допускаемого напряжения для зерна мягкой пшеницы с содержанием влаги 11,5 %, прикладываемого в трех положениях: «спинка-бороздка» - 8,5 МПа, «бочок-бочок» - 10,5 МПа, «стоя» - 7,9 МПа, а также модуль Юнга (Е) в положениях: «спинка-бороздка» - 50,6 МПа, «бочок-бочок» - 62,4 МПа, «стоя» - 47,6 МПа [5].

Для зерна основных зерновых колосовых культур определено разрушающее усилие в зависимости от содержания влаги: для оболочки 9,5...31,5 МПа, для эндосперма – 1,7...3,3 МПа [58]. Наличие микротрещин в оболочке зерен или семян снижает их механическую прочность. Трещины вызывают местную концентрацию напряжений, что приводит к разрушению оболочки зерна [129].

С. Д. Птицын изучал ударное действие на зерно. В его опытах груз массой 200 г падал на зерно с заданной высоты. Он установил, что с повышением содержания влаги в зерне, прочность зерна увеличивается до определенных значений, а затем резко снижается [80].

А. М. Гимадиев экспериментально изучил процесс ударного разрушения зерна зерновых сельскохозяйственных культур и определил критическую ско-

рость удара [20]. Экспериментальная установка позволяла изменять скорость движения зернового потока, путем регулирования рабочего давления воздуха. Проводилась киносъемка зерна в полете к плоскости, ударе о плоскость и полет зерна после отскока. Скорость киносъемки регулировали в пределах 3500...5000 кадров в секунду. А. М. Гимадиев установил, что коэффициент восстановления зерна пшеницы с содержанием влаги 14,0 % с увеличением скорости удара увеличивается и при скорости 10 м/с достигает максимального значения – 0,50. При дальнейшем увеличении скорости удара значение коэффициента восстановления уменьшалось. Эта закономерность подтвердилась на других изучаемых зерновых культурах при содержании влаги в зерне в пределах 9,0 ...11,0 %. Критическая скорость удара для зерна ячменя равна 12,0 м/с, а коэффициент восстановления – 0,53; критическая скорость удара для зерна ржи равна 10,0 м/с, а коэффициент восстановления – 0,47; критическая скорость удара для овса равна 13,0 м/с, а коэффициент восстановления – 0,43; критическая скорость удара для кукурузы равна 6,0 м/с, а коэффициент восстановления – 0,57. Исследователь интерпретирует полученную закономерность следующим образом. При докритической величине скорости удара, проявляются упругие свойства зерна и кинетическая энергия удара расходуется на восстановление скорости его при отскоке. При превышении критической величины скорости удара деформация зерна вызывает образование внутренних и внешних трещин и последующее разрушение зерна [20].

Изучение работ, посвященных прочности зерна, семян позволяет сделать вывод о том, что величина разрушающей нагрузки меняется в значительных пределах – от 60 Н до 200 Н и зависит от ряда факторов: сорта, содержания влаги, размера, вида деформации и др. Семена люцерны при обмолаоте не должны подвергаться деформации сжатия и центральному удару.

Уборку семян начинают при наличии в кистях 80-90 % бурых бобов, в зависимости от состояния семенного травостоя, погодных условий и способа уборки. Основной способ уборки – раздельный. Уборку с подработкой на стационарном пункте производят в 3 этапа:

1) скашивание массы в валки, 2) подбор валков зерноуборочными комбайнами, специально переоборудованными (сбор вороха в бункер или в транспортное средство) и транспортировка массы на стационарный пункт, 3) подработка семян: обмолот, очистка и сушка на стационарном пункте. Как правило, предусмотрен двойной обмолот для не вымолоченных семян. После обмолота и очистки семена затариваются в мешки, а солома и измельченная солома идет на корм.

К обмолоту люцерны предъявляются следующие требования [38]:

– полное отсутствие сортосмешивания, т. е. по окончании работы с каким-либо селекционным номером, гибридом или сортом люцерны, как в рабочих органах, так и во всей машине не должно оставаться ни одного семени, причем должен быть обеспечен достоверный контроль выполнения этого требования;

– дробление семян не более 1 %;

– недомолот семян не более 1 %.

Согласно сформулированной гипотезе для выделения семян из боба его необходимо подвергнуть деформации сжатия и одновременно воздействию сил трения, а для обеспечения устойчивого протекания технологического процесса обмолачиваемый материал следует привести в псевдооживленное («кипящее») состояние.

Технологическая операция обмолота в селекционном процессе и семеноводческом отличаются [60]. В первом случае – устройство для обмолота работает в режиме порционной загрузки, во втором – непрерывной подачи обмолачиваемого вороха.

Вывод: устройство для обмолота бобов люцерны, с учетом специфики селекционных работ и семеноводческого процесса должно иметь две модификации.

1.4 Выводы по главе. Цель и задачи исследований

Анализ приведенных выше исследований позволяет сделать следующие выводы:

1. Небольшие по размеру семена люцерны в сравнении с семенами большинства других сельскохозяйственных культур, небольшая масса самого семени и высокая степень неравномерности созревания этой бобовой культуры затрудняют уборку урожая семян без потерь. Поскольку семена находятся в бобах, то необходима технологическая операция выделения семян из бобов, которая может выполняться отдельно или совмещаться со скашиванием травостоя. Это следует учитывать при разработке рабочих органов при обмолоте люцерны при уборке.

2. Анализ существующих и разрабатываемых технологических процессов уборки урожая люцерны позволяет сделать вывод, что разработанные и применяемые способы допускают значительные потери урожая семян. В отечественной и зарубежной практике используют разнообразные способы уборки урожая семян люцерны, что вызвано стремлением сократить потери урожая семян. Во всех рассмотренных способах уборки урожая семян присутствует технологическая операция домолота бобов люцерны. Однако разработанные домолачивающие устройства также допускают значительный домолот и дробление семян. Это делает актуальным создание новых технических решений домолачивающего устройства. С учетом специфики селекционной работы и семеноводческого процесса люцерны домолачивающее устройство должно работать в режимах порционной и непрерывной загрузки.

3. Разработано несколько методов исследования разрушения связей зерна в колосе: метод удара с трением на маятниковом копре, метод инерционных сил, метод выделения зерна при ударе по колосу вращающейся плоской пластиной и выделение зерна из колоса центрифугированием. Эти методы позволяют количественно определить усилие на работу, которую необходимо провести для выделения одного зерна из колоса. Однако они не рас-

крывают сущность физического явления разрушения связей зерна в колосе или разрушения боба и связи семян в нем, в результате чего семена выделяются из боба.

4. Изучение работ, посвященных прочности зерна, семян позволяет сделать вывод о том, что величина разрушающей нагрузки меняется в значительных пределах – от 60 Н до 200 Н и зависит от ряда факторов: сорта, содержания влаги, размера, вида деформации и др. Руководствуясь этими данными, целесообразно разрабатывать рабочие органы молотильного устройства, позволяющие минимизировать деформацию сжатия и центральный удар

Таким образом, существует объективная необходимость в разработке устройства для обмолота бобов люцерны на этапах селекции и первичного семеноводства, обеспечивающего минимальные потери семян дроблением, недомолотом и россыпью.

Целью настоящей работы является оптимизация параметров и режима работы обмолачивающего устройства с рабочими органами в форме плоской вращающейся пластины и в форме диска для снижения потерь семян люцерны на этапах селекции и первичного семеноводства.

Объектом исследования является технологический процесс обмолота бобов люцерны и устройства для его осуществления.

Предмет исследования – зависимость потерь семян люцерны от конструктивных и режимных параметров обмолачивающего устройства.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи:

- разработать конструктивно-технологические схемы устройств для обмолота бобов люцерны на этапах селекции и первичного семеноводства;
- установить математические зависимости обмолота бобов люцерны в псевдооживленном слое;
- изучить размерную характеристику бобов и семян люцерны;
- экспериментальным путем определить оптимальные параметры и режимы работы устройств для обмолота бобов люцерны на этапах селекции и первичного семеноводства;

- провести сравнительную оценку результатов теоретических и экспериментальных исследований процесса обмолота бобов люцерны разработанными устройствами;

- дать экономическую оценку эффективности применения разрабатываемых устройств для обмолота бобов люцерны.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБМОЛОТА БОБОВ ЛЮЦЕРНЫ

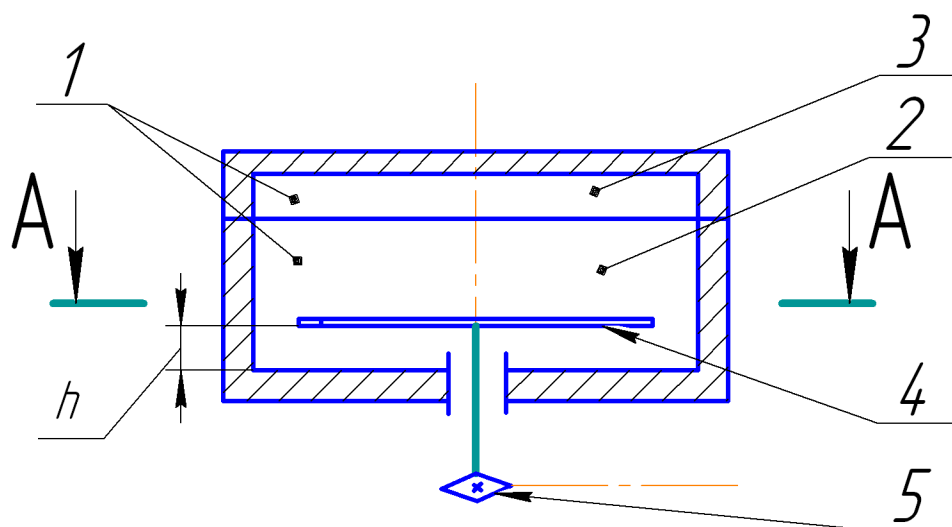
2.1 Обоснование конструктивно-технологической схемы устройства для обмолота бобов люцерны

Согласно сформулированной гипотезе для выделения семян из боба его необходимо подвергнуть деформации сжатия и одновременно воздействию сил трения, а для обеспечения устойчивого протекания технологического процесса обмолачиваемый материал следует привести в псевдооживленное («кипящее») состояние.

Технологическая операция обмолота в селекционном процессе и семеноводческом отличаются [60]. В первом случае – устройство для обмолота работает в режиме порционной загрузки, во втором – непрерывной подачи обмолачиваемого вороха. Поэтому устройство для обмолота разработали в двух вариантах. Для первого варианта одним из конструктивных вариантов исполнения является рабочий орган, выполненный в виде вращающейся плоской пластины в камере, без доступа воздуха извне [51, 68, 72], представлен на рисунках 2.1 и 2.2. В процессе выполнения технологической операции обмолота под действием вращающегося ротора-пластины в молотильной камере формируются: I - воздушно-вихревая зона и зона II - псевдооживленного слоя обмолачиваемого вороха (рисунок 2.2). Объем обмолачиваемых порций селекционных номеров небольшой, но варьирует по величине в значительных пределах. Исходя из этого выбрали внутренний диаметр молотильной камеры 80 мм, а ее высоту - 57 мм.

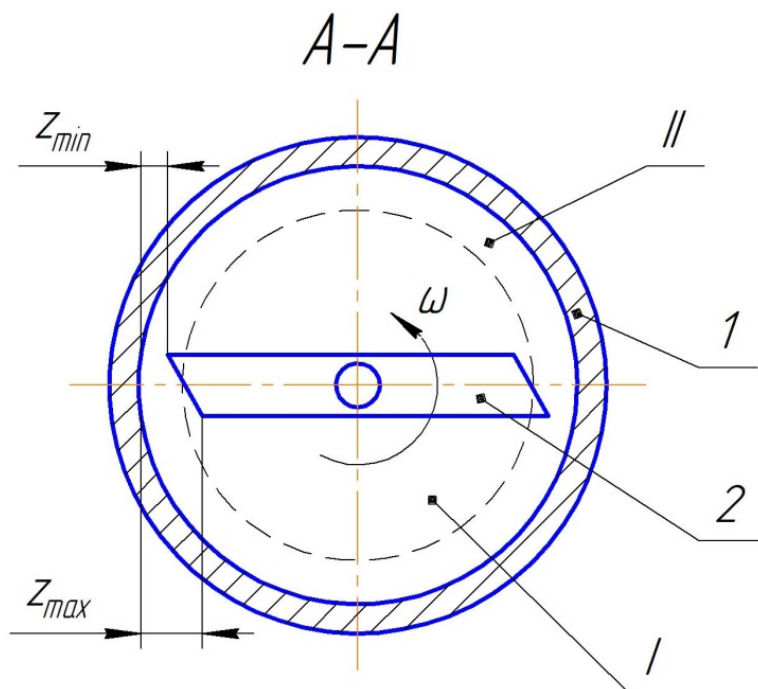
Задались геометрическими параметрами, руководствуясь условиями обеспечения наибольшей простоты конструкции. Профиль ротора-пластины выбрали симметричным и прямоугольной формы. Для обеспечения минимально возможного лобового сопротивления ротора-пластины при вращении

в молотильной камере нужно выбрать минимально возможную площадь боковой стороны ротора-пластины.



1 – молотильная камера; 2 – корпус; 3 – крышка; 4 - рабочий орган в виде ротора-пластины; 5 – привод во вращение ротора-пластины

Рисунок 2.1 – Схема устройства для обмолота с рабочим органом в виде плоской пластины, вид спереди



1 – стенка молотильная камера, 2 - ротор-пластина,
 I - воздушно-вихревая зона, II - зона псевдооживленного слоя вороха
 Рисунок 2.2 – Схема молотильного устройства для обмолота бобов люцерны на этапе селекции

Для этого ширину прямоугольного профиля ротора-пластины выбираем таким образом, чтобы она существенно превышала его высоту. Ширину профиля ротора-пластины выбираем равной 11 мм, а высоту – 1,5 мм. Тогда их соотношение равно 0,14. Устанавливаем ротор-пластину с углом атаки равным нулю.

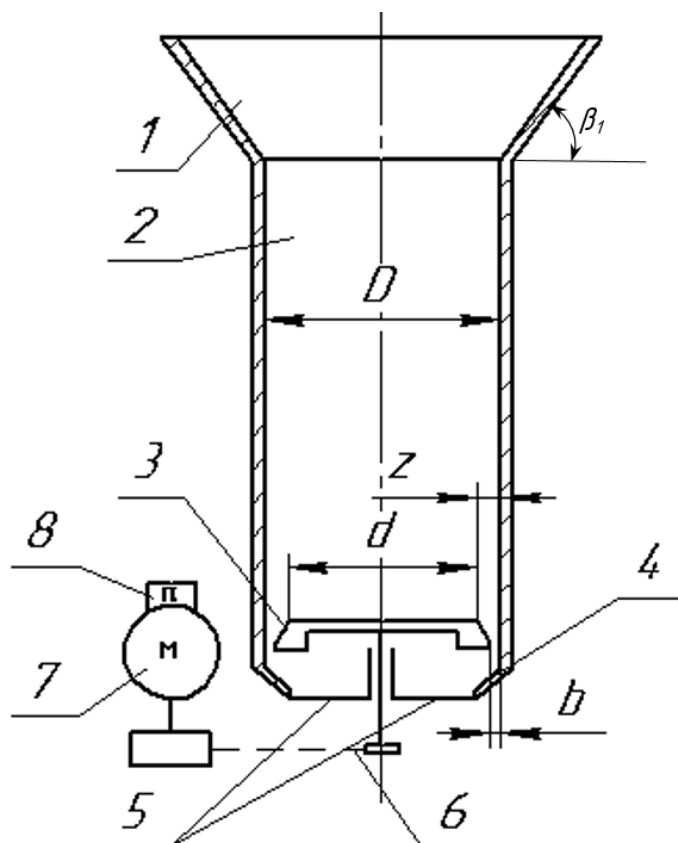
Для сформулированного выше условия о том, что семена люцерны при обмолоте не должны подвергаться деформации сжатия, необходимо чтобы зазоры между ротором и внутренней поверхностью камеры устройства для обмолота были больше размеров семян люцерны.

Кроме того, для улучшения перемещения бобов в технологическом зазоре между внутренней поверхностью стенки камеры и кромкой ротора-пластины, последнюю выполнили со скосом (рисунок 2.2). Тогда технологический зазор Z будет меняться от Z_{\min} до Z_{\max} .

Таким образом, для обеспечения процесса разрушения бобов люцерны без повреждения семян важным условием является величина зазоров между поверхностями ротора-пластины и камеры молотильного устройства. Учитывая размерные характеристики семян люцерны, а именно, длину семян, равную в интервале 1,0...2,2 мм, а также длину бобов – 5,0...5,3 мм, для предотвращения защемления семян и повреждения их поверхностями рабочих органов, допустимо выбирать зазор h между нижней поверхностью ротора-пластины и днищем камеры в интервале 3,5...4,0 мм, а зазор Z_{\min} между торцевой поверхностью ротора-пластины и боковой стенкой молотильной камеры в интервале равном 2,5...3,0 мм. Тогда радиус ротора-пластины следует задавать в интервале 37,5...37,0 мм.

Для второго варианта разработано устройство для обмолота бобов, включающее вращающийся в цилиндрической рабочей камере с диаметром D и ротор в форме диска с диаметром d [73, 74, 75] (рисунок 2.3). Технологический зазор, характеризуемый диаметрами $Z_{\text{верх}}$ и $Z_{\text{ниж}}$, в котором происходит выделение семян из бобов, образован внутренней поверхностью цилиндрической рабочей камеры и ротором-диском. Обмолачиваемый ворох само-

теком поступает в рабочую камеру через загрузочную воронку с углом наклона скатной поверхности β_1 на вращающийся ротор-диск, на котором раскручивается под действием центробежных сил. Затем обмолачиваемый ворох через кольцевой зазор, характеризуемый диаметрами $Z_{\text{верх.}}$ и $Z_{\text{ниж.}}$, поступает на скатный желоб с углом наклона скатной поверхности β_2 .



1 – загрузочная воронка, 2 – молотильная камера, 3 – ротор с вертикальной осью вращения, 4 – скатный желоб, 5 – опоры вала ротора; 6 – ременная передача; 7 – электродвигатель; 8 – регулятор скорости.

Рисунок 2.3 – Схема устройства для обмолота бобов люцерны

Технологическую операцию обмолота бобов можно разделить на четыре фазы. I фаза – перемещение обмолачиваемого семенного материала (бобов люцерны) в загрузочной воронке и подача его в молотильную камеру, II фаза – движение семенного материала в молотильной камере, III фаза – обмолот семенного материала в кольцевом зазоре между ротором и внутренней стенкой молотильной камеры, IV фаза – движение обмолоченного вороха по скатному желобу (рисунок 2.3).

Ротор-пластина и ротор-диск должны иметь весовую, геометрическую и аэродинамическую симметрии.

Вывод: устройство для обмолота бобов люцерны, с учетом специфики селекционных работ и семеноводческого процесса должно иметь две модификации.

2.2 Описание процесса обмолота бобов люцерны рабочими органами в виде пластины и сплошного диска

Сложность исследования процесса обмолота бобов люцерны обусловлена неоднородным состоянием и свойством обмолачиваемого материала – бобов люцерны, семян и створок бобов. Результатом работы обмолачивающих устройств, в конструкциях которых не учтены физико-механические особенности культуры, является недомолот, дробление и микроповреждение семян.

Процесс обмолота люцерны – выделения семян из бобов люцерны выполняем, подвергая боб деформации сжатия на величину, обеспечивающую зазор между сжимающими поверхностями больший чем размер семян. Это предотвращает деформацию сжатия семян, находящихся в бобе. Подача бобов в зону деформации обеспечивается созданием потока обмолачиваемого вороха. Процесс обмолота реализуем двумя вариантами конструкции - молотильным устройством с порционной загрузкой (рисунок 2.1) для использования в селекционной работе и молотильное устройство с непрерывной загрузкой (рисунок 2.3) для применения на этапе конкурсного и в первичном семеноводстве.

Ворох люцерны включает бобы, семена и разрушенные створки бобов, что исключает возможность однородных свойств в любом месте обмолачиваемого вороха. При этом, очевидно, что каждая частица вороха обладает относительной сплошностью. Места контакта частиц – это разрывы сплошности и жестких связей между частицами. Поэтому обмолачиваемый ворох при изу-

чении процесса обмолота бобов рассматриваем не как сплошное твердое тело или жидкость, а как сыпучее тело. Сыпучее тело характерно отсутствием сопротивления деформации растяжения и имеет сопротивление сжатию одинаковое с дискретными частицами сыпучего тела.

Вращение обмолачиваемого вороха в течение n циклов в обоих модификациях устройства для обмолота, то есть в порционном режиме или в непрерывном режиме обмолота, обеспечивает установившееся состояние циркулирующему замкнутому потоку вороха.

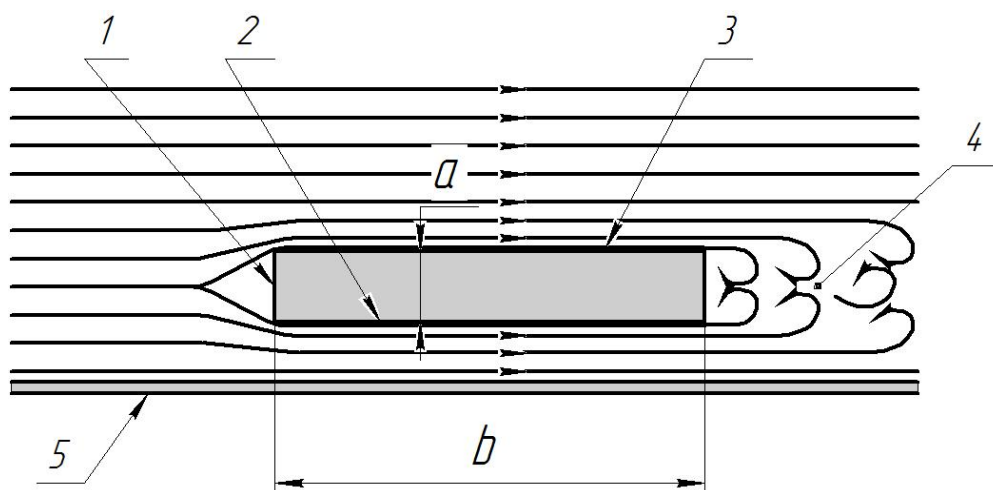
Взаимодействие частиц вороха подчиняются закону всемирного тяготения, а деформация частиц – закону Гука. Воздух сжимаем и расширяется в условиях пониженного давления.

Уточним теоретическую модель физического процесса для первого варианта молотильного устройства с порционной загрузкой (рисунок 2.1).

Рабочий орган устройства для обмолота – ротор-пластина имеет прямоугольный профиль (рисунок 2.2). Для обеспечения минимального лобового сопротивления угол атаки (угол между направлением вектора скорости набегающего на ротор-пластину воздушного потока и большей стороной профиля) равен нулю.

Рассмотрим холостой режим работы устройства для обмолота (без вороха в молотильной камере). При вращении ротора-пластины на его верхней и нижней поверхностях образуется пограничный слой [83]. Следствием вязкости воздуха, является появление тонкий слой воздуха между твердой поверхностью ротора-пластины и потоком воздуха, движущийся вместе с поверхностью ротора-пластины.

За ротором-пластиной образуется турбулентная зона, представляющая собой ограниченный вихревой поток. Ротор-пластина движется в этом слое и поддерживает его турбулентное состояние в результате своего движения (рисунок 2.4).



1 – передняя стенка ротора-пластины; 2 – боковая стенка ротора-пластины;
 3 - пограничный слой; 4 - зона турбулентности; 5 – дно камеры
 Рисунок 2.4 – Схема обдува воздушным потоком ротора-пластины

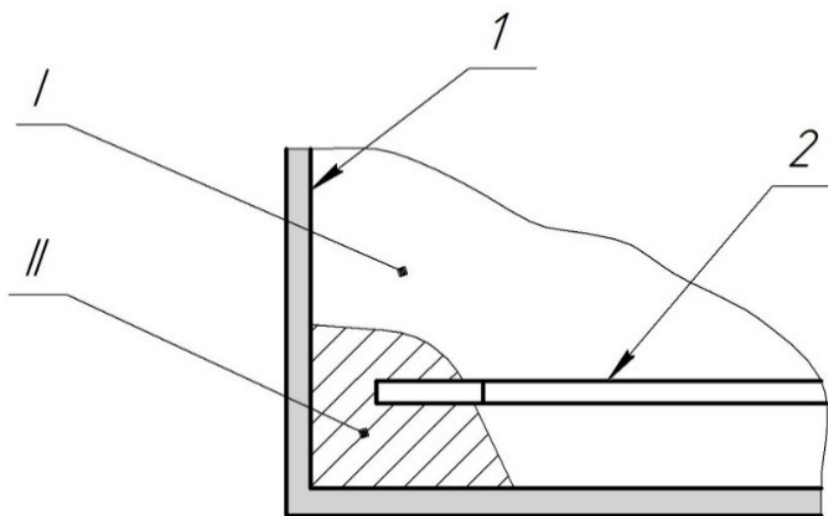
Воздействие ротора-пластины на воздух распространяется и на ближайшие слои так, что весь воздух в молотильной камере приходит в движение. У периферийных кромок ротора-пластины возле стенки камеры образуются завихрения воздуха – концевые вихри.

Рассмотрим рабочий режим работы устройства для обмолота. Вращение ротора-пластины сопровождается созданием вращающегося в камере потока вороха и атмосферного воздуха. В камере формируются две зоны – в центре воздушная воронка, а вокруг нее вихревой ворохо-воздушный кольцевой поток обмолачиваемого вороха (рисунок 2.2).

Этот поток обмолачиваемого вороха переходит в псевдооживенное состояние от механического воздействия на него вращающегося ротора. Псевдооживенному потоку вороха по аналогии с жидкостью свойственны текучесть и вязкость, подчинение закону Архимеда [31, 102, 123]. Суммарный объем частиц вороха, образующий неподвижный слой вороха, меньше объема, который занимает псевдооживенное замкнутое кольцо вороха. Величину, характеризующую рыхлость или объем пустот между частицами вороха, называют порозностью.

Под действием собственного веса и центробежной силы, создаваемой вращением ротора-пластины, частицы вороха (бобы, семена, створки бобов и

их части) в псевдооживленном слое будут перемещаться в зону стыка боковой стенки и дна камеры (рисунок 2.5).



1 – стенка молотильной камеры; 2 – ротор-пластина;
I – зона циркуляции вороха; II – зона обмолота бобов

Рисунок 2.5 – Схема обмолота бобов люцерны в молотильной камере

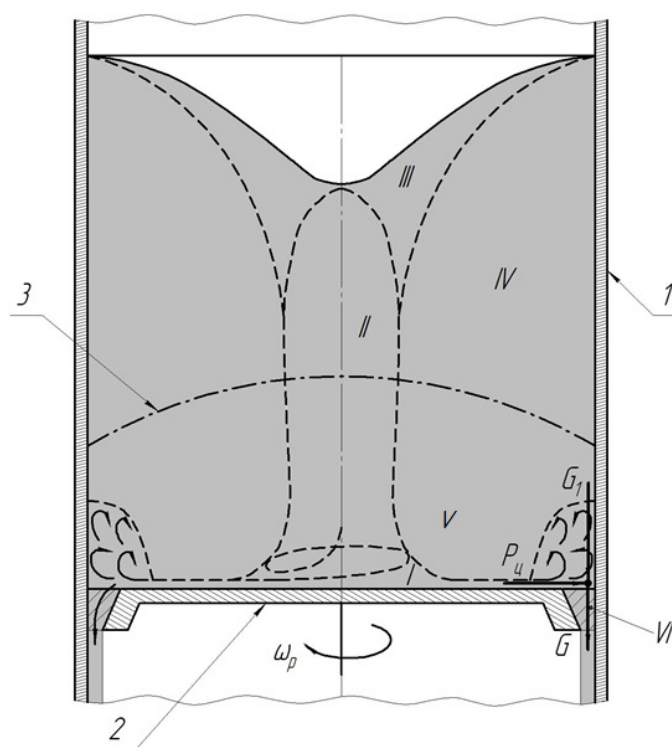
При этом согласно нашей гипотезы будет происходить расслоение частиц вороха. Более легкие частицы будут перемещаться вверх, а более тяжелые - в нижнюю часть псевдооживленного слоя обмолачиваемого материала. Поскольку наиболее тяжелая фракция вороха – не вымолоченные бобы, то такое явление будет способствовать интенсификации процесса обмолота бобов. Обусловлено это, тем, что не вымолоченные бобы как более тяжелые перемещаются в ворохе в зону обмолота бобов (рисунок 2.5).

Величина высоты профиля a равна 1,5 мм, а ее отношение к длине b равно 0,14 (рисунок 2.4). Поскольку размер боба больше высоты профиля ротора-пластины и бобы двигаются в обтекающих профиль потоках воздуха, то сформулировали гипотезу о том, что при контакте боба с ротором-пластиной будет происходит безударное обтекание профиля ворохом. Другими словами, не будет происходить явления центрального удара боба о переднюю стенку профиля ротора-пластины.

Ротор-пластина вращается с большой скоростью относительно воздуха и бобов, которые вовлекаются во вращательное движение в камере устройства для обмолота.

Уточним теоретическую модель физического процесса для второго варианта устройства для обмолота бобов люцерны с непрерывной загрузкой (рисунок 2.3).

Бобы люцерны загружают в молотильную камеру, являющейся накопителем обмолачиваемой массы, поступающей на обмолот. Движение нижних слоев бобов в молотильной камере передается, опирающимся на них верхним слоям, нарушая их равновесие. При этом деформация сдвига уменьшает число контактных связей частиц сыпучего материала – бобов, что приводит к снижению напряжений в сыпучем материале [110]. Такое движение будем рассматривать как непрерывный процесс пластических деформаций сдвига, в котором происходит свободное падение частиц.



1 – стенка камеры, 2 – ротор, 3 – саморазгружающийся динамический свод
Рисунок 2.6 – Схема зон обмолота

Происходит непрерывное движение бобов в зону обмолота – кольцевого зазора. Здесь бобы в результате деформации сжатия разрушаются. Происходит их обмолот. Продукты обмолота семена люцерны, створки бобов и их

части под действием собственного веса проходят сквозь кольцевое зазора, а затем подаются на следующую операцию – отделения семян от примесей (рисунок 2.6).

Управление движением сыпучей массы – бобов в молотильной камере устройства осуществляем путем внешнего воздействия на нее вращающимся ротором. Над вращающимся ротором, являющимся подвижным дном молотильной камеры цилиндрической формы, находится зона I движения бобов к стенке молотильной камеры под действием центробежных сил $P_{ц}$. Над этой зоной в центре молотильной камеры образуется столбообразная зона II, в которой бобы движутся вертикально вниз с большей скоростью чем остальная масса бобов.

Столбообразное движение вызывает образование зоны III у поверхности сыпучей массы, в которой бобы движутся в зону I, что приводит к образованию воронки на поверхности обмолачиваемой массы, находящейся в молотильной камере. Зона IV находится между зоной I и стенкой молотильной камеры. Из этой зоны бобы перемещаются в зоны I, II и III. На границе I и II зон столбообразное движение сыпучей массы бобов переходит в движение по винтовой траектории. В зоне V, находящейся над кольцевым зазором, бобы переходят в псевдооживленное состояние и под действием собственного веса и слоев бобов зоны IV поступают в зону VI обмолота бобов, находящуюся в кольцевом зазоре. Вымолоченные семена и примеси под действием собственного веса удаляются из устройства на следующую технологическую операцию - отделения семян от примесей.

Вращающийся ротор, образующий подвижное дно молотильной камеры цилиндрической формы, и кольцевой зазор образуют выпускное квазиотверстие молотильной камеры, площадь которого равна:

$$S_o = \pi R_k , \quad (2.1)$$

где S_o - площадь выпускного квазиотверстия, m^2 ; R_k - радиус молотильной камеры, м.

Рассмотрим физический процесс обмолота для второго варианта устройства обмолота бобов люцерны (рисунок 2.3) в другом аспекте, приняв гипотезу саморазгружающегося динамического свода [79]. Для обмолота бобов люцерны ими заполняют рабочую камеру устройства, и бобы перемещаются под действием собственного веса по ней вниз к выпускному квазиотверстию.

Согласно принятой гипотезе скорость истечения сыпучего материала из квазиотверстия зависит от высоты динамического свода и не зависит от высоты столба сыпучего материала над этим сводом. Общепринято, что вес сыпучего материала, находящегося над отверстием, передается частично на стенки емкости за счет внутреннего трения, а также уравнивается сопротивлением свода. Высоту динамического саморазгружающегося свода над выпускным квазиотверстием определили из выражения [79]:

$$h_c = \frac{D_o}{2f_b}, \quad (2.2)$$

где h_c – высота динамического саморазгружающегося свода, м; D_o - диаметр выпускного квазиотверстия, м; f_b - коэффициент внутреннего трения бобов люцерны.

или

$$h_c = \frac{R_k}{f_b}, \quad (2.3)$$

Из выражения (2.3) следует, что высота динамического свода обмолачиваемой массы бобов не зависит от величины и характера, действующих на бобы материала сил, а определяется размером квазиотверстия и внутренним трением бобов люцерны. Среднюю высоту динамического свода, с которой выпадают бобы люцерны, определили исходя из рекомендации А. Н. Семёнова [92] из равенства:

$$h_{cp} = 0,75 \frac{R_k}{f_b}, \quad (2.4)$$

где h_{cp} – средняя высота динамического свода, м; R_k - радиус выгрузного отверстия, м.

Тогда, минимальное время прохождения бобом пути до квазиотверстия равно:

$$t_{\min} = \sqrt{\frac{2h_{cp}}{g}}, \quad (2.5)$$

где t_{\min} – минимальное время прохождения бобом пути до выгрузного квазиотверстия, с.

Подставив равенство (2.4) в выражение (2.5), окончательно получили

$$t_{\min} = \sqrt{\frac{1,5R_k}{gf_B}} \quad (2.6)$$

Подставили числовые значения в выражение (2.6) и построили графики (рисунки 2.7 и 2.8).

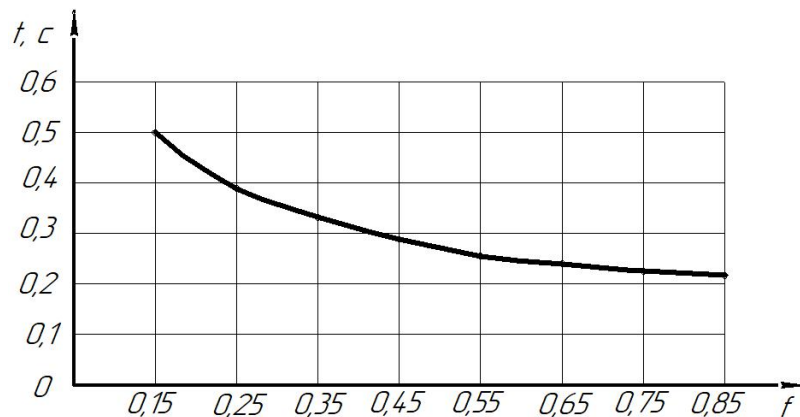


Рисунок 2.7 – Зависимость минимального времени прохождения бобом люцеры от середины динамического свода до выпускного квазиотверстия от коэффициента внутреннего трения бобов люцеры

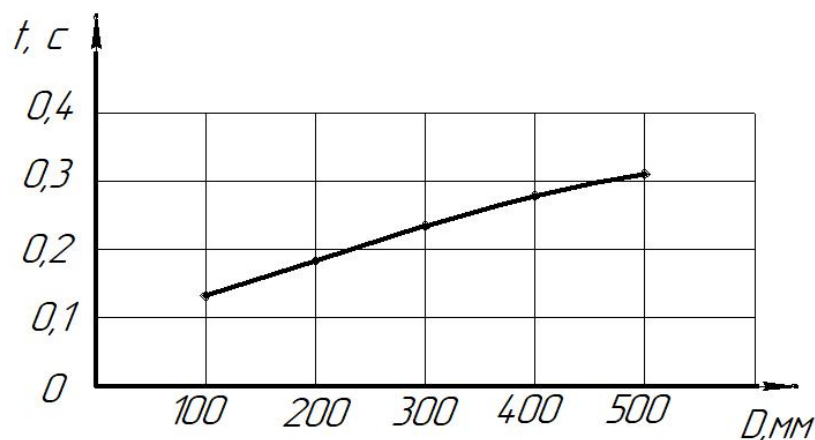


Рисунок 2.8 – Зависимость минимального времени прохождения бобом люцеры от середины динамического свода до выпускного квазиотверстия от диаметра отверстия рабочей камеры

Графики иллюстрируют зависимость затрат времени прохождения пути частицами от коэффициента внутреннего трения бобов люцерны и диаметра отверстия рабочей камеры.

2.3 Движение боба в камере устройства для обмолота

Рассмотрели взаимосвязь геометрических параметров устройства для обмолота и боба люцерны, приняв теоретически обоснованную форму боба – цилиндр (рисунок 2.9).

Начальный угол контакта α_0 на периферийной кромке ротор-пластины в зависимости от радиуса окружности боба и параметров устройства для обмолота нашли с помощью теоремы косинусов.

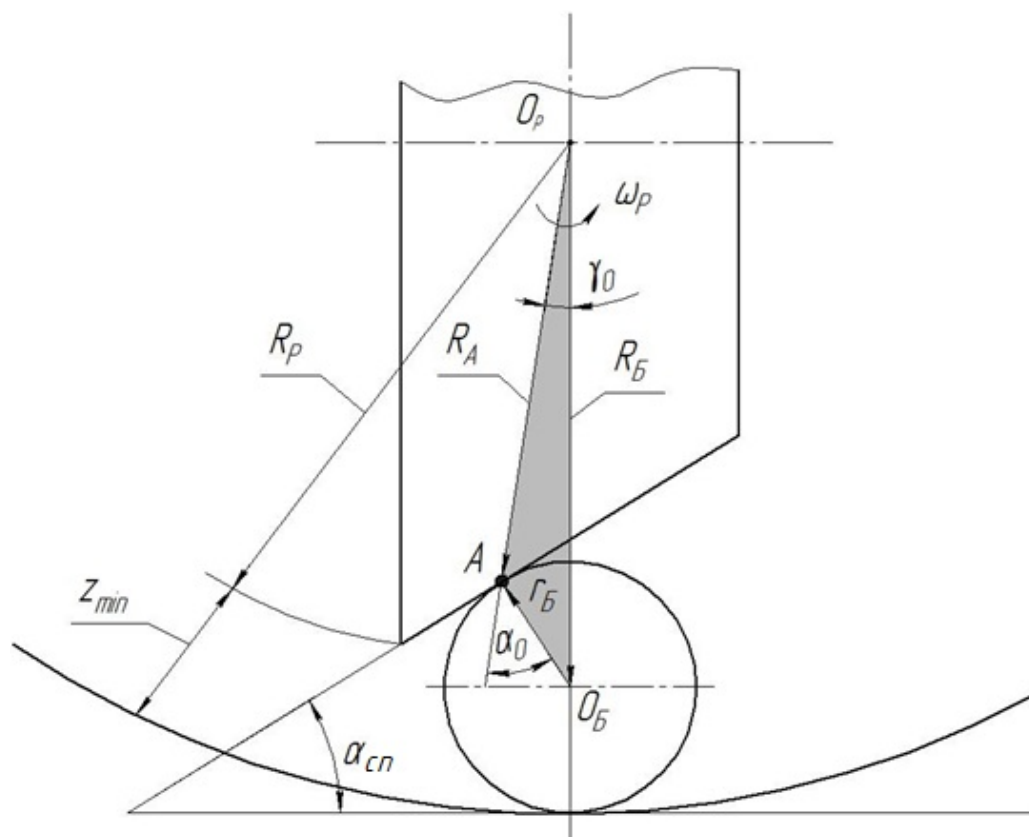


Рисунок 2.9 – Схема к определению взаимосвязи геометрических параметров устройства для обмолота и боба люцерны

Из треугольника $O_p A O_b$:

$$(O_p O_b)^2 = (O_p A)^2 + (A O_b)^2 + 2(O_p A)(A O_b) \cos \alpha_0 . \quad (2.7)$$

Расстояние между центрами ротора и боба $O_P O_B$ обозначим через R_B . Оно равно:

$$O_P O_B = R_B = R_{max} + z_{min} - r_B, \quad (2.8)$$

где R_{max} – максимальный радиус ротора-пластины, м; Z_{min} – минимальный зазор между кромкой ротора-пластины и стенкой камеры, м; r_B – радиус боба, м.

Расстояние от центра вращения ротора-пластины $O_P A$ до точки контакта A обозначили через R_A , тогда из выражения (2.7) начальный угол контакта α_0 равен:

$$\alpha_0 = \arccos \frac{(R_{max} + z_{min} - r_B)^2 - R_A^2 - r_B^2}{2R_A r_B}. \quad (2.9)$$

Угол деформации боба γ_0 (рисунок 2.9) – это угол, на который надо переместится точке A кромки ротора-пластины относительно боба, чтобы получить наибольшую его деформацию. Угол γ_0 определили из треугольника $O_P A O_B$ по теореме синусов [7]:

$$\frac{R_B}{\sin(180 - \alpha_0)} = \frac{r_B}{\sin \gamma_0}. \quad (2.10)$$

Откуда

$$\gamma_0 = \arcsin \frac{r_B \sin \alpha_0}{R_B}. \quad (2.11)$$

Угол деформации сжимающих поверхностей $\alpha_{сп}$ определили из треугольника $O_P A O_B$:

$$R_A^2 = R_B^2 + r_B^2 - 2R_B r_B \cos \alpha_{сп} \quad (2.12)$$

Откуда угол деформации сжимающих поверхностей $\alpha_{сп}$ равен:

$$\alpha_{сп} = \arccos \frac{R_B^2 + r_B^2 - R_A^2}{2r_B(R_{max} + z_{min} - r_B)} \quad (2.13)$$

При числовых значениях: максимальном радиусе ротора-пластины равном 37 мм, минимальном зазоре между кромкой ротора-пластины и стенкой камеры равном 3 мм, радиусе боба люцерны – 2,5 мм, радиусе качения боба по внутренней поверхности молотильной камеры – 37,5 мм из выраже-

ний (2.9), (2.11), (2.13) начальный угол контакта α_0 равен $23^{\circ}21'$, угол деформации боба γ_0 равен $1^{\circ}30'$ и угол деформации сжимающих поверхностей $\alpha_{сп}$ равен $21^{\circ}33'$.

Анализируя кинематику устройства для обмолота (рисунок 2.10), определили скорость точки A кромки ротора-пластины из выражения:

$$V_A = \omega_p R_A . \quad (2.14)$$

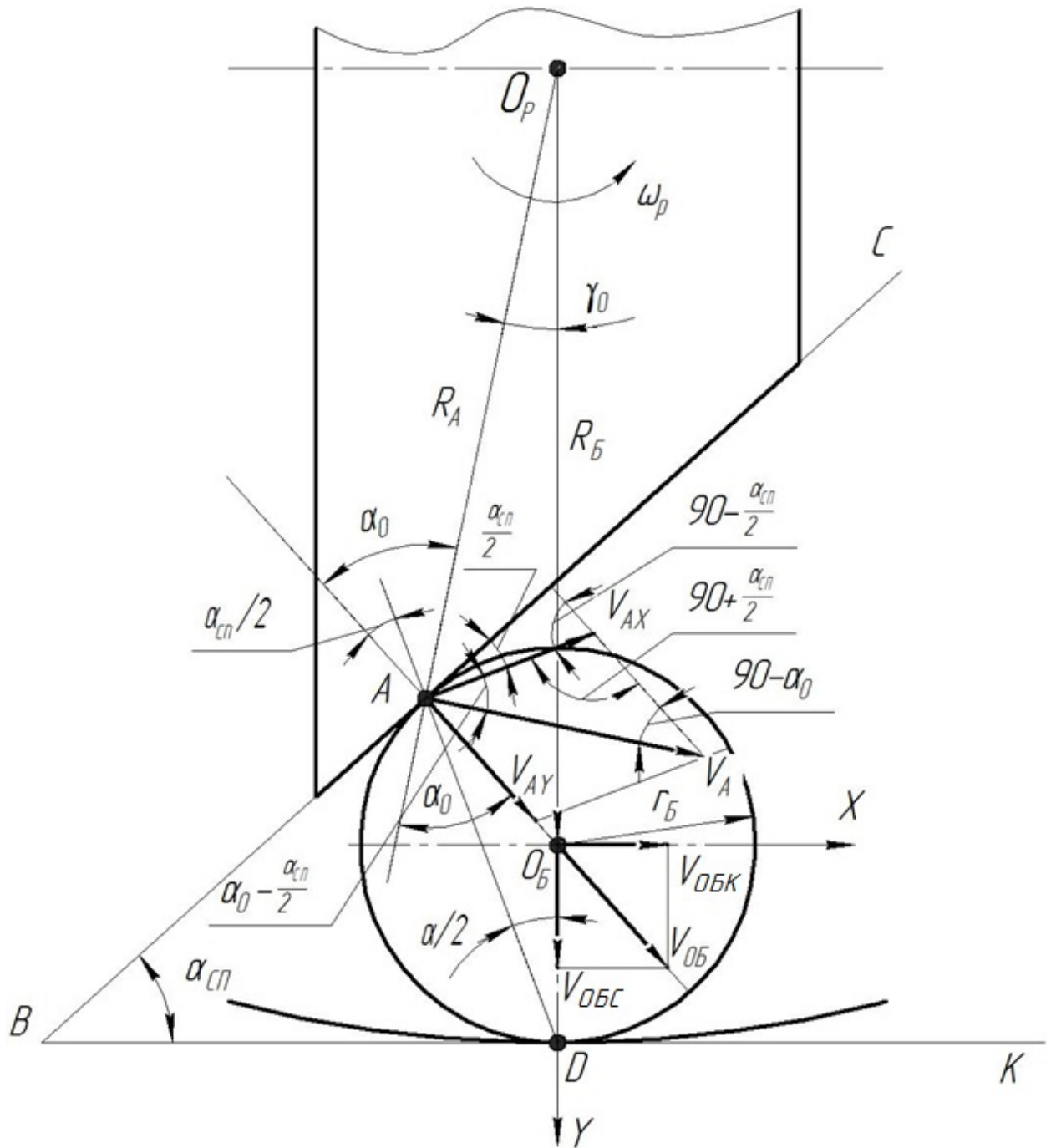


Рисунок 2.10 – Схема к определению скорости движения боба люцерны

Разложили вектор скорости V_A точки A по направлениям: перпендикулярно прямой AD , соединяющей точку A и мгновенный центра вращения в точке D , а также по прямой, проходящей через точку A и центр образующей окружности боба O_B .

Первая составляющая скорости точки A - V_{AX} характеризует скорость движения точки A относительно мгновенного центра вращения D и определяет скорость центра образующей окружности боба $V_{ОБК}$ от его перекатывания. Вторую составляющую скорости точки A - V_{AY} перенесли по линии ее действия в центр образующей окружности боба и разложили по направлениям осей X и Y . Вектор скорости по направлению оси X будет характеризовать вторую составляющую скорости центра образующей окружности боба $V_{ОБС}$.

Скорость центра образующей окружности боба $V_{ОБ}$, с учетом его проскальзывания и качения, нашли как сумму:

$$V_{ОБ} = V_{ОБК} + V_{ОБС} \quad (2.15)$$

Из треугольника (рисунок 2.10) по теореме синусов

$$\frac{V_A}{\sin 90 + \frac{\alpha_{СП}}{2}} = \frac{V_{AX}}{\sin(90 - \alpha_0)} = \frac{V_{AY}}{\sin(\alpha_0 - \frac{\alpha_{СП}}{2})} \quad (2.16)$$

Откуда

$$V_{AX} = \frac{V_A \cos(\alpha_0 - \frac{\alpha_{СП}}{2})}{\cos \frac{\alpha_{СП}}{2}} \quad (2.17)$$

$$V_{AY} = \frac{V_A \sin \alpha_0}{\cos \frac{\alpha_{СП}}{2}} \quad (2.18)$$

Расстояние от точки A до полюса D равно отрезку AD :

$$AD = r_B \sqrt{2(1 + \cos \alpha_{СП})} \quad (2.19)$$

Тогда

$$V_{ОБК} = \frac{V_{AX} r_B}{AD}, \quad (2.20)$$

или

$$V_{\text{ОБК}} = \frac{V_A \cos(\alpha_0 - \frac{\alpha_{\text{СП}}}{2})}{1 + \cos \alpha_{\text{СП}}} \quad (2.21)$$

$$V_{\text{ОБС}} = V_{\text{АУ}} \sin \alpha_{\text{СП}} \quad (2.22)$$

или

$$V_{\text{ОБС}} = \frac{V_A \sin \alpha_0 \sin \alpha_{\text{СП}}}{\cos \frac{\alpha_{\text{СП}}}{2}} \quad (2.23)$$

Тогда выражение (2.15) примет вид:

$$V_{\text{ОБ}} = \frac{V_A \cos(\alpha_0 - \frac{\alpha_{\text{СП}}}{2})}{1 + \cos \alpha_{\text{СП}}} + \frac{V_A \sin \alpha_0 \sin \alpha_{\text{СП}}}{\cos \frac{\alpha_{\text{СП}}}{2}} \quad (2.24)$$

или

$$V_{\text{ОБ}} = \frac{V_A [\cos(\alpha_0 - \frac{\alpha_{\text{СП}}}{2}) + 2 \cos \frac{\alpha_{\text{СП}}}{2} \sin \alpha_0 \sin \alpha_{\text{СП}}]}{2 \cos^2 \frac{\alpha_{\text{СП}}}{2}} \quad (2.25)$$

Тогда

$$\omega_{\text{ОБ}} = \frac{V_{\text{ОБ}}}{R_{\text{Б}}} \quad (2.26)$$

или

$$\omega_{\text{ОБ}} = \frac{V_A [\cos(\alpha_0 - \frac{\alpha_{\text{СП}}}{2}) + 2 \cos \frac{\alpha_{\text{СП}}}{2} \sin \alpha_0 \sin \alpha_{\text{СП}}]}{R_{\text{max}} + z_{\text{min}} - r_{\text{Б}}} \quad (2.27)$$

Определили величину и скорость деформации сжатия боба между кромкой ротор-пластины и боковой поверхностью молотильной камеры устройства для обмолота с учетом проскальзывания и качения боба по боковой поверхности молотильной камеры (рисунок 2.11).

Предпосылка: величина деформации сжатия боба определяется глубиной проникновения кромки ротора-пластины в боб в направлении прямой, соединяющей центр окружности образующей боба с кромкой ротор-пластины. Приняли, что скорость боба в точке его контакта с кромкой ротор-пластины равна скорости точки контакта кромки ротор-пластины (рисунок 2.12).

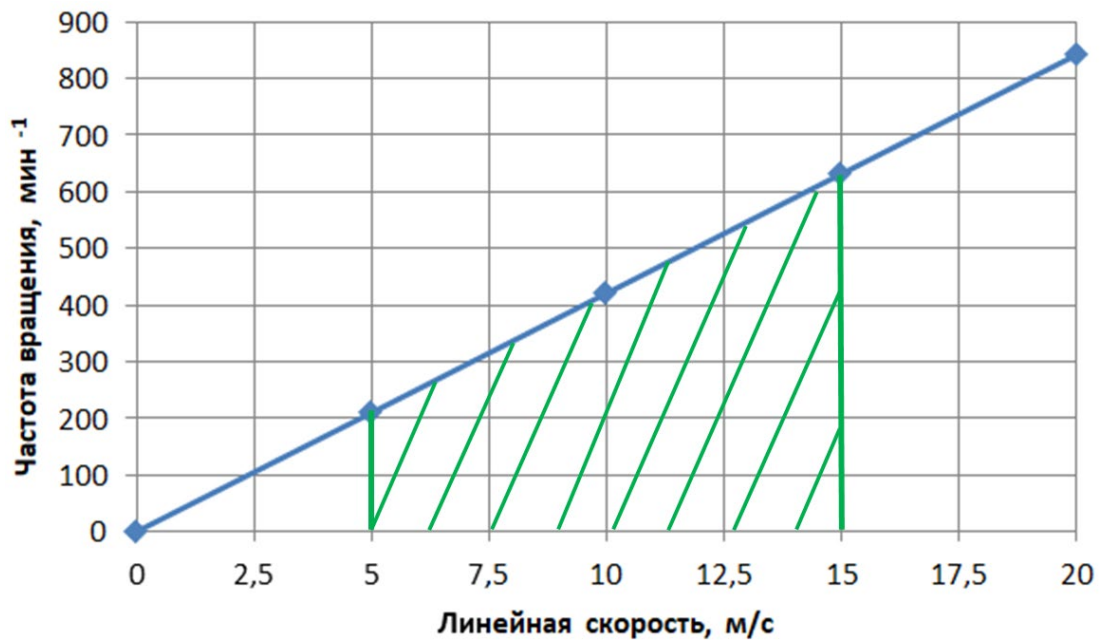


Рисунок 2.11 – График зависимости частоты вращения пластины от линейной скорости боба люцерны

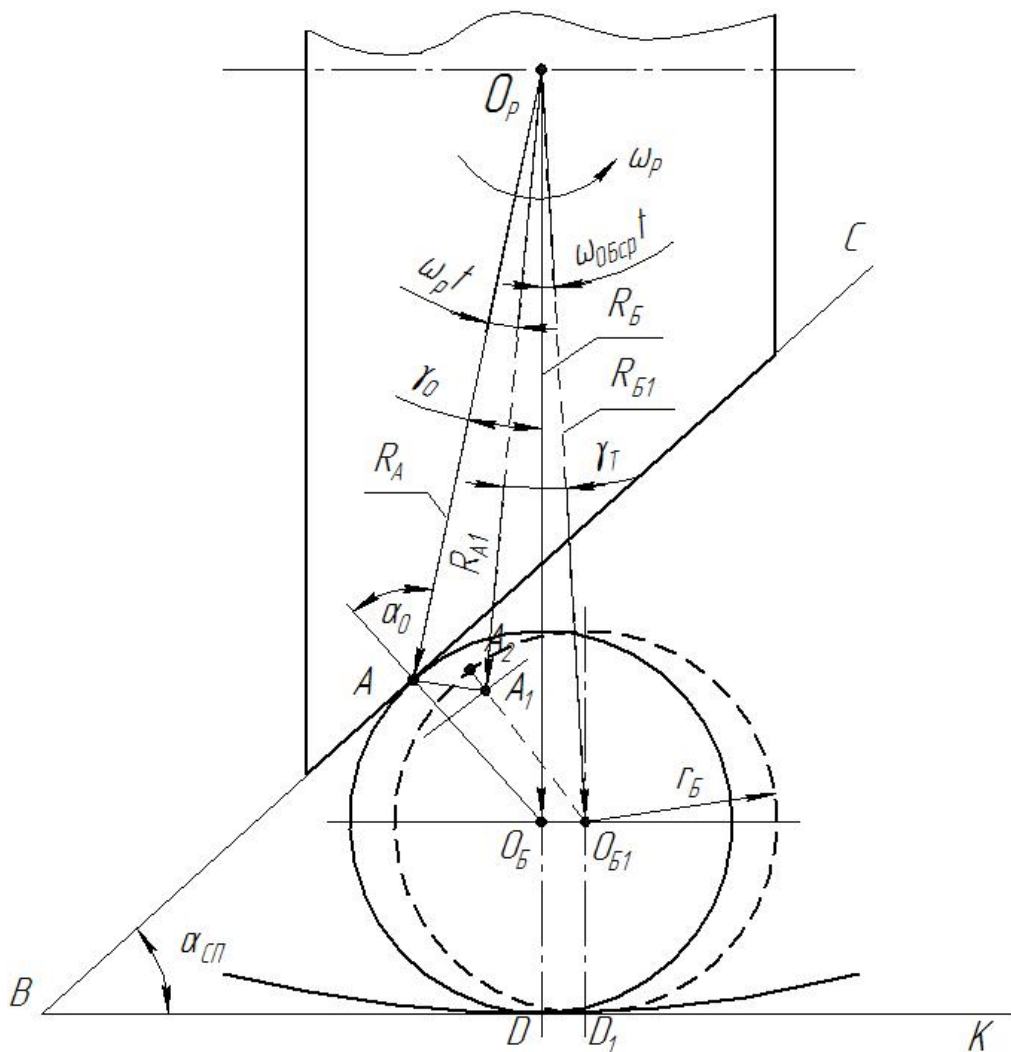


Рисунок 2.12 – Схема к определению величины и скорости деформации сжатия боба

При скорости V_A , равной 10 м/с, R_{\max} равном 37 мм; Z_{\min} равном 3 мм; r_b равном 2,5 мм; α_0 равном $23^\circ 21'$; $\alpha_{СП}$ равном $23^\circ 33'$ угловая скорость боба $\omega_{ОБ}$ будет равна $421,47 \text{ с}^{-1}$.

При определении оптимальных значений задаемся диапазоном от 5 до 15 м/с. Данный диапазон изменения угловой скорости был выбран исходя из условий: при скорости до 5 м/с нет перехода в псевдооживленное состояние. А свыше 15 м/с не удовлетворяется условие (2.28). Деформация боба возможна в случае движения кромки ротор-пластины относительно боба. Такое движение возможно, если соблюдается неравенство:

$$V_{ОБ} < \omega_{ОБ} R_B \quad (2.28)$$

Из выражения (2.27) следует, что угловая скорость центра образующей окружности боба $\omega_{ОБ}$, обеспечиваемая параметрами ротор-пластины, зависит от углов α_0 и $\alpha_{СП}$, а также скоростей V_A и ω_P . Угловая скорость ротор-пластины ω_P является задаваемым параметром, т.е. независимым аргументом, а скорость точки V_A равна произведению угловой скорости ротор-пластины на радиус, который является функцией от начального угла контакта α_0 :

$$V_A = \omega_P R_i. \quad (2.29)$$

где R_i – текущее значение R_A , м.

$$R_i = f(\alpha_0). \quad (2.30)$$

Тогда можно утверждать, что угловая скорость центра боба также является функцией от начального угла контакта α_0 :

$$\omega_{ОБ} = f(\alpha_0). \quad (2.31)$$

С достаточной для практических целей точностью можно принять пропорциональное изменение текущего значения радиуса R_A . Тогда среднее значение $\omega_{Бср}$ можно определить из выражения:

$$\omega_C = \frac{\omega_{ОБmax} + \omega_{ОБ\alpha}}{2}. \quad (2.32)$$

где $\omega_{ОБmax}$ – угловая скорость при максимальном текущим значении радиуса R_A ; $\omega_{ОБ\alpha}$ – угловая скорость при значении радиуса R_A в начальном угле контакта α_0 .

После контакта кромки ротора с бобом последний за время t переместится на угол $\omega_c t$, а кромка ротора переместится на угол $\omega_p t$. Тогда текущее значение угла деформации может быть определено из выражения:

$$\gamma_i = (\gamma_0 + \omega_c t) - \omega_p t, \quad (2.33)$$

или

$$\gamma_i = [\gamma_0 - (\omega_p - \omega_c)t] \quad (2.34)$$

Тогда текущий угол контакта равен:

$$\alpha_i = \arcsin \frac{R_{Bi} \sin[\gamma_0 - (\omega_p - \omega_c)t]}{z_{Bi}}. \quad (2.35)$$

Величина деформации боба принимает вид:

$$\Delta d = r_B - A_1 O_{B1} \quad (2.36)$$

Полное время деформации определили из выражения:

$$T = \frac{\gamma_0}{\omega_p - \omega_c}. \quad (2.37)$$

Для определения скорости деформации продифференцировали выражение по времени:

$$V_d = \frac{\Delta d}{dt}, \quad (2.38)$$

Получили

$$V_d = \frac{(\omega_B - \omega_C) R_A R_B \sin[\gamma_0 - (\omega_P - \omega_C)t]}{\sqrt{R_A^2 + R_B^2 - 2R_A R_B \cos[\gamma_0 - (\omega_P - \omega_2)t]}}. \quad (2.39)$$

2.4 Условие затягивания боба люцерны

Для интенсивного разрушения бобов должно соблюдаться условие затягивания их в зазор между торцовыми поверхностями (рисунок 2.13).

Запишем систему уравнений равновесия боба люцерны

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum F_x = P \sin \alpha + F_1 \cos \alpha - F_2 = 0 \\ \sum F_y = N + F_1 \sin \alpha - P \cos \alpha - F_2 = 0 \\ \sum M_D = F_1 r(1 + \cos \alpha) + P(r \sin \alpha - f_k) - N f_k = 0 \end{array} \right. \quad (2.40)$$

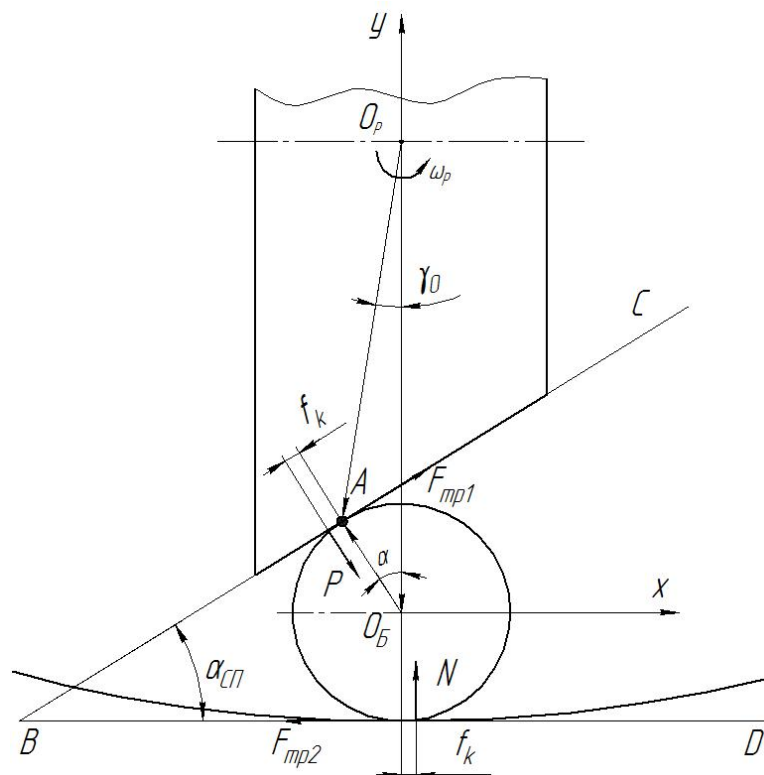


Рисунок 2.13 – Схема к определению угла раствора сжимающих поверхностей

Затягивание в зазор между стенкой молотильной камеры и кромкой ротора происходит при перекаtywании боба по дну корпуса и прекращается, когда перекаtywание невозможно.

Условие прекращения затягивания при справедливости неравенства:

$$F_1 r (1 + \cos \alpha) + P (r \sin \alpha - f_k) < N f_k \quad (2.41)$$

Качение боба полностью заменяется его скольжением по дну корпуса и можно записать

$$F_2 = N f_c \quad (2.42)$$

Подставив в первое уравнение системы выражение (2.72) и решив совместно первое и третье уравнения системы получим

$$\alpha = \arcsin \frac{2(r f_c - f_k)(r + f_k f_c)}{(r f_c - f_k)^2 + (r + f_k f_c)^2} \quad (2.43)$$

Таким образом, получено уравнение для определения угла раствора сжимающихся поверхностей (α) при котором происходит затягивание боба люцерны с учетом перекаtywания его по дну корпуса молотильной камеры.

2.5 Обоснование угла наклона поверхностей устройства для обмолота

В I фазе и IV фазе семенной материал перемещается по поверхностям загрузочной воронки и скатного желоба соответственно (рисунок 2.2). Обмолачиваемый семенной материал рассматриваем как сыпучий материал, который перемещается как материальные частицы по шероховатой наклонной поверхности за счет скольжения (рисунок 2.14).

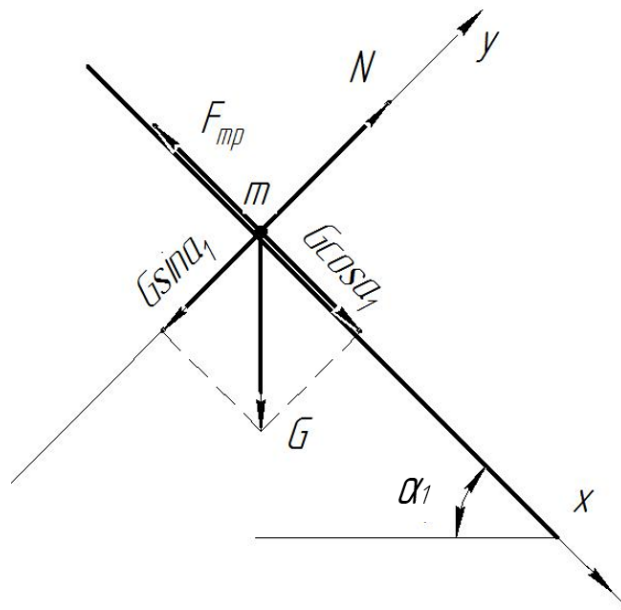


Рисунок 2.14 – К обоснованию угла наклона рабочих поверхностей

Составили уравнение движения обмолачиваемого семенного материала. Согласно второму закону Ньютона записали уравнение движения частицы обмолачиваемого вороха люцерны - боба или семени в векторном виде:

$$m\bar{a} = \bar{G} + \bar{N} + \bar{F}_{mp}, \quad (2.44)$$

где m - масса частицы сыпучего материала, кг; \bar{a} - ускорение частицы сыпучего материала, м/с²; \bar{G} - сила тяжести частицы сыпучего материала, Н; \bar{N} - нормальная реакция, Н; \bar{F}_{mp} - сила трения, Н.

Уравнение (2.74) справедливо и для IV фазы, где по скатному желобу перемещаются не бобы, а семена и створки бобов.

Проекция сил на ось X:

$$m \frac{dv}{dt} = G \sin \alpha_1 - F_{mp}, \quad (2.45)$$

проекция сил на ось Y:

$$0 = N - mg \cos \alpha_1, \quad (2.46)$$

Из выражения (2.46) определили нормальную реакцию, подставив в выражение (2.45), получили:

$$m \frac{dv}{dt} = mg \sin \alpha_1 - fmg \cos \alpha_1, \quad (2.47)$$

или

$$\frac{dv}{dt} = g \sin \alpha_1 - fg \cos \alpha_1 \quad (2.48)$$

Когда движение по поверхности обмолачиваемого материала прекратится, правая часть уравнения (2.47) будет равна нулю. Тогда это уравнение примет вид:

$$g \sin \alpha_1 - fg \cos \alpha_1 = 0 \quad (2.49)$$

Из выражения (2.49) получили:

$$tg \alpha_1 = f \quad (2.50)$$

Движение сыпучего материала по поверхности прекратится, если справедливо неравенство:

$$tg \alpha_1 < f \quad (2.51)$$

Следовательно, наклон поверхности в любой точке должен быть таким, чтобы удовлетворялось условие:

$$tg \alpha_1 > f \quad (2.52)$$

Для бобов и створок бобов при коэффициенте трения скольжения по стали равном 0,80, а семян при коэффициенте трения скольжения по стали равном 0,23 из условия (2.52) наклон поверхностей загрузочной воронки и скатного желоба должен быть больше тангенса угла равного 0,80. Тогда минимальный предельно допустимый угол наклона рабочих стальных поверхностей конструкции равен 35°.

2.6 Выводы по главе

1. Установлена зависимость минимального времени прохождения бобом люцерны от середины динамического свода до выпускного квазиотверстия от коэффициента внутреннего трения бобов люцерны и от диаметра отверстия рабочей камеры.

2. Определены зависимости величин высоты и скорости частицы (боба) обмолачиваемого вороха в камере устройства для обмолота.

3. Определен диапазон допустимой линейной скорости ротора, который составляет 5...15 м/с.

4. Определено выражение для угла раствора сжимающихся поверхностей, при котором происходит затягивание боба люцерны с учетом перекатывания его по дну корпуса молотильной камеры.

5. Установлен допустимый угол наклона рабочих поверхностей молотильного устройства, равный 35° .

3 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОБМОЛОТА БОБОВ ЛЮЦЕРНЫ

3.1 Программа экспериментальных исследований

Программа исследований предусматривала решение следующих вопросов:

- изучить размерную характеристику бобов и семян люцерны;
- на основе теоретических исследований изготовить два варианта экспериментальной установки для обмолота бобов люцерны: для порционной загрузки селекционных номеров и их обмолота в селекционном процессе, и для непрерывной подачи семенного материала и его обмолота в семеноводческом процессе.
- экспериментально подтвердить работоспособность способа обмолота бобов люцерны, реализующего сформулированную гипотезу;
- установить оптимальные параметры двух вариантов разрабатываемого молотильного устройства бобов люцерны;
- экспериментально проверить выводы теоретического исследования процесса обмолота бобов люцерны.

3.2 Экспериментальные установки для проведения исследований

Разработали конструкцию двух вариантов молотильного устройства реализующую способ обмолота бобов люцерны согласно принятой гипотезе.

Изготовили для каждого из двух вариантов молотильного устройства экспериментальные установки (рисунок 3.1 и рисунок 3.2). В первом варианте молотильного устройства обмолачивающий рабочий орган – ротор, выполнен в виде подвижной плоской пластины со скосом в его периферийной части. Воздействие плоской пластиной на обмолачиваемую массу происходит в замкнутой емкости с учетом порционной загрузки рабочих органов се-

лекционных машин. Техническая характеристика первого варианта молотильного устройства приведена в таблице 3.1



Рисунок 3.1 – Общий вид первого варианта молотильного устройства

Таблица 3.1 – Техническая характеристика первого варианта молотильного устройства

Параметр	Значение
Диаметр камеры, мм	80
Высота камеры, мм	57
Радиус ротора, мм	38
Ширина ротора, мм	11
Толщина ротора, мм	1,5
Угол скоса периферийной части ротора, град	14
Окружная скорость торцовых поверхностей ротора-пластины, м/с	0...20
Частота вращения ротора, мин ⁻¹	0...5000
Габаритные размеры:	
длина, мм	110
ширина, мм	110
высота, мм	225
Масса, кг	4,0

Во втором варианте молотильного устройства, разрабатываемого для семеноводческого процесса, обмолачивающий рабочий орган – ротор, выполнен в виде диска. Общий вид устройства представлен на рисунке 3.2.



Рисунок 3.2 – Общий вид второго варианта молотильного устройства

Техническая характеристика экспериментальной установки приведена в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Техническая характеристика второго варианта молотильного устройства

Параметр	Значение
Диаметр камеры, мм	150
Радиус ротора, мм	71; 70; 69
Толщина подвижной части диска, мм	8
Угол скоса периферийной кольца, град	50
Окружная скорость кромки ротора, м/с	до 15
Частота вращения ротора, мин ⁻¹	до 2100
Габаритные размеры:	
длина, мм	110
ширина, мм	800
высота, мм	180
Масса, кг	15,0
Электродвигатель	6IK180RGU-CF
Мощность, Вт	180
Напряжение питания	1 фаза 220 В 50 Гц
Частота вращения, мин ⁻¹	1400
Контроллер скорости	US22B
Напряжение питания	1 фаза 220 В 50 Гц

продолжение таблицы 3.2

Максимальный ток, А	5
Частота вращения, мин ⁻¹	90-1400
Мощность, Вт	6-180

3.3 Приборное обеспечение

Для определения частоты вращения рабочих органов использовали цифровой бесконтактный лазерный тахометр DT2234C – рисунок 3.6. Моло- тильную камеру закрывали прозрачной крышкой.



Рисунок 3.3 – Общий вид цифрового бесконтактного лазерного тахометра DT2234C

Характеристика тахометра приведена в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Техническая характеристика тахометра DT2234C

Параметр	Значение
Тип тахометра	фототахометр
Единицы измерения	мин ⁻¹
Диапазон измерений	2,5 - 99999 мин ⁻¹
Разрешение	0,1 мин ⁻¹ (2,5 мин ⁻¹ - 999,9 мин ⁻¹), 1,0 мин ⁻¹ (> 1000 мин ⁻¹)
Точность	± (0,05% показания + 1 цифра)
Частота измерений	0,8 с (>60 мин ⁻¹)
Допустимое расстояние для измерения	5 - 50 см
Температура	0 - 70°C
Вес	150 г
Размер	184x76x30 мм

Взвешивание проводили на электронных весах CAS MWP-150 – рисунок 3.4. Интервал измерения 0,1...150 г, цена деления 0,001 г. Допускаемая погрешность $\pm 0,5$ мг.



Рисунок 3.4 – Общий вид электронных весов CAS MWP-150

Таблица 3.4 – Техническая характеристика электронных весов CAS MWP-150

Параметр	Показатель
Наибольший предел взвешивания, г	150
Дискретность, г	0,005
Цена поверочного деления, г	0,001
Наименьший предел взвешивания, г	0,1
Число поверочных делений	150 000
Класс точности по ГОСТ 24104-01	Специальный
Диаметр платформы, мм	115

Дробление семян определяли с помощью микроскопа МПБ-2 – рисунок 3.5, характеристика которого приведена в таблице 3.5.

Таблица 3.5 - Техническая характеристика микроскопа МПБ-2

Параметр	Значение
Цена давления шкалы	0,05 мм
Поле зрения	не менее 8,5 мм
Увеличение микроскопа	24 крат
Погрешность показания на всей длине шкалы	+0,02 мм
Оцифровка шкалы	1 мм
Вес	0,480 кг
Размер	50x202 мм



Рисунок 3.5 – Общий вид микроскопа МПБ-2

Влажность семян определяли с помощью влагомера Wile 55 (рисунок 3.6).



Рисунок 3.6 – Общий вид влагомера Wile 55

Влагомер Wile 55 представляет собой микропроцессорный электронный прибор для экспресс-измерения влажности цельных зерен и семян зернобобовых и масленичных культур, а также продуктов их переработки. Влагомер Wile 55 используется в полевых условиях, при уборке, хранении и переработки зерна, при послеуборочной обработке и сушке зерна, на токах, при размещении зерна в хранилищах, а также на предприятиях, где необходимо экспресс-анализ влажности зерна.

Влагомер Wile 55 конструктивно выполнен в виде портативного моноблока со встроенным датчиком. Датчик представляет собой измерительный цилиндр с закручивающейся крышкой. На передней панели расположены электронный цифровой дисплей, кнопка включения устройства и кнопки выбора команд. Содержание влаги в измеряемой массе отображается на дисплее в процентах веса. Процесс измерения основывается на измерении емкостного сопротивления измеряемого материала.

Техническая характеристика прибора приведена в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Техническая характеристика влагомера Wile 55

Параметр	Значение
Количество измеряемых культур	16 культур +1 произвольная шкала
Погрешность измерений (при стандартом качестве зерна)	$\pm 0,5\%$ или ниже
Диапазон измерения влажности: - для зерновых и зернобобовых культур. - для масленичных культур.	8 – 35% 5 – 25%
Время единичного измерения, не более	50 сек
Электропитание (батарея типа «КРОНА»)	9 В
Напряжение включения сигнализации о замене элемента питания	$6,9 \pm 0,1$ В
Рабочие условия эксплуатации	От +5 до +40 ⁰ С
Размеры влагомера (высота, длина, ширина)	180x80x65 мм
Масса влагомера	0,750 кг

Для отсчета времени использовался секундомер СОСпр-2б-2-000 – механический двухкнопочный второго класса точности. Секундомеры имеет 60-ти секундную шкалу с ценой деления 0,2 с и 60-ти минутный счетчик с ценой деления 1 мин.

Таблица 3.7 – Техническая характеристика секундомер СОСпр-2б-2-000

Параметр	Значение
Класс точности	2
Допустимая погрешность за 10 мин, с	±0,6
Допустимая погрешность за 60 мин, с	±1,8
Диапазон рабочих температур, °С	-20...+40
Габаритные размеры (не более), мм	d55x19x76
Масса, кг	0,12

3.4 Методика экспериментальных исследований

Семенной материал в опыте представлял собой семена в бобах, собранных вручную с растений люцерны. Вес порции бобов – 40 г. Задавали частоту вращения ротора-пластины равную 1260 и 5000 мин⁻¹, что соответствовало окружной скорости периферийных участков ротора-пластины соответственно 5 и 20 м/с. Обмолачивали порцию бобов в течение 5 с. Повторность опыта – пятикратная.

Изучали в опыте дробление и недомолот семян люцерны. Недомолот определялся по формуле

$$Q_H = 100 \frac{Q_6}{Q_H} \quad (3.1)$$

где Q_H - недомолот семян, %; Q_6 - масса бобов, необмолоченных, г; Q_H - масса бобов во всей навеске, г.

Дробление семян люцерны определяли визуально с помощью микроскопа МПБ-2, обеспечивающего 24-х кратное увеличение. Дробление семян определялось по выражению

$$Q_{др} = 100 \frac{Q_d}{Q_H} \quad (3.2)$$

где $Q_{др}$ - дробление семян, %; Q_d - масса дробленых семян, г; Q_H - масса семян всей навески, г.

Из каждой повторности вручную отбирались дробленые семена.

При проведении исследований учитывались требования ОСТ 10 1.3-2000 [95]. Для определения оптимальных параметров молотильных устройств использовался метод многофакторного планирования эксперимента. Для

функции отклика в эксперименте использовали полином второго порядка вида [21, 121]:

$$y = b_0 + \sum_{1 \leq i \leq k} b_i x_i + \sum_{1 \leq i < j \leq k} b_{ij} x_i x_j + \sum_{1 \leq i \leq k} b_{ii} x_i^2 \quad (3.3)$$

где y – расчетное значение критерия оптимизации (отклика); b_0 – свободный коэффициент; b_i – коэффициенты при исследуемых факторах; b_{ij} – коэффициенты парного взаимодействия; b_{ii} – коэффициенты при квадратичных членах; $x_i x_j$ – исследуемые факторы; k – количество исследуемых факторов.

Оценку значимости коэффициентов регрессии проводили по t -критерию Стьюдента, а адекватность полученного уравнения регрессии определяли по F -критерию Фишера [9, 55, 56, 57, 59].

Обработку всех полученных данных проводили по разработанной программе в среде MathCAD по общепринятой методике [55]. Выбор управляемых факторов, критерия оптимизации, матрицы планирования и подробная методика проведения экспериментов описаны в четвертой главе настоящей работы.

3.5 Результаты проверки работоспособности предложенного способа обмолота бобов люцерны

Согласно гипотезе о предотвращении потерь семян люцерны путем выделения семян из бобов ударом влет плоской пластины, вращающейся в герметичной емкости, была спроектирована и изготовлена экспериментальная установка селекционного молотильного устройства (1-й вариант – рисунок 3.1). Оно работает в режиме прерывистой загрузки обмолачиваемым селекционным материалом, его рабочие органы легко доступны для осмотра, а герметичность корпуса молотильного устройства предотвращает потери семян россыпью.

Селекционное молотильное устройство включает камеру цилиндрической формы со съемной крышкой в своей верхней части. В камере расположен ротор, установленный с возможностью вращения от электродвигателя. Диаметр камеры по его внутренней поверхности – 80 мм. Ротор выполнен в форме плоской пластины радиусов 38 мм, шириной – 11 мм, толщиной – 1,5 мм. На периферийных участках ротор имеет скосы.

В опыте использовались бобы люцерн сортов Славянская местная, Крона и Багира урожая 2018 года. Поставщик ООО «Редкие растения».

Форма боба представляет собой цилиндрический участок спирали. Поэтому замерялась высота боба и диаметр, характеризующий длину и ширину боба, которые в данном частном случае равны между собой. Исследовалось по 100 штук бобов каждого сорта. Полученные данные следующие. Диаметр бобов люцерны у сорта Славянская местная равен 4,6...4,8 мм; у сорта Крона равен 5,1...5,4 мм; у сорта Багира - 5,3...5,5 мм. Высота бобов люцерны у сорта Славянская местная равен 4,3...4,6 мм; у сорта Крона равен 4,7...4,9 мм; у сорта Багира - 5,0...5,2 мм. Длина семян варьировала от 1,0 до 2,2 мм. Содержание влаги створок бобов составляло 7-8 %, а семян – 8-9 %.

Для обеспечения процесса разрушения бобов люцерны без повреждения семян важным условием является величина зазоров между поверхностями ротора-пластины и камеры молотильного устройства. Учитывая размерные характеристики семян люцерны, а именно длину семян, равную 1,0...2,2 мм, а также длину бобов – 4,6...5,5 мм, для предотвращения защемления семян и повреждения их поверхностями рабочих органов, приняли зазор h между нижней поверхностью ротора-пластины и днищем камеры равным 3,5 мм, а зазор z между торцевой поверхностью ротора-пластины и боковой стенкой молотильной камеры - 2,5 мм. Зазоры между ротором и внутренней поверхностью камеры выбрали из условия свободного прохождения сквозь них семян, а бобов наоборот – не прохождения.

Обмолот порций бобов люцерны на экспериментальной установке подтвердил работоспособность нового способа обмолота бобов. В однофактор-

ных опытах определяли дробление и потери семян россыпью. Масса навески составляла 40 г. Время обмолота одной навески приняли равной 30 с. Повторность опытов пятикратная. Взвешивание проводили на электронных весах Vibra HT-224 RCE. Дробление семян определяли с помощью микроскопа МПБ-2, обеспечивающего 24-х кратное увеличение. Было установлено, что на всех изучаемых сортах в интервале задаваемых скоростей от 10 м/с до 15 м/с дробление семян отсутствовало – таблица 3.8.

Таблица 3.8 – Результаты однофакторного эксперимента по проверке работоспособности предложенного способа обмолота бобов люцерны

Сорт люцерны	Масса навески, г	Окружная скорость ротора-пластины, м/с		Потери семян, г	
				дроблением	россыпью
Славянская местная	40	5	20	0	0
Крона	40	5	20	0	0
Багира	40	5	20	0	0

Поскольку путем постановки однофакторных опытов потери семян люцерны россыпью и дроблением отсутствовали, то в дальнейшем изучали только недомолот семян при обмолоте бобов люцерны.

Изучение технологической операции – обмолота порции бобов на экспериментальной установке с помощью видеосъемки позволило установить, что в камере происходит псевдооживление обмолачиваемого селекционного материала, принимающего тороидальную форму у внутренней поверхности камеры, и циркулирующего по замкнутому циклу – рисунок 3.7.

При этом наиболее интенсивное разрушение бобов происходит в зазоре между ротором и внутренней поверхностью камеры молотильного устройства. При заполнении камеры на 1/3 объема и окружной скорости ротора в интервале 10...15 м/с технологический процесс протекал устойчиво, обеспечивался обмолот как порций бобов, так и отдельных бобов.

На следующем этапе предварительно оценивалось время и степень обмолота бобов. Камера заполнялась на 1/3 объема. Окружную скорость ротора приняли 10 м/с. Результаты опыта представлены в таблице 3.9.



Рисунок 3.7 – Обмолот в псевдоожиге циркулирующем замкнутом потоке

Таблица 3.9 – Время и степень обмолота бобов

Сорт люцерны	Время обмолота, с	Недомолот, %					
		повторности					среднее
		1	2	3	4	5	
Славянская местная	1	31	30	33	30	30	30,8
	3	22	19	20	23	21	21
	4	10	12	12	11	12	11,4
	6	4	4	2	3	3	3,2
	8	0	0	0	0	0	0
Крона	1	28	30	32	29	29	29,6
	3	22	19	20	19	21	20,2
	4	10	9	9	10	10	9,6
	6	4	3	4	3	5	3,8
	8	0	0	0	0	0	0
Багира	1	31	35	31	34	32	32,6
	3	24	21	22	20	20	21,4
	4	11	12	14	12	12	12,2
	6	4	7	4	6	5	5,2
	8	1	0	2	2	1	1,2

Из анализа данных таблицы 3.9 следует, что полный обмолот семян обеспечивается при окружной скорости ротора 10 м/с происходит в интервале 7...8 с. Дробление семян люцерны отсутствовало.

3.6 Исследование процесса обмолота молотильным устройством для селекционных номеров

На основании анализа априорной информации и поисковых исследований в качестве управляемых факторов были выбраны следующие: окружная скорость торцовых поверхностей ротора-пластины (V), м/с; длительность обмолота бобов люцерны (t), с; степень заполнения камеры бобами люцерны (μ), %. В качестве критерия оптимизации использовался недомолот семян (H), %.

Значение первого фактора – окружной скорости торцовых поверхностей ротора-пластины, регулировали с помощью вариатора от 5 до 15 м/с, а измеряли с помощью лазерного тахометра. Значение второго фактора – длительности обмолота бобов изменяли включением на заданное время установки, а затем ее выключением. Измеряли длительности обмолота секундомером. Значение третьего фактора – степени заполнения камеры изменяли путем загрузки камеры бобами до меток, нанесенных белой краской на внутреннюю поверхность камеры.

Использовали симметричный композиционный план типа B_k (звездные точки которого равны ± 1) [21]. Факторы, интервалы и уровни варьирования представлены в таблице 3.10.

Таблица 3.10 - Факторы, интервалы и уровни варьирования

Факторы	Кодированное обозначение факторов	Интервал варьирования	Уровни факторов		
			-1	0	+1
Окружная скорость торцовых поверхностей ротор-пластины (V), м/с	x_1	5	5	10	15
Длительность обмолота бобов (t), с	x_2	4	2	6	10
Степень заполнения камеры (μ), %	x_3	40	10	50	90

В каждом опыте в камеру 1 экспериментальной установки загружали порцию бобов люцерны (рисунок 2.2).

Для этого предварительно с корпуса 2 снимали крышку 3. После загрузки крышку 3 возвращали на свое прежнее место на корпусе 2. Ротор 4 приводили во вращение с помощью привода 5, задавая изучаемые значения окружной скорости торцевых поверхностей ротора 4. Обмолоченную пробу бобов извлекали из камеры 1 и разбирали вручную, определяя процент дробленых семян люцерны и их недомолота. Для этого взвешивали на электронных весах CAS MWP-150 порцию семян, а также семена, не вымолоченные из бобов. Порядок проведения опытов выполнялся согласно таблице случайных чисел. Матрица планирования трехфакторного эксперимента приведена в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Матрица планирования эксперимента

План в кодированных переменных			План в натуральных переменных			Значения критерия оптимизации, недомолот семян (H), %
			Окружная скорость торцевых поверхностей ротора-пластины (V), м/с	Длительность обмолота бобов (t), с	Степень заполнения камеры (μ), %	
x_1	x_2	x_3				
+1	+1	+1	15	10	90	20,5
-1	+1	+1	5	10	90	18,4
+1	-1	+1	15	2	90	23,1
-1	-1	+1	5	2	90	25,7
+1	+1	-1	15	10	10	7,8
-1	+1	-1	5	10	10	11,4
+1	-1	-1	15	2	10	17,7
-1	-1	-1	5	2	10	25,9
+1	0	0	15	6	50	2,1
-1	0	0	15	6	50	5,2
0	+1	0	10	10	50	3,0
0	-1	0	10	2	50	11,6
0	0	+1	10	6	90	15,2
0	0	-1	10	6	10	8,9

В каждом опыте эксперимента обмолоченную пробу бобов извлекали из камеры и разбирали вручную, определяя процент недомолота семян. Для этого взвешивали на электронных весах CAS MWP-150 порцию семян, а также семена, не вымолоченные из бобов. Затем рассчитывали недомолот семян.

Для функции отклика в эксперименте использовали полином второго порядка. После получения экспериментальных данных, рассчитали коэффициенты регрессии и проверили гипотезу об их статистической значимости по *t*-критерию Стьюдента [45]. Получили следующее уравнение регрессии для недомолота семян в кодированных значениях факторов:

$$Y = 2.038 - 1.537X_1 - 4.29X_2 + 3.027X_3 + 1.162X_1X_2 + 1.412X_1X_3 + 1.813X_2X_3 + 1.558X_1^2 + 5.206X_2^2 + 9.92X_3^2. \quad (3.4)$$

где *y* – недомолот семян, %; *x*₁ - окружная скорость торцовых поверхностей ротора-пластины; *x*₂ - длительность обмолота бобов; *x*₃ - степень заполнения камеры.

Зависимость кодированных значений факторов представлена следующими зависимостями:

$$x_1 = \frac{X_1 - 10}{5}; \quad x_2 = \frac{X_2 - 6}{4}; \quad x_3 = \frac{X_3 - 50}{40}.$$

где *X*₁, *X*₂, *X*₃ – действительные значения факторов.

Полученное уравнение регрессии – математическую модель обмолота бобов люцерны проверили на адекватность по *F*-критерию (критерию Фишера) [57]. Продифференцировав уравнение регрессии по каждой из переменных, и приравняв производные нулю, получили систему линейных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dy}{dx_1} = -1,537 + 3,116x_1 + 1,162x_2 + 1,712x_3 \\ \frac{dy}{dx_2} = -4,29 + 1,162x_1 + 10,412x_2 + 1,813x_3 \\ \frac{dy}{dx_3} = 3,027 + 1,712x_1 + 1,813x_2 + 19,84x_3 \end{cases} \quad (3.5)$$

Решив систему линейных уравнений, нашли координаты центра поверхности отклика: $x_1 = 0,4438$; $x_2 = 0,4009$; $x_3 = -0,2208$.

Подставив в исходное уравнение регрессии (3.5) значения x_1 , x_2 , x_3 , нашли значения параметра оптимизации в центре поверхности отклика. Получили значение отклика в новом начале координат (свободного члена канонического уравнения) $Y_s = 0,503$ %.

Выполнили каноническое преобразование. Для этого перенесли уравнение (3.5) в новую систему координат и повернули координатные оси. Определили угол поворота α первоначальных осей координат поверхности отклика до совмещения с главными осями фигуры. Угол $\alpha = 10,52^\circ$, а уравнение поверхности отклика в канонической форме имеет вид:

$$Y - Y_s = B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_3 X_3, \quad (3.6)$$

где Y_s – значение критерия оптимизации в оптимальной точке; B_1, B_2, B_3 – коэффициенты регрессии в канонической форме; X_1, X_2, X_3 – новые оси координат, повернутые относительно первоначальных x_1, x_2, x_3 .

Подставив значения в уравнение поверхности отклика (3.6), получили:

$$Y - 0.503 = 1.558X_1^2 + 5.689X_2^2 - 9.438X_3^2. \quad (3.7)$$

или

$$\frac{(X_1)^2}{\frac{Y - 0.503}{1.558}} + \frac{(X_2)^2}{\frac{Y - 0.503}{5.689}} + \frac{(X_3)^2}{\frac{Y - 0.503}{-9.438}}. \quad (3.8)$$

Для дальнейшего изучения поверхности отклика, выполнили ее двумерные сечения. Первоначально рассмотрели сечение поверхности отклика плоскостью X_1SX_2 . Для этого в исходное уравнение (3.5) подставили $x_3 = -0,2208$ и получили:

$$Y_{12} = 1.853 - 1.849X_1 - 4.69X_2 + 1.162X_1X_2 + 1.558X_1^2 + 5.206X_2^2 \quad (3.9)$$

где Y_{12} - недомолот семян при взаимодействии 1 и 2 фактора, когда 3-й фактор находится в центре плана эксперимента.

Выполнив каноническое преобразование и решив систему линейных уравнений, нашли координаты центра поверхности отклика: $x_1 = 0.4438$, $x_2 = 0.4009$.

Подставив найденные значения x_1 , x_2 в уравнение (3.8), определили значение параметра оптимизации в центре поверхности отклика, при $x_3 = 0,2202$ и недомолоте семян $Y_s = 0,503$ %.

Определили угол поворота α осей координат. Он равен - 8,83 градуса, а коэффициенты регрессии в канонической форме равны: $B_{11} = 1,468$; $B_{22} = 5,296$. Получили уравнение поверхности отклика в канонической форме:

$$Y_{12} - 0.503 = 1.468X_1^2 + 5.296X_2^2. \quad (3.10)$$

Полученная поверхность отклика, представленная на рисунке 3.8, является параболоидом вращения, а наименьшее значение функции отклика находится в точке с координатами: $x_1 = 0,4438$, $x_2 = 0,4009$.

Коэффициенты уравнения регрессии в канонической форме (3.10) указывают на это, поскольку имеют одинаковые знаки и оба положительные.

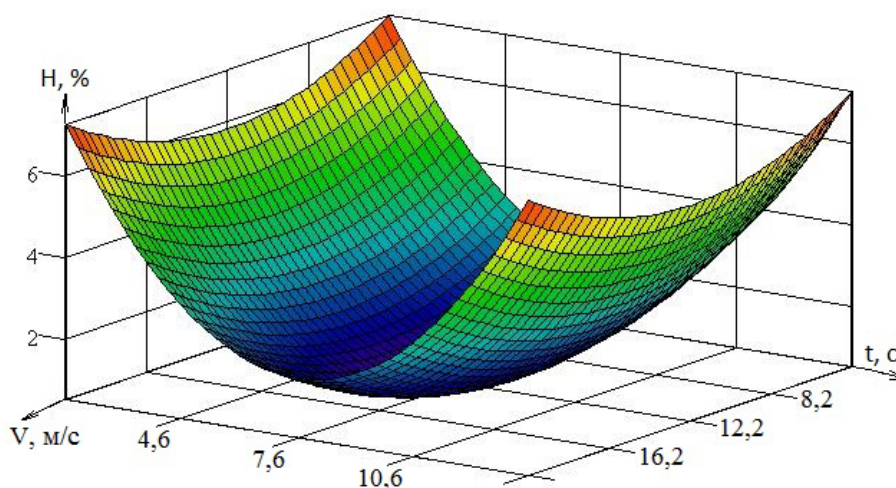


Рисунок 3.8 – Поверхность отклика для зависимости недомолота семян от окружной скорости торцовых поверхностей ротора-пластины и от длительности обмолота бобов

Задавая значениями отклика Y и подставляя их в канонические уравнения (3.10), получили семейство сопряженных изолиний в форме эллипсов (рисунок 3.9). Изолинии, полученные в результате сечения поверхности от-

клика, вытянуты по оси, соответствующей фактору - окружной скорости торцовых поверхностей ротора-пластины. Следовательно, этот фактор меньше влияет на недомолот семян, чем второй фактор - длительность обмолота в 3,608 раза. Это следует и коэффициентов $b_{11}=1,468$, $b_{22}=5,296$.

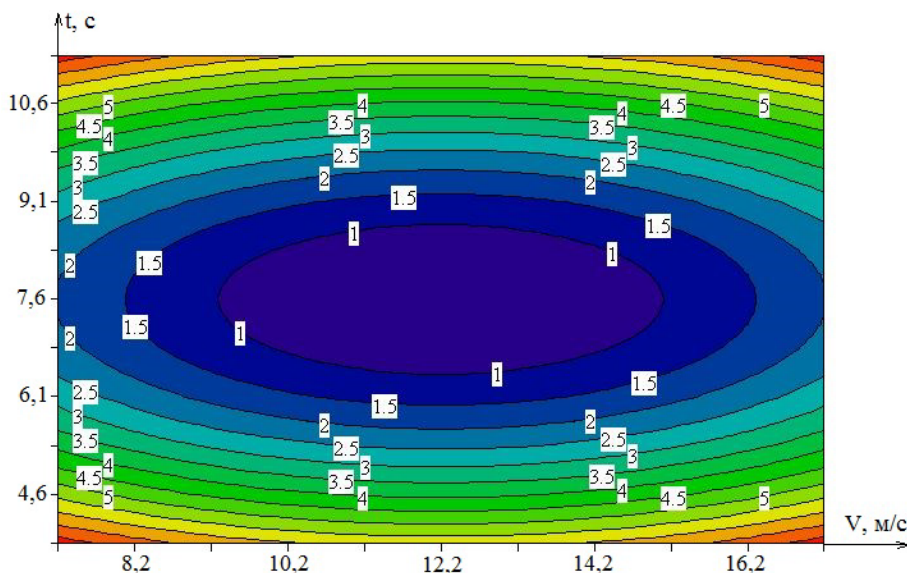


Рисунок 3.9 – Двумерное сечение поверхности отклика для зависимости недомолота семян от окружной скорости торцовых поверхностей ротора-пластины и длительности обмолота бобов

При $x_3 = -0,2208$, т.е. когда значение величины степени заполнения камеры молотильного устройства порцией бобов люцерны находится в центре плана эксперимента и равно 47,79 %, минимальный недомолот семян люцерны получили при окружной скорости торцовых поверхностей пластины-ротора равной 12,22 м/с и при длительности обмолота бобов – 7,6 с.

Рассмотрели сечение поверхности отклика плоскостью X_1SX_3 . Для этого в уравнение регрессии (3.13) подставили $x_2 = 0,4009$ и получили:

$$Y_{13} = 1,155 - 1,071X_1 + 3,754X_3 + 1,412X_1X_3 + 1,558X_1^2 + 9,92X_3^2. \quad (3.11)$$

Выполнив канонические преобразования и решив систему линейных уравнений, нашли координаты центра поверхности отклика: $x_1 = 0,4438$, $x_3 = -0,2208$. Подставляя найденное значение x_1 и x_3 в уравнение (4.9), определили значение параметра оптимизации в центре поверхности отклика при $x_2 = 0,4009$. Значение параметра оптимизации – недомолота семян $Y_{13} = 0,503$. Угол поворота осей координат α равен – 4,79 градуса, а коэффициент регрес-

сии в канонической форме равен: $B_{11} = 1,499$, $B_{33} = 9,979$. Получили уравнение поверхности отклика в канонической форме:

$$Y_{13} - 0.503 = 1.499X_1^2 + 9.979X_3^2. \quad (3.12)$$

Поверхность отклика имеет форму параболоида вращения (рисунок 3.10).

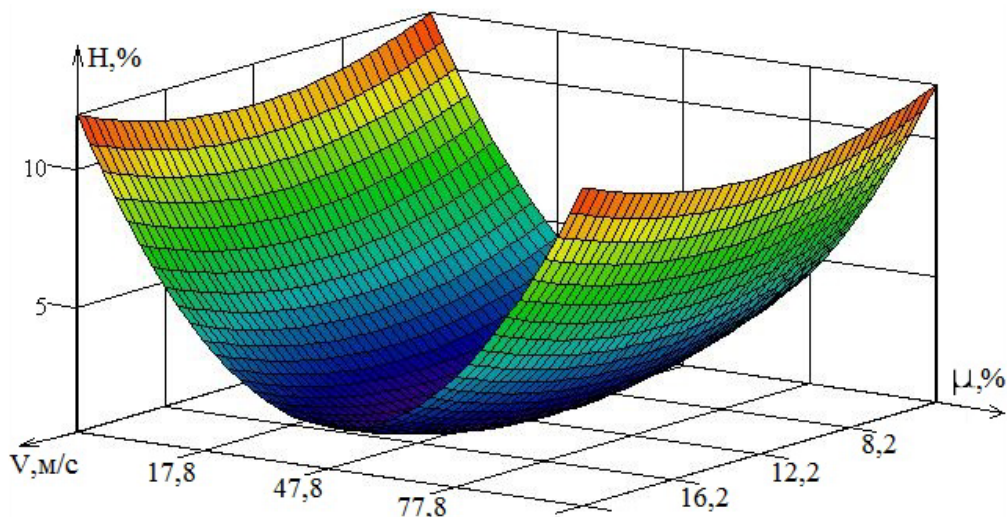


Рисунок 3.10 – Поверхность отклика для зависимости недомолота семян от окружной скорости торцовых поверхностей ротора-пластины и от степени заполнения камеры

Наименьшее значение функции отклика находится в точке с координатами: $x_1 = 0,4438$ $x_3 = -0,2208$, т.к. все коэффициенты канонического уравнения имеют одинаковые и положительные знаки $B_1 = 1,499$; $B_3 = 9,979$.

Рассмотрели двумерное сечение поверхности отклика плоскостью X_1SX_3 (рисунок 3.11), когда $x_2 = 0,4009$, т.е. значение фактора длительности обмолота бобов находится в центре плана.

Сечения поверхности отклика в области эксперимента дают изолинии в форме эллипсов. Из рисунка 3.11 следует, что изменение значения x_1 (окружная скорость торцовых поверхностей пластины-ротора, V) в пределах эксперимента влияет меньше на недомолот семян люцерны, чем значение x_3 (степень заполнения камеры, μ), т.к. вытянутость эллипса больше по оси x_1 в 6,66 раз. Оптимальная степень заполнения камеры равна 47,79 %.

Рассмотрели сечение поверхности отклика плоскостью X_2SX_3 . Для этого в уравнение регрессии (3.3) подставили $x_1 = 0,4438$ и получили:

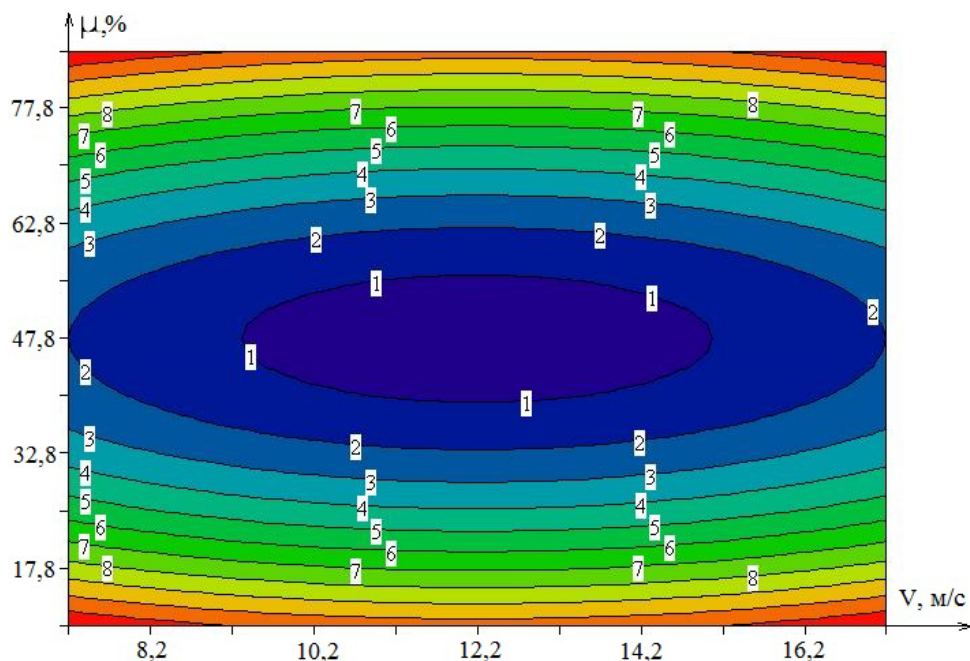


Рисунок 3.11 – Двумерное сечение поверхности отклика для зависимости недомолота семян от окружной скорости торцовых поверхностей ротора-пластины и степени заполнения камеры молотильного устройства

$$Y_{23} = 1,663 - 3,774x_2 + 3,654x_3 + 1,813x_2x_3 + 5,206x_2^2 + 9,92x_3^2 \quad (3.13)$$

Выполнив канонические преобразования и решив систему линейных уравнений, нашли координаты центра поверхности отклика: $x_2 = 0,4009$, $x_3 = -0,2208$. Подставив найденные значения в уравнение (3.16), определили значение параметра оптимизации в центре поверхности отклика, когда $x_1 = 0,4438$ и недомолот семян $Y_{S_{23}} = 0,503$

Уравнение (3.13) имеет парное взаимодействие (x_2x_3), а угол поворота осей координат α равен - 4,79 градусов. Коэффициенты уравнения регрессии в канонической форме равны: $B_2 = 5,04$, $B_3 = 10,09$. Уравнение поверхности отклика в канонической форме приняло вид:

$$Y_{23} - 0,503 = 5,04X_2^2 + 10,09X_3^2. \quad (3.14)$$

Поверхность отклика – параболоид вращения, а наименьшее значение функции отклика находится в точке с координатами: $x_2 = 0,4009$, $x_3 = -0,2208$ (рисунок 3.12), поскольку коэффициенты уравнения (3.14) имеют одинаковые знаки.

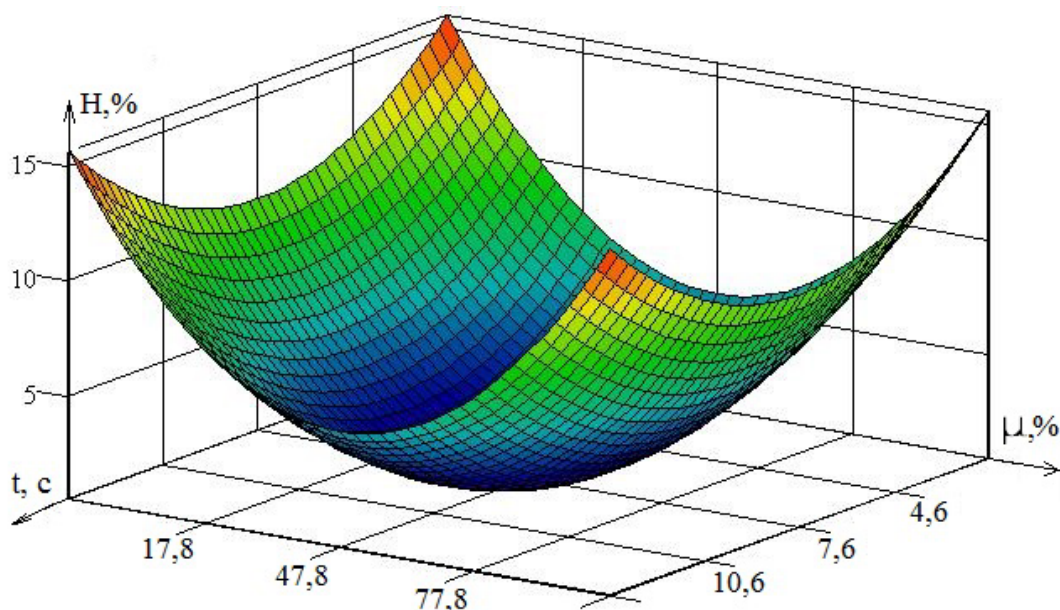


Рисунок 3.12 – Поверхность отклика зависимости недомолота семян от длительности обмолота и степени заполнения камеры молотильного устройства

Из рисунка 3.12 следует, что изменение значения длительности обмолота (x_2) в пределах границ области эксперимента влияет на недомолот семян также по закону параболы, т.е. с увеличением длительность обмолота бобов относительно центра плана недомолот семян возрастает, а при увеличении значения степени заполнения камеры молотильного устройства недомолот семян снижается.

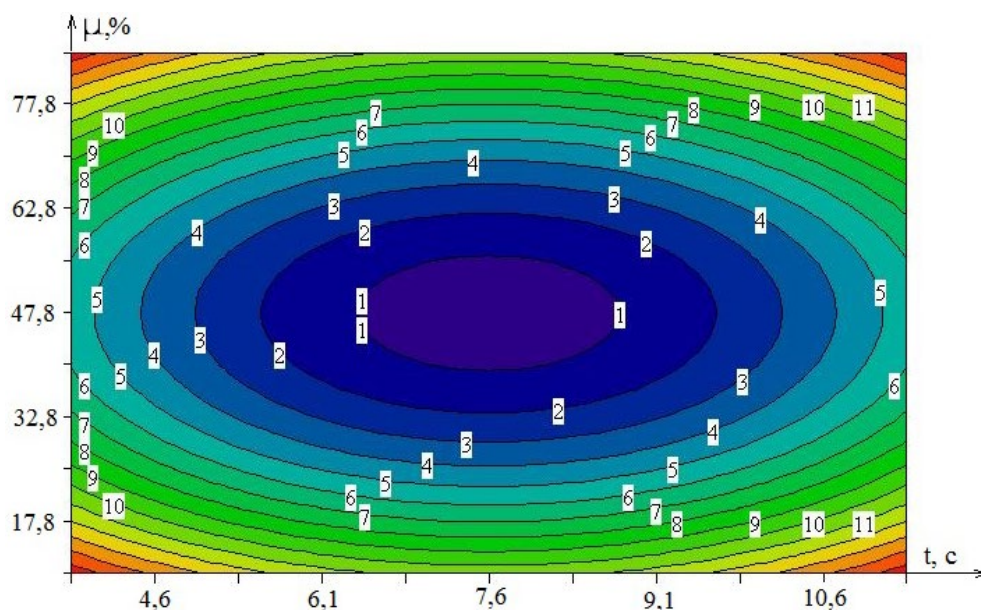
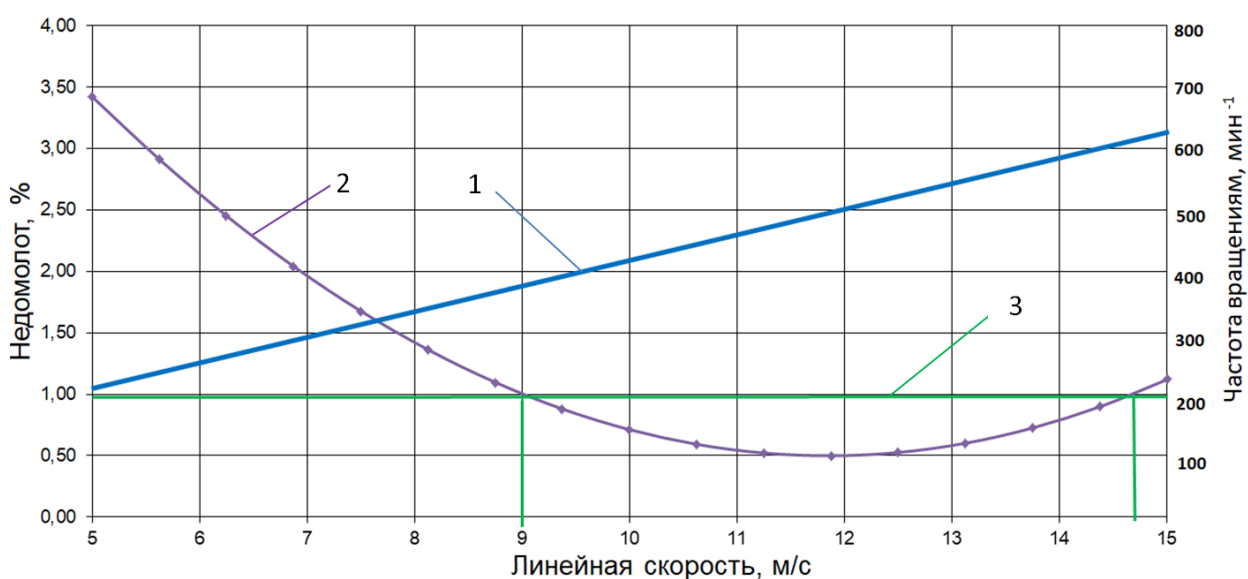


Рисунок 3.13 – Двумерное сечение поверхности отклика для зависимости недомолота семян от длительности обмолота бобов и степени заполнения камеры молотильного устройства

Рассмотрели двумерное сечение поверхности отклика плоскостью X_2SX_3 (рисунок 3.8), когда $x_1 = 0,4438$, т.е. значение скорости торцовых поверхностей пластины-ротора находится в центре плана эксперимента и равно 12,22 м/с. Изолинии сечений поверхности отклика в области эксперимента имеют форму эллипсов. Эллипсы сечений поверхности отклика (рисунок 3.13) вытянуты по той оси, которой соответствует длительность обмолота t ., следовательно, длительность обмолота t меньше влияет на недомолот семян люцерны, чем степень заполнения камеры молотильного устройства в 2 раза.



1 – зависимость частоты вращения пластины от линейной скорости боба люцерны;
 2 – зависимость недомолота бобов люцерны от линейной скорости рабочего органа;
 3 – линия агротехнического требования недомолота семян бобов люцерны;
 Рисунок 3.14 – Сходимость теоретических и экспериментальных результатов

На рисунке 3.14 представлена теоретическая зависимость линейной скорости боба люцерны от частоты вращения пластины в пределах ограничения по скорости (1), так же представлен график недомолота от линейной скорости в этом же диапазоне (2). Кроме того, указано агротехническое требование к обмолоту селекционных бобов люцерны (3). По результатам опытов, оптимизация параметров скорости проходила в пределах, полученных во второй главе. Оптимальная скорость по экспериментальным данным составила 12,2 м/с и может меняться в диапазоне от 9 до 14,7 м/с.

При проведении экспериментов допустимый угол наклона молотильного устройства варьировал в пределах $33^{\circ} - 37^{\circ}$, в результате оптимальный угол наклона $34,5^{\circ}$.

Вывод:

Методом планирования трехфакторного эксперимента по плану B_k экспериментально определили оптимальные параметры селекционного молотильного устройства люцерны при условии выполнения требований к качеству обмолота селекционных номеров. Согласно полученному уравнению регрессии по критерию минимального недомолота семян люцерны молотильным устройством $0,503\%$, оптимальная окружая скорость торцовых поверхностей пластины-ротора равна $12,2$ м/с, оптимальная длительность обмолота бобов – $7,6$ с и оптимальная степень заполнения камеры – $47,8\%$.

3.7 Исследование второго варианта молотильного устройства

Исследование проводилось на опытной установке, предназначенной для непрерывного процесса обмолота бобов люцерны на этапе первичного семеноводства и этапе конкурсного сортоиспытания.

Обмолачивали люцерну сорта Бажена селекции ФГБНУ «Национальный центр зерна им. П.П. Лукьяненко» урожая 2018 года. Семена имели длину равную $1,2...2,3$ мм, а бобы $5,1...6,8$ мм, масса 1000 семян $2,2$ г. Для полного обмолота бобов люцерны без повреждения семян в опытах, учли размерную характеристику семян и бобов, и величину второго кольцевого зазора b устанавливали постоянной и равной $3,0$ мм.

Поэтому, в качестве критерия оптимизации была выбрана только пропускная способность (g) молотильного устройства. В качестве управляемых факторов были выбраны: окружая скорость кромки ротора (V) и величина кольцевого зазора (Z), разработанного молотильного устройства.

Для постановки двухфакторного эксперимента выбрали симметричный композиционный ортогональный план (звездные точки которого равны ± 1) [21]. Факторы, интервалы и уровни их варьирования, выбранные на основании поисковых опытов представлены в таблице 3.12.

Таблица 3.12 – Факторы, интервалы и уровни варьирования

Переменные факторы	Кодированные обозначения, x_i	Интервал варьирования, Δ_i	Уровни факторов		
			+1	0	-1
Окружная скорость кромки ротора $X_1 (V_i)$, м/с	x_1	5	15	10	5
Зазор $X_2 (Z)$, мм	x_2	1	6	5	4

Матрица планирования эксперимента и результаты опытов представлены в таблице 3.13.

Таблица 3.13 – Матрица планирования эксперимента и результат опытов

№ п/п	Натуральные значения факторов		Кодированные значения факторов		Пропускная способность, г, г/с
	V_i , м/с	Z , мм	x_1	x_2	
1	15	6	+1	+1	79,96
2	5	6	-1	+1	81,29
3	15	4	+1	-1	64,89
4	5	4	-1	-1	75,72
5	15	5	+1	0	97,07
6	5	5	-1	0	103,15
7	10	6	0	+1	45,01
8	10	4	0	-1	34,68
9	10	5	0	0	64,48

Экспериментальная установка позволяла изменять окружную скорость кромки ротора (V_i), регулируя ее с помощью вариатора в интервале от 5 до 15 м/с. Значения окружной скорости кромки ротора замеряли с помощью лазерного тахометра. Величину кольцевого зазора (Z) регулировали путем замены одного ротора на другой, имеющего соответствующий диаметр. Это позволяло в эксперименте при переходе от опыта к опыту при постоянном диаметре рабочей камеры цилиндрической формы D равной 150 мм.

В каждом опыте предварительно приводили во вращение ротор 3, задавая изучаемое значения окружной скорости кромке ротора. После этого через загрузочную воронку 1 в рабочую камеру 2 подавали бобы люцерны, полностью заполняя рабочую камеру 2. Затем пополняли рабочую камеру 2 обмолочиваемым ворохом, следя чтобы в процессе опыта она была полностью заполнена. Время длительности каждого опыта в эксперименте выбрали равным 30 с. Из обмолоченного вороха, выделяли семена люцерны и взвешивали их. Очистка семян от примесей производилась на лабораторной веялке-аспираторе ЛВА-1. Семена взвешивали на весах CAS MWP-150. После этого рассчитывали пропускную способность (g) молотильного устройства, как отношение обмолоченной массы семян ко времени обмолота.

По результатам опытов и математической обработки экспериментальных данных рассчитали коэффициенты регрессии и получили уравнение регрессии (3.18) в кодированном виде:

$$y = 64,478 - 3,035x_1 + 5,158x_2 + 2,375x_1x_2 + 35,625x_1^2 - 24,642x_2^2 \quad (3.15)$$

где y – пропускная способность молотильного устройства, г/с; x_1 - окружная скорость кромки ротора. м/с; x_2 - кольцевой зазор, см².

Проверили гипотезу о статистической значимости полученных коэффициентов регрессии по t-критерию Стьюдента. Все коэффициенты регрессии статистически значимы. Проверили гипотезу адекватности полученного уравнения регрессии (3.15) с помощью критерия Фишера.

Продифференцировав уравнение по каждой из переменных и приравняв производные нулю, получили систему линейных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dy}{dx_1} = -3,035 + 2,375x_2 + 71,25 \\ \frac{dy}{dx_2} = 5,158 + 2,375x_1 - 49,284x_2 \end{cases} \quad (3.16)$$

Решив систему линейных уравнений, нашли координаты точки экстремума поверхности отклика: $x_1 = 0,039$; $x_2 = 0,1065$.

Подставив в исходное уравнение регрессии (3.15) значения x_1 и x_2 , нашли значения параметра оптимизации в точке экстремума поверхности отклика при значении свободного члена $Y_s = 64,69$ г/с.

Определили угол α поворота первоначальных осей координат поверхности отклика до совмещения с главными осями фигуры. Угол $\alpha = 1,13^\circ$, а уравнение поверхности отклика в канонической форме в общем виде имеет вид:

$$Y - Y_s = B_1 X_1 + B_2 X_2, \quad (3.17)$$

где Y_s – значение критерия оптимизации в оптимальной точке; B_1, B_2 – коэффициенты регрессии в канонической форме; X_1, X_2 – новые оси координат, повернутые относительно первоначальных x_1, x_2 .

Подставив значения в уравнение поверхности отклика (3.14), получили:

$$Y - 64,69 = 35,648X_1^2 - 24,665X_2^2 \quad (3.18)$$

или

$$\frac{(X_1)^2}{\frac{Y - 64,69}{35,648}} + \frac{(X_2)^2}{\frac{Y - 64,69}{-24665}} = 1 \quad (3.19)$$

Поскольку коэффициенты B_1, B_2 канонического уравнения имеют разные знаки, поверхность отклика имеет форму гиперболического параболоида, а наименьшее значение функции отклика находится в точке с координатами: $x_1 = 0,039$; $x_2 = 0,1065$.

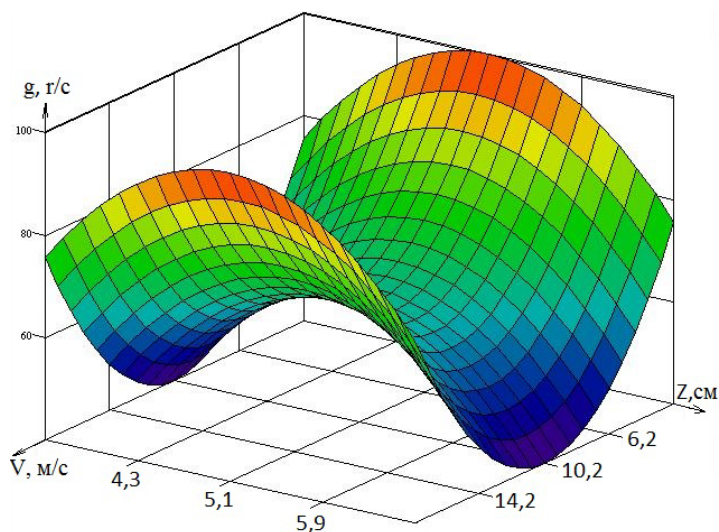


Рисунок 3.14 – Поверхность отклика зависимости пропускной способности устройства для обмолота от окружной скорости кромки ротора (V_i) и величины кольцевого зазора (Z_i)

Исследовали поверхность отклика (рисунок 3.14) вблизи оптимальных значений факторов с помощью ее двухмерного сечения (рисунок 3.15). Подставив различные значения отклика Y в каноническое уравнение (3.14), получили семейство сопряженных изолиний в форме гипербол (рисунок 3.17).

Полученные, в результате сечения поверхности отклика, изолинии вытянуты по оси координат, соответствующей второму фактору – величине кольцевого зазора (Z). Это указывает на то, что величина кольцевого зазора в меньшей степени влияет на пропускную способность молотильного устройства, чем первый фактор – окружная скорость ротора. На это же указывает меньшее по абсолютной величине значение коэффициента второго фактора в каноническом уравнении (3.14).

Максимальная пропускная способность устройства для обмолота будет при окружной скорости кромки ротора в кодированном виде $x_1 = 0,039$ и величине кольцевого зазора $x_2 = 0,1065$. Подставив в уравнение (3.3) эти значения, получили действительные значения изучаемых факторов: $X_1 = 10,195$ м/с, $X_2 = 5,107$ мм.

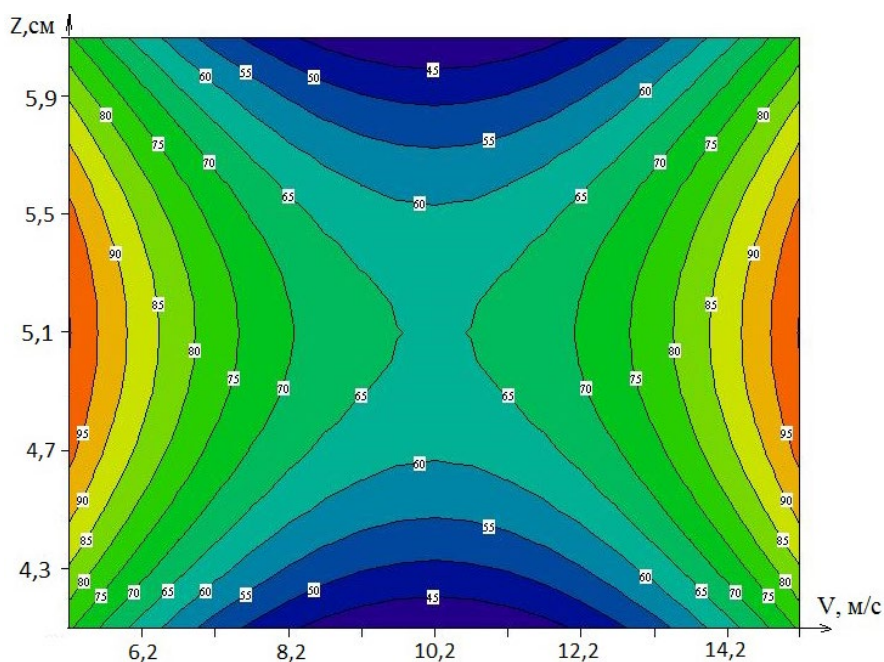


Рисунок 3.15 – Двухмерное сечение поверхности зависимости пропускной способности устройства для обмолота от окружной скорости кромки ротора (V_i) и величины кольцевого зазора (Z_i)

3.8 Выводы по главе

1. Разработана программа проведения экспериментальных исследований. Рассмотрены экспериментальные установки, и приведены их основные технические характеристики. Выбрана методика обработки экспериментальных данных.

2. В результате обмолота на селекционном устройстве трех сортов люцерны на скоростях 5 и 20 м/с установлено, что потери семян дроблением и россыпью отсутствовали.

3. Экспериментально проверена работоспособность селекционного молотильного устройства люцерны, а также определены факторы, влияющие на недомолот бобов люцерны. Это окружная скорость торцовых поверхностей ротора-пластины, длительность обмолота бобов и степень заполнения камеры молотильного устройства.

4. Методом планирования трехфакторного эксперимента по плану V_k экспериментально определили оптимальные параметры селекционного молотильного устройства люцерны при условии выполнения требований к качеству обмолота селекционных номеров. Согласно полученному уравнению регрессии по критерию минимального недомолота семян люцерны разработанным молотильным устройством 0,5 %, что значительно ниже значения клеверотерки К-0,5М, у которой данный показатель составляет 1,4% при допустимом агротехническом показателе в 1%. Оптимальная окружная скорость торцовых поверхностей пластины-ротора равна 12,2 м/с, оптимальная длительность обмолота бобов – 7,6 с и оптимальная степень заполнения камеры – 47,8 %.

5. При проведении экспериментов допустимый угол наклона молотильного устройства варьировал в пределах $33^{\circ} - 37^{\circ}$, в результате оптимальный угол наклона $34,5^{\circ}$

6. Для устройства для обмолота люцерны в семеноводческом процессе определены факторы, влияющие на пропускную способность молотильного

устройства – окружная скорость кромки ротора и величина кольцевого зазора рабочей камеры молотильного устройства.

7. Экспериментально постановкой двухфакторного эксперимента по симметричному композиционному ортогональному плану определили оптимальные параметры устройства для обмолота люцерны на этапе семеноводства. Согласно полученному уравнению регрессии по критерию максимальной пропускной способности молотильного устройства 64,7 г/с оптимальная окружная скорость кромки ротора равна 10,2 м/с, а оптимальная величина зазора рабочей камеры – 5,1 мм.

8. Оптимальные окружные скорости роторов обоих молотильных устройств (12,2 м/с и 10,2 м/с) входят в интервал допустимых окружных скоростей ротора (5...15 м/с), определенных теоретическим путем.

9. Получены адекватные сходимости теоретических и экспериментальных значений, подтвердившие правильность подхода к разработке устройства для обмолота бобов люцерны

4 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОБМОЛОТА БОБОВ ЛЮЦЕРНЫ

Экономическую эффективность разработанного молотильного устройства для обмолота бобов люцерны определяли в соответствии с ГОСТ Р 53056-2008 «Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки» [23], с учетом справочных данных.

Расчет произведен для второго варианта молотильного устройства, так как его можно использовать для обмолота бобов как на первом этапе селекции (в порционном режиме), так и для этапа конкурсного сортоиспытания (в режиме непрерывной загрузки). Расчеты выполнены по данным, предоставленным Национальным центром зерна имени П.П. Лукьяненко. На сегодняшний день это одно из ведущих учреждений в России по селекции люцерны. На этапе конкурсного сортоиспытания площадь одной делянки составляет 21 м². Объем семян с одной делянки составляет примерно 0,9 кг. Ежегодно конкурсное сортоиспытание проходит около 70 сортов люцерны. По каждому сорту люцерны в питомнике сортоиспытаний закладывается по четыре делянки (повторности). Следовательно, за год необходимо обработать 250 кг семян люцерны.

Технология уборки следующая. Делянки убираются селекционным комбайном Nege 140, собираются только бобы без их обмолота. Далее ворох бобов обмолачивается молотилкой-теркой пучковой универсальной МТПУ-500 или клеверотеркой К-0,5М. Обмолоченная масса очищается на веялке-аспираторе типа ЛВА-1. Клеверотерка К-0,5М допускает недомолот семян 1,5 %, а повреждения семян достигают 1,8 % [52]. Поэтому, разработанное устройство будем сравнивать с молотилкой-теркой МТПУ-500. На ней возможна настройка режима, при котором отсутствует недомолот и дробление семян, но это достигается за счет повторного дообмолота бобов. Поэтому, техническая производительность МТПУ-500 не превышает 110 кг/ч. Ранее нами

определено, что техническая производительность разработанного нами устройства на оптимальном режиме составляет 230 кг/ч.

Основной показатель экономической эффективности – ожидаемый годовой экономический эффект, рассчитывается по выражению:

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = (S_y^c - S_y^p)W_{\text{сез}}. \quad (4.1)$$

где $\mathcal{E}_{\text{год}}$ - годовой экономический эффект, руб.; S_y^c, S_y^p - эксплуатационные затраты, соответственно по МТПУ-500 и разработанному устройству, руб.; $W_{\text{сез}}$ – объем обмолачиваемых партий за сезон, кг.

Так как обмолачиваются отдельные партии (номера), то рассчитаем эксплуатационную производительность молотилок с учетом затрат времени на подготовку партий к обмолоту и упаковку их в мешочки с указанием селекционных номеров по следующему выражению:

$$W_{\text{чи}} = \frac{Q_i}{T_{\text{под}} + T_{\text{об}} + T_{\text{уп}}}. \quad (4.2)$$

где $W_{\text{чи}}$ – эксплуатационная производительность молотилки, кг/ч; Q_i – объем обмолачиваемой партии, кг; $T_{\text{под}}$ – подготовительное время, ч; $T_{\text{об}}$ – время обмолота одной партии, ч; $T_{\text{уп}}$ – время упаковки, ч.

Результаты расчетов сведем в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Расчет эксплуатационной производительности молотилок

Параметр	МТПУ-500	Разработанное устройство
Объем обмолачиваемой партии, кг	0,9	0,9
Подготовительное время, ч	0,07	0,07
Время обмолота одной партии, ч	0,008	0,004
Время упаковки, ч	0,08	0,08
Время на обработку одной партии, ч	0,158	0,154
Эксплуатационная производительность молотилки, кг/ч	5,70	5,84

Исходные данные для расчета приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Исходные данные для расчета экономической эффективности использования предлагаемого молотильного устройства

№ пп	Параметр	Единица измерения	Обозначение	МТПУ-500	Разработанное устройство
1	Количество обслуживающего персонала	чел.	k	1	1
2	Балансовая стоимость	руб.	K_{mi}	475500	45000
3	Эксплуатационная производительность	кг/ч	$W_{\text{ч}}$	5,70	5,84
4	Мощность электродвигателя	кВт	$N_{\text{дi}}$	1,1	0,18
5	Масса молотилки	кг	M	330	15
6	Часовая тарифная ставка	руб./ч	$m_{\text{ч}}$	125	125
7	Объем обмолачиваемых партий за сезон, кг	кг	$W_{\text{сез}}$	250	250
8	Норма амортизационных отчислений	%	a_i	11,4	11,4
9	Норма отчислений на ТО и ремонты	%	3_m	12,6	12,6
10	Стоимость 1 кВт/ч	руб.	Z	8,88	8,88

Эксплуатационные затраты рассчитываются по выражению:

$$S_y^i = C_3 + C_a + C_{\text{ТО}} + C_{\text{эл}} + C_{\text{пр}} \quad (4.3)$$

где C_3 – заработная плата работников, обслуживающих молотилку, руб./кг; C_a – амортизационные отчисления по молотилке, руб./кг; $C_{\text{ТО}}$ – затраты на ремонты и технические обслуживания, руб./кг; $C_{\text{эл}}$ – затраты на электроэнергию, руб./кг; $C_{\text{пр}}$ – прочие эксплуатационные затраты, руб./кг.

Затраты на оплату труда:

$$C_3 = \frac{(l_{\text{нс}} \cdot m_{\text{ч}}^{\text{НС}} \cdot K_{\text{д}}) \cdot K_{\text{соц}}}{W_{\text{ч}}} \quad (4.4)$$

где $l_{\text{н}}$ – количество работников, обслуживающих молотилку, 1 чел.; $m_{\text{ч}}^{\text{НС}}$ – часовая тарифная ставка научного сотрудника, $m_{\text{ч}}^{\text{НС}} = 170$ руб./ч; $K_{\text{д}}$ – коэффициент, учитывающий доплаты к тарифной ставке за классность, стаж, премии, $K_{\text{д}} = 1,65$; $K_{\text{соц}}$ – коэффициент, учитывающий начисления в фонд социального страхования, $K_{\text{соц}} = 1,265$; $W_{\text{сез}}$ – сезонный объем партий, кг.

Амортизационные отчисления:

$$C_a = \frac{K_M^i \cdot a_M}{100 \cdot W_{\text{сез}}}, \quad (4.5)$$

где K_M^i – балансовая стоимость молотилки; a_M – годовая норма амортизации молотилки, %.

Затраты на ремонт и ТО рассчитываем по формуле:

$$C_{\text{ТО}} = \frac{K_M^i \cdot z_M}{100 \cdot W_{\text{сез}}}, \quad (4.6)$$

где z_M – норма отчислений на ремонт и ТО, %.

Стоимость расходуемой электроэнергии рассчитываем по формуле:

$$C_{\text{эл}} = \frac{N_d \cdot Z_{\text{эл}}}{W_{\text{ч}}}, \quad (4.7)$$

где $Z_{\text{эл}}$ – цена 1 кВт·ч, $Z_{\text{эл}} = 8,88$ руб./кВт·ч; N_d – мощность двигателя молотилки, кВт.

Прочие эксплуатационные затраты планируем в размере 4 % от заработной платы работников, обслуживающих молотилку:

$$C_{\text{пр}} = 0,04 \cdot C_3. \quad (4.8)$$

где $C_{\text{пр}}$ – прочие эксплуатационные затраты, руб./кг; C_3 – заработная плата работников, обслуживающих молотилку, руб./кг.

Затраты труда определим по выражению:

$$H_y = \frac{l}{W_{\text{ч}i}}. \quad (4.9)$$

где H_y – затраты труда, чел.ч/кг; l – число работников, обслуживающих молотилку, $l_c = l_p = 1$ чел.; $W_{\text{ч}i}$ – производительность молотилки, кг/ч.

Экономии затрат труда нет, так как производительность молотильных устройств одинакова.

Срок окупаемости дополнительных капиталовложений определяется по выражению:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_d}{\Delta_{\text{год}}}. \quad (4.10)$$

где $T_{\text{ок}}$ – срок окупаемости дополнительных капиталовложений, лет; K_d – дополнительные капиталовложения, руб.; $\Delta_{\text{год}}$ – годовой экономический эффект, руб.

Металлоёмкость процесса:

$$M = \frac{M_i}{W_{\text{сез}}}. \quad (4.11)$$

где M – металлоёмкость процесса, кг/ч; M_i - масса молотилки, кг. Согласно паспортным данным $M_M^c = 330$ кг, $M_M^M = 15$ кг.

Энергоёмкость процесса:

$$A = \frac{N_d}{W_{\text{ч}}}. \quad (4.12)$$

где A – энергоёмкость процесса, кВт·ч/кг.

Полученные данные сведем в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 – Экономическая эффективность применения предлагаемой молотилки

Показатель	Значение показателя	
	существующего	проектируемого
Стоимость молотилки, руб.	475000	45000
Производительность, кг/ч	5,70	5,84
Затраты труда, чел.ч/кг	0,17	0,17
Эксплуатационные затраты, руб./кг	522,45	106,66
Эксплуатационные затраты за сезон, руб./сез.	130612,0	26665,0
Металлоёмкость процесса, кг/кг	1,32	0,06
Энергоёмкость процесса, кВт·ч/кг	0,19	0,03
Ожидаемый годовой экономический эффект, руб.	103947,0	
Срок окупаемости дополнительных капиталовложений, лет	0,43	

Выводы по главе: Годовой экономический эффект от применения разработанного устройства составит 103,4 тыс. рублей, а срок окупаемости 0,43 года.

Заключение

Итоги выполненного исследования

1. На основе анализа конструкций молотильных устройств разработаны конструктивно-технологические схемы устройств для обмолота люцерны на этапах селекции (патент РФ № 125814, 2013 г.) и первичного семеноводства (патент РФ № 163296, 2016 г.).

2. Установлена зависимость минимального времени прохождения бобом люцерны от середины динамического свода до выпускного квазиотверстия от коэффициента внутреннего трения бобов люцерны и от диаметра отверстия рабочей камеры; определены зависимости величин высоты и скорости частицы (боба) обмолачиваемого вороха в камере устройства для обмолота; определено выражение для угла раствора сжимающихся поверхностей, при котором происходит затягивание боба люцерны с учетом перекатывания его по дну корпуса молотильной камеры.

3. Экспериментально установлен минимальный предельно допустимый угол наклона рабочих стальных поверхностей устройства равный $34,5^{\circ}$.

4. Уточнена размерная характеристика люцерны сорта Бажена: семена – длина 1,2...2,3 мм, бобы – длина 5,1 ...6,8 мм, масса 1000 семян – 2,2 г.

5. В результате проведенных экспериментальных исследований были установлены:

– оптимальные параметры устройства для обмолота люцерны на этапе селекции, обеспечивающие минимальный недомолот семян люцерны 0,5 % – окружная скорость торцовых поверхностей пластины-ротора 12,2 м/с, длительность обмолота бобов – 7,6 с и степень заполнения камеры – 47,8 %;

– оптимальные параметры устройства для обмолота люцерны на этапе первичного семеноводства, обеспечивающие максимальную пропускную способность 64,7 г/с – окружная скорость кромки ротора 10,2 м/с, а величина зазора рабочей камеры 5,1 мм.

6. Оптимальные окружные скорости роторов обоих молотильных устройств (12,2 м/с и 10,2 м/с) входят в интервал допустимых окружных скоростей ротора (5...15 м/с), определенных теоретическим путем.

7. Годовой экономический эффект от применения разработанного устройства составит 103,4 тыс. рублей, а срок окупаемости 0,43 года.

Рекомендации производству

Предложенные в работе параметры рабочих органов молотилок могут быть использованы конструкторскими организациями при разработке устройств для обмолота люцерны на этапах селекции и первичного семеноводства.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Полученные зависимости величины и скорости деформации боба люцерны в молотильном устройстве можно использовать при разработке рабочих органов молотилок для других бобовых мелкосеменных культур.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алдошин И.Ф. Исследование рабочих органов для обмолота зерновых культур в селекционных молотилках и комбайнах / И.Ф. Алдошин. М.: Труды ВИМ, т. 74. 1977. – С. 85-100.
2. Анискин, В.И. Механизация опытных работ в селекции, сортоиспытании и первичном семеноводстве зерновых и зернобобовых культур: монография / В.И. Анискин // М.: ВИМ. – 2004. – 199 с.
3. Ахламов Ю.Д. Машины для вытирания семян / Ю.Д. Ахламов, С.А. Отрошко, А.В. Шевцов // Техника в сельском хозяйстве. – 1997 - №3. – 28-29.
4. Ахламов, Ю. Д. Очес семян трав / Ю. Д. Ахламов, А. В. Шевцов, С. А. Отрошко, Э.В. Жалнин //Техника и оборудование для села. – 2000. – № 8. – С. 10-11.
5. Асатурян А.В. Обоснование технологического процесса и параметров усовершенствованного ленточного метателя зерна: дис. ...канд. техн. наук. Зеленоград, 2016. – 200 с.
6. Балакай Н.И. Технология возделывания люцерны с получением семян в первый год посева в условиях орошения Ростовской области: дис. канд. с.-х. наук. Новочеркасск, 2003. – 204 с.
7. Березкин Е.Н. Курс теоретической механики / Е.Н. Березкин. М.: Издательство Московского университета. 2-е изд., перераб. и доп. 1974. – 646 с.
8. Бойко А.В. Пространственная структура отрывочных течений на крыловых профилях (обзор) / А.В. Бойко, А.В. Довгаль, Б.Ю. Занин, В.В. Козлов // Теплофизика и аэромеханика. – 1996. – Т.3, № 1. – С. 1-14.
9. Бронштейн, И.Н., Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев - М.: Наука, 1981. - 719 с.
10. Бурмистрова, М.Ф. Физика механические свойства сельскохозяйственных растений / М.Ф. Бурмистрова, Т.К. Комолькова Т.К. и др. – М.: Изд-во сельскохозяйственной литературы, 1956. – 343 с.

11. Бурьянов М.А. Параметры и режимы процесса очеса зерновых культур навесной на комбайн жаткой // Автореф. дис. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук, зерноград: 2011. – 20 с.
12. Бурьянов, А. И. Способ и средства уборки зерновых культур очесом с разделением вороха на стационаре / А. И. Бурьянов, С. Г. Зайцев, И. В. Червяков // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2018. – № 140. – С. 1-16.
13. Волошин М.И. Селекция и семеноводство люцерны посевной // Автореф. дис. на соиск. уч. ст. доктора с.-х. наук, М.: 1998. – 49 с.
14. Горбачев, И. В. Очесывающие устройства для уборки зерновых / В. Ю. Савин, И. В. Горбачёв // Сельский механизатор. – 2019. – № 3. – С. 8-10.
15. Горбачев И.В. Стационар: обмолот семенников трав. / И.В. Горбачев, Л.Н. Молотков // Сельский механизатор. М.: 1988. – № 2. – С. 7-9.
16. Горбачев И.В. Технологические процессы и технические средства уборки семян клевера и люцерны // Автореф. дис. на соиск. уч. ст. д-ра с.-х. наук, М.: 1997. – 60 с.
17. Гордиенко Б.Г. Комбайны КСК-100 на уборке семенников люцерны / Б.Г. Гордиенко, С.Б. Чиграй, О.Г. Ангилеев // Техника в сельском хозяйстве. – 1985. – № 7. – С. 8-9.
18. Гордиенко Б.Г. Совершенствование технических средств уборки и послеуборочной обработки семян люцерны. / Б.Г. Гордиенко, С.Д. Ридный // Механизация и электрификация сельскохозяйственных процессов в полеводстве. – зерноград. 1989. - С. 118.
19. Горячкин, В.П. Собрание сочинений в трех томах. / В.П. Горячкин Том третий. М.: Колос, 1965. - 384с.
20. Гимадиев А.М. Методика экспериментального исследования критической скорости удара, начало структурных изменений в зерне / А.М. Гима-

диев // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2010. - № 5. – С.152-154.

21. Голикова Т.И., Каталог планов второго порядка. Части I и II. Выпуск 47. / Т.И Голикова, Л.А. Панченко, М.З. Фридман. М.: Издательство Московского государственного университета (МГУ) – 1974 (387 с. и 384 с.)

22. ГОСТ 19450-93 Семена многолетних бобовых кормовых трав. Посевные качества. Технические условия. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. Минск: Издательство стандартов, 1995. – 8 с.

23. ГОСТ Р 53056-2008. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. – Введ. 17.12.2008. – М.: Стандартинформ, 2009. – 19 с.

24. Девяткин А.М. Вредители, болезни и сорняки люцернового агроценоза / А.М. Девяткин, И.А. Маркова, А.И. Белый – Краснодар, 2013. – 477 с.

25. Драгуленко В.В. Экспериментальная оценка способа обмолота селекционного материала люцерны / В.В. Драгуленко // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: материалы V Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых/под. ред. Е.М. Бращенко – Краснодар: Кубанский ГАУ, 2011 – С. 423-424.

26. Драгуленко В.В. Экспериментальное обоснование параметров домолачивающего устройства для люцерны / В.В. Драгуленко // Сборник материалов II Межрегиональной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Анапа: Анапский филиал Кубанского ГАУ, 2012. – С. 25-27.

27. Драгуленко В.В. Совершенствование обмолота бобов люцерны / В.В. Драгуленко // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, посвященной 110-летию П.Ф. Варухи. – Краснодар: Кубанский ГАУ, 2014 – С. 469-471.

28. Драгуленко В.В. Обмолот люцерны в селекционном процессе / В.В. Драгуленко // Инновационные технологии отечественной селекции и семе-

новодства: Сб. тез. по материалам второй науч.-практ. конф. молодых ученых (24-25 окт. 2018 г. / отв. за вып. А.Г. Кощаев. - Краснодар, 2018 – С. 119-120.

29. Драгуленко В.В. Устройство для обмолота бобов люцерны / В.В. Драгуленко // Сельский механизатор. – 2018. – № 10. – С. 20-21.

30. Драгуленко, В. В. Устройство для обмолота люцерны на этапе семеноводства / В.В. Драгуленко, В.В. Куцеев, В.В. Цыбулевский, А.Е. Матущенко // Сельский механизатор. – 2019. – № 4. – С. 6-7.

31. Дринча В.М. Физические основы расслоения семян в вибропсевдооживленном слое / В.М. Дринча, В.С. Стягов // Тракторы и сельскохозяйственные машин. – 2001. – № 7. – С. 20.

32. Дринча В.М. Технология обработки семян бобовых трав на стационаре / В.М. Дринча // Селекция и семеноводство. – 1997. - № 2. - С. 35-37.

33. Жалнин, Э.В. Расчет основных параметров зерноуборочных комбайнов: монография / Э. В. Жалнин // М.: ВИМ. – 2001. – 106 с.

34. Жалнин Э.В. Типовые технологии уборки трав на семена с обработкой урожая на стационаре / Э.В. Жалнин, В.М. Халанский, И.В. Горбачев и др. // ВИМ. – М.: 1985. – 46 с.

35. Жалнин, Э.В. Уборка с очесом на корню: за и против / Э. В. Жалнин // Сельский механизатор. – 2013. – № 8. – С. 10-12.

36. Занин Б.Ю. Вихревая структура отрывных течений на моделях крыльев при малых скоростях потока / Б.Ю. Занин, И.Д. Зверков, В.В. Козлов, А.М. Павленко // Изв. РАН, МЖГ. - 2008. № 6 – С. 114-120.

37. Иванов А.Е. Механизация производства семян многолетних трав / А.Е. Иванов, Н.М. Митрофанов, Ф.Н. Эрк. – Л.: Колос. Ленингр. отд-ние, 1981. – 192 с.

38. Исходные требования на базовые машинные технологические операции в растениеводстве : [сборник] Министерство сел. хоз-ва РФ, Федер. агентство по сел. хоз-ву ; [разраб. : В. П. Елизаров и др.] М. : Росинформпротех, 2005 – 270 с.

39. Канарев Ф.М. Уборка семян люцерны с обмолотом на стационаре. / На Кубани // Ф.М. Канарев, Л.П. Вербицкая, В.С. Ульянов, А.А. Синчило, А.Т. Кузовлев // Земледелие, 1987. - № 7. –С.15-17.
40. Кандеев В.Ф. Прогрессивные технологии уборки трав на семена. / В.Ф. Кандеев, А.Н. Сердечный. – М.: Росагропромиздат. 1989. – 40 с.
41. Карпенко Р.Н. Совершенствование процесса уборки семенников люцерны очесом. // Автореф. дис. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук, Воронеж, 2007. – 19 с.
42. Ковалев Н.Г., Хайлис Г.А., Ковалев М.М. Сельскохозяйственные материалы (виды, состав, свойства). – М.: ИК «Родник», 1998. – 208 с.
43. Корякин В.А. Обоснование основных параметров и режимов работы терочного устройства к семяочистительной машине // Автореф. дис. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук, Киров, 2009. – 23 с.
44. Кравченко В.С. Механизация в семеноводстве бобовых трав / В.С. Кравченко, В.В. Куцеев, А.А. Гурьянов. – Краснодар: Кн. изд-во, 1988. – 96 с.
45. Кравченко В.С. Основы научных исследований. Учебное пособие / В.С. Кравченко, И.В. Трубилин, В.С. Курасов, В.В. Куцеев, Е.В. Труфляк. – КубГАУ. – Краснодар, 2005. – 136 с.
46. Кравченко В.С. Способ герметизации зерноуборочных комбайнов пенополиуретаном / В.С. Кравченко В.С., Г.Г. Маслов, В.В. Куцеев, В.Д. Карпенко // Рекомендации Производственного управления сельского хозяйства Краснодарского крайисполкома, Краснодар, 1984. – 10 с.
47. Кудинов В.А. Гидравлика. Учеб. пособие / В.А. Кудинов, Э.М. Карташов. – М.: Высшая школа, 2006. – 175 с.
48. Куцеев В.В. Двукратное комбайнирование семенников трав / В.В. Куцеев, А.И. Сухорада, В.С. Кравченко // Техника в сельском хозяйстве. 1984. № 7 – С. 24-26.

49. Куцеев, В.В. Подготовка зерноуборочного комбайна к уборке семенников трав / В.В. Куцеев, А.А. Гурьянов // Техника в сельском хозяйстве. 1983. № 7 – С. 34-35.

50. Куцеев, В.В. Снижение потерь на уборке семян бобовых трав / В.В. Куцеев, С.М. Сидоренко, В.С. Курасов. - М.: Сельский механизатор. 2014. № 1 (59). С. 10-11.

51. Куцеев, В.В. Течение сыпучих тел в замкнутом объеме под воздействием вращающейся плоской пластины. / В.В. Куцеев // Материалы научной конференции факультетов механизации, энергетики и электрификации КубГАУ. Краснодар, 2005. С 36-39.

52. Ли А. Технологические процессы уборки и технические средства очистки семян люцерны // Сельскохозяйственные машины и технологии 2017. №6. С. 28-35.

53. Логинов Л.Н. Зерноуборочные комбайны двухфазного обмолота / Л.Н. Логинов, Г.Ф. Серый, Н.И. Косилов, В.П. Гаврилов // Учебное пособие для студентов высших учебных заведений по агроинженерной специальности. – М.: Информационно-аналитический и консалтинговый центр. 1999. – 336 с.

54. Маслов, Г.Г. Безотходная технология уборки семян люцерны с обмолотом вороха на стационаре / Г.Г. Маслов, В.С. Кравченко и др. // Рекомендации Производственного управления сельского хозяйства Краснодарского крайисполкома, Краснодар. 1983. – 16 с.

55. Маслов Г.Г. Моделирование и оптимизация процессов в агроинженерии / Г.Г. Маслов, Е.И. Трубилин, В.В. Цыбулевский. – Краснодар: КубГАУ. 2014. – 136 с.

56. Машков, А.М. Методика проведения полевых исследований работы очесывающего устройства при обмолоте люцерны / А.М. Машков, Р.В. Горбунов // В книге: ДНИ НАУКИ КФУ ИМ. В.И. ВЕРНАДСКОГО. Сборник тезисов участников V научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов, студентов и молодых ученых. Сим-

ферополь: Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, 2019. – С. 89-90.

57. Машков, А.М. Конструкции домолачивающих устройств и их рабочих органов для обмолота сельскохозяйственных культур / А.М. Машков, Д.А. Захаров, С. В. Пышкин / В книге: Агробиологические основы адаптивно-ландшафтного ведения сельскохозяйственного производства. Сборник тезисов докладов участников Российской теоретической и научно-практической, юбилейной конференции, посвященной 100-летию создания Академии биоресурсов и природопользования. Симферополь: Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, 2018. – С. 136-137.

58. Мельников С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм / С.В. Мельников. – Л.: Колос. 1978. – 560 с.

59. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рощин. – 2-е изд. перераб. и доп. – Л.: Колос. 1980. – 168 с.

60. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры. Второй выпуск. / Редакторы В.И. Головачев, Е.В. Кириловская. - М.: 1989. – 195 с.

61. Миронов К.Е. Приготовление кормов и физико-механические свойства зерна / К.Е. Миронов // Вестник НГИЭИ. - 2012. № 12 (19). – С. 88-91.

62. Мокиев В.Ю. Анализ устройств для вытирания и скарификации семян трав / В.Ю. Мокиев // Вестник НГИЭИ. – 2012. № 2 (9). – С. 88-98.

63. Мурзин М.В. Совершенствование процесса предварительной обработки невяяного вороха семенников трав: дис. ...канд. техн. наук. Воронеж, 2002. – 141 с.

64. Никитин Н.Н. Курс теоретической механики: Учеб. для машиностроит. и приборостроит. спец. вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: высш. шк., 1990. – 607 с.

65. ОСТ 10 1.3-2000. Машинные технологии производства продукции растениеводства. Программа и методы испытаний. – Введен. 01.03.2001. – Минсельхоз России, 2000. – 21 с.

66. Панасенко В.Е. Исследование устройств для выделения семян из бобов многолетних трав / В.Е. Панасенко, И.В. Горбачев // Сб. науч. тр. ТСХА «Разработка и совершенствование рабочих органов с.-х. машин». – М.: 1990. – С. 44-53.

67. Панасенко В.Е. Обоснование параметров и режимов работы терочного устройства аксиально-роторного типа: дис. ...канд. техн. наук. М., 1991. – 176 с.

68. Патент на изобретение RU № 2233066 «Способ обмолота бобов люцерны». Трубилин Е.И, Волошин М.И., Куцеев В.В. Оpubл. 27.07.2004 г. Бюл. № 21.

69. Пат. 2460274 Российская Федерация, МПК A01F 11/04 A01F 12/18 A01F 12/24 Устройство для обмолота многолетних бобовых трав [Текст] / Ахламов Ю.Д., Отрошко С.А., Шевцов А.В. // заявитель и патентообладатель Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт кормов имени В.Р. Вильямса Российской академии сельскохозяйственных наук –№ 2011101146/13; заявл. 14.01.2011; опубл. 10.09.2012. Бюл. № 25

70. Патент на изобретение RU № 2479192 «Устройство для сбора семян». Курасов В.С., Куцеев В.В., Драгуленко В.В., Руднев С.Г. Оpubл. 27.01.2013 г. Бюл. № 11.

71. Патент на полезную модель RU № 125019 «Домолачивающее устройство зерноуборочного комбайна». Куцеев В.В., Драгуленко В.В. Оpubл. 27.02.2013 г. Бюл. № 6.

72. Патент на полезную модель RU № 125814 «Молотильное устройство для бобов люцерны». Куцеев В.В., Драгуленко В.В. Оpubл. 20.03.2013 г. Бюл. № 8.

73. Патент на полезную модель РФ № 155627 «Молотильное устройство для бобов люцерны». Куцеев В.В., Драгуленко В.В. Голицын А.С. Оpubл. 10.10.2015 г. Бюл. № 28.

74. Патент на полезную модель РФ № 163296 «Молотильное устройство для бобов люцерны» / Куцеев В.В., Драгуленко В.В. Голицын А.С. Оpubл. 10.07.2016 г.

75. Патент на полезную модель РФ № 186227 «Молотильное устройство для бобов люцерны» / Куцеев В.В., Артюхин Д.А., Голицын А.С., Драгуленко В.В. Оpubл. 11.01.2019 г. Бюл. № 2.

76. Патент на полезную модель РФ № 183663 «Кузов самосвального транспортного средства» / Куцеев В.В., Голицын А.С., Артеменко А.А. Оpubл. 28.09.2018 г. Бюл. № 28.

77. Пикун П.Т. Люцерна и ее возможности / П.Т. Пикун. – Минск: «Беларус. навука», 2012. – 310 с.

78. Попов А.Н. Изыскание путей снижения потерь семян при уборке люцерны: дис. ...канд. техн. наук. Воронеж, 2003. – 147 с.

79. Протодьяконов, М.М. Давление горных пород на рудничную крепь [Текст] / М.М. Протодьяконов // Горный журнал, 1909, № 9, С. 14-23.

80. Птицын С.Д. Изменение качества семян под воздействием ударных нагрузок / С.Д. Птицын // Вестник с.х. науки. № 8, 1963. - С.101-104.

81. Пугачев, А.Н. Повреждение зерна машинами / А.Н. Пугачев. – М.: Колос, 1976. – 319 с.

82. Пустыгин М.А. Исследование и усовершенствование зерноуборочных комбайнов / М.А. Пустыгин. // В сб. Теоретические и экспериментальные исследования в области сельскохозяйственного машиностроения. Труды ВИСХОМа, вып. 55. М.: 1967. – С. 266-307.

83. Разумов, И.М. Псевдооживление и пневмотранспорт сыпучих материалов. – М.: издательство «Химия», 1972. - 240 с.

84. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела / Ю.Н. Работнов. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы. 1979. – 744 с.
85. Раздорский В.Ф. Архитектоника растений / В.Ф. Раздорский. – М.: Советская наука. 1955. – 432 с.
86. Ридный С.Д. Совершенствование технологии и средств механизации уборки семенников люцерны (применительно условий степной зоны Северного Кавказа): дис. ...канд. техн. наук. Воронеж, 2003. – 150 с.
87. Русанов А.И. Состояние и направления развития комплексов машин для уборки всего биологического урожая сельскохозяйственных культур с обработкой массы на стационаре: Обзорная информация / А.И. Русанов, Ярмашев Ю.Н., Авдеев А.В., Ануфриев Г.В., Андрианова Н.К. – М.: ЦНИИТЭИтракторосельхозмаш, 1987. – 49 с.
88. Сабиев У.К. Измельчитель зерновых материалов /У.К Сабиев, А.С. Пушкарев // Сельский механизатор. – 2018. - № 3. –С. 22-23.
89. Сабликов, М.В. Защемление и затягивание тел. / М.В. Сабликов // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. - 1968 - №3. - 96 с.
90. Садыков Ж.С. Семяулавливающие устройства к жаткам / Ж.С. Садыков, В.Т. Солдатов // Сельское хозяйство Казахстана. 1982. № 9. – С. 37.
91. Садыров А.Н. Изыскание и исследование рациональной технологии уборки семенников люцерны в условиях поливного земледелия: Автореф. дис. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук, Ташкент: 1968. – 21 с.
92. Семенов, А.Н. Зерновые сеялки [Текст] / А.Н. Семенов – М.: Машгиз, 1959. - 318 с.
93. Симонов М.В. Обоснование параметров и режимов работы барабанной клеверотерки-сепаратора: Автореф. дис. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук, Киров, 2005. – 24 с.

94. Сипко Н.И. Уборка семян люцерны с обмолотом на стационаре в Ставропольском крае / Н.И. Сипко, Б.Г. Гордиенко, С.Д. Ридный // Земледелие. 1987. № 7. - С. 17-18.

95. Соколов Р.С. Совершенствование процесса обмолота семенников люцерны в наклонной камере полевой машины: дис. ...канд. техн. наук. Воронеж, 2003. – 147 с.

96. Солнцев В.Н. Агробиологические и технологические аспекты снижения потерь семян люцерны при уборке: монография / В.Н. Солнцев – Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2013. – 123 с.

97. Солнцев В.Н. Перспективные технологии скашивания люцерны в валки / В.Н. Солнцев, А.П. Дьячков, Н.В. Закурдаев //Тракторы и сельхозмашины. – 2008. - № 12. – С. 21-22.

98. Старцев, А. С. Анализ сил взаимодействия бичей молотильного барабана с корзинками подсолнечника при обмолоте / А. С. Старцев, Е. Е. Демин, А. А. Куньшин, А. В. Данилин, В. А. Ананьев // Аграрный научный журнал. – 2019. – № 1. – С. 86-89.

99. Старцев, А. С. Результаты исследований длины и диаметра молотильного барабана зерноуборочных комбайнов / Е. Е. Демин, А. С. Старцев, В. А. Ананьев, В. С. Мавзовин // Аграрный научный журнал. – 2018. – № 7. – С. 42-46.

100. Старцев, А.С. Совершенствование технологических процессов и технических средств уборки подсолнечника: дисс. ... д-ра техн. наук : 05.20.01 : защищена 18.12.2020 : утв. 12.04.2021 / Старцев Александр Сергеевич ; ФГБОУ ВО «СГАУ имени Н.И. Вавилова». – Саратов, 2020. – 447 с.

101. Сторчак Н.В. Десикация семенной люцерны / Н.В. Сторчак // Земледелие. 1983. № 7. - С. 33.

102. Тарабрин Д.С. Расслоение в псевдооживленном слое / Д.С. Тарабрин, А.П. Тарасенко // Молодежный вектор развития аграрной науки – Воронеж. - 2014. – С. 52-54.

103. Тарасенко А.П. Выбор оптимального способа скашивания семенников люцерны / А.П. Тарасенко, А.М. Гиевский, Р.С. Соколов // Совершенствование процессов механизации в растениеводстве и животноводстве. – Воронеж. 2000. - С. 20-26.

104. Тарасенко А.П. Дообмолот вороха семенников трав / А.П. Тарасенко, Ю.М. Пологаев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1998. - № 2. – С. 30.

105. Тарасенко А.П. Исследование аксиально-роторного молотильно-сеперирующего устройства для уборки семенников люцерны способом «Невейка» / А.П. Тарасенко, В.Н. Солнцев, А.В. Бобылев // Совершенствование технологий и технических средств производства продукции растениеводства и животноводства. – Воронеж. – 1998. – С.14-20.

106. Тарасенко А.П. Сравнение различных способов укладки массы в поле при скашивании семенников люцерны / А.П. Тарасенко, М.Э. Мерчалова // Резервы стабилизации аграрного производства: тезисы докладов. – Воронеж. -1996. – С. 46.

107. Тарасенко А.П. Уборка люцерны на семена / А.П. Тарасенко, В.Н. Солнцев, И.В. Шатохин, Н.А. Попов // Сельский механизатор. - 2000. - № 7. – С. 8.

108. Тарасенко А.П. Уборка семенников люцерны по способу «Невейка» / А.П. Тарасенко, В.Н. Солнцев, И.В. Шатохин // Техника в сельском хозяйстве. – 1990. № 5. – С. 19-20.

109. Тарасенко А.П. Эффективная технология уборки люцерны на семена / А.П. Тарасенко, В.Н. Солнцев, Н.В. Закурдаев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2006. - № 4. – С. 31.

110. Тимошенко С.П. Механика материалов. Учебник для вузов. 2-е изд., стер. / С.П. Тимошенко, Д.М. Гере. – СПб.: Издательство «Лань». 2002. – 672 с.

111. Улитин А.М. Агротехника и семеноводство многолетних трав / А.М. Улитин. – Краснодар: Краснодарское книжное издательство. – 1970. – 208 с.
112. Ульрих Н.Н. Специфика научных исследований в области механизации производственных процессов в селекции, сортоиспытании и первичном семеноводстве / Н.Н. Ульрих – М.: Труды ВИМ, 1977, т. 74, С. 3-8.
113. Ульрих Н.Н. Механические повреждения зерна // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства 1977. - № 5. – С. 21, 28.
114. Ульрих Н.Н. Принципиальные основы создания системы и типажа мобильных селекционно-семеноводческих машин / Н.Н. Ульрих – М.: Труды ВИМ, 1977, т. 74, С. 8-42.
115. Федоренко В.Ф. Машины для селекции, сортоиспытания и первичного семеноводства: каталог / В.Ф. Федоренко, Д.С. Буклагин, Л.М. Колчина, Н.П. Мишуров, В.Я. Гольяпин, Т.Н. Кузьмина. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2009. – 224 с.
116. Федоренко В.Ф. Уборка и послеуборочная обработка семян трав// Автореф. дис. на соиск. уч. ст. доктора техн. наук, М.: 2004. – 33 с.
117. Фролов В.А. Аэродинамические характеристики профиля и крыла: учеб. пособие / В.А. Фролов. – Самара: изд. Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. – 48 с.
118. Халанский В.М. Обоснование параметров и режимов работы пневмоцентробежного сепаратора при обработке вороха семенников трав / В.М. Халанский, И.В. Горбачев, А.В. Сиротин, А.Ю. Царегородцев // Сб. науч. тр. ЧИМЭСХ «Повышение производительности и качества работы зерноуборочных комбайнов и зерноочистительных машин». Челябинск, 1984. – С. 49-55.
119. Халанский В.М. Разработка технических средств для комбайновой уборки семенных посевов трав / В.М. Халанский, И.В. Горбачев // Достижения науки и техники АПК, № 10. 2009. – С. 36-39.

120. Хохрин С.Н. Кормление сельскохозяйственных животных. – М.: Колос, 2004. – 692 с.
121. Чернышков А.А. Новые методы уборки семенников трав за рубежом / А.А. Чернышков // Тракторы и сельскохозяйственные машины – 1986. - № 5. – С. 58-60.
122. Шабанов П.А. Механико-технологические основы обмолота зерновых культур на корню: дис. ...док. техн. наук. / П.А. Шабанов. – Мелитополь. – 1988. – 336 с.
123. Штеренлихт, Д.В. Гидравлика / Д.В. Штеренлихт: Учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: КолосС, 2004. – 656 с.
124. Шрейдер, Ю. М. Движение потока стеблей в молотильном пространстве аксиально-роторного МСУ / Ю. М. Шрейдер, И. В. Горбачев // Международная научная конференция, посвященной 130-летию Н.И. Вавилова. – Москва. – 2017. – С. 158-160.
125. Щедрина Д.И. Технология производства семян люцерны в Центральном Черноземье / Д.И. Щедрина, А.П. Тарасенко, В.Е. Шевченко // Учебное пособие для сельскохозяйственных вузов. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет, 1996. – 142 с.
126. Юдин М.И. Планирование эксперимента и обработка его результатов: Монография. – Краснодар: КГАУ, 2004. - 239 с.
127. А.с. НРБ № 41835 Устройство для обмолота / Краснодарский НИИ им. П.П. Лукьяненко, SU, Куцеев В.В.; № 59214; заявл. 04.01.83.; приоритет 18.02.82. SU; Оpubл. в бюллетене № 9 на 15.09.87.
128. Effman H. Beurteilung anomaler Keime bei Lupinus // Proc. int Seed Test. Ass. 1963. – 28. – P. 61-69.
129. Griffith A.A. The phenomena of rupture and flow in solids, Phil. Trans. Roy. Soc. of London, A 221 (1921) - P. 163-197.
130. Hege, H.-U. Brief history of combine-harvesting of field research plots and comments on recent types of harvester // IAMFE Newsletter / Intern. Asson Mechaniz. Field Exper. As, 1986. T. 1. - P. 34-37.

131. Hege, H.-U. Die private Pflanzenzucht in der Bundesrepublik Deutschland // Feldversuchswesen. Berlin. - 1990. - T.7. - № 3. - ss. 24-33;
132. Hege, H.-U. Stand und Entwicklungstendenzen der Feldversuchstechnik // Feldversuchswesen. Berlin. - 1990. - T.7. - № 2. - ss. 56-64.
133. Verma Z.R., Bergen K.V. Alfalfa Quality by Top Topography in Mechanically Formed Stachs. TRANSACTIONS of the SAE: 1979. - P. 283-290.
134. Voloshin M.I. Breeding of alfalfa varieties for fray for the steppe areas of North Caucasus // International Meeting Eucarpia. Group «Medicago sativa». – Pleven, Bulgaria, 1986. – P. 169-173.
135. Wintersteiger. Classic Plot combine: presentation. WINTERSTEIGER GmbH, 2002. 12 p.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Патенты РФ

4237

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 125019

ДОМОЛАЧИВАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кубанский государственный аграрный университет" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2012132207

Приоритет полезной модели 26 июля 2012 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 27 февраля 2013 г.

Срок действия патента истекает 26 июля 2022 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов



62.13.03.13



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

Статус: не действует (последнее изменение статуса: 02.07.2021)
Пошлина: учтена за 1 год с 26.07.2012 по 26.07.2013. Возможность восстановления: нет.

(21)(22) Заявка: **2012132207/13**, 26.07.2012(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
26.07.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 26.07.2012

(45) Опубликовано: **27.02.2013** Бюл. № 6

Адрес для переписки:

350044, г.Краснодар, ул. Калинина, 13,
Кубанский ГАУ, отдел науки

(72) Автор(ы):

Куцеев Владимир Васильевич (RU),
Драгуленко Владислав Владимирович
(RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Кубанский государственный аграрный
университет" (RU)**(54) ДОМОЛАЧИВАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА**

(57) Реферат:

Полезная модель относится к области сельскохозяйственного машиностроения, в частности к конструкциям домолачивающих устройств для бобов люцерны зерноуборочных комбайнов. Для повышения эффективности обмолота бобов люцерны в домолачивающем устройстве зерноуборочного комбайна, включающем терочную изогнутую поверхность 1 на внутренней стороне, которой расположены рифы 2, и стрясную доску 3, согласно полезной модели терочная поверхность 1 установлена на сходе стрясной доски 3, закреплена на ней и обращена к ней своей внутренней стороной, снабжена валом 8, имеющим рабочую поверхность 9, образованную рифами 10, установленным с внутренней стороны терочной поверхности 1и поперек стрясной доски 3 своей продольной осью так, что верхняя часть рабочей поверхности 9 вала 8 находится выше поверхности стрясной доски 3, причем терочная поверхность 1 и рабочая поверхность 9 вала 8 образуют постоянный зазор равный в интервале 4...5 мм.

4238

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 125814

МОЛОТИЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ БОБОВ ЛЮЦЕРНЫ

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кубанский государственный аграрный университет" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2012132926

Приоритет полезной модели 01 августа 2012 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 20 марта 2013 г.

Срок действия патента истекает 01 августа 2022 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов



20-03-2013



(51) МПК
A01F 11/04 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

Статус: не действует (последнее изменение статуса: 02.07.2021)
 Пошлина: учтена за 1 год с 01.08.2012 по 01.08.2013. Возможность восстановления: нет.

(21)(22) Заявка: [2012132926/13](#), 01.08.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
 01.08.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 01.08.2012

(45) Опубликовано: [20.03.2013](#) Бюл. № 8

Адрес для переписки:

350044, г.Краснодар, ул. Калинина, 13,
 Кубанский ГАУ, отдел науки

(72) Автор(ы):

Куцеев Владимир Васильевич (RU),
 Драгуленко Владислав Владимирович
 (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
 образовательное учреждение высшего
 профессионального образования
 "Кубанский государственный аграрный
 университет" (RU)

(54) МОЛОТИЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ БОБОВ ЛЮЦЕРНЫ

(57) Реферат:

Полезная модель относится к области сельскохозяйственного машиностроения, в частности к конструкциям молотильных устройств для бобов люцерны. Для обеспечения возможности работы в непрерывном режиме загрузки в молотильном устройстве для бобов люцерны, включающем камеру 1, содержащую корпус 2 цилиндрической формы и дно 4, в которой установлены подвижные лопасти 6 на постоянном расстоянии от ее внутренней поверхности и консольный вал 5, согласно полезной модели дно 4 камеры 1 установлено с возможностью вращения на консольном валу 5, образуя зазор с корпусом 2, а подвижные лопасти 6 закреплены боковой стороной на дне 4 вертикально, при этом дно 4 в центре имеет направляющий элемент 7 в форме конуса по касательной окружности основания, которого направлены лопасти 6, а противоположный конец лопастей 6 расположен на кромке дна 4.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 128448

МОЛОТИЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ БОБОВ ЛЮЦЕРНЫ

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кубанский государственный аграрный университет" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2012122411

Приоритет полезной модели 30 мая 2012 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 27 мая 2013 г.

Срок действия патента истекает 30 мая 2022 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов



07-06-2013

(51) МПК
[A01F 11/04 \(2006.01\)](#)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ**

Статус: не действует (последнее изменение статуса: 02.07.2021)
 Пошлина: учтена за 1 год с 30.05.2012 по 30.05.2013. Возможность восстановления: нет.

(21)(22) Заявка: [2012122411/13](#), 30.05.2012(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
30.05.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 30.05.2012

(45) Опубликовано: [27.05.2013](#) Бюл. № 15

Адрес для переписки:

350044, г.Краснодар, ул. Калинина, 13,
Кубанский ГАУ, отдел науки

(72) Автор(ы):

Куцеев Владимир Васильевич (RU),
Драгуленко Владислав Владимирович
(RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Кубанский государственный аграрный
университет" (RU)**(54) МОЛОТИЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ БОБОВ ЛЮЦЕРНЫ**

(57) Реферат:

Полезная модель относится к области сельскохозяйственного машиностроения, в частности к конструкциям молотильных устройств для бобов люцерны.

Для повышения эффективности обмолота бобов люцерны в молотильном устройстве для бобов люцерны, включающем камеру 1, содержащую корпус 2 цилиндрической формы, в которой установлены лопасти 4 с возможностью вращения, образуя зазоры с корпусом 1 в интервале 3,0...5,0 мм и снабженные приводом во вращение 5, согласно полезной модели консольные концы 7 лопастей 4 выполнены Г-образной формы и обращены вертикальными поверхностями к внутренней боковой поверхности корпуса 2 и вверх.

В предпочтительном выполнении молотильного устройства консольные концы 7 лопастей 4, имеющие Г-образную форму выполнены криволинейными, например, по участку спирали Архимеда.

В другом предпочтительном выполнении молотильного устройства передние грани лопастей 4, выполнены со скосом, обращенным к дну корпуса 2.

4711

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 155627

МОЛОТИЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ БОБОВ ЛЮЦЕРНЫ

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кубанский государственный аграрный университет" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2015117504

Приоритет полезной модели 07 мая 2015 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 21 сентября 2015 г.

Срок действия патента истекает 07 мая 2025 г.

Заместитель руководителя Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий



20-10-2015



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

Статус: не действует (последнее изменение статуса: 02.07.2021)
Пошлина: учтена за 1 год с 07.05.2015 по 07.05.2016. Возможность восстановления: нет.

(21)(22) Заявка: [2015117504/13](#), 07.05.2015(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
07.05.2015

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 07.05.2015

(45) Опубликовано: [10.10.2015](#) Бюл. № 28

Адрес для переписки:

350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13,
Кубанский ГАУ, отдел организации и
мониторинга научной деятельности

(72) Автор(ы):

Куцеев Владимир Васильевич (RU),
Драгуленко Владислав Владимирович
(RU),
Голицын Александр Сергеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Кубанский государственный аграрный
университет" (RU)

(54) МОЛОТИЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ БОБОВ ЛЮЦЕРНЫ

(57) Реферат:

Полезная модель относится к области сельскохозяйственного машиностроения, в частности к конструкциям молотильных устройств для бобов люцерны. Для увеличения пропускной способности в непрерывном режиме загрузки в молотильном устройстве для бобов люцерны, включающем камеру 1, содержащую корпус 2 цилиндрической формы и дно 4, в которой установлены подвижные лопасти 6 и консольный вал 5, дно 4 камеры 1 установлено с возможностью вращения на консольном валу 5, образуя зазор с корпусом 2, а подвижные лопасти 6 закреплены на дне 4, согласно полезной модели корпус 2 снабжен кольцом 7, закрепленным под дном 4, имеющим верхнюю плоскую поверхность 8, которая расположена с наклоном вниз, подвижные лопасти 6 расположены за кромкой дна 4, установлены с наклоном, образуя острый угол с верхней плоской поверхностью 8 кольца 7, причем вершина острого угла направлена в сторону противоположную направлению вращения подвижных лопастей 6, а в радиальном направлении подвижные лопасти 6 образуют с верхней плоской поверхностью 8 кольца 7 постоянный зазор.

4835

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 163296

МОЛОТИЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ БОБОВ ЛЮЦЕРНЫ

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кубанский государственный аграрный университет" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2016106255

Приоритет полезной модели 24 февраля 2016 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 23 июня 2016 г.

Срок действия патента истекает 24 февраля 2026 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев Г.П. Ивлиев



20-07-2016



(51) МПК
[A01F 11/04 \(2006.01\)](#)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

Статус: не действует (последнее изменение статуса: 02.07.2021)
 Пошлина: учтена за 1 год с 24.02.2016 по 24.02.2017. Возможность восстановления: нет.

(21)(22) Заявка: [2016106255/13](#), 24.02.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
 24.02.2016

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 24.02.2016

(45) Опубликовано: [10.07.2016](#) Бюл. № 19

Адрес для переписки:

350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13,
 Кубанский ГАУ, отдел организации и
 мониторинга научной деятельности

(72) Автор(ы):

Куцеев Владимир Васильевич (RU),
 Драгуленко Владислав Владимирович
 (RU),
 Голицын Александр Сергеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
 образовательное учреждение высшего
 профессионального образования
 "Кубанский государственный аграрный
 университет" (RU)

(54) МОЛОТИЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ БОБОВ ЛЮЦЕРНЫ

(57) Реферат:

Полезная модель относится к области сельскохозяйственного машиностроения, в частности к конструкциям молотильных устройств для бобов люцерны. Для повышения эффективности обмолота бобов люцерны в молотильном устройстве для бобов люцерны, включающем камеру 1, содержащую корпус 2 цилиндрической формы и дно 3, в которой установлены подвижные лопасти 4 и консольный вал 5, дно 3 камеры 1 установлено с возможностью вращения на консольном валу 5, образуя зазор с корпусом 2, а подвижные лопасти 4 закреплены на дне 3, и желоб 7, согласно полезной модели камера 1 снабжена дополнительной камерой 8 в форме усеченного конуса, расположенной между корпусом 2 и желобом 7 и обращенной своим меньшим основанием к корпусу 2, периферийная часть дна 3 выполнена с наклоном вниз, а желоб 7 снабжен перфорированным диском 9, закрепленным под зазором, образованным дном 3 и корпусом 2 камеры 1, на упругом элементе 11, который соединен жестко с желобом 7 и с возможностью кинематического взаимодействия с дном 3 через закрепленные на нем кулачки 12. Перфорированный диск 9 снабжен кольцом 14, закрепленным на его внешней верхней кромке. Периферийная часть дна 3 снабжена выступами 15. Применение полезной модели позволит увеличить пропускную способность молотильного устройства для бобов люцерны и как следствие увеличить производительность его работы.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 186227

МОЛОТИЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ БОБОВ ЛЮЦЕРНЫ

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина" (RU)*

Авторы: *Куцеев Владимир Васильевич (RU), Артюхин Дмитрий Александрович (RU), Голицын Александр Сергеевич (RU), Дразгуленко Владислав Владимирович (RU)*

Заявка № 2018121160

Приоритет полезной модели 07 июня 2018 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 11 января 2019 г.

Срок действия исключительного права на полезную модель истекает 07 июня 2028 г.



Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Г.П. Излиев

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Акты внедрения

Первый проректор
ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ
профессор
Резниченко С.М.
« 19 » 2021 г.



АКТ

об использовании в учебном процессе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина» на факультете механизации результатов научно-исследовательской работы Драгуленко Владислава Владимировича

Комиссия в составе: председателя – декана факультета механизации, доцента А.А. Титученко, членов комиссии – заведующего кафедрой «Тракторы, автомобили и техническая механика» профессора В.С. Курасова и доцента кафедры «Тракторы, автомобили и техническая механика» Е.Е. Самурганова рассмотрела результаты научно-исследовательской работы старшего преподавателя кафедры «Тракторы, автомобили и техническая механика» Драгуленко Владислава Владимировича по обмолоту люцерны и их использование в учебном процессе на факультете механизации.

Комиссия установила, что результаты научно-исследовательской работы Драгуленко Владислава Владимировича используются в учебном процессе на кафедре «Тракторы, автомобили и техническая механика» при написании выпускных квалификационных работ обучающимися по направлению подготовки 35.04.06 «Агроинженерия», направленность «Технологии и средства механизации сельского хозяйства».

Председатель комиссии _____ А.А. Титученко

Члены комиссии: _____ В.С. Курасов

_____ Е.Е. Самурганов



УТВЕРЖДАЮ

ИП Глава КФХ Ильченко Ю. В.

Ильченко Ю. В.

09 2021 г.


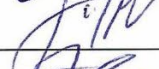


АКТ

об использовании результатов исследований
Драгуленко Владислава Владимировича старшего преподавателя
кафедры «Тракторы, автомобили и техническая механика»
ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ

Комиссия в составе: агронома «ИП Глава КФХ Ильченко Ю. В.» Миль О.В.; заведующего кафедрой «Тракторы, автомобили и техническая механика» Кубанского ГАУ, доктора технических наук Курасова В.С.; доцента Кубанского ГАУ кандидата технических наук Самурганова Е.Е. и старшего преподавателя Кубанского ГАУ Драгуленко В.В. составили настоящий акт о том, что устройство для обмолота бобов люцерны, разработанное по результатам исследований Драгуленко В.В., прошло производственные испытания в «ИП Глава КФХ Ильченко Ю. В.» Динского района Краснодарского края.

Испытания проведены 15.09.2021 г. в «ИП Глава КФХ Ильченко Ю. В.». Всего было обмолочено 90 кг бобов. Дробление и недомолот семян соответствовали агротехническим требованиям.

Члены комиссии:

	О.В. Миль
	В.С. Курасов
	Е.Е. Самурганов
	В.В. Драгуленко

ПРИЛОЖЕНИЕ В
Листинги программ

"МНК 2-х факторный (действительные значения факторов)"

ORIGIN = 1

Число проведенных опытов в примере = 9

Действительные значения переменных

Отклик

	15		6		79.96
	5		6		81.29
	15		4		64.89
	5		4		75.72
X1	15	X2	5	y	97.07
	5		5		103.15
	10		6		45.01
	10		4		34.68
	10		5		64.48

n = length(y)

n = 9

zy = y

zX1y = X1·y

zX2y = X2·y

zy = 646.25

zX1y = $6.371 \cdot 10^3$ zX2y = $3.262 \cdot 10^3$ $v_6 = zy$ $v_5 = zX1y$ $v_4 = zX2y$

zX1X2y

s = 0

j = 1

while n > j

s = s + X1_j·X2_j·y_j

j = j + 1

s

zX1X2y = $3.221 \cdot 10^4$ $v_3 = zX1X2y$

```

zX2X2y  s  0
         j  1
         while n  j
           s  s  X2j·X2j·yj
           j  j  1
         s

```

$$zX2X2y = 1.685 \cdot 10^4$$

$$v_1 = zX2X2y$$

```

zX1X1y  s  0
         j  1
         while n  j
           s  s  X1j·X1j·yj
           j  j  1
         s

```

$$zX1X1y = 7.535 \cdot 10^4$$

$$v_2 = zX1X1y$$

zX1 > X1

zX2 > X2

zX1 = 90

zX2 = 45

```

zX1X2  s  0
        j  1
        while n  j
          s  s  X1j·X2j
          j  j  1
        s

```

$$zX1X2 = 450 \quad M_{6,3} \quad zX1X2$$

```

zX1X1  s  0
        j  1
        while n  j
          s  s  X1j·X1j
          j  j  1
        s

```

$$zX1X1 = 1.05 \cdot 10^3 \quad M_{6,2} \quad zX1X1$$

```

zX2X2  s  0
        j  1
        while n  j
          s  s  X2j·X2j
          j  j  1
        s

```

$$zX2X2 = 231 \quad M_{6,1} \quad zX2X2$$

```

zX1X1X2  s  0
          j  1
          while n  j
            s  s  X1j·X1j·X2j
            j  j  1
          s

```

$$zX1X1X2 = 5.25 \cdot 10^3 \quad M_{5,3} \quad zX1X1X2$$

```

zX1X1X1  s  0
          j  1
          while n  j
            s  s  X1j·X1j·X1j
            j  j  1
          s

```

$$zX1X1X1 = 1.35 \cdot 10^4 \quad M_{5,2} \quad zX1X1X1$$

```

zX2X2X2  s  0
          j  1
          while n  j
            s  s  X2j·X2j·X2j
            j  j  1
          s

```

$$zX2X2X2 = 1.215 \cdot 10^3 \quad M_{4,1} \quad zX2X2X2$$

```

zX2X2X1  s 0
          j 1
          while n j
            s s X2j·X2j·X1j
            j j + 1
          s
    
```

$$zX2X2X1 = 2.31 \cdot 10^3 \quad M_{5,1} \quad zX2X2X1$$

```

zX2X2X1X1  s 0
             j 1
             while n j
               s s X2j·X2j·X1j·X1j
               j j + 1
             s
    
```

$$zX2X2X1X1 = 2.695 \cdot 10^4 \quad M_{2,1} \quad zX2X2X1X1$$

```

zX2X2X2X2  s 0
            j 1
            while n j
              s s X2j·X2j·X2j·X2j
              j j + 1
            s
    
```

$$zX2X2X2X2 = 6.531 \cdot 10^3 \quad M_{1,1} \quad zX2X2X2X2$$

```

zX1X1X1X1  s 0
            j 1
            while n j
              s s X1j·X1j·X1j·X1j
              j j + 1
            s
    
```

$$zX1X1X1X1 = 183750 \quad M_{2,2} \quad zX1X1X1X1$$

```

zX1X1X1X2  s 0
            j 1
            while n j
              s s X1j·X2j·X1j·X1j
              j j + 1
            s
    
```

$$zX1X1X1X2 = 67500 \quad M_{3,2} \quad zX1X1X1X2$$

```

zX1X2X2X2  s 0
            j 1
            while n j
              s s X2j·X2j·X2j·X1j
              j j + 1
            s
    
```

$$zX1X2X2X2 = 12150 \quad M_{3,1} \quad zX1X2X2X2$$

$M_{6,6}$	n	$M_{6,5}$	zX1	$M_{6,4}$	zX2	$M_{5,5}$	$M_{6,2}$
$M_{5,6}$	$M_{6,5}$	$M_{4,6}$	$M_{6,4}$	$M_{4,5}$	$M_{6,3}$	$M_{3,6}$	$M_{6,3}$
$M_{2,6}$	$M_{6,2}$	$M_{4,4}$	$M_{6,1}$	$M_{1,6}$	$M_{6,1}$	$M_{4,2}$	$M_{5,3}$
$M_{3,5}$	$M_{3,3}$	$M_{2,5}$	$M_{5,2}$	$M_{1,4}$	$M_{4,1}$	$M_{4,3}$	$M_{5,1}$
$M_{1,5}$	$M_{5,1}$	$M_{2,3}$	$M_{3,2}$	$M_{3,3}$	$M_{2,1}$	$M_{1,2}$	$M_{2,1}$

				16847.5					
				75353					
			v =	32213.7					
				3262.22					
				6371.3					
				646.25					
M =	6531	26950	12150	1215	2310	231			
	26950	183750	67500	5250	13500	1050			
	12150	67500	26950	2310	5250	450			
	1215	5250	2310	231	450	45			
	2310	13500	5250	450	1050	90			
	231	1050	450	45	90	9			
				24.6416666667					
				1.4249333333					
x	M ⁻¹ ·v		x =	0.475					
				246.8283333334					
				31.4816666667					
				405.0422222223					
D0	x ₀	D1	x ₁	D2	x ₂	D11	x ₂	D22	x ₂

Действительные коэффициенты уравнения вида:
 $y = D0 + D1 \cdot X1 + D2 \cdot X2 + D12 \cdot X1 \cdot X2 + D11 \cdot X1 \cdot X1 + D22 \cdot X2 \cdot X2$

D0 = 405.042 D1 = 31.482 D2 = 246.828 D12 = 0.475

D11 = 1.425 D22 = 24.642

j = 1 - n yp_{1j} = D0 + D1·X_{1j} + D2·X_{2j}

yp_{2j} = D12·X_{1j}·X_{2j}

yp_{3j} = D11·X_{1j}·X_{1j} + D22·X_{2j}·X_{2j}

yp = yp₁ + yp₂ + yp₃

dy = y - yp

					2.778·10 ³				
	15	6		79.96	79.963	2.778·10 ³			
	5	6		81.29	81.293	5.556·10 ⁴			
	15	4		64.89	64.889	5.556·10 ⁴			
	5	4		75.72	75.719	2.222·10 ³			
X1 =	15	X2 =	5	y =	97.07	yp =	97.068	dy =	2.222·10 ³
	5		5		103.15		103.148		2.222·10 ³
	10		6		45.01		45.004		5.556·10 ³
	10		4		34.68		34.681		1.111·10 ³
	10		5		64.48		64.484		4.444·10 ³

Листинг программы
"Действительные в нормализованные 2"

Действительные коэффициенты уравнения

D0 = 405.042 D1 = 31.482 D2 = 246.828
D12 = 0.475
D11 = 1.425 D22 = 24.642

Центр плана и размах варьирования факторов

X10 = 10 d1 = 5 X20 = 5 d2 = 1

$X1 = x1 \cdot d1 - X10$ $X2 = x2 \cdot d2 - X20$

b22 = D22 - d2 - d2 b11 = D11 - d1 - d1 b12 = D12 - d1 - d2

b2 = D2 - d2 - 2 \cdot X20 - D22 - d2 - X10 - D12 - d2

b1 = D1 - d1 - 2 \cdot X10 - D11 - d1 - X20 - D12 - d1

b44 = D0 - D1 \cdot X10 - D2 \cdot X20 - D12 \cdot X10 \cdot X20

b0 = b44 - D11 \cdot X10 \cdot X10 - D22 \cdot X20 \cdot X20

Нормализованные коэффициенты уравнения

b0 = 64.478 b1 = 3.035 b2 = 5.158
b12 = 2.375
b11 = 35.625 b22 = 24.642

"Каноническое преобразование Вк-2"

$b_0 = 64.478$ $b_1 = 3.035$ $b_2 = 5.158$

$b_{12} = 2.375$

$b_{11} = 35.625$ $b_{22} = 24.642$

$2 \cdot b_{11} \cdot x_1 - b_{12} \cdot x_2 = b_1$

$b_{12} \cdot x_1 + 2 \cdot b_{22} \cdot x_2 = b_2$

$M = \begin{pmatrix} 2 \cdot b_{11} & b_{12} \\ b_{12} & 2 \cdot b_{22} \end{pmatrix}$ $v = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix}$ $x = M^{-1} \cdot v$ $x = \begin{pmatrix} 0.03905 \\ 0.10654 \end{pmatrix}$

$x_1 = x_0$ $x_2 = x_1$

$X_1 = 5 \cdot x_1 = 10$ $X_1 = 10.19523$ $X_2 = 1 \cdot x_2 = 5$ $X_2 = 5.10654$

$f(x_1, x_2) = b_0 - b_1 \cdot x_1 - b_2 \cdot x_2 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2$

$f(x_1, x_2) = f(x_1, x_2) - b_{11} \cdot x_1^2 - b_{22} \cdot x_2^2$ $Y_s = f(x_1, x_2)$

$b = \begin{cases} \frac{b_{12}}{b_{11} \cdot b_{22}} & \text{if } b_{12} \neq 0 \\ \frac{b_{11} \cdot b_{22}}{b_{12}} & \text{otherwise} \end{cases}$ $\alpha = \begin{cases} \frac{\text{atan}(b)}{2} & \text{if } b_{12} \neq 0 \\ \frac{45 \cdot \pi}{180} & \text{if } b_{11} = b_{22} \\ \frac{\text{atan}(b)}{2} & \text{if } b \neq 0 \end{cases}$

$E = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$ $A = \begin{pmatrix} \frac{b_{11}}{2} & \frac{b_{12}}{2} \\ \frac{b_{12}}{2} & \frac{b_{22}}{2} \end{pmatrix}$ $\alpha = \alpha + \frac{180}{x}$

$B^2 = B \cdot (b_{11} \cdot b_{22}) - b_{11} \cdot b_{22} \cdot \frac{b_{12}^2}{2} = 0$

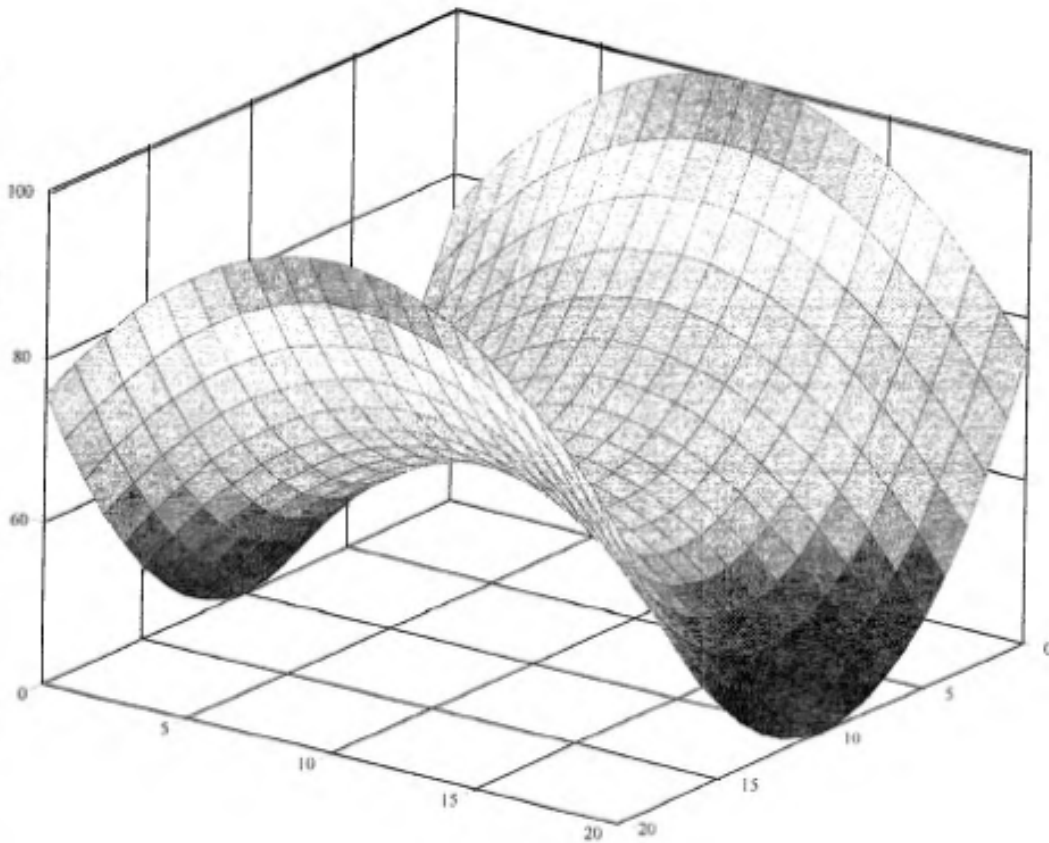
$C = \text{eigenvals}(A)$ $C = \begin{pmatrix} 35.64839 \\ 24.66539 \end{pmatrix}$ $B_{11} = C_0$ $B_{22} = C_1$

$Y_s = 64.69352$ $B_{11} = 35.64839$ $B_{22} = 24.66539$ $\alpha = 1.12837$
 $x_1 = 0.03905$ $x_2 = 0.10654$
 $J_1 = b_{11} - b_{22}$ $J_2 = B_{11} - B_{22}$ $J_1 = 10.983$ $J_2 = 10.983$

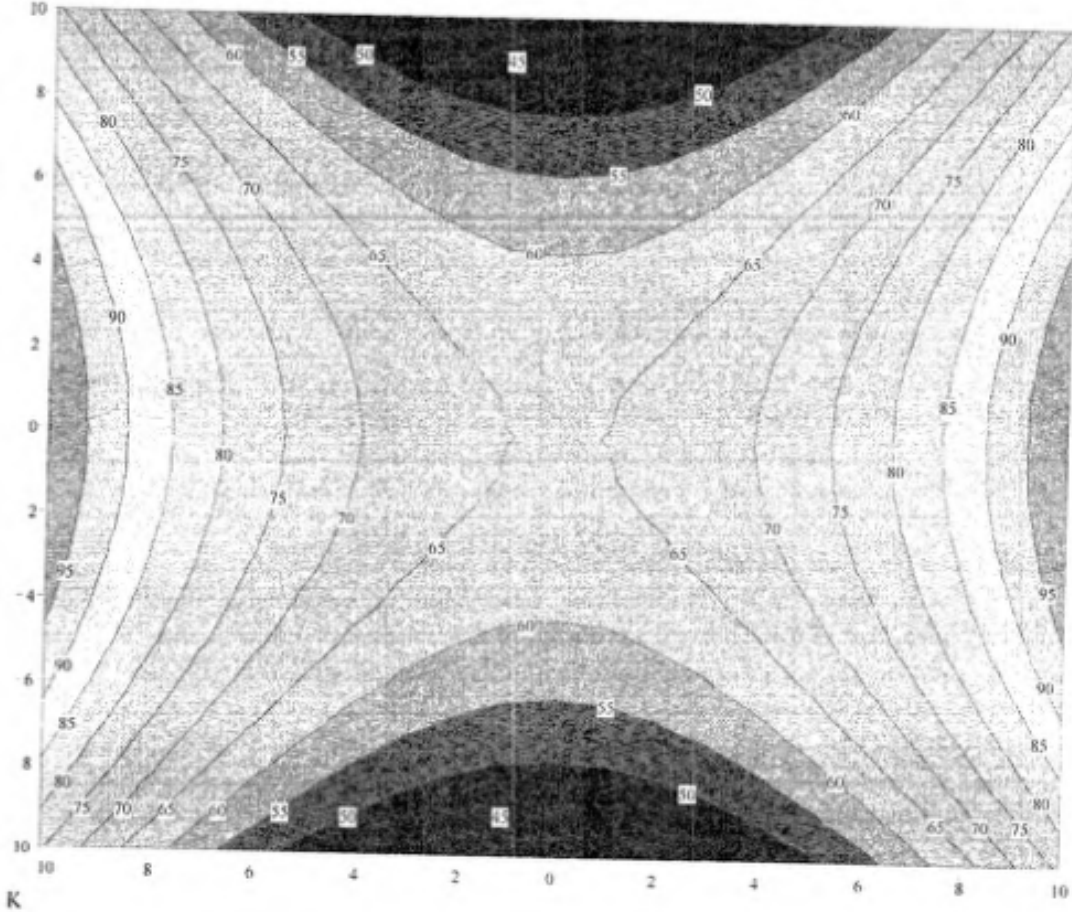
Уравнение регрессии в канонической форме
 $Y - Y_s = B_1 \cdot X_1^2 + B_2 \cdot X_2^2$ или

$$\frac{X_1^2}{\frac{Y - Y_s}{B_1}} + \frac{X_2^2}{\frac{Y - Y_s}{B_2}} = 1$$

$kk = 20$ $X_1 = 0..kk$ $X_2 = 0..kk$ $X_{11}(X_1) = 1 - 0.1 \cdot X_1$ $X_{22}(X_2) = 1 - 0.1 \cdot X_2$
 $z(X_{11}, X_{22}) = Y_s - B_{11} \cdot X_{11}(X_1) \cdot X_{11}(X_1) - B_{22} \cdot X_{22}(X_2) \cdot X_{22}(X_2)$ $K_{X_1, X_2} = z(X_{11}, X_{22})$



K



Листинг программы
МНК 3-х факторный (действительные значения факторов)

```

ORIGIN = 1      n = 14 -число проведенных опытов

      Действительные значения переменных

      Отклик

      15      10      90      20.5
      5       10      90      18.4
      15      2       90      23.1
      5       2       90      25.7
      15      10      10      7.8
      5       10      10      11.4
      15      2       10      17.7
      5       2       10      25.9
      15      6       50      2.1
      5       6       50      5.2
      10      10      50      3
      10      2       50      11.6
      10      6       90      15.2
      10      6       10      8.9

      X1      X2      X3      y

      zy = zy      zX1y = X1·y      zX2y = X2·y      zX3y = X3·y

      zy = 196.5      zX1y = 1.888·103      zX2y = 1.007·103

      v10 = zy      v9 = zX1y      v8 = zX2y      v7 = zX3y

      zX1X2y      s = 0      zX1X3y      s = 0
      j = 1      j = 1
      while n > j      while n > j
      s = s + X1j·X2j·yj      s = s + X1j·X3j·yj
      j = j + 1      j = j + 1
      s      s

      zX1X2y = 9.798·103      zX1X3y = 1.091·105

      v6 = zX1X2y      v5 = zX1X3y

```

```

zX2X3y  s = 0
         j = 1
         while n > j
           s = s + X2j * X3j * yj
           j = j + 1
         s

```

$$zX2X3y = 6.018 \cdot 10^4$$

$$v_4 = zX2X3y$$

```

zX2X2y  s = 0
         j = 1
         while n > j
           s = s + X2j * X2j * yj
           j = j + 1
         s

```

$$zX2X2y = 7.656 \cdot 10^3$$

$$v_2 = zX2X2y$$

$$zX1 = 140$$

```

zX1X2  s = 0
        j = 1
        while n > j
          s = s + X1j * X2j
          j = j + 1
        s

```

$$zX1X2 = 840$$

$$M_{10,6} = zX1X2$$

```

zX1X1y  s = 0
         j = 1
         while n > j
           s = s + X1j * X1j * yj
           j = j + 1
         s

```

$$zX1X1y = 2.206 \cdot 10^4$$

$$v_3 = zX1X1y$$

```

zX3X3y  s = 0
         j = 1
         while n > j
           s = s + X3j * X3j * yj
           j = j + 1
         s

```

$$zX3X3y = 895410$$

$$v_1 = zX3X3y$$

$$zX1 = X1$$

$$zX2 = X2$$

$$zX3 = X3$$

$$zX2 = 84$$

$$zX3 = 700$$

```

zX1X3  s = 0
        j = 1
        while n > j
          s = s + X1j * X3j
          j = j + 1
        s

```

$$zX1X3 = 7 \cdot 10^3$$

$$M_{10,5} = zX1X3$$

```

zX2X3  s = 0
        j = 1
        while n > j
          s = s + X2j * X3j
          j = j + 1
        s

```

$$zX2X3 = 4.2 \cdot 10^3$$

$$M_{10,4} = zX2X3$$

```

zX1X1  s = 0
        j = 1
        while n > j
          s = s + X1j * X1j
          j = j + 1
        s

```

$$zX1X1 = 1.65 \cdot 10^3$$

$$M_{10,3} = zX1X1$$

```

zX2X2  s= 0
        j= 1
        while n>j
            s= s * X2j * X2j
            j= j + 1
        s
    
```

zX2X2 = 664

 $M_{10,2}$ zX2X2

```

zX3X3  s= 0
        j= 1
        while n>j
            s= s * X3j * X3j
            j= j + 1
        s
    
```

zX3X3 = $5.1 \cdot 10^4$ $M_{10,1}$ zX3X3

```

zX1X1X3  s= 0
           j= 1
           while n>j
               s= s * X1j * X1j * X3j
               j= j + 1
           s
    
```

zX1X1X3 = $8.25 \cdot 10^4$ $M_{9,5}$ zX1X1X3

```

zX1X1X2  s= 0
           j= 1
           while n>j
               s= s * X1j * X1j * X2j
               j= j + 1
           s
    
```

zX1X1X2 = $9.9 \cdot 10^3$ $M_{9,6}$ zX1X1X2

```

zX1X2X3  s= 0
           j= 1
           while n>j
               s= s * X2j * X3j * X1j
               j= j + 1
           s
    
```

zX1X2X3 = $4.2 \cdot 10^4$ $M_{9,4}$ zX1X2X3

```

zX1X1X1  s= 0
           j= 1
           while n>j
               s= s * X1j * X1j * X1j
               j= j + 1
           s
    
```

zX1X1X1 = $2.15 \cdot 10^4$ $M_{9,3}$ zX1X1X1

```

zX2X2X1  s= 0
           j= 1
           while n>j
               s= s * X2j * X2j * X1j
               j= j + 1
           s
    
```

zX2X2X1 = $6.64 \cdot 10^3$ $M_{9,2}$ zX2X2X1

```

zX1X3X3  s= 0
           j= 1
           while n>j
               s= s * X1j * X3j * X3j
               j= j + 1
           s
    
```

zX1X3X3 = $5.1 \cdot 10^5$ $M_{9,1}$ zX1X3X3

```

zX2X2X3  s= 0
           j= 1
           while n>j
               s= s * X2j * X2j * X3j
               j= j + 1
           s
    
```

```

zX2X3X3  s= 0
           j= 1
           while n>j
               s= s * X2j * X3j * X3j
               j= j + 1
           s
    
```

```

zX2X2X3 = 3.32*104   M8,4 = zX2X2X3   zX2X3X3 = 306000   M8,1 = zX2X3X3

zX2X2X2 : s = 0
           j = 1
           while n > j
             s = s - X2j·X2j·X2j
             j = j - 1
           s

zX2X2X2 = 5.904*103   M8,2 = zX2X2X2   zX3X3X3 = 4150000   M7,1 = zX3X3X3

zX2X2X1X1 : s = 0
            j = 1
            while n > j
              s = s - X2j·X2j·X1j·X1j
              j = j - 1
            s

zX2X2X1X1 = 7.86*104   M6,6 = zX2X2X1X1   zX3X3X3X3 = 353100000   M1,1 = zX3X3X3X3

zX2X2X2X2 : s = 0
            j = 1
            while n > j
              s = s - X2j·X2j·X2j·X2j
              j = j - 1
            s

zX2X2X2X2 = 5.526*104   M2,2 = zX2X2X2X2   zX1X1X1X1 = 296250   M3,3 = zX1X1X1X1

zX2X2X3X3 : s = 0
            j = 1
            while n > j
              s = s - X2j·X2j·X3j·X3j
              j = j - 1
            s

zX2X2X3X3 = 2440800   M1,2 = zX2X2X3X3   zX1X1X3X3 = 6045000   M1,3 = zX1X1X3X3

zX2X3X3X3 : s = 0
            j = 1
            while n > j
              s = s - X2j·X3j·X3j·X3j
              j = j - 1
            s

zX3X3X3X3 : s = 0
            j = 1
            while n > j
              s = s - X3j·X3j·X3j·X3j
              j = j - 1
            s

zX3X3X3X3X3 : s = 0
              j = 1
              while n > j
                s = s - X3j·X3j·X3j·X3j
                j = j - 1
              s

zX1X1X1X1X1 : s = 0
              j = 1
              while n > j
                s = s - X1j·X1j·X1j·X1j
                j = j - 1
              s

zX1X1X3X3X3 : s = 0
              j = 1
              while n > j
                s = s - X1j·X1j·X3j·X3j
                j = j - 1
              s

zX1X3X3X3X3 : s = 0
              j = 1
              while n > j
                s = s - X1j·X3j·X3j·X3j
                j = j - 1
              s

```

zX2X3X3X3 = 24900000 $M_{1,4}$ zX2X3X3X3 zX1X3X3X3 = 41500000 $M_{1,5}$ zX1X3X3X3

```
zX1X2X3X3  s = 0
             j = 1
             while n > j
               s = s - X1_j * X2_j * X3_j * X3_j
               j = j + 1
             s
```

```
zX2X2X2X3  s = 0
             j = 1
             while n > j
               s = s - X2_j * X2_j * X2_j * X3_j
               j = j + 1
             s
```

zX1X2X3X3 = 3060000 $M_{1,6}$ zX1X2X3X3 zX2X2X2X3 = 295200 $M_{2,4}$ zX2X2X2X3

```
zX1X2X2X3  s = 0
             j = 1
             while n > j
               s = s - X1_j * X2_j * X2_j * X3_j
               j = j + 1
             s
```

```
zX1X2X2X2  s = 0
             j = 1
             while n > j
               s = s - X2_j * X2_j * X2_j * X1_j
               j = j + 1
             s
```

zX1X2X2X3 = 332000 $M_{2,5}$ zX1X2X2X3 zX1X2X2X2 = 59040 $M_{2,6}$ zX1X2X2X2

```
zX1X1X2X3  s = 0
             j = 1
             while n > j
               s = s - X1_j * X2_j * X3_j * X1_j
               j = j + 1
             s
```

```
zX1X1X1X3  s = 0
             j = 1
             while n > j
               s = s - X1_j * X1_j * X1_j * X3_j
               j = j + 1
             s
```

zX1X1X2X3 = 495000 $M_{3,4}$ zX1X1X2X3 zX1X1X1X3 = 1075000 $M_{3,5}$ zX1X1X1X3

```
zX1X1X1X2  s = 0
             j = 1
             while n > j
               s = s - X1_j * X2_j * X1_j * X1_j
               j = j + 1
             s
```

```
zX1X1X2X3  s = 0
             j = 1
             while n > j
               s = s - X1_j * X1_j * X2_j * X3_j
               j = j + 1
             s
```

zX1X1X1X2 = 129000 $M_{3,6}$ zX1X1X1X2 zX1X1X2X3 = 495000 $M_{0,5}$ zX1X1X2X3

$M_{10,10}$	n	$M_{10,9}$	$zX1$	$M_{10,8}$	$zX2$	$M_{10,7}$	$zX3$	$M_{3,9}$	$M_{9,3}$
$M_{9,10}$	$M_{10,9}$	$M_{8,10}$	$M_{10,8}$	$M_{7,10}$	$M_{10,7}$	$M_{6,10}$	$M_{10,6}$	$M_{5,10}$	$M_{10,5}$
$M_{4,10}$	$M_{10,4}$	$M_{3,10}$	$M_{10,3}$	$M_{2,10}$	$M_{10,2}$	$M_{1,10}$	$M_{10,1}$	$M_{9,8}$	$M_{10,6}$
$M_{8,9}$	$M_{10,6}$	$M_{9,7}$	$M_{10,5}$	$M_{7,9}$	$M_{10,5}$	$M_{8,7}$	$M_{10,4}$	$M_{7,8}$	$M_{10,4}$
$M_{9,9}$	$M_{10,3}$	$M_{8,8}$	$M_{10,2}$	$M_{7,7}$	$M_{10,1}$	$M_{6,9}$	$M_{9,6}$	$M_{5,9}$	$M_{9,5}$
$M_{8,5}$	$M_{9,4}$	$M_{7,6}$	$M_{9,4}$	$M_{6,7}$	$M_{9,4}$	$M_{5,8}$	$M_{9,4}$	$M_{4,9}$	$M_{9,4}$
$M_{2,9}$	$M_{9,2}$	$M_{8,6}$	$M_{9,2}$	$M_{6,8}$	$M_{9,2}$	$M_{7,3}$	$M_{5,9}$	$M_{3,7}$	$M_{5,9}$
$M_{1,9}$	$M_{9,1}$	$M_{5,7}$	$M_{9,1}$	$M_{7,5}$	$M_{9,1}$	$M_{8,3}$	$M_{9,6}$	$M_{5,6}$	$M_{6,5}$
$M_{4,8}$	$M_{8,4}$	$M_{2,7}$	$M_{8,4}$	$M_{1,8}$	$M_{8,1}$	$M_{7,4}$	$M_{8,1}$	$M_{4,7}$	$M_{8,1}$
$M_{3,2}$	$M_{6,6}$	$M_{2,3}$	$M_{6,6}$	$M_{2,8}$	$M_{8,2}$	$M_{1,7}$	$M_{7,1}$	$M_{7,2}$	$M_{8,4}$
$M_{2,1}$	$M_{1,2}$	$M_{4,4}$	$M_{1,2}$	$M_{3,1}$	$M_{1,3}$	$M_{5,5}$	$M_{1,3}$	$M_{3,8}$	$M_{6,9}$
$M_{4,1}$	$M_{1,4}$	$M_{5,1}$	$M_{1,5}$	$M_{4,2}$	$M_{2,4}$	$M_{5,4}$	$M_{1,6}$	$M_{4,5}$	$M_{1,6}$
$M_{6,1}$	$M_{1,6}$	$M_{4,6}$	$M_{2,5}$	$M_{3,2}$	$M_{2,5}$	$M_{0,2}$	$M_{2,6}$	$M_{6,4}$	$M_{4,6}$
$M_{4,3}$	$M_{3,4}$	$M_{5,3}$	$M_{3,5}$	$M_{0,3}$	$M_{3,6}$				

	I
1	895410
2	7656.4
3	22055
4	60178
v = 5	109140
6	9798
7	11073
8	1007.4
9	1888
10	196.5

	1	2	3	4	5
1	353100000	2440800	6045000	24900000	41500000
2	2440800	55264	78600	295200	332000
3	6045000	78600	296250	495000	1075000
4	24900000	295200	495000	2440800	3060000
5	41500000	332000	1075000	3060000	6045000
6	3060000	59040	129000	332000	495000
7	4150000	33200	82500	306000	510000
8	306000	5904	9900	33200	42000
9	510000	6640	21500	42000	82500
10	51000	664	1650	4200	7000

M =

	1	2	3	4	5
1	353100000	2440800	6045000	24900000	41500000
2	2440800	55264	78600	295200	332000
3	6045000	78600	296250	495000	1075000
4	24900000	295200	495000	2440800	3060000
5	41500000	332000	1075000	3060000	6045000
6	3060000	59040	129000	332000	495000
7	4150000	33200	82500	306000	510000
8	306000	5904	9900	33200	42000
9	510000	6640	21500	42000	82500
10	51000	664	1650	4200	7000

M =

	1	2	3	4	5
1	353100000	2440800	6045000	24900000	41500000
2	2440800	55264	78600	295200	332000
3	6045000	78600	296250	495000	1075000
4	24900000	295200	495000	2440800	3060000
5	41500000	332000	1075000	3060000	6045000
6	3060000	59040	129000	332000	495000
7	4150000	33200	82500	306000	510000
8	306000	5904	9900	33200	42000
9	510000	6640	21500	42000	82500
10	51000	664	1650	4200	7000

$$x = M^{-1} \cdot v$$

 $x =$

	x_j
1	0.0062226562
2	0.325390625
3	0.06225
4	0.011328125
5	0.0070625
6	0.058125
7	-0.682859375
8	-6.12484375
9	-2.254875
10	51.621640625

$$D0 \cdot x_{10} + D1 \cdot x_9 + D2 \cdot x_8 + D3 \cdot x_7 + D12 \cdot x_6 + D13 \cdot x_5 + D23 \cdot x_4 + D11 \cdot x_3 + D22 \cdot x_2 + D33 \cdot x_1$$

Действительные коэффициенты уравнения вида:

$$y = D0 + D1 \cdot X1 + D2 \cdot X2 + D3 \cdot X3 + D12 \cdot X1 \cdot X2 + D13 \cdot X1 \cdot X3 + D23 \cdot X2 \cdot X3 + D11 \cdot X1 \cdot X1 + D22 \cdot X2 \cdot X2 + D33 \cdot X3 \cdot X3$$

$$D0 = 51.621640625$$

$$D1 = 2.254875$$

$$D2 = 6.12484375$$

$$D3 = 0.682859375$$

$$D12 = 0.058125$$

$$D13 = 0.0070625$$

$$D23 = 0.011328125$$

$$D11 = 0.06225$$

$$D22 = 0.325390625$$

$$D33 = 0.0062226562$$

$$j = 1..n \quad yp1_j = D0 + D1 \cdot X1_j + D2 \cdot X2_j + D3 \cdot X3_j$$

$$yp2_j = D12 \cdot X1_j \cdot X2_j + D13 \cdot X1_j \cdot X3_j + D23 \cdot X2_j \cdot X3_j$$

$$yp3_j = D11 \cdot X1_j \cdot X1_j + D22 \cdot X2_j \cdot X2_j + D33 \cdot X3_j \cdot X3_j$$

$$yp = yp1 + yp2 + yp3$$

$$dy = y - yp$$

$X1 =$	$X2 =$	$X3 =$	$y =$	$yp =$	$dy =$
1 15	1 10	1 90	1 20.5	1 20.49	1 0.01
2 5	2 10	2 90	2 18.4	2 18.42	2 -0.02
3 15	3 2	3 90	3 23.1	3 23.12	3 -0.02
4 5	4 2	4 90	4 25.7	4 25.7	4 2.114·10 ⁻¹²
5 15	5 10	5 10	5 7.8	5 7.8	5 6.777·10 ⁻¹³
6 5	6 10	6 10	6 11.4	6 11.38	6 0.02
7 15	7 2	7 10	7 17.7	7 17.68	7 0.02
8 5	8 2	8 10	8 25.9	8 25.91	8 -0.01
9 15	9 6	9 50	9 2.1	9 2.11	9 -0.01
10 5	10 6	10 50	10 5.2	10 5.19	10 0.01
11 10	11 10	11 50	11 3	11 3.01	11 -0.01
12 10	12 2	12 50	12 11.6	12 11.59	12 0.01
13 10	13 6	13 90	13 15.2	13 15.17	13 0.03
14 10	14 6	14 10	14 8.9	14 8.93	14 -0.03

Листинг программы
"Действительные в нормализованные 3"

Действительные коэффициенты уравнения

D0 = 51.6216 D1 = 2.2549 D2 = 6.1248 D3 = 0.6829
 D12 = 0.0581 D13 = 0.00706 D23 = 0.01133
 D11 = 0.0623 D22 = 0.3254 D33 = 0.0062

Центр плана и размах варьирования факторов

X10 = 10 d1 = 5 X20 = 6 d2 = 4 X30 = 50 d3 = 40

$X1 = x1 - d1 - X10$ $X2 = x2 - d2 - X20$ $X3 = x3 - d3 - X30$

$B33 = D33 \cdot d3 \cdot d3$ $B22 = D22 \cdot d2 \cdot d2$ $B11 = D11 \cdot d1 \cdot d1$

$B23 = D23 \cdot d2 \cdot d3$ $B13 = D13 \cdot d1 \cdot d3$ $B12 = D12 \cdot d1 \cdot d2$

$B3 = D3 \cdot d3 + 2 \cdot X30 \cdot D33 \cdot d3 - X10 \cdot D13 \cdot d3 - X20 \cdot D23 \cdot d3$

$B2 = D2 \cdot d2 + 2 \cdot X20 \cdot D22 \cdot d2 - X10 \cdot D12 \cdot d2 - X30 \cdot D23 \cdot d2$

$B1 = D1 \cdot d1 + 2 \cdot X10 \cdot D11 \cdot d1 - X20 \cdot D12 \cdot d1 - X30 \cdot D13 \cdot d1$

$B44 = D0 - D1 \cdot X10 - D2 \cdot X20 - D3 \cdot X30 - D12 \cdot X10 \cdot X20 - D13 \cdot X10 \cdot X30$

$B0 = B44 - D23 \cdot X20 \cdot X30 - D11 \cdot X10 \cdot X10 - D22 \cdot X20 \cdot X20 - D33 \cdot X30 \cdot X30$

Нормализованные коэффициенты уравнения

$B0 = 2.0382$

$B33 = 9.92$

$B22 = 5.2064$

$B11 = 1.5575$

$B23 = 1.8128$

$B13 = 1.412$

$B12 = 1.162$

$B3 = 3.0272$

$B2 = 4.29$

$B1 = 1.5365$

Листинг программы

"Каноническое преобразование уравнения регрессии"

b0 = 2.038 b1 = 1.537 b2 = 4.290 b3 = 3.027
 b12 = 1.162 b13 = 1.412 b23 = 1.813
 b11 = 1.558 b22 = 5.206 b33 = 9.920 zp = 1

$$2 \cdot b_{11} \cdot x_1 - b_{12} \cdot x_2 - b_{13} \cdot x_3 = b_1$$

$$b_{12} \cdot x_1 - 2 \cdot b_{22} \cdot x_2 + b_{23} \cdot x_3 = b_2$$

$$b_{13} \cdot x_1 - b_{23} \cdot x_2 + 2 \cdot b_{33} \cdot x_3 = b_3$$

$$M \cdot \begin{pmatrix} 2 \cdot b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{12} & 2 \cdot b_{22} & b_{23} \\ b_{13} & b_{23} & 2 \cdot b_{33} \end{pmatrix} \cdot v = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix} \quad x = M^{-1} \cdot v \quad x = \begin{pmatrix} 0.4438 \\ 0.4009 \\ 0.2208 \end{pmatrix}$$

$$x_1 = x_0 \quad x_2 = x_1 \quad x_3 = x_2$$

$$f_1(x_1, x_2, x_3) = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3$$

$$f(x_1, x_2, x_3) = f_1(x_1, x_2, x_3) - b_{11} \cdot x_1^2 - b_{22} \cdot x_2^2 - b_{33} \cdot x_3^2 \quad Y_s = f(x_1, x_2, x_3)$$

$$b = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{1 - \frac{b_{23}^2}{(b_{22} - b_{33})^2}} \quad \pi = 3.141592$$

$$\alpha = \arcsin(b) \quad \alpha = 0.1836$$

$$B_1 = b_{11} \quad B_2 = b_{22} \cdot (\cos(\alpha))^2 + b_{33} \cdot (\sin(\alpha))^2 - b_{23} \cdot \sin(\alpha) \cdot \cos(\alpha)$$

$$B_3 = b_{22} \cdot \sin(\alpha)^2 + b_{33} \cdot \cos(\alpha)^2 - b_{23} \cdot \sin(\alpha) \cdot \cos(\alpha) \quad \alpha = \alpha \cdot \frac{180}{\pi}$$

$$\begin{array}{l}
 J1 = b11 \cdot x1^2 + b22 \cdot x2^2 + b33 \cdot x3^2 \qquad J2 = B1 \cdot x1 + B2 \cdot x2 + B3 \cdot x3 \\
 x1 = 0.4438 \quad x2 = 0.4009 \quad x3 = 0.2208 \quad J1 = 16.684 \quad J2 = 16.684 \\
 Ys = 0.5028 \quad B1 = 1.558 \quad B2 = 5.6885 \quad B3 = 9.4375 \quad \alpha = 10.5184
 \end{array}$$

Уравнение регрессии в канонической форме
 $Y - Y_s = B1 \cdot X_1^2 + B2 \cdot X_2^2 + B3 \cdot X_3^2$ или

$$\frac{(X_1 - X_{1s})^2}{B1} + \frac{(X_2 - X_{2s})^2}{B2} + \frac{(X_3 - X_{3s})^2}{B3} = 1$$

Принимаем $x3 = 0.2208$ тогда:

$$2 \cdot b11 \cdot x1 + b12 \cdot x2 = -b1 - b13 \cdot x3$$

$$b12 \cdot x1 + 2 \cdot b22 \cdot x2 = -b2 - b23 \cdot x3$$

$$M \begin{pmatrix} 2 \cdot b11 & b12 \\ b12 & 2 \cdot b22 \end{pmatrix} \cdot v = \begin{pmatrix} -b1 - b13 \cdot x3 \\ -b2 - b23 \cdot x3 \end{pmatrix} \quad x = M^{-1} \cdot v \quad x = \begin{pmatrix} 0.4438 \\ 0.4009 \end{pmatrix}$$

$$x1 = x0 \quad x2 = x1$$

$$f1(x1, x2) = b0 + b1 \cdot x1 + b2 \cdot x2 + b3 \cdot x3 + b12 \cdot x1 \cdot x2 + b13 \cdot x1 \cdot x3 + b23 \cdot x2 \cdot x3$$

$$f(x1, x2) = f1(x1, x2) + b11 \cdot x1^2 + b22 \cdot x2^2 + b33 \cdot x3^2 \quad Ys = f(x1, x2)$$

$$b = \begin{cases} \frac{b12}{b11 - b22} & \text{if } b12 \neq 0 \\ \frac{b11 - b22}{b12} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \alpha = \begin{cases} \frac{\text{atan}(b)}{2} & \text{if } b12 \neq 0 \\ \frac{45 \cdot \pi}{180} & \text{if } b11 = b22 \\ \frac{\text{atan} \left(\frac{1}{b} \right)}{2} & \text{if } b \neq 0 \end{cases}$$

$$E = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad A = \begin{pmatrix} b_{11} & \frac{b_{12}}{2} \\ \frac{b_{12}}{2} & b_{22} \end{pmatrix} \quad \alpha = \alpha \cdot \frac{180}{\pi}$$

$$B^2 - B \cdot (b_{11} + b_{22}) + b_{11} \cdot b_{22} - \frac{b_{12}^2}{2} = 0$$

$$C = \text{eigenvals}(A) \quad C = \begin{pmatrix} 1.4677 \\ 5.2963 \end{pmatrix} \quad B_{11} = C_0 \quad B_{22} = C_1$$

$$Y_s = 0.5028 \quad B_{11} = 1.4677 \quad B_{22} = 5.2963 \quad \alpha = 8.8341$$

$$x_1 = 0.4438 \quad x_2 = 0.4009$$

$$J_1 = b_{11} - b_{22} \quad J_2 = B_{11} - B_{22} \quad J_1 = 6.764 \quad J_2 = 6.764$$

Уравнение регрессии в канонической форме

$$Y - Y_s = B_1 \cdot X_1^2 + B_2 \cdot X_2^2 \text{ или}$$

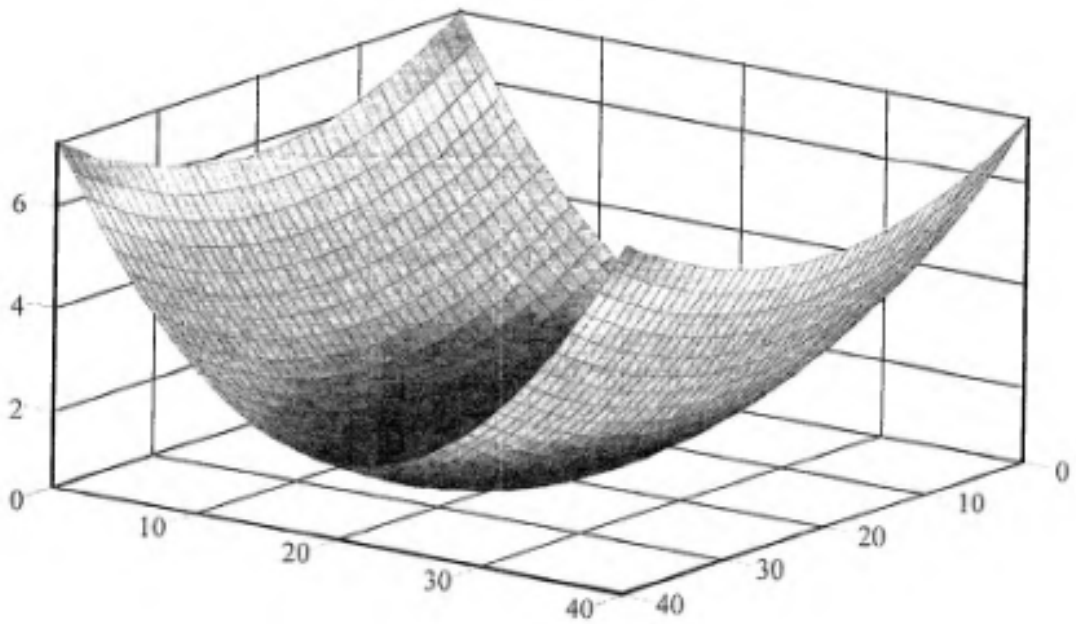
$$\frac{(X_1)^2}{\frac{Y - Y_s}{B_1}} + \frac{(X_2)^2}{\frac{Y - Y_s}{B_2}} = 1$$

$$kk = 40 \quad X_1 = 0..kk \quad X_2 = 0..kk$$

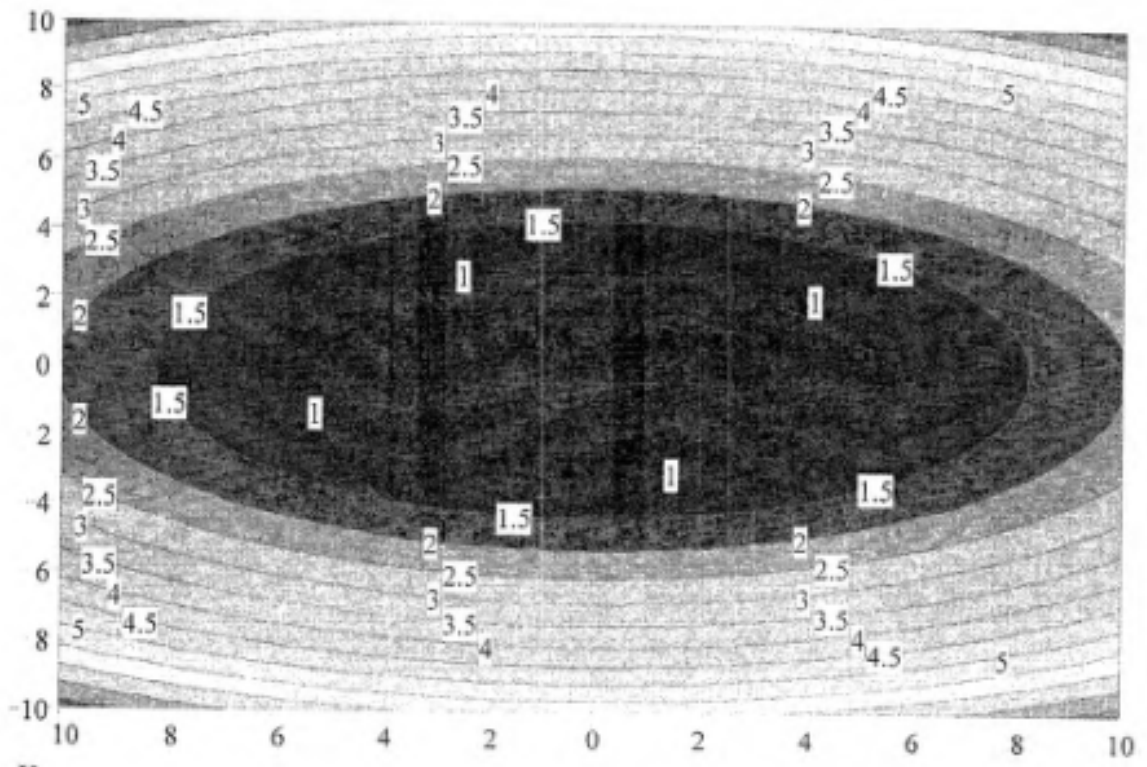
$$X_{22}(X_2) = z_p \cdot 2 \cdot \frac{z_p}{kk} \cdot X_2 \quad X_{11}(X_1) = z_p \cdot 2 \cdot \frac{z_p}{kk} \cdot X_1$$

$$z(X_{11}, X_{22}) = Y_s + B_{11} \cdot X_{11}(X_1) \cdot X_{11}(X_1) + B_{22} \cdot X_{22}(X_2) \cdot X_{22}(X_2)$$

$$K_{X_1, X_2} = z(X_{11}, X_{22})$$



K



K

Принимаем $x_2 = 0.4009$ тогда:

$$2 \cdot b_{11} \cdot x_1 + b_{13} \cdot x_3 = b_1 + b_{12} \cdot x_2$$

$$b_{13} \cdot x_1 + 2 \cdot b_{33} \cdot x_3 = b_3 + b_{23} \cdot x_2$$

$$M \cdot \begin{pmatrix} 2 \cdot b_{11} & b_{13} \\ b_{13} & 2 \cdot b_{33} \end{pmatrix} \cdot v = \begin{pmatrix} b_1 + b_{12} \cdot x_2 \\ b_3 + b_{23} \cdot x_2 \end{pmatrix} \quad x = M^{-1} \cdot v \quad x = \begin{pmatrix} 0.4438 \\ -0.2208 \end{pmatrix}$$

$$x_1 = x_0 \quad x_3 = x_1$$

$$f_1(x_1, x_3) = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3$$

$$f(x_1, x_3) = f_1(x_1, x_3) + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{22} \cdot x_2^2 + b_{33} \cdot x_3^2 \quad Y_s = f(x_1, x_3)$$

$$b = \begin{cases} \frac{b_{13}}{b_{11} - b_{33}} & \text{if } b_{13} = 0 \\ \frac{b_{11} - b_{33}}{b_{13}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\alpha = \begin{cases} \frac{\text{atan}(b)}{2} & \text{if } b_{13} = 0 \\ \frac{45 \cdot \pi}{180} & \text{if } b_{11} = b_{33} \\ \frac{\text{atan}\left(\frac{1}{b}\right)}{2} & \text{if } b \neq 0 \end{cases}$$

$$E = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A = \begin{pmatrix} b_{11} & \frac{b_{13}}{2} \\ \frac{b_{13}}{2} & b_{33} \end{pmatrix}$$

$$\alpha = \alpha \cdot \frac{180}{\pi}$$

$$B^2 = B \cdot (b_{11} - b_{33}) + b_{11} \cdot b_{33} - \frac{b_{13}^2}{2} = 0$$

$$C = \text{eigenvals}(A)$$

$$C = \begin{pmatrix} 1.4988 \\ 9.9792 \end{pmatrix}$$

$$B_{11} = C_0 \quad B_{33} = C_1$$

$$Y_s = 0.5028$$

$$B_{11} = 1.4988$$

$$B_{33} = 9.9792$$

$$\alpha = 4.7923$$

$$x1 = 0.4438 \quad x3 = 0.2208$$

$$J1 = b11 \cdot b33 \quad J2 = B11 \cdot B33 \quad J1 = 11.478 \quad J2 = 11.478$$

Уравнение регрессии в канонической форме

$$Y - Y_s = B1 \cdot X_1^2 + B3 \cdot X_3^2 \text{ или}$$

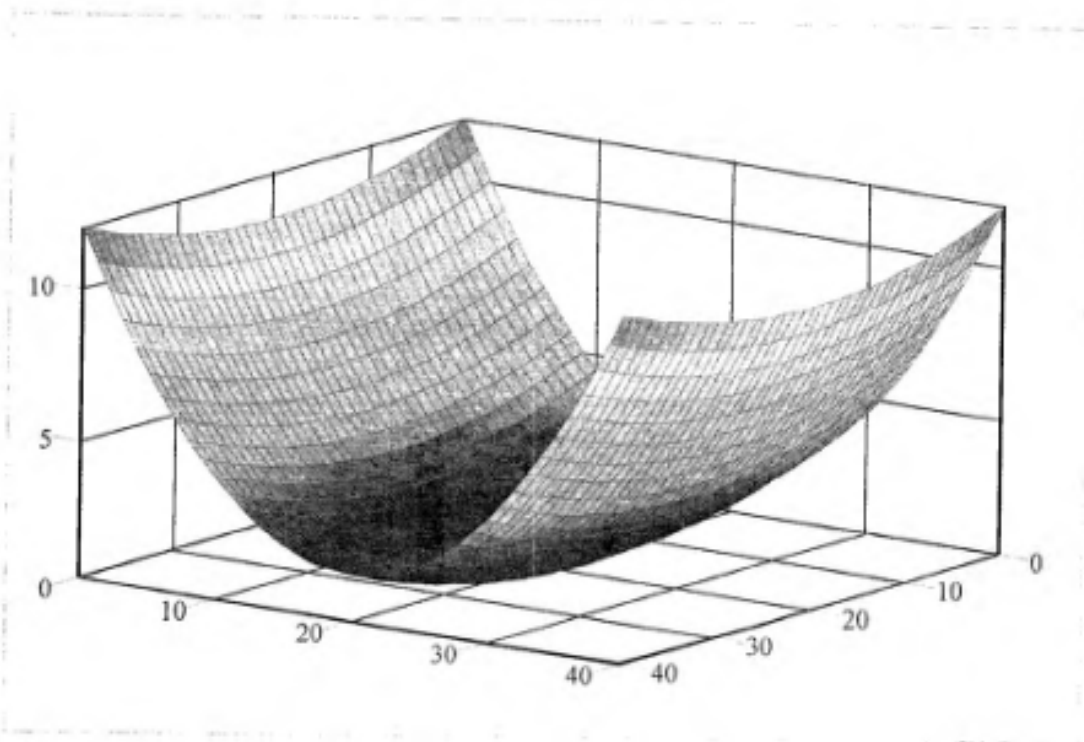
$$\frac{(X_1)^2}{\frac{Y - Y_s}{B1}} + \frac{(X_3)^2}{\frac{Y - Y_s}{B3}} = 1$$

$$kk = 40 \quad X1 = 0..kk \quad X3 = 0..kk$$

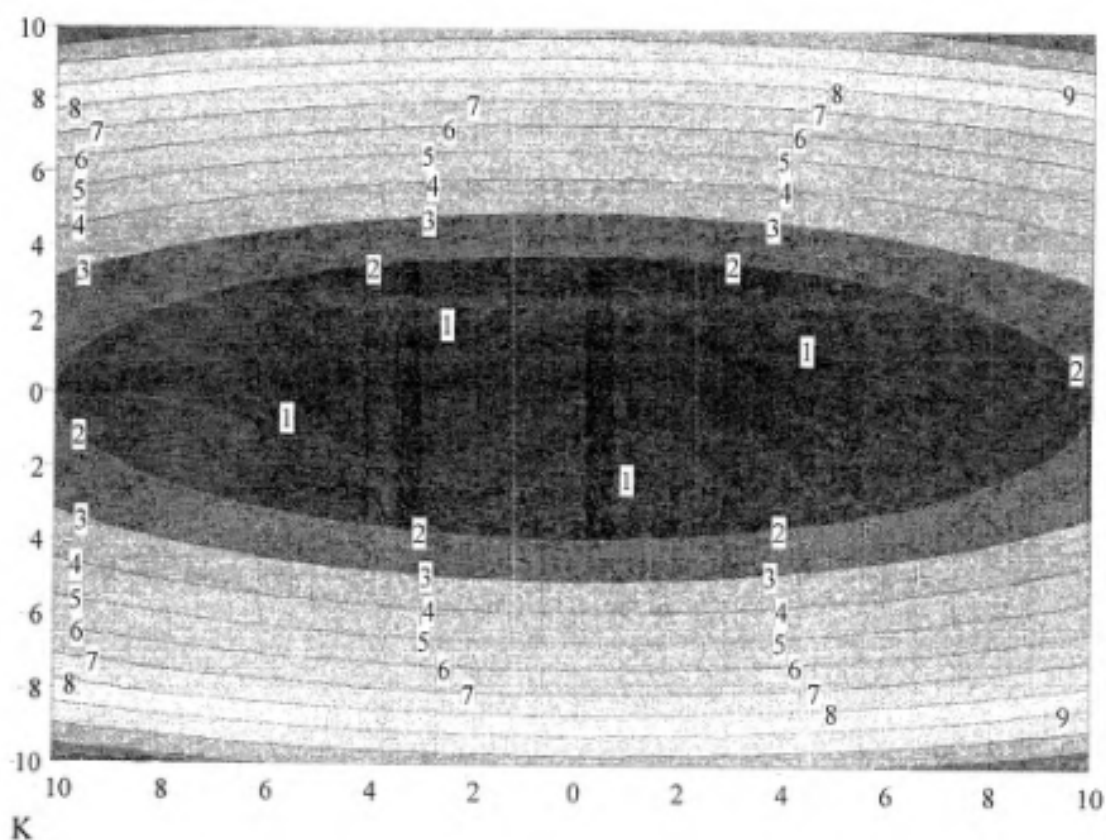
$$X11(X1) = zp - 2 \cdot \frac{zp}{kk} \cdot X1 \quad X33(X3) = zp - 2 \cdot \frac{zp}{kk} \cdot X3$$

$$z(X11, X33) = Y_s + B11 \cdot X11(X1) \cdot X11(X1) + B33 \cdot X33(X3) \cdot X33(X3)$$

$$K_{X1, X3} = z(X11, X33)$$



K



Принимаем $x_1 = 0.4438$ тогда:

$$2 \cdot b_{22} \cdot x_2 - b_{23} \cdot x_3 = b_2 - b_{12} \cdot x_1$$

$$b_{23} \cdot x_2 - 2 \cdot b_{33} \cdot x_3 = b_3 - b_{13} \cdot x_1$$

$$M \begin{pmatrix} 2 \cdot b_{22} & b_{23} \\ b_{23} & 2 \cdot b_{33} \end{pmatrix} \cdot v = \begin{pmatrix} b_2 - b_{12} \cdot x_1 \\ b_3 - b_{13} \cdot x_1 \end{pmatrix} \quad x = M^{-1} \cdot v \quad x = \begin{pmatrix} 0.4009 \\ 0.2208 \end{pmatrix}$$

$$x_2 = x_0 \quad x_3 = x_1$$

$$f(x_2, x_3) = b_0 - b_1 \cdot x_1 - b_2 \cdot x_2 - b_3 \cdot x_3 - b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 - b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 - b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3$$

$$f(x_2, x_3) = f_1(x_2, x_3) - b_{11} \cdot x_1^2 - b_{22} \cdot x_2^2 - b_{33} \cdot x_3^2 \quad Y_s = f(x_2, x_3)$$

$$b = \begin{cases} \frac{b_{23}}{b_{22} - b_{33}} & \text{if } b_{23} \neq 0 \\ \frac{b_{22} - b_{33}}{b_{23}} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \alpha = \begin{cases} \frac{\text{atan}(b)}{2} & \text{if } b_{23} \neq 0 \\ \frac{45 \cdot \pi}{180} & \text{if } b_{22} = b_{33} \\ \frac{\text{atan}\left(\frac{1}{b}\right)}{2} & \text{if } b \neq 0 \end{cases}$$

$$E = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad A = \begin{pmatrix} b_{22} & \frac{b_{23}}{2} \\ \frac{b_{23}}{2} & b_{33} \end{pmatrix} \quad \alpha = \alpha \cdot \frac{180}{\pi}$$

$$B^2 - B \cdot (b_{22} - b_{33}) - b_{22} \cdot b_{33} - \left(\frac{b_{23}}{2}\right)^2 = 0$$

$$C = \text{eigenvals}(A) \quad C = \begin{pmatrix} 5.0377 \\ 10.0883 \end{pmatrix} \quad B_{22} \quad C_0 \quad B_{33} \quad C_1$$

$$Y_s = 0.5028 \quad B_{22} = 5.0377 \quad B_{33} = 10.0883 \quad \alpha = -4.7923$$

$$x_2 = 0.4009 \quad x_3 = -0.2208$$

$$J_1 = b_{22} - b_{33} \quad J_2 = B_{22} - B_{33} \quad J_1 = 15.126 \quad J_2 = 15.126$$

Уравнение регрессии в канонической форме

$$Y - Y_s = B_2 \cdot X_2^2 + B_3 \cdot X_3^2 \text{ или}$$

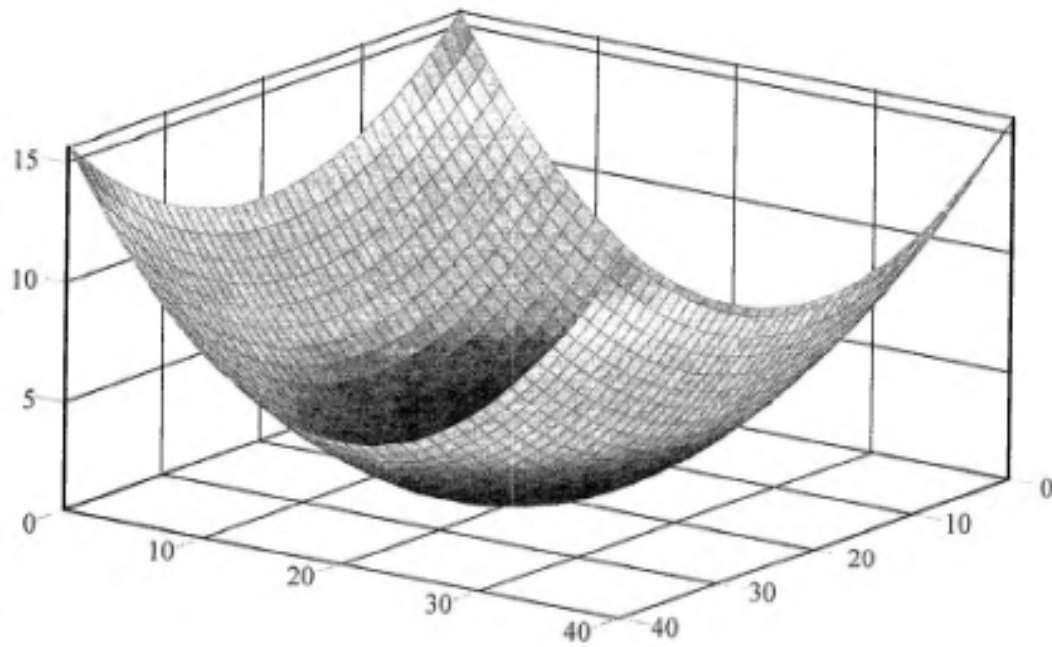
$$\frac{(X_2)^2}{\frac{Y - Y_s}{B_2}} + \frac{(X_3)^2}{\frac{Y - Y_s}{B_3}} = 1$$

$$kk = 40 \quad X_2 = 0..kk \quad X_3 = 0..kk$$

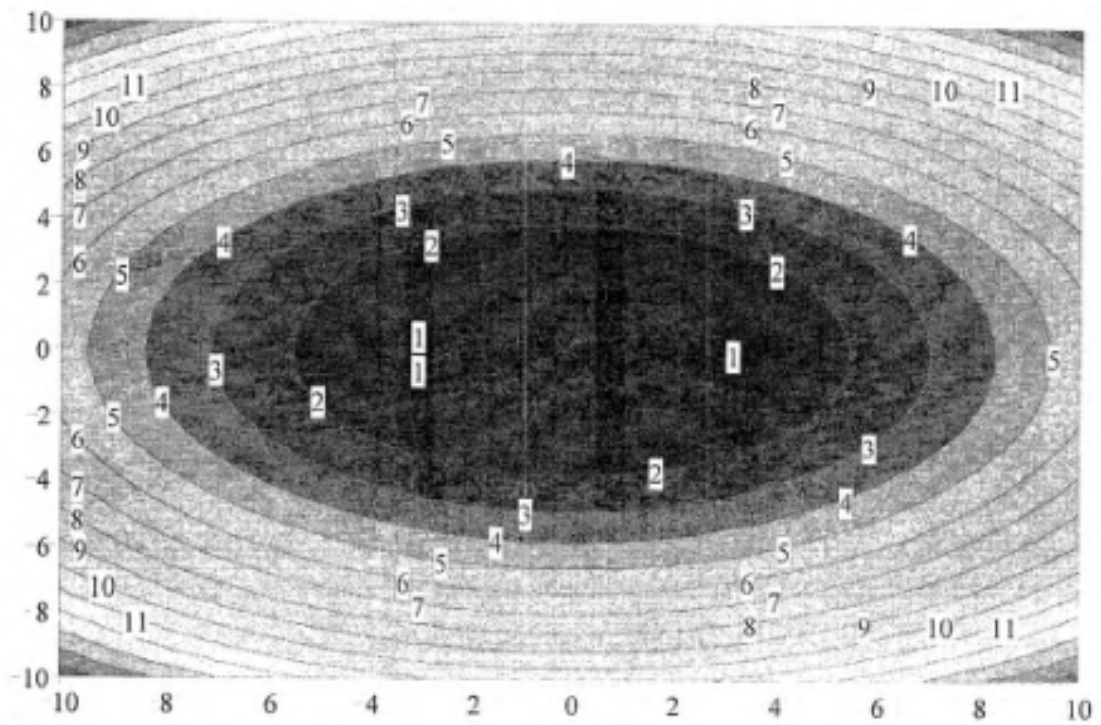
$$X_{22}(X_2) = z_p \cdot 2 \cdot \frac{z_p}{kk} \cdot X_2 \quad X_{33}(X_3) = z_p \cdot 2 \cdot \frac{z_p}{kk} \cdot X_3$$

$$z(X_{22}, X_{33}) = Y_s + B_{22} \cdot X_{22}(X_2) \cdot X_{22}(X_2) + B_{33} \cdot X_{33}(X_3) \cdot X_{33}(X_3)$$

$$K_{X_2, X_3} = z(X_{22}, X_{33})$$



K



K