

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

На правах рукописи



Погосян Владимир Макичевич

**ПАРАМЕТРЫ КУКУРУЗНОЙ СЕЛЕКЦИОННОЙ
ВАЛЬЦОВОЙ МОЛОТИЛКИ**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации
сельского хозяйства

Диссертация
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
доцент В.С. Курасов

Краснодар – 2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ	9
1.1 Особенности початков кукурузы как объекта обмолота	9
1.2 Анализ опытно-конструкторских работ по разработке устройств для обмолота початков кукурузы.....	15
1.3 Анализ научно-исследовательских работ по обмолоту початков кукурузы	29
1.4 Выводы, цель и задачи исследования	34
2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБМОЛОТА ПОЧАТКОВ КУКУРУЗЫ ДВУХВАЛЬЦОВОЙ МОЛОТИЛКОЙ С ПРИЖИМНЫМ МЕХАНИЗМОМ	36
2.1 Характеристика объекта исследования	36
2.2 Анализ движения початка в двухвальцовой молотилке	38
2.3 Определение производительности двухвальцовой молотилки	48
2.4 Определение мощности, потребной на обмолот початков	50
2.5 Выводы по главе	54
3 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ	56
3.1 Программа и методика экспериментальных исследований	56
3.2 Оптимизация параметров кукурузной селекционной двухвальцовой молотилки с прижимным механизмом	64
3.3 Выводы по главе	75
4 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КУКУРУЗНОЙ СЕЛЕКЦИОННОЙ ДВУХВАЛЬЦОВОЙ МОЛОТИЛКИ С ПРИЖИМНЫМ МЕХАНИЗМОМ	76
4.1 Расчет цены на изготовление кукурузной селекционной молотилки	76
4.2 Расчет основных экономических показателей.....	78
4.3 Выводы по главе.....	86
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	87
ЛИТЕРАТУРА	89
ПРИЛОЖЕНИЕ	101

ВВЕДЕНИЕ

Обработка початков семенной кукурузы после уборки одна из важнейших и энергозатратных операций.

За период с 2010 г. по настоящее время существенно увеличились объем и номенклатура технических средств очистки и послеуборочной обработки зерна, выпускаемых как отечественной промышленностью, так и зарубежными производителями сельскохозяйственной техники.

Следует отметить, что на различных стадиях послеуборочной обработки зерна обеспеченность соответствующими техническими средствами варьирует в очень широких пределах. Наиболее проблемная ситуация наблюдается в механизации селекционного процесса кукурузы [81].

10 апреля 2008 г. Российской академией сельскохозяйственных наук совместно с Министерством сельского хозяйства России был проведен Международный специализированный научно-практический семинар «Современная техника и технологии для селекции и семеноводства» на базе Всероссийского научно-исследовательского института механизации сельского хозяйства. На нем было отмечено, что отечественная промышленность практически не производит технические средства для очистки, обмолота и калибрования селекционного материала кукурузы. В настоящее время ситуация практически не изменилась [33]. Что касается зарубежных производителей, то соотношение цен на импортную сельскохозяйственную технику и прочих расходов, связанных с их приобретением, в нынешних экономических условиях оказывается не в пользу покупки машин зарубежных фирм.

Большинство селекционных кукурузных молотилок обладают малой производительностью, низкой эффективностью разделения семян от других продуктов обмолота, допускают высокий процент повреждения семян. Использование семян с травмами приводит к снижению урожайности. Влияние травмирования семян на их урожайность особенно сильно сказывается в условиях холодной и влажной весны, что имеет место в регионах Северного

Кавказа и, в частности, в Краснодарском крае, являющихся основными производителями семян кукурузы.

Следовательно, разработка и совершенствование технических средств для обмолота початков на этапе селекции кукурузы является актуальной задачей.

Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно-исследовательской работы Кубанского ГАУ № ЕГИСУ НИОКР 4А-А16-116022410038-8 раздел – 9.12 (2016-2020 гг.).

Степень разработанности темы. Для обмолота початков кукурузы на этапе селекции разработан ряд молотилок, отличающихся различным конструктивным исполнением рабочих органов. Минимальное травмирование зерна обеспечивают диски с фасонными шипами и различные сочетания обмолачивающих валцов. Существенный вклад в исследование эффективности шипов молотильно-сепарирующих устройств внес Д. Н. Бахарев [12]. Наибольшее распространение получили дисковые молотилки типа МКД-М. Их исследовали как болгарские ученые [16], так и отечественные [36,37]. Недостатком этих молотилок является необходимость в ряде случаев повторного обмолота початков. Трехвальцовую молотилку с горизонтальным расположением рабочих органов исследовала И. А. Петунина [62]. Недостатком этой молотилки является низкая производительность из-за отсутствия эффективного ориентирующе-загрузочного устройства. Этот недостаток присущ и трехвальцовым молотилкам с вертикально расположенными валцами. Вальцовые молотилки с горизонтальным расположением рабочих органов изучены недостаточно. Бильные молотильные устройства исследовались целым рядом ученых. Среди них следует отметить работы В. С. Кравченко [37], И. Н. Гурова [28], И. В. Бумбара [15], Ю. И. Мозгового [50] и Г. И. Креймермана [39]. Но молотилки с бильным ротором малопригодны для обмолота початков семенной кукурузы.

Следовательно, существует объективная необходимость в разработке кукурузной селекционной молотилки, обеспечивающей высокую производительность при минимальном дроблении зерна.

Научная гипотеза – оптимизация параметров двухвальцовой молотилки, снабженной прижимным механизмом и имеющей на одном из валцов выступы, выполненные по форме спирали Архимеда, а на другом винтовую навивку для удаления стержней из зоны обмолота обеспечит повышение производительности и качества обмолота початков на этапе селекции кукурузы.

Цель работы – обоснование параметров двухвальцовой молотилки, снабженной прижимным механизмом и имеющей на одном из валцов выступы, выполненные по форме спирали Архимеда, а на другом винтовую навивку для удаления стержней из зоны обмолота для повышения производительности и качества обмолота початков на этапе селекции кукурузы.

Объект исследования – технологический процесс обмолота селекционного материала кукурузы и устройства для его осуществления.

Предмет исследования – закономерности, связывающие геометрические параметры и кинематический режим работы рабочих органов двухвальцовой молотилки с показателями качества обмолота початков.

Задачи исследования.

1. Разработать конструктивно-технологическую схему молотилки для обмолота початков кукурузы на этапе селекции.
2. Уточнить размерно-массовую характеристику початков семенной кукурузы.
3. Разработать математическую модель движения початка кукурузы в процессе его обмолота двухвальцовой молотилкой с прижимным механизмом.
4. Произвести оценку времени обмолота одного початка двухвальцовой молотилкой с прижимным механизмом.

5. Определить оптимальные параметры кукурузной селекционной двухвальной молотилки с прижимным механизмом по критериям дробления и недомолота зерна.

6. Сопоставить результаты теоретических и экспериментальных исследований.

7. Провести расчет экономической эффективности применения предлагаемой двухвальной молотилки с прижимным механизмом на этапе селекции кукурузы.

Методы исследований. Теоретические исследования выполнялись с использованием дифференциального и интегрального исчислений, а также основных законов теоретической механики. При проведении экспериментов использовалась теория многофакторного планирования эксперимента. Опыты проводились в лабораторных условиях с использованием апробированных методик. Обработка опытных данных осуществлялась с использованием программ Microsoft Excel 2010 и MathCad 7.

Научную новизну работы составляют:

- математическая модель движения початка кукурузы в двухвальной молотилке с прижимным механизмом;
- оценка времени обмолота одного початка двухвальной молотилкой с прижимным механизмом;
- оптимальные параметры кукурузной селекционной двухвальной молотилки с прижимным механизмом;
- регрессионные зависимости геометрических параметров и кинематического режима работы обмолота початков двухвальной молотилкой с прижимным механизмом от показателей дробления и недомолота зерна.

Теоретическая и практическая значимость результатов исследования. Теоретическую значимость представляют: математическая модель движения початка кукурузы в двухвальной молотилке с прижимным механизмом, позволяющая определить рациональную частоту вращения рабочих ор-

ганов; уравнение для определения времени обмолота початка, которое дает возможность определить производительность двухвальной молотилки.

Практическую значимость представляют: конструктивно-технологическая схема молотилки для обмолота початков кукурузы на этапе селекции, которая позволяет разработать техническое решение конструкции молотилки; регрессионные зависимости геометрических параметров и кинематического режима работы обмолота початков двухвальной молотилкой с прижимным механизмом от показателей дробления и недомолота зерна, позволяющие обосновать параметры кукурузной селекционной двухвальной молотилки с прижимным механизмом.

На защиту выносятся следующие основные положения:

- конструктивно-технологическая схема молотилки для обмолота початков кукурузы на этапе селекции;
- математическая модель движения початка кукурузы в двухвальной молотилке с прижимным механизмом;
- уравнение для оценки времени обмолота одного початка двухвальной молотилкой с прижимным механизмом;
- результаты экспериментальных исследований по определению оптимальных параметров кукурузной селекционной двухвальной молотилки с прижимным механизмом.

Степень достоверности полученных результатов.

Экспериментальные данные получены с использованием известных и хорошо зарекомендовавших методик исследования и современной вычислительной техники и измерительных приборов.

Идея базируется на основе практики применения известных устройств для обмолота початков кукурузы. Использованы результаты опубликованных исследований по теме диссертации И. Н. Гурова, В. С. Кравченко, В. В. Кущеева, В. С. Курасова, И. А. Петуниной, И. В. Бумбара и Д. Н. Бахарева. Установлено качественное и количественное совпадение результатов теоретиче-

ских исследований и экспериментальных данных. Используются современные методы обработки экспериментальных данных.

Реализация и внедрение результатов исследований.

Результаты исследований используются при модернизации рабочих органов молотилок кукурузы в сбытовом сельскохозяйственном потребительском кооперативе «Кукурузокалибровочный завод «Кубань», расположенном в Гулькевичском районе Краснодарского края, а также в учебном процессе ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ.

Апробация работы.

Основные положения диссертационного исследования докладывались на научных конференциях Кубанского ГАУ (Краснодар, 2016, 2017 гг.), на Всероссийской научно-практической конференции «Вклад молодых ученых в аграрную науку» (Кемель, 2015 г.), на заочных международных научно-практических конференциях «Scientific and Practical Results in 2015. Prospects for Their Development» (Дубай, 2016 г.) и «International Scientific and Practical Conference World Science» (Дубай, 2017 г.).

Публикации.

По результатам исследований опубликовано 10 научных работ, из них 3 в изданиях из перечня ВАК РФ, а также получен 1 патент на полезную модель и 1 патент на изобретение. Общий объем публикаций составляет 5,3 печатных листа, из них личный вклад автора 2,5 печатных листа.

Объем и структура работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 111 наименований и приложения. Диссертация изложена на 132 страницах машинописного текста, включая 32 страницы приложения, содержит 32 рисунка и 14 таблиц.

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Особенности початков кукурузы как объекта обмолота

Кукуруза (вид *Zea mays* L.) – одна из основных культур современного мирового земледелия разностороннего использования и высокой урожайности.

Потребление семян кукурузы в нашей стране составляет около 2 % от общемирового объема, на российском рынке доля данной культуры в денежном выражении – порядка 22 % [96]. В зерне кукурузы содержатся углеводы – до 70 %, масла – 6%, белки – 13 %, а также витамины. По питательности 1 кг зерна равняется 1,34 корм. ед., тогда как 1 кг овса равен 1 корм. ед., ржи – 1,18, ячменя – 1,27 [88].

Федеральной научно-технической программой развития сельского хозяйства России на 2017–2025 гг. запланирована подпрограмма «Развитие селекции и семеноводства кукурузы». Ее цель - выведение новых российских конкурентоспособных сортов и гибридов кукурузы, созданных современными методами селекции. В ней указано, что годовой объем производства семян кукурузы отечественной селекции должен быть доведен до 60 %. В настоящее время этот объем составляет 50 % [90].

Национальная ассоциация производителей семян кукурузы и подсолнечника оценивает общую потребность в семенах кукурузы к 2020 г. в 100–120 тыс. т [81].

В последние годы ежегодная закупка импортных семян кукурузы составляет около 5,5 млрд руб., что сопоставимо по объему с отечественным производством в 44 тыс. т [54,109,110]. Однако, прослеживается тенденция к уменьшению этих закупок.

В структуре производства зерна в России кукуруза с 2014 года занимает третье место после пшеницы и ячменя.

На протяжении последних лет в России наблюдался как спад, так и подъем производства кукурузы на зерно.

Так, в 2015 г. валовые сборы составили 13173 тыс. т, в наиболее успешном и благоприятном 2016 г. – 15413 тыс. т, в том числе 96 тыс. т на зерно.

В 2017 г. в России было произведено 132 357,5 тыс. т кукурузы на зерно, и это на 13,5 % ниже объема производства предыдущего года.

Среди регионов, где кукуруза выращивается в больших объемах, лидирует Южный федеральный округ, доля которого в общем производстве составляет чуть более 40 %.

Среди регионов в пятерку основных входят Краснодарский край, Кабардино-Балкарская республика, Ставропольский край, Белгородская и Ростовская области. Краснодарский край здесь лидирует.

По предварительным данным Росстата посевные площади кукурузы в России в 2019 году в хозяйствах всех категорий составили 2 585,9 тыс. га, что на 5,5 % (на 133,9 тыс. га) больше, чем в 2018 году.

По размеру площадей под посевы кукурузы в 2019 г. в пять ведущих регионов вошли:

- Краснодарский край (509,6 тыс. га, доля в общих площадях - 19,7 %);
- Воронежская область (207,6 тыс. га, 8,0 %);
- Ставропольский край (177,2 тыс. га, 6,9 %);
- Ростовская область (165,6 тыс. га, 6,4 %);
- Курская область (144,9 тыс. га, 5,6 %)

За 2012–2017 гг. возросло производство семян кукурузы в два раза и составило 21 тыс. т. По сведениям Министерства сельского хозяйства края это обеспечило посев 250 тыс. га именно краснодарскими гибридами кукурузы. Это при том, что из 3,5 млн га пашни кукурузой на зерно было засеяно 596 тыс. га.

Естественно, что сопутствующие объемы селекционной работы невозможно качественно выполнить без соответствующего технического оснащения.

Процесс обмолота кукурузы определяется размерно-массовой характеристикой и технологическими свойствами початков и зерна.

Рассмотрим вышеуказанные характеристики и свойства кукурузы, а также их влияние на геометрические параметры рабочих органов и кинематический режим работы устройств для обмолота початков.

Размерно-массовая характеристика и технологические свойства початков и зерна кукурузы изучена достаточно подробно целым рядом исследователей [9,11,17,21,23,25,28,36,39,53,61,72,74,77,78,84,86,87,88,91,92,98,99,103]. Она очень сильно зависит от сортовых особенностей. Сводные данные по размерно-массовой характеристике початков гибридов кукурузы и самоопыленных (инбредных) линий, используемых в настоящее время в селекционном процессе представлены в таблице 1.1 [36,39,61].

Таблица 1.1 – Размерно-массовая характеристика початков

Длина, мм	%	Диаметр, мм	%	Масса, кг	%
До 100	9	До 35	10	0,05...0,15	28
150...200	51	35...40	26	0,15...0,2	50
200...250	40	40...45	38	0,2...0,3	22

Общепринято следующее разделение початков по влажности зерна: более 20 % - сырое; 18...20 % - влажное; 16...18 % - среднее; менее 16 % - сухое [25].

По ГОСТ Р 52325-2005 [24] семена кукурузы классифицируются следующим образом: (ОС) оригинальные, (ЭС) элитные, (РС) для семенных посевов, (РСт) для производства товарного зерна – таблица 1.2.

Таблица 1.2 – Сортные и посевные качества семян кукурузы

Категория семян	Сортовая типич- ность, %, не менее		Содержание ксенийных зерен, шт./100 початков, не более		Чистота семян, %, не менее	Всхожесть*, %, не менее	Влажность, %, не более
	по данным апробации						
полевой	амбарной	полевой	амбарной				
Самоопыленные линии							
ОС	99,5	100	20	0	99	90	14
ЭС	99,5	100	20	10	98	90	14
РС	98,0	99	50	30	98	87	14
Гибриды - родительские формы							
ЭС1	98,0	99	50	30	98	92	14
ЭС2**	98,0	99	400	200	98	92	14
Гибриды товарного назначения (1-е поколение)							
РСт	-	98	-	600	98	90	14
Сорта и гибридные популяции							
ОС	99,5	100	20	0	99	92	14
ЭС	99,5	100	20	10	99	92	14
РС	99,0	100	100	30	98	92	14
РСт	98,0	99	300	100	98	90	14
* Всхожесть семян, выращиваемых в 4-й зоне для местного использования, на 5% ниже.							
** Только для отцовских форм.							

По форме зерно кукурузы разделяются на круглые и плоские. У основания початка, как правило, расположены крупные круглые зерна, а в верхушечной части - круглые мелкие.

Размер зерна варьирует в следующих пределах: длине 6...14 мм, ширина 5,5...12 мм, толщине 3...8 мм [25,36].

В зависимости от сортовых особенностей, диаметр и вес початков сильно различается.

Усредненные значения по размерно-массовой характеристике початков, культивируемых в настоящее время гибридов кукурузы, приведены в таблице 1.3 [36,61].

Таблица 1.3 – Размерно-массовая характеристика початков

Длина, мм	%	Диаметр, мм	%	Масса, кг	%
До 100	9	До 35	10	0,05...0,15	28
150...200	51	35...40	26	0,15...0,2	50
200...250	40	40...45	38	0,2...0,3	22

Соотношение массы зерна и стержня колеблется: зерна 74,1...80,5 % и стержня 19,5...25,9 % [25].

Объемная масса початков кукурузы в зависимости от влажности и сортовых особенностей варьирует в интервале 350 до 450 кг/м³, зерна 600...800 кг/м³, стержней 200...250 кг/м³ [36].

Скорость витания зерна кукурузы составляет от 12,5 до 14 м/с.

Коэффициент трения покоя зерна кукурузы составляет по дереву 0,7, а по листовой стали 0,58 [62].

Отдельно расположенные початки начинают перекашиваться на движущейся резиновой ленте при наклоне ее в 4...7° [36,62].

По данным А. И. Гокоева [23] среднее усилие, на отрыв от стержня одиночного зерна при влажности 22...23 % в радиальном направлении равно 20,6 Нс, по касательной к окружности початка 5,9 Н, а вдоль образующей початка – 12,2 Н [36].

По данным А. И. Пьянкова [77] фаза спелости оказывает существенное влияние на прочность связи зерна кукурузы со стержнем (таблица 1.4).

Таблица 1.4 – Прочность связи зерна кукурузы со стержнем

Показатели	3-я фаза	4-я фаза	5-я фаза
	21/VIII	5...25/IX	1/X
Усилие выдергивания зерна, Н	14,5	15,7...20,3	23,6
Усилие корчевания, (Н) на одно зерно	10,01	6,86...7,85	5,9
Влажность зерна, %	40...42	18...35	15

Размерно-массовую характеристику и технологические свойства початков и зерна кукурузы необходимо учитывать при выборе рабочих органов для обмолота кукурузы.

В соответствии с исходными требованиями на базовые машинные технологические операции в растениеводстве [34] предъявляются следующие требования к процессу обмолота початков кукурузы семенного назначения:

- недомолот зерна не должен превышать 1,2 % от массы стержней;
- дробление зерна кукурузы допускается не более 1 %;
- количество зерна в отходах не должно превышать 1 %, а сорной примеси в зерне – 5 %;
- при обмолоте партий початков различных сортов и гибридов сорто-смешивание не допускается;
- количество микротравм в области зародыша допускается не более 20 %.

Селекционный материал кукурузы обмолачивается для определения урожайности и дальнейшей селекционной и семеноводческой работы.

Так как, нами проводится исследование для механизации селекционно-семеноводческого процесса, то при разработке молотилки будем учитывать требования к процессу обмолота початков кукурузы семенного назначения.

На основании проведенного анализа установлено: имеется большое количество данных по размерно-массовой характеристике початков и зерна кукурузы, а также их технологическим свойствам.

Поэтому, нет необходимости в специальном исследовании в этом направлении. Следует только уточнить параметры початков и зерна тех гибридов (линий), которые будут использованы при проведении теоретических и экспериментальных исследований.

1.2 Анализ опытно-конструкторских работ по разработке устройств для обмолота початков кукурузы

Из отечественных ученых первым классифицировал устройства для обмолота кукурузы К. А. Полевицкий [73]. В основу своей классификации он положил способы выделения зерна из початка: ударный, перетирание, выкорчевывание (вышелушивание).

Удар и деформация початка имеют место в тангенциальных молотилках, основными рабочими органами которых являются ротор (барабан) и дека (подбарабанье). Початки в этих молотилках перемещаются перпендикулярно оси ротора. Используется данный тип молотилок преимущественно для обмолота кукурузы фуражного и продовольственного назначения.

Перетирание початков осуществляется в аксиальных молотилках, в которых основные рабочие органы также ротор и дека. Но перемещение початков происходит не перпендикулярно, а параллельно оси ротора. Режим обмолота в этом случае более щадящий, чем в тангенциальных молотилках. Дополнительным фактором обмолота является удар лопастью ротора в приемной камере. Аксиальные молотилки, как правило, используются для обмолота семенной кукурузы.

Выделение зерна из початка путем выкорчевывания (вышелушивания) происходит в дисковых молотилках, снабженных шипами. Эти устройства повреждают зерно в существенно меньшей степени, чем первые два типа молотилок. Дисковые молотилки широко применяются для обмолота отдельных початков на этапе селекции и в личных подсобных хозяйствах.

Исследователи, предлагавшие свои варианты классификации кукурузных молотилок после К. А. Полевицкого, в качестве основного признака использовали конструктивное исполнение рабочих органов или их сочетания [12,25,38,95].

Типичным представителем этой группы является классификация, описанная Ю. А. Шекихачевым [95] – рисунок 1.1.

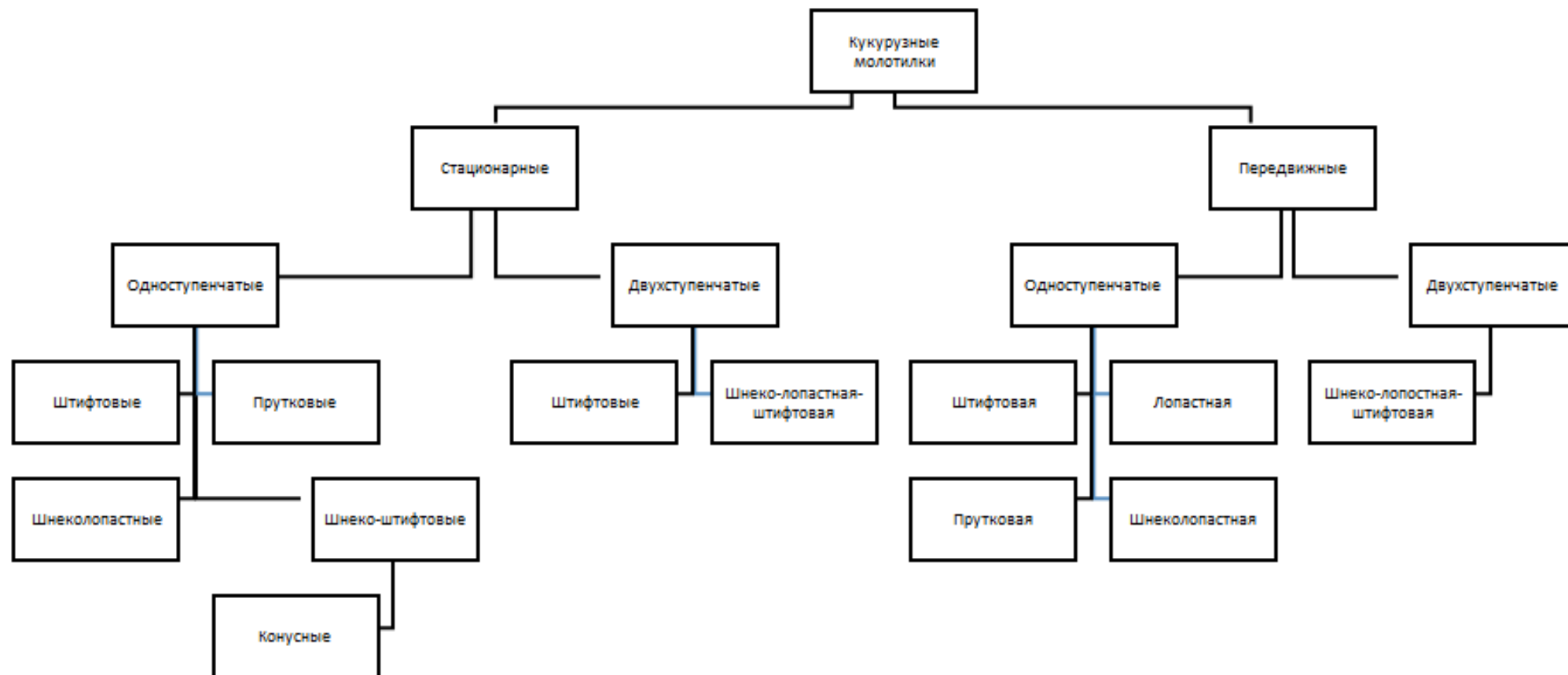


Рисунок 1.1 – Классификация кукурузных молотилок

Профессор В. С. Кравченко [37] классифицировал не молотилки, а способы обмолота кукурузы: по механизму выделения зерна из початка и по характеру действия на него рабочих органов – рисунок 1.2.

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Выдавливание зерна из початка + отделение зерна под действием сил инерции	Выдавливание зерна из початка + отделение зерна под действием сил трения	Выдавливание зерна + отделение зерна под действием сил трения и сил инерции	Отделение зерна под действием сил инерции	Отделение зерна под действием вибрации и сил трения	Отделение зерна под действием сил трения	Отделение зерна за счет растяжения и разрыва связи зерна со стержнем	Отделение зерна за счет разрушения стержня

I.1	II.1	II.2	II.3	II.4	III.1	III.2	IV.1	V.1	VI.1	VII.1	VII.2	VIII.1
Удар	Удар + защемление початка между рабочими органами	Удар + перемещение початка в среде обмолачиваемой массы	Сжатие початка между вращающимися рабочими органами	Прижатие початка к вращающимся рабочим органам силами инерции	Прижатие початка к вращающимся рабочим органам силами инерции + вибрация	Прижатие початка к вращающимся рабочим органам + вибрация	Периодическое ударное воздействие по торцу початка	Периодические ударные воздействия (вибрация) о вращающиеся рабочие органы	Прижатие початка к вращающимся рабочим органам	Декомпрессионный способ	Путем вращения початка вокруг продольной оси	Удалением стержня путем его вырезания

Рисунок 1.2 – Классификация способов обмолота початков кукурузы [37]

Но эта классификация не очень удобна для анализа конструкций молотилок. Поэтому мы предлагаем вариант классификации молотилок, совмещенный с способом действия на початок рабочих органов – таблица 1.5.

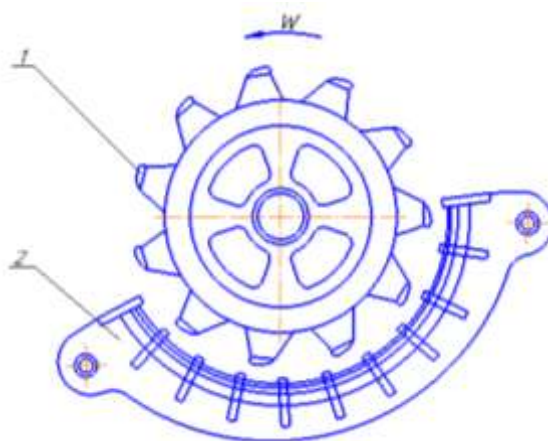
Таблица 1.5 – Типы молотилок и способ действия на початок рабочих органов молотилки

№ пп	Способ действия на початок рабочих органов молотилки	Тип молотильного устройства
1	Удар	Аксиальные молотилки с винтолопастным ротором и прутковой или решетчатой декой
2	Удар + защемление початка между рабочими органами	1. Тангенциальные молотилки с цилиндрическим ротором (снабженным бичами или штифтами) и решетчатой декой с переменным зазором от входа к выходу из рабочей щели 2. Аксиальные молотилки с винтолопастным ротором и решетчатой декой, и с обмолачивающим бичем на крышке молотильной камеры 3. Тангенциальные многовальцовые молотильные аппараты с дифференциальным приводом валцов и вальцовой декой
3	Удар + перемещение початка в среде обмолачиваемой массы	1. Аксиальные молотилки с винтолопастным ротором и прутковой или решетчатой декой 2. Конусные молотильные аппараты
4	Сжатие початка между вращающимися рабочими органами	Тангенциальные многовальцовые (планетарные) молотильные аппараты с дифференциальным приводом валцов
5	Прижатие початка к вращающимся рабочим органам силами инерции	Аксиальные многовальцовые молотильные аппараты с дифференциальным приводом валцов
6	Прижатие початка к вращающимся рабочим органам силами инерции + вибрация	Аксиальные многовальцовые молотильные аппараты с дифференциальным приводом валцов и выступами на валцах в форме храповика
7	Прижатие початка к вращающимся рабочим органам + вибрация	Двух- и трехвальцовые молотилки с горизонтальным расположением валцов
8	Периодическое ударное воздействие по торцу початка	Работоспособных технических решений нет
9	Периодические ударные воздействия (вибрация) о вращающиеся рабочие органы	Работоспособных технических решений нет
10	Прижатие початка к вращающимся рабочим органам	1. Дисковые молотилки типа МКД-М 2. Одноточечные конусные молотилки
11	Декомпрессионный способ	Камера, обеспечивающая давление воздуха до 5 атм и резкий сброс давления до атмосферного
12	Путем вращения початка вокруг продольной оси	Этот способ обмолота в конструкциях кукурузных молотилок не реализован
13	Удалением стержня путем его вырезания	Этот способ обмолота в конструкциях кукурузных молотилок не реализован

При анализе молотильных устройств учтем следующие факторы: дробление зерна селекционных номеров не должно превышать 1,0 % (как для семенной кукурузы); объем партии одного селекционного номера варьирует от одного початка до нескольких десятков. Следовательно, устройства для обмолота початков на этапе селекции должны обмолачивать не только партию, но и одиночные початки.

1-й способ. Вымолот зерна из одиночного початка, только за счет удара, может производиться в аксиальных молотилках с винтолопастным ротором (типа МКП). Но окружная скорость ротора в этом случае должна быть не менее 14 м/с, в то время как молотилках этого типа она не превышает 7 м/с. Как показали исследования в Краснодарском НИИСХ [39], для початков с влажностью 12...13 % дробление зерна при окружной скорости 14 м/с превышает 5 %, что является неприемлемым.

2-й способ. Этот способ обмолота осуществляется в тангенциальных молотилках. Принципиальная схема тангенциальной молотилки приведена на рисунке 1.3.



1 – ротор, 2 – дека, w – угловая скорость ротора.

Рисунок 1.3 – Принципиальная схема тангенциальной молотилки

Молотилки данного типа установлены на зерноуборочных комбайнах [8,43,94,101,102,105], применяемых для уборки кукурузы с обмолотом почат-

ков. Но из-за того, что початок перемещается в молотильном блоке на относительно короткое расстояние, то окружная скорость ротора должна составлять не менее 14...15 м/с. А это ведет к дроблению зерна порядка 4...5 %, что выше допустимого уровня. Поэтому, они применяются только для уборки кукурузы фуражного и продовольственного назначения.

Из кукурузных молотилок к этому типу относятся снятые с производства молотилки ЗКМ-3А, Красный Аксай и МК-100 [25,38]. Но они также не обеспечивают требуемое качество обмолота семенной кукурузы по дроблению зерна.

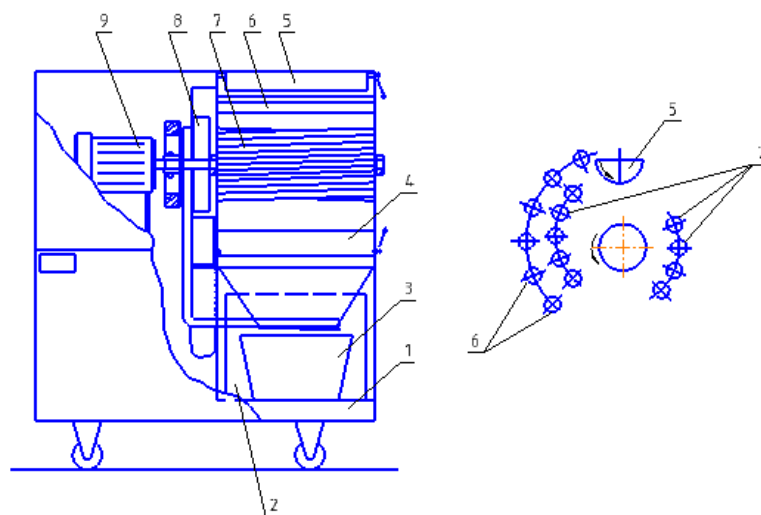
Днепропетровский тракторный завод ГП "ПО Южный машиностроительный завод имени А. М. Макарова» выпускает молотилку кукурузных початков ДТЗ МКП-03 производительностью 300 кг/ч – рисунок 1.4. Но она предназначена для обмолота кукурузы только фуражного и продовольственного назначения.



Рисунок 1.4 – Общий вид молотилки ДТЗ МКП-03

В Кишиневском СХИ был разработан экспериментальный образец тангенциальной молотилки с барабаном, с обрезиненной рабочей поверхностью [51,93]. Но эта молотилка не пошла в серийное производство из-за износа обрезиненных поверхностей менее чем за один сезон.

В селекционном процессе из тангенциальных молотилок используется однопочатковая молотилка конструкции Краснодарского НИИСХ [45]. Принципиальная схема молотилки представлена на рисунке 1.5.



1 – рама; 2 – емкость для стержней; 3 – емкость для зерна; 4 – решето; 5 – желоб; 6 – дека; 7 – ротор; 8 – вентилятор; 9 – электродвигатель.

Рисунок 1.5 – Принципиальная схема однопочатковой молотилки конструкции Краснодарского НИИСХ [45]

Данная молотилка используется для обмолота селекционных номеров кукурузы при определении урожайности. Дробление зерна превышает 3 %, поэтому для обмолота на семена она не используется.

3-й способ. Этот способ обмолота реализуется в аксиальных молотилках с винтолопастным ротором типа МПК (МПК-0,3; МСПК-0,5) и МКП-У [10,39,41,44,45,46,50]. К ним следует отнести и молотильные устройства французской фирмы Bourgoin, такие как 15/45 TZ [106] и Bamba [107]. Эти молотилки обмолачивают партии початков семенной кукурузы объемом от 300 кг (МПК-0,3) до 15 т (МКП-У). Отдельные початки в них обмолотить невозможно. Поэтому аксиальные молотилки с винтолопастным ротором для достижения поставленной цели в нашей работе не представляют интереса.

В конусных аппаратах, используемых для обмолота семенной кукурузы, также осуществляется рассматриваемый способ обмолота. Классические представители этого типа: молотилки GML-61 (Франция) и Western-2A (США) [108]. Молотильный блок этих устройств включает конусный ротор и замкнутую деку, размещенные горизонтально. Имеются и конусные аппараты с вертикальным расположением рабочих органов [47], что обеспечивает

их самоочистку. Существующие конусные аппараты обеспечивают дробление зерна менее 1 %, но они рассчитаны на обмолот партий объемом от нескольких сотен килограммов до 30 т [47, 48].

Исключение составляет молотилка ученых НИИМСХ Центрально-Черноземной полосы им. В.В. Докучаева [3], принципиальная схема которой представлена на рисунке 1.6.

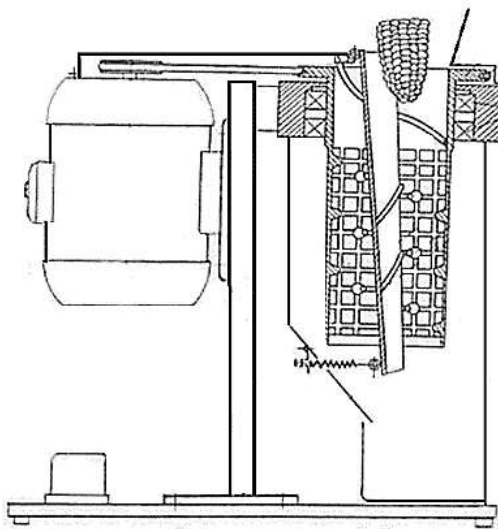


Рисунок 1.6 – Принципиальная схема молотилки по а.с. СССР № 1114370

Эта разработка представляет интерес, но она не была доведена до практического воплощения.

4-й способ. Этот способ осуществляется в многовальцовых (планетарных) аппаратах с дифференциальным приводом валцов [29,30,35]. Замена традиционной решетчатой деки на вальцовую позволяет производить обмолот початков при окружной скорости ротора до 7 м/с, поскольку интенсифицируется вращение початка вокруг собственной оси. Планетарные аппараты соответствуют требованиям семеноводства, но они сложны конструктивно и экономически не эффективны.

5-й способ. Этот способ проверен на экспериментальной установке, разработанной в Краснодарском НИИСХ [45] – рисунок 1.7.

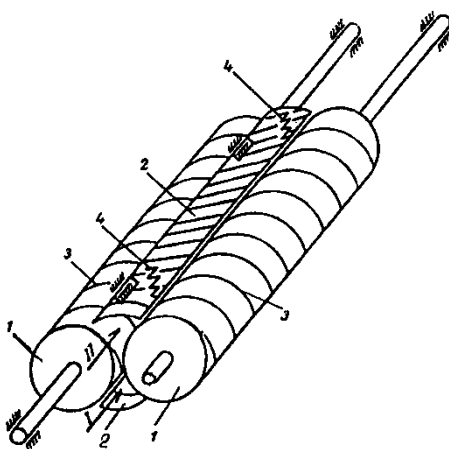


Рисунок 1.7 – Общий вид экспериментальной установки для проверки способа обмолота кукурузы по патенту РФ № 2190316 [45]

Этот способ является перспективным с точки зрения снижения травмирования зерна. Но экономически обоснованного технического решения, обеспечивающего подачу початков в молотильную камеру, не было найдено. Поэтому работы в данном направлении были прекращены.

6-й способ. Этот способ обмолота защищен патентом РФ № 2023373 РФ [58], но требуется практическая проверка.

7-й способ. Экспериментальная установка для проверки данного способа была разработана С. Василевым (Болгария) [15]. Схема установки представлена на рисунке 1.8.

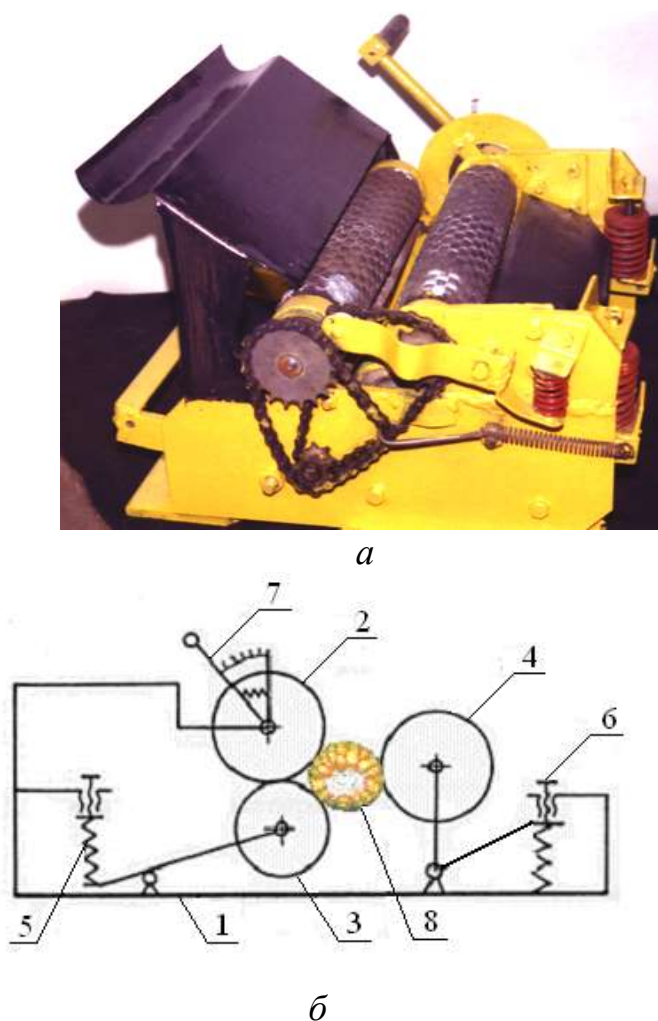


1 – вальцы; 2 – прижимные пластины; 3 – винтовая поверхность; 4 – пружины;
I и II – горловины.

Рисунок 1.8 – Принципиальная схема вальцовой молотилки [15]

Исследования показали, что при окружной скорости валцов 5,3 м/с и влажности зерна 12...13 % дробление зерна не превысило 0,22 % [15]. Но это исследование не завершилось разработкой серийного варианта молотилки. Тем не менее, данный тип молотилок является перспективным для использования их для обмолота початков на этапе селекции кукурузы.

Профессор И. А. Петунина исследовала процесс обмолота початков трехвалцовой молотилкой [60,61,62]. Общий вид молотилки и её принципиальная схема приведены на рисунке 1.9.



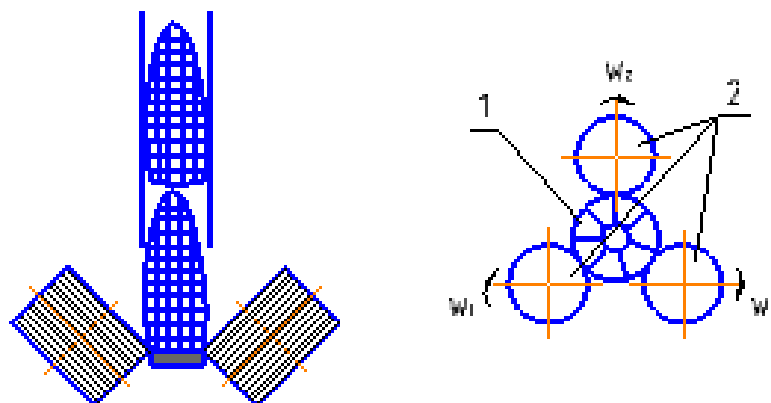
а – общий вид; *б* – принципиальная схема установки; 1 – рама; 2 – приводной (верхний) обрезиненный валец ($D = 71$ мм); 3 – ведомый (нижний) валец; 4 – прижимной обрезиненный валец ($D = 71$ мм); 5 – механизм поджатия ведомого вальца; 6 – механизм прижатия початка; 7 – динамометрический привод; 8 – початок.

Рисунок 1.9 – Общий вид и принципиальная схема экспериментальной установки для очистки и обмолота початков кукурузы [60]

В результате экспериментальных исследований И. А. Петунина определила следующие основные параметры молотилки: сила прижатия початка к вальцам максимум 650 Н; коэффициенты трения контактирующих поверхностей валцов – не менее 0,51; рабочая окружная скорость валцов не более 1,4 м/с. Дробление зерна составило 0,2 % [62].

Но и это исследование не завершилось разработкой серийного варианта молотилки. Тем не менее, данный тип молотилок также является перспективным для использования их для обмолота початков на этапе селекции кукурузы. К недостаткам трехвальцовой молотилки с горизонтально расположенными вальцами следует отнести необходимость остановки молотилки после обмолота каждого початка.

Интерес представляют также и трехвальцовые молотилки с вертикальным расположением рабочих органов. К ним относится молотилка [100], схема которой показана на рисунке 1.10.

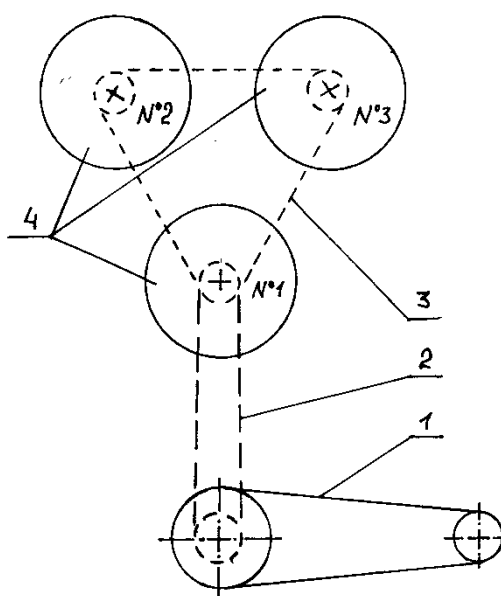


1 – початок; 2 – вальцы

Рисунок 1.10 – Принципиальная схема молотилки по патенту США № 4201227

Вальцы размещаются под углом 20^0 к вертикали. Сами вальцы закреплялись на ручных дрелях. Скорость вращения роликов составляла: 900, 1000 и 1100 мин⁻¹. Дробление зерна отсутствовало. Затраты энергии составили 0,12...0,23 кВт-ч/т, но пропускная способность молотилки оказалась существенно ниже, чем у традиционных устройств [100].

В Краснодарском НИИСХ также была предпринята попытка разработать трехвальцовую молотилку с вертикальными вальцами [39,45]. Общий вид молотилки и её принципиальная схема показаны на рисунке 1.11.



1 – зубчатременная передача; 2 и 3 – цепные передачи; 4 – обмолачивающие вальцы.
Рисунок 1.11 – Общий вид и принципиальная схема трехвальцовой молотилки конструкции КНИИСХ [45]

Исследование молотилки показало, что максимальное дробление составило 0,43 %, а недомолот 0,9 %. Початки подавались в молотильный блок только при приложении внешней нагрузки от 15 до 35 Н [45]. Нагрузка обеспечивалась установкой в направляющем патрубке металлических дисков.

Недостаток молотилки - необходимость ручной подачи початков, так как стоимость подающего механизма в разы будет выше стоимости молотилки.

8-й способ «Периодическое ударное воздействие по торцу початка». Периодические удары по торцу початка исследовались Г. А. Никитиной [53]. Обмолота початков таким способом возможен, но он не нашел применения из-за сложности и ненадежности предлагавшихся устройств.

9-й способ «Периодические ударные воздействия (вибрация) о вращающиеся рабочие органы». Работоспособных технических решений на сегодняшний день нет.

10-й способ «Прижатие початка к вращающимся рабочим органам» в настоящее время практически единственный, который применяется в существующих в настоящее время селекционных однопочатковых молотилках [1,45,104].

Основной рабочий орган этих молотилок - диск с шипами. Привод ручной или от электродвигателя. Размеры селекционных номеров кукурузы варьируют в широком интервале. Поэтому большинство дисковых молотилок снабжены прижимными механизмами, что обеспечивает обмолот початков любого диаметра. Наиболее распространены молотилки типа МКД-М [45] – рисунок 1.12, а также молотилка LS 230 австрийской фирмы Wintersteiger [104] – рисунок 1.13.

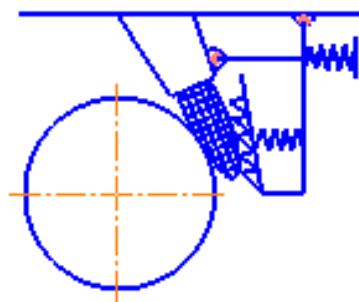


Рисунок 1.12 – Принципиальная схема молотилки типа МКД-М [45]



Рисунок 1.13 – Общий вид лабораторной молотилки LS 230 [104]

Этот тип молотилок обеспечивает не только высокое качество обмола, сопоставимое с ручным обмолом, но и самоочистку рабочих органов. Поэтому они наиболее широко применяются в селекционных учреждениях. Существенным недостатком этих молотилок является низкая производительность, вызванная необходимостью в большинстве случаев повторного домола початков.

11-й способ. По результатам опытов, проведенным в Краснодарском НИИСХ [6,36] декомпрессионный способ реализуется при резком сбросе повышенного давления воздуха (4...5 атм.) в закрытой камере с початками. Но

конструкций кукурузных молотилок, основанных на этом способе в настоящее время пока нет.

12-й способ. Работоспособных и экономически целесообразных технических решений по выделению зерен за счет центробежных сил в настоящее время нет. Данный способ используется пока только при разработке приборного обеспечения для изучения прочности связи зерна со стержнем [4].

13-й способ. Обмолот початков путем вырезания стержня, предложенный А. Д. Беспмятниковым [5], сложен в техническом исполнении. Он не пригоден для семенной кукурузы, так как велика вероятность повреждения зародыша.

Обмолот кукурузы путем удара по торцу початка возможен [1,53], но экономически обоснованных технических решений нет.

Анализ опытно-конструкторских работ по разработке устройств для обмолота початков семенной кукурузы позволяет сделать следующий вывод: наиболее перспективным путем повышения производительности обмолота селекционного материала кукурузы, при минимальном уровне дробления зерна, является применение вальцовых рабочих органов. Но серийно выпускаемых селекционных кукурузных вальцовых молотилок в настоящее время нет.

Поэтому существует объективная необходимость, как в модернизации существующих селекционных кукурузных вальцовых молотилок, так и в разработке новых конструкций.

1.3 Анализ научно-исследовательских работ по обмолоту початков кукурузы

Таковыми учеными, как В. П. Горячкин [26], Н. И. Гуров [27], И. О. Василенко, В. В. Деревенко [30], М.А. Пустыгин [75], Э. В. Жалнин [7,32], И. В. Бумбар [14], М. Г. Голик [25], Г. И. Креймерман [38], В. С. Кравченко [36,37],

В. С. Курасов [39], Ю. И. Мозговой [49], Г. А. Никитина [53], И. А. Петунина [60,61,62], А. И. Пьянков [77], Д. Н. Бахарев [11], В. В. Войцехович [19,20], А. И. Гокоев [22,23], Т. К. Тогонбаев [85], Н. Н. Ульрих [89], Ю. А. Шекиха-чев [95], К. В. Шатилов [94] и другие выполнили большой объем теоретических и опытно-конструкторских работ по уборке и послеуборочной обработке початков кукурузы. В частности, были обоснованы основные параметры рабочих органов и технологических процессов очистки и обмолота початков кукурузы.

Параметры рабочих органов молотильных аппаратов во многом определяются из условия равновесия зажатого стержня, предложенного М. В. Сабликовым [80]:

$$\chi_{\text{крит}} \leq 2 \cdot \varphi_1; \quad (1.1)$$

где $\chi_{\text{крит}}$ – критический угол защемления, град; φ_1 – угол трения стержня по поверхности, град.

И. Н. Гуров [27] определил, что дробление зерна менее 2 % происходит при величине ударного импульса равного 1,45 Н·с. Им найдена зависимость для определения скорости соударения початка с лопастью, обеспечивающей разрушение початка:

$$V_{\text{пд}} = \sqrt{\frac{2S_{\text{уд}}}{m_{\text{п}}}}; \quad (1.2)$$

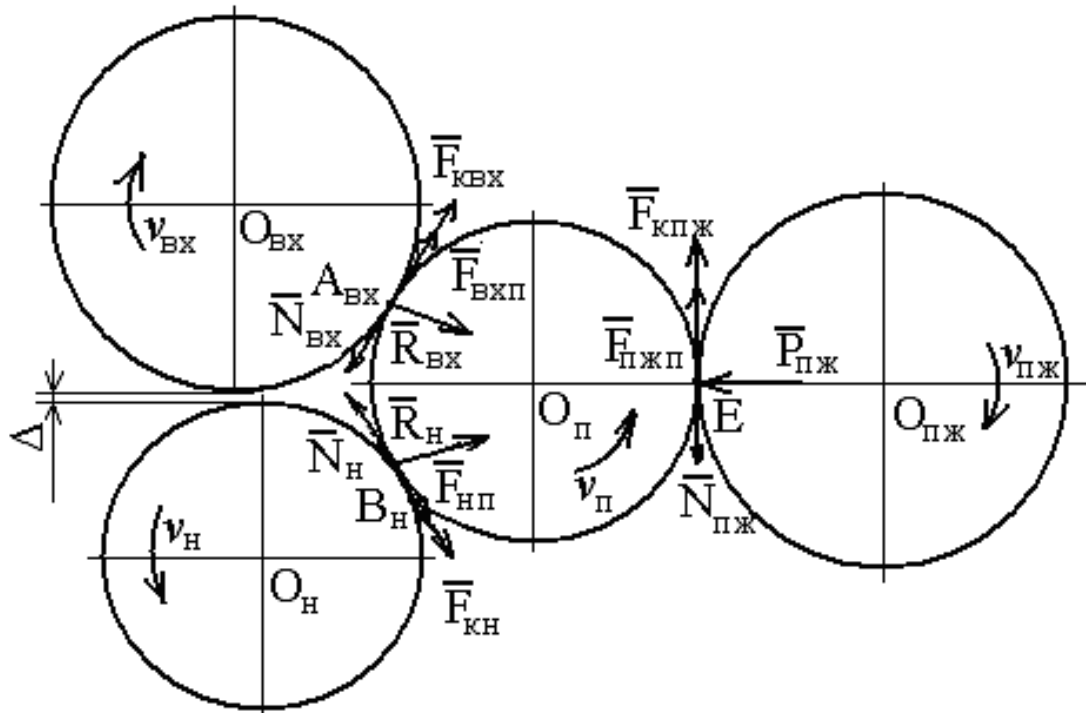
где $V_{\text{пд}}$ – скорость соударения початка с обмолачивающей поверхностью, м/с; $S_{\text{уд}}$ – ударный импульс, Н·с; $m_{\text{п}}$ – масса початка, кг.

Профессор И. А. Петунина исследовала процесс обмолота початков трехвальцово-молотилкой [60,61].

В разработанной ей конструкции молотилки радиус прижимного вальца и диаметр початка расположены на линии, которая перпендикулярна ли-

нии, являющейся касательной к рабочим поверхностям как верхнего, так и нижнего валцов.

Так же И. А. Петунина рассмотрела силы, действующие на початок в трехвалцово-й молотилке (рисунок 1.14) [60].



$P_{пж}$ – усилие поджатия початка кукурузы к валцам; $R_{вх}$ – реакция верхнего вальца;
 $R_{н}$ – реакция нижнего вальца.

Рисунок 1.14 – Силы, действующие на початок при его обмолоте в трехвалцовой молотилке [60]

Автором были выведены формулы для нахождения тангенциальной силы на верхнем вальце [60]:

$$\bar{N}_н = \bar{F}_{нп} + \bar{F}_{кн} = \bar{P}_н (f_1 + f_{k1}), \quad (1.3)$$

где $\bar{N}_{вх}$ – тангенциальная сила, Н; $\bar{F}_{нп}$ – сила трения движения валец – початок, Н; $\bar{F}_{квв}$ – сила трения качения валец – початок, Н; f_1 – коэффициент трения движения резина-зерновки початка; f_{k1} – коэффициент трения качения резина-зерновки початка;

Результирующая от нормального давления $\bar{P}_H$ и тангенциальной составляющей $\bar{N}_H$ имеет вид

$$\bar{R}_H = \bar{P}_H + \bar{N}_H, \quad (1.4)$$

Тангенциальная сила на приводном вальце равна

$$\bar{N}_{пр} = \bar{F}_{прн} + \bar{F}_{кпр} = \bar{R}_{пр}^n (f_2 + f_{k2}), \quad (1.5)$$

где $\bar{N}_{пр}$ - тангенциальная сила на приводном вальце, Н; $\bar{F}_{прн}$ - сила трения движения приводной валец - зерновка, Н; $\bar{F}_{кпр}$ - сила трения качения приводной валец - зерновка, Н; f_2 - коэффициент трения движения приводной валец-зерновка; f_{k2} - коэффициент трения качения приводной валец-зерновка;

Тангенциальная сила на ведомом вальце равна

$$\bar{N}_B = \bar{F}_{BH} + \bar{F}_{KB} = \bar{R}_B^n (f_3 + f_{k3}), \quad (1.6)$$

где $\bar{N}_B$ - тангенциальная сила на ведомом вальце, Н; $\bar{F}_{BH}$ - сила трения движения ведомый валец - зерновка, Н; $\bar{F}_{KB}$ - сила трения качения ведомый валец - зерновка, Н; f_3 - коэффициент трения движения ведомый валец-зерновка; f_{k3} - коэффициент трения качения ведомый валец-зерновка;

И. А. Петунина обозначила отношение линейных скоростей прижимного вальца и верхнего вальца как кинематический параметр λ

$$\lambda = \frac{V_{пж}}{V_{пр}}, \quad (1.7)$$

где λ – кинематический коэффициент; $V_{пж}$ – линейная скорость прижимного вальца, м/с; $V_{пр}$ – линейная скорость приводного вальца, м/с.

При $\lambda < 1$ линейная скорость прижимного вальца меньше линейной скорости приводного и ведомого вальцов.

В этом случае деформационная часть початка, располагающаяся между точками контакта прижимного Е и приводного вальца $V_{пр}$ и между прижимным и ведомым вальцом растягивается (рисунок 1.6). Происходит проскальзывание поверхности приводного вальца по зерновой части контакта, т.к.

$$\overline{F_{пр}^{прз}} < \overline{F_n^{нз}} < \overline{N_{пр}}, \quad (1.8)$$

где $F_{пр}^{прз}$ – сила трения зерновой части по поверхности приводного вальца в точке $V_{пр}$.

Далее происходит вращение обмолачиваемого початка со скоростью $V_{пж}$, а проскальзывают по его поверхности как приводной, так и ведомый вальцы. При этом ведомый валец вращается со скоростью $V_{пж}$ и создает меньшее давление на початок и, таким образом, способствует его торможению [61].

При кинематическом коэффициенте $\lambda = 1$ линейные скорости всех трех вальцов одинаковы. Следовательно, початок, подверженный действию равнодействующих сил трения, и уравновешен моментами этих сил.

При кинематическом коэффициенте $\lambda > 1$ линейные скорости всех трех вальцов неравны. Следовательно, початок в рабочее пространство молотильного блока не входит, вращаясь вокруг своей оси, и продолжает катиться по поверхности приводного и прижимного вальцов.

Следовательно, при $\lambda > 1$ и $\lambda = 1$ початки или не попадают в молотильный блок, или происходит их обмолот с низким качеством.

Рабочий режим молотильного блока происходит, когда кинематический коэффициент $\lambda < 1$ [61].

1.4 Выводы, цель и задачи исследования

Анализ существующих конструкций различных типов молотилок показывает, что применяемые рабочие органы не выполняют нормативные требования к процессу обмолота початков семенной кукурузы. Следовательно, необходима либо модернизация существующих молотилок, либо разработка новых конструкций, а также оптимизация их геометрических параметров и режимов работы. Установлено, что использование вальцовых молотилок наиболее целесообразно на этапах селекции и первичного семеноводства.

Размерно-массовая характеристика и технологические свойства как початков, так зерна кукурузы изучены достаточно полно. Применительно к нашим задачам их исследовать нет необходимости. Поэтому в нашем исследовании мы будем только уточнять отдельные показатели по тем линиям и гибридам, которые использовались при проведении экспериментальных исследований.

В связи с вышеизложенным, в качестве *научной гипотезы* принимаем, что оптимизация параметров двухвальцовой молотилки, снабженной прижимным механизмом и имеющей на одном из вальцов выступы, выполненные по форме спирали Архимеда, а на другом винтовую навивку для удаления стержней из зоны обмолота обеспечит повышение производительности и качества обмолота початков на этапе селекции кукурузы.

Целью работы является обоснование параметров двухвальцовой молотилки, снабженной прижимным механизмом и имеющей на одном из вальцов выступы, выполненные по форме спирали Архимеда, а на другом винтовую навивку для удаления стержней из зоны обмолота для повышения производительности и качества обмолота початков на этапе селекции кукурузы.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать конструктивно-технологическую схему молотилки для обмолота початков кукурузы на этапе селекции.

2. Уточнить размерно-массовую характеристику початков семенной кукурузы.

3. Разработать математическую модель движения початка кукурузы в процессе его обмолота двухвальной молотилкой с прижимным механизмом.

4. Произвести оценку времени обмолота одного початка двухвальной молотилкой с прижимным механизмом.

5. Определить оптимальные параметры кукурузной селекционной двухвальной молотилки с прижимным механизмом по критериям дробления и недомолота зерна.

6. Сопоставить результаты теоретических и экспериментальных исследований.

7. Провести расчет экономической эффективности применения предлагаемой двухвальной молотилки с прижимным механизмом на этапе селекции кукурузы.

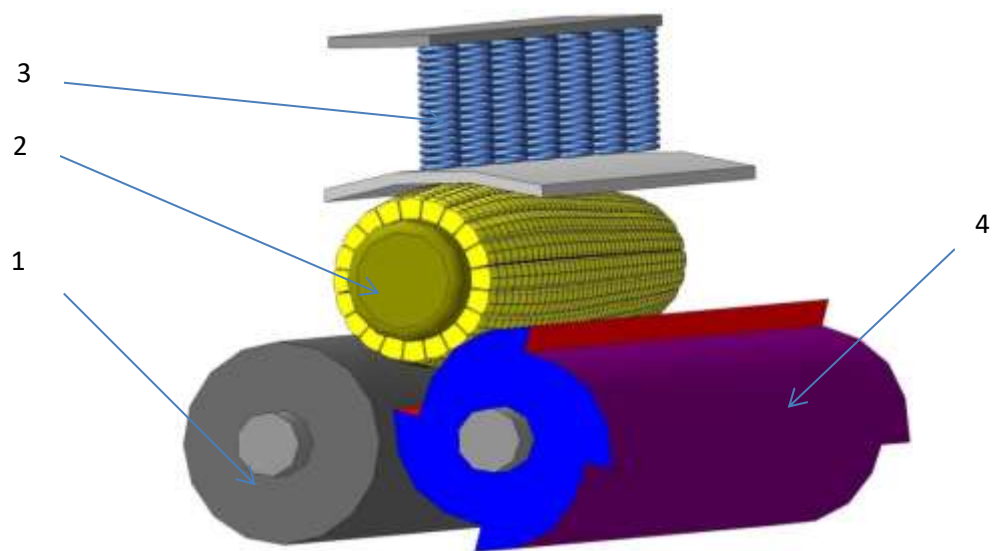
2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБМОЛОТА ПОЧАТКОВ КУКУРУЗЫ ДВУХВАЛЬЦОВОЙ МОЛОТИЛКОЙ С ПРИЖИМНЫМ МЕХАНИЗМОМ

2.1 Характеристика объекта исследования

Ранее было установлено, что одним из наиболее перспективных путей повышения производительности обмолота початков на этапе селекции кукурузы, при одновременной минимизации уровня дробления зерна, является использование вальцовых молотилок. Но опытно-конструкторских работ, завершившихся разработкой кукурузной молотилки такого типа, обеспечивающей качественный обмолот початков кукурузы на этапе селекции, на сегодняшний день нет.

Поэтому нами было решено исследовать процесс обмолота початков вальцовой молотилкой [59]. Объект исследования - разработанный нами экспериментальный образец двухвальцовой молотилки, снабженной прижимным механизмом и имеющей на одном из вальцов выступы, выполненные по форме спирали Архимеда, а на другом винтовую навивку для удаления стержней из зоны обмолота. Предмет исследования - зависимость скорости перемещения початка от основных параметров молотилки. Принципиальная схема молотилки представлена на рисунке 2.1.

В состав двухвальцовой молотилки входит: загрузочное устройство (условно не показано); молотильный блок с двумя вальцами: транспортирующим 1 и обмолачивающим 4 и прижимной механизм 3, который обеспечивает постоянное усилие прижатия початка к вальцам.



1 - транспортирующий валец; 2 - кукурузный початок; 3 – прижимной механизм; 4 - обмо-
лачивающий валец.

Рисунок 2.1 – Схема двухвальной молотилки

Обмолачивающий валец представляет собой цилиндр, в поперечном сечении имеющий форму храповика, поверхность выступов которого выполнена по форме спирали Архимеда. Транспортирующий валец – цилиндр, на котором для перемещения початков навивка выполнена из проволоки Ø 4 мм. Вращение валцов происходит в одну сторону и с одинаковой частотой.

Привод валцов осуществляется от электродвигателя посредством клиноременной передачи.

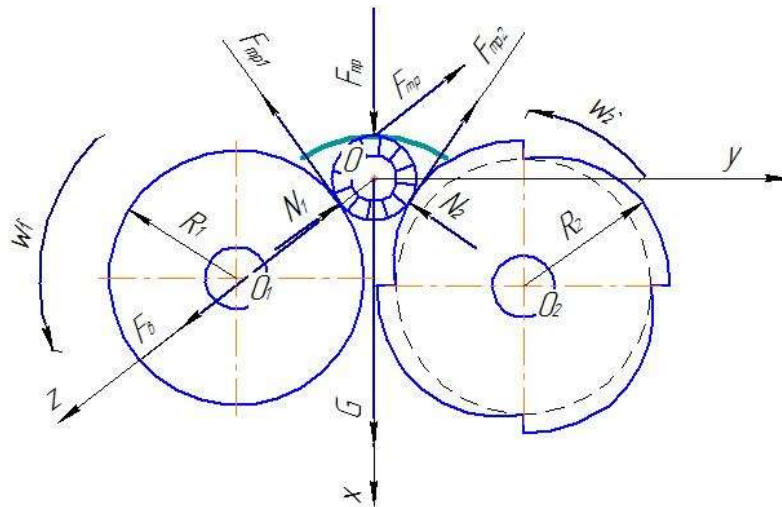
Процесс обмолота происходит следующим образом. Початок вручную подается в зону обмолота под прижимную пластину. Початок захватывается навивкой транспортирующего вальца и перемещается вдоль обмолачивающего вальца. Наличие выступов на последнем обеспечивает вымолот зерен путем шелушения и выкорчевывания.

Выполнение рабочей поверхности по форме спирали Архимеда обеспечивает плавное нарастание нагрузки на початок и практически исключает дробление зерна.

2.2 Анализ движения початка в двухвальцовой молотилке

Для дальнейшего анализа примем следующие допущения: первое - кукурузный початок будем рассматривать цилиндр одинакового диаметра по всей длине початка; второе - принимаем величину давления прижимного механизма на початок постоянной в течение всего времени обмолота; третье – момент инерции початка во время обмолота принимаем постоянным.

Схема рабочей камеры молотилки представлена на рисунке 2.2.



1, 2 – соответственно транспортирующий и обмолачивающий вальцы; ω_1 и ω_2 – угловые скорости соответственно транспортирующего и обмолачивающего вальцов; $F_{пр}$ – величина давления прижимного механизма на початок; $F_{тр1}$ – сила трения, действующая на початок со стороны транспортирующего вальца; $F_{тр2}$ – сила трения, действующая на початок со стороны обмолачивающего вальца; N_1 – сила нормальной реакции обмолачивающего вальца на початок; N_2 – сила нормальной реакции обмолачивающего вальца на початок; R_2 – радиус обмолачивающего вальца; R_1 – радиус транспортирующего вальца; $F_{тр}$ – сила трения початка о прижимной механизм.

Рисунок 2.2 – Схема рабочей камеры молотилки

Оба вальца вращаются с одинаковой угловой скоростью и в одну и ту же сторону.

$$\omega_1 = \omega_2. \quad (2.1)$$

где ω_1 и ω_2 – угловые скорости, соответственно транспортирующего и обмолачивающего вальцов, рад/с.

В дальнейшем рассмотрим модули рассматриваемых сил.

Величина давления прижимного механизма на початок принята постоянной и находится по следующему выражению:

$$F_{\text{пр}} = c \cdot \Delta x = \text{const.} \quad (2.2)$$

где $F_{\text{пр}}$ – величина давления прижимного механизма на початок, Н; c – жесткость пружины, Н/мм; Δx – величина деформации пружины, мм.

Используя данные исследований ученых Краснодарского НИИСХ имени П. П. Лукьяненко величина давления прижимного механизма была принята равной 80 Н [37,39].

Составим аналитические выражения для сил, действующих на кукурузный початок.

Сила трения, действующая на початок со стороны транспортирующего вальца, находится по формуле:

$$F_{\text{тр1}} = f_1 \cdot N_1. \quad (2.3)$$

где $F_{\text{тр1}}$ – сила трения, действующая на початок со стороны транспортирующего вальца, Н; f_1 – коэффициент трения пары початок - транспортирующий валец, $f_1 = 0,53$ [39]; N_1 – сила нормальной реакции обмолачивающего вальца на початок, Н.

Сила трения, действующая на початок со стороны обмолачивающего вальца, находится по формуле:

$$F_{\text{тр2}} = f_2 \cdot N_2. \quad (2.4)$$

где $F_{\text{тр2}}$ – сила трения, действующая на початок со стороны обмолачивающего вальца, Н; f_2 – коэффициент трения на обмолачивающем вальце, $f_2 = 0,53$ [60]; N_2 – сила нормальной реакции обмолачивающего вальца на початок, Н.

В связи с тем, что початок постоянно прижат к вальцам за счет прижимного механизма, то между початком и пластиной прижимного механизма появляется постоянная сила:

$$F_{\text{тр}} = f \cdot F_{\text{пр}} = f \cdot c \cdot \Delta x = \text{const} \quad (2.5)$$

где $F_{\text{тр}}$ – сила трения початка о пластину прижимного механизма, Н; f – коэффициент трения пары початок – пластина, $f=0,53$ [39].

Так как, рабочая поверхность обмолачивающего вальца выполнена по форме спирали Архимеда, то на ней появляется нормальная сила реакции, которая возрастает по мере нарастании выступа спирали:

$$N_2 = k \cdot h \quad (2.6)$$

где h - величина деформации початка, мм; k – коэффициент пропорциональности, $k=0,86$ Н/мм [39].

Из рисунка 2.2 следует, что величину деформации початка можно найти по выражению:

$$h = O_1O - r_{\text{п}} - R_2, \quad (2.7)$$

где h - величина деформации початка, мм; O_1O – расстояние от центра транспортирующего вальца до центра початка, мм; $r_{\text{п}}$ – радиус початка, мм; R_2 – радиус обмолачивающего вальца, мм;

В связи с тем, что радиус обмолачивающего вальца складывается из диаметра основной окружности вальца и полярного радиуса спирали Архимеда, то имеем:

$$R_2 = \frac{d_0}{2} + \rho, \quad (2.8)$$

где R_2 – радиус обмолачивающего вальца, мм; d_0 – диаметр основной окружности обмолачивающего вальца, мм; ρ – полярный радиус спирали Архимеда, мм;

Подставив выражение 2.8 в выражение 2.7 получим:

$$h = O_1O - r_{\pi} - \frac{d_0}{2} - \rho.$$

Выведем дифференциальные уравнения вращения початка. Для этого спроектируем все силы на оси координат.

Проекция на ось x :

$$I_{\pi} \frac{d^2\varphi}{dt^2} = F_{\text{тр}1} \cdot r_{\pi} + F_{\text{тр}2} \cdot r_{\pi} - F_{\text{тр}} \cdot r_{\pi}, \quad (2.9)$$

где I_{π} – момент инерции початка относительно оси x , кг·м²; $F_{\text{тр}1}$ – сила трения, действующая на початок со стороны транспортирующего вальца, Н; $F_{\text{тр}2}$ – сила трения, действующая на початок со стороны обмолачивающего вальца, Н; $F_{\text{тр}}$ – сила трения початка о пластину прижимного механизма, Н.

Подставив в уравнение 2.9 уравнения 2.3, 2.4, 2.5 и 2.7, получим

$$I_{\pi} \frac{d^2\varphi}{dt^2} = \left[f_1 \cdot N_1 + f_2 \cdot k \cdot \left(O_1O - r_{\pi} - \frac{d_0}{2} - a \cdot \varphi \right) - f \cdot c \cdot \Delta x \right] \cdot r_{\pi}, \quad (2.10)$$

В связи с тем, что момент инерции относительно оси y равен нулю, то проекции сил на ось y запишутся в следующем виде:

$$0 = F_{\text{тр}1} \cdot \cos \alpha + F_{\text{тр}2} \cdot \cos \alpha - N_1 \cdot \sin \alpha - N_2 \cdot \sin \alpha - F_{\text{тр}} \quad (2.11)$$

Из рисунка 2.3 найдем значения косинусов и синусов:

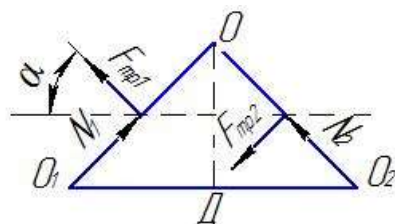


Рисунок 2.3 – Схема действия сил в вертикальной плоскости молотилки

$$\sin \alpha = \frac{O_1D}{O_1O}; \quad (2.12)$$

$$\cos \alpha = \frac{O_1D}{O_1O} \quad (2.13)$$

Проекция на ось z

$$m \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = F_B - F_{тр} - F_{тр2} \quad (2.14)$$

где m – масса початка, кг; F_B – выталкивающая сила от навивки, Н; $F_{тр2}$ – сила трения, действующая на початок со стороны обмолачивающего вальца, Н; $F_{тр}$ – сила трения початка о пластину прижимного механизма, Н.

Учитывая, что скорость выталкивания початка, с учетом конструкции навивки, постоянна, то из уравнения (2.14) получим

$$\left(\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{d\omega}{dt} = 0 \right).$$

$$F_B - F_{тр} - F_{тр2} = 0 \quad (2.15)$$

Полярный радиус спирали Архимеда (рисунок 2.4) определим по выражению (2.16)

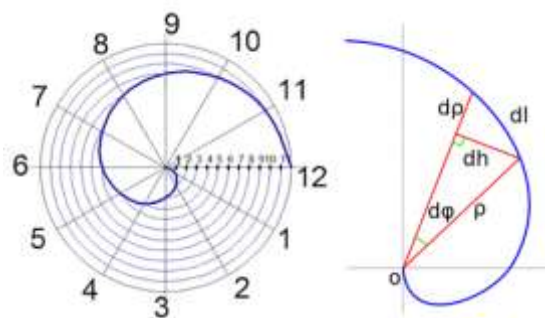


Рисунок 2.4 – Спираль Архимеда

$$\rho = a \cdot \varphi_0 \quad (2.16)$$

где ρ – полярный радиус спирали Архимеда, м; a – шаг спирали, м/рад; φ_0 – угол поворота спирали, град.

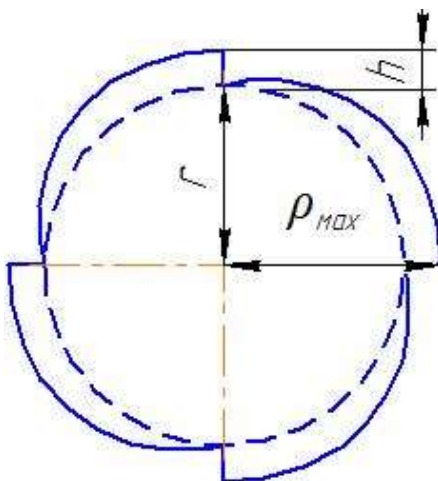


Рисунок 2.5 – Обмолачивающий валец

$$\rho = \rho_{\max} - a \cdot \varphi_0 \quad (2.17)$$

При установившемся режиме работы можно считать, что f_1 , f_2 , N , k , $a \rightarrow \text{const.}$

Значения момента инерции початка относительно собственной оси I_{Π} в первом приближении можно считать постоянным и равным среднему значению моментов инерции зерен кукурузы и обмолоченного початка.

$$I_{\Pi} = I_3 + I_K \quad (2.18)$$

где I_n – момент инерции початка относительно оси, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; I_3 – момент инерции зерен кукурузы, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; I_k – момент инерции обмолоченного початка, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$.

Моменты инерции зерен кукурузы и обмолоченного початка находятся по следующим выражениям:

$$I_3 = m_3 \cdot r_n^2; \quad I_k = \frac{m_k \cdot r_k^2}{2}.$$

где m_3 – масса зерен семян кукурузы, кг; m_k – масса обмолоченного початка (стержня) кукурузы, кг; r_n – радиус початка кукурузы, мм; r_k – радиус обмолоченного початка кукурузы, мм.

Для дальнейших расчетов используем данные размерно-массовой характеристики початков гибрида Краснодарский 425 МВ (см. приложение 1). Следовательно, имеем: $m_3 = 0,25$ кг, $m_k = 0,08$ кг, $r_n = 0,03$ м и $r_k = 0,02$ м.

Подставим имеющиеся значения, и найдем моменты инерции:

$$I_3 = 0,25 \cdot 0,03^3 = 0,000225 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

$$I_k = \frac{0,08 \cdot 0,02^2}{2} = 0,000016 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Исходя из этого, момент инерции початка кукурузы будет равен:

$$I_n = 0,000225 + 0,000016 = 0,000241 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Тогда уравнение (2.10) примет вид:

$$I_n \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = K + L \cdot \varphi \quad (2.19)$$

где

$$K = \left[f_1 \cdot N_1 + f_2 \cdot k \cdot \left(O_1 O - r_{\Pi} - \frac{d_0}{2} - a \cdot \varphi \right) - f \cdot c \cdot \Delta x \right] \cdot r_{\Pi} \quad (2.20)$$

$$L = -f_2 \cdot k \cdot a \cdot r_{\Pi} \quad (2.21)$$

Используя ранее полученные данные, подставим и решим уравнения (2.20) и (2.21). Тогда значения коэффициентов составят:

$$K = 0,0166 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$L = 0,000068 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}.$$

Момент инерции початка в процессе обмолота уменьшается с I_{nn} до I_{no} .

Зависимость момента инерции от времени обмолота носит линейный характер и имеет следующий вид:

$$I_{\Pi} = I_{nn} - at \quad (2.22)$$

где I_n – момент инерции початка относительно оси, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; I_{nn} – момент инерции початка до обмолота, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; t – время обмолота початка кукурузы в данный момент, с; a – угловой коэффициент, $\text{кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}$.

Угловой коэффициент показывает, как изменяется момент инерции початка во время обмолота.

$$\text{при } t=0 \rightarrow I_{\Pi} = I_{nn};$$

$$\text{при } t=t_{об} \rightarrow I_{\Pi} = I_{no}.$$

Угловой коэффициент a можно определить по следующему выражению:

$$\alpha = \frac{I_{nn} - I_{no}}{t_{об}} \quad (2.23)$$

где a – угловой коэффициент, $\text{кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}$; $I_{\text{пн}}$ – момент инерции початка до обмо-
лота, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; $I_{\text{но}}$ – момент инерции початка после обмолота, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; $t_{\text{об}}$ – время
полного обмолота початка кукурузы, с.

На основе уравнения динамики вращательного движения твердого тела
составим математическую модель движения початка кукурузы в вальцовой
молотилке:

$$(I_{\text{пн}} - at) \cdot \frac{d^2\varphi}{dt^2} = K + L \cdot \varphi, \quad (2.24)$$

или

$$(I_{\text{пн}} - at) \cdot \frac{d\omega}{dt} = K + L \cdot \varphi. \quad (2.25)$$

Для нахождения угловой скорости проинтегрируем уравнение (2.25).
Для этого воспользуемся программой MathCad 7 (листинг программы приве-
ден в приложении 4). График перехода молотилки на установившийся режим
работы представлен на рисунке 2.6.

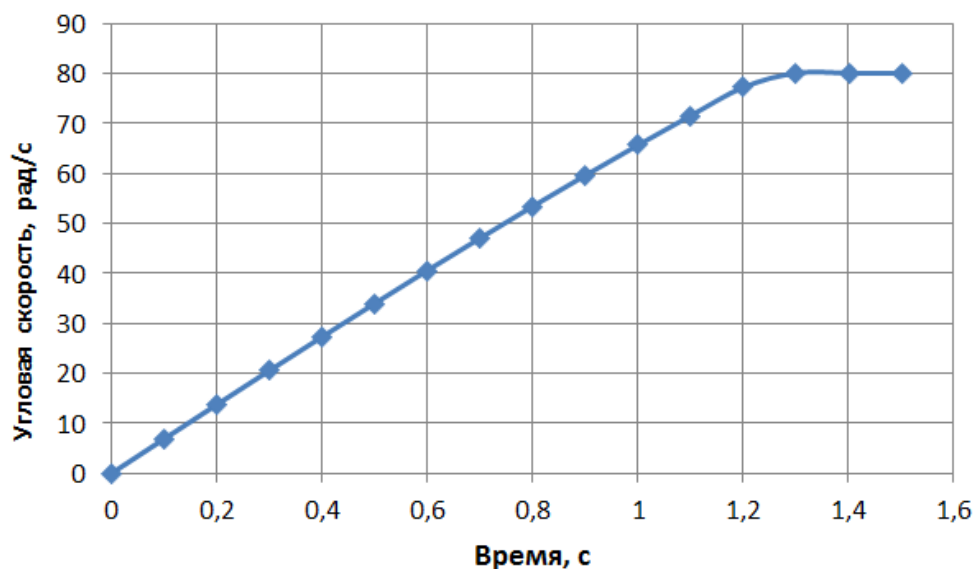


Рисунок 2.6 – График перехода на установившийся режим работы

Из рисунка 2.6 следует, что угловая скорость при установившемся режиме работы составит:

$$\omega = 80,053 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}.$$

На рисунках 2.7 и 2.8 представлены графики зависимости угловой скорости от коэффициентов L и K:

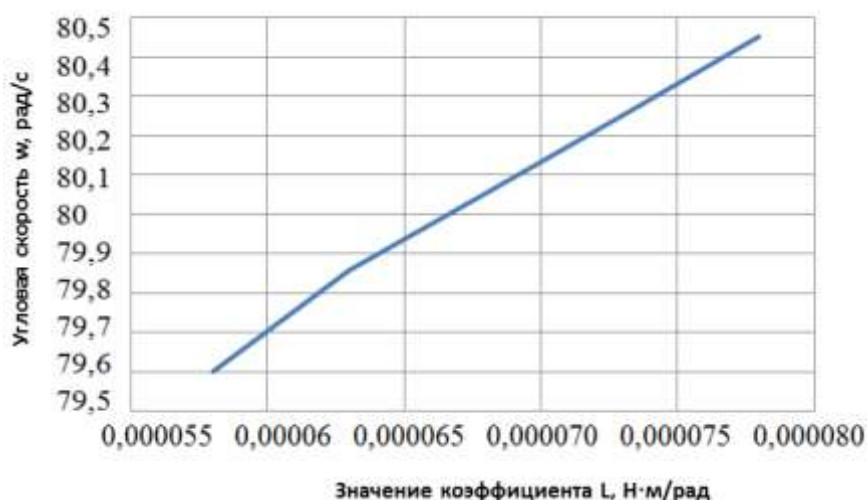


Рисунок 2.7 – График зависимости угловой скорости от коэффициента L при постоянном коэффициенте K

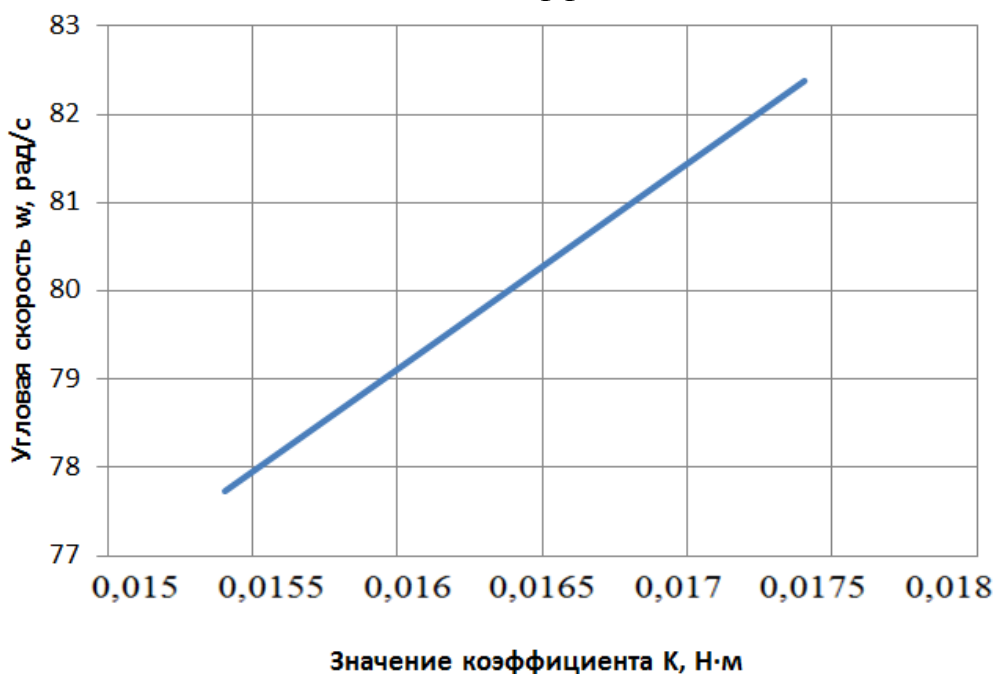


Рисунок 2.8 – График зависимости угловой скорости от коэффициента K при постоянном коэффициенте L

Анализ графиков на рисунках 2.7 и 2.8 показывает, что зависимость угловой скорости от коэффициентов L и K имеет линейный характер.

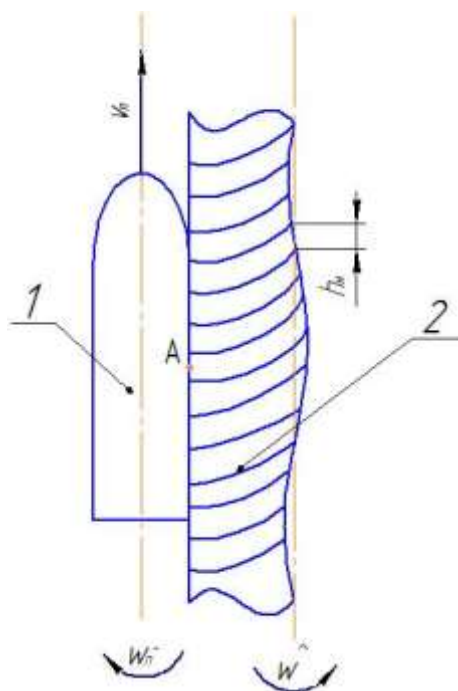
Зависимость угловой скорости от частоты вращения общеизвестна. Для гибрида Краснодарский 425 МВ получаем:

$$n = \frac{\omega \cdot 30}{\pi} = \frac{80,053 \cdot 30}{3,14} = 764,4 \text{ мин}^{-1}.$$

Таким образом, с учетом допустимой деформации початков кукурузы в процессе обмолота ($h = 10 \text{ мм}$), частота вращения валцов составит $n = 764,4 \text{ мин}^{-1}$.

2.3 Определение производительности двухвальцовой молотилки

Вывод початка кукурузы из зоны обмолота осуществляется транспортирующим валцом (рисунок 2.9), на поверхности которого выполнена навивка из стальной проволоки диаметром 4 мм.



1 – початок кукурузы; 2 – транспортирующий валец с навивкой.

Рисунок 2.9 – Схема вывода початка из зоны обмолота

На основании анализа геометрии рабочих органов молотилки и частоты вращения валцов дадим оценку времени обмолота одного початка.

Скорость навивки в продольном направлении находится по следующему выражению:

$$v_{\text{пер}} = \frac{h_{\text{нав}}}{t_{\text{пер}}}, \quad (2.26)$$

где $v_{\text{пер}}$ – скорость навивки в продольном направлении, м/с; $h_{\text{нав}}$ – шаг навивки на транспортирующем вальце, м; $t_{\text{пер}}$ – время одного оборота вальца, сек.

При частоте вращения $n = 764,4 \text{ мин}^{-1}$, время одного оборота валцов составит $t_{\text{пер}} = 0,083 \text{ с}$. Шаг навивки транспортирующего вальца составляет $h_{\text{нав}} = 0,01 \text{ м}$.

$$v_{\text{пер}} = \frac{0,01}{0,083} = 0,12 \text{ м/с}.$$

Исходя из размерно-массовой характеристики початков длина обмолачивающего и транспортирующего валцов была принята равной $l_{\text{вал}} = 0,4 \text{ м}$, а длина початка $l_{\text{поч}} = 0,2 \text{ м}$. Тогда время обмолота одного початка кукурузы определится по выражению:

$$t_{\text{об}} = \frac{l_{\text{вал}} + l_{\text{поч}}}{v_{\text{пер}}} \cdot \eta; \quad (2.27)$$

где $v_{\text{пер}}$ – скорость перемещения в продольном направлении, м/с; $t_{\text{об}}$ – время обмолота одного початка кукурузы, с; $l_{\text{вал}}$ – длина обмолачивающего и транспортирующего вала, м; $l_{\text{поч}}$ – длина початка, м; η – коэффициент проскальзывания, $\eta = 0,9$ [36].

Отсюда

$$t_{\text{об}} = \frac{0,4 + 0,2}{0,12} \cdot 0,9 = 4,52 \text{ с}.$$

Производительность предлагаемой молотилки рассчитывается по следующему выражению:

$$Q = \frac{m_{\text{п}}}{t_{\text{об}}} \cdot \tau \cdot 3600, \quad (2.28)$$

где Q – производительность молотилки, кг/ч; $t_{\text{об}}$ – время обмолота одного початка кукурузы, с; $m_{\text{п}}$ – масса початка кукурузы, кг; τ – технологический коэффициент.

Технологический коэффициент учитывает затраты времени на упаковку и маркировку семян обмолоченного селекционного номера, а так же на переход к обмолоту другой партии початков. В 2018 году нами был проведен хронометраж работы сотрудников Национального центра зерна им. П. П. Лукьяненко в процессе обмолота селекционных номеров кукурузы. Установлено, что эти затраты составляют 65 – 75 % от всего времени обработки селекционных номеров. Среднее значение 70 %. Следовательно, технологический коэффициент будет равен $\tau = 1 - 0,7 = 0,3$.

Следовательно, производительность предлагаемой молотилки по выражению (2.28) составит

$$Q = \frac{0,3}{4,52} \cdot 0,3 \cdot 3600 = 70,2 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}.$$

2.4 Определение мощности, потребной на обмолот початков

Суммарную мощность, необходимую на обмолот кукурузы можно представить как сумму мощности, потребную на деформацию початков и мощность на преодоление сил трения обмолачивающего вальца по початку [13,36,37].

$$N_{об} = N_{тр} + N_{деф}, \quad (2.29)$$

где $N_{об}$ – мощность, необходимая на обмолот початков, кВт; $N_{тр}$ – мощность, необходимая на преодоление сил трения обмолачивающего вальца по початку, кВт; $N_{деф}$ – мощность, необходимая на деформацию початка, кВт.

Мощность, потребную на преодоление трения обмолачивающего вальца по початку, определим из выражения:

$$N_{тр} = 10^3 F_{тр} V_{пр}, \quad (2.30)$$

где $N_{тр}$ – мощность, потребная на преодоление трения обмолачивающего вальца по початку, кВт; $F_{тр}$ – сила трения, Н; $V_{пр}$ – скорость проскальзывания обмолачивающего вальца по початку, м/с.

Сила трения равна:

$$F_{тр} = Pf, \quad (2.31)$$

где $F_{тр}$ – сила трения обмолачивающего вальца по початку, Н; P – усилие, сжимающее початок, Н; f – коэффициент трения обмолачивающего вальца по початку.

Сила, сжимающая початок, прямо пропорциональна величине его деформации:

$$P = kh, \quad (2.32)$$

где P – сила, сжимающая початок, Н; k – коэффициент пропорциональности, зависящий от сортовых особенностей кукурузы и схемы защемления, $k = (3,0 \dots 4,6) \cdot 10^5$ Н/м [36,37]; h – величина деформации початка, м.

$$P = 4 \cdot 10^5 \cdot 0,01 = 400 \text{ Н}.$$

Зная силу, прижимающую початок, найдем силы трения обмолачивающего вальца, подставив полученное значение в формулу (2.31):

$$F_{mp} = 400 \cdot 0,53 = 212 \text{ Н}$$

Скорость проскальзывания обмолачивающего вальца по початку определяется как:

$$V_{np} = V_o - V_n, \quad (2.33)$$

где V_{np} – скорость проскальзывания ротора по початку, м/с; V_o – окружная скорость обмолачивающего вальца, м/с; V_n – скорость перемещения початков относительно оси обмолачивающего вальца, м/с.

$$V_{np} = 6,126 - 0,12 = 6,01 \text{ м/с.}$$

Подставив, значения F_{mp} и V_{np} в выражение (2.30) получим максимальную мгновенную мощность при условии обмолота одного початка обмолачивающего вальца.

$$N_{тр} = 10^{-3} \cdot 212 \cdot 6,01 = 1,14 \text{ кВт.}$$

Используя выражение

$$N_{mp} = 10^3 \frac{A_{mp}}{T}, \quad (2.34)$$

определим работу сил трения при обмолоте одного початка.

Откуда

$$A_{mp} = 10^{-3} \cdot N_{mp} T, \quad (2.35)$$

где A_{mp} – работа сил трения при обмолоте одного початка, Дж; N_{mp} – мощность, необходимая на преодоления сил трения, кВт; T – время обмолота, с.

$$A_{mp} = 10^{-3} \cdot 1,14 \cdot 0,67 = 0,77 \cdot 10^{-3} \text{ Дж.}$$

Работу на деформацию одного початка определим из выражения

$$A_{\text{деф}} = 0,5kh^2, \quad (2.36)$$

где $A_{\text{деф}}$ – работа, затрачиваемая на деформацию одного початка, Дж; k – коэффициент пропорциональности, зависящий от сортовых особенностей кукурузы и схемы защемления, $k = (3,0 \dots 4,6)10^5$ Н/м; h – величина деформации початка, м. $h = 0,01$ м [36].

$$A_{\text{деф}} = 0,5 \cdot 3,5 \cdot 0,01^2 = 0,175 \cdot 10^{-3} \text{ Дж.}$$

Суммарная работа на обмолот одного початка находится по выражению

$$A_{\text{сум}} = A_{\text{деф}} + A_{mp}, \quad (2.37)$$

где $A_{\text{сум}}$ – суммарная работа на обмолот одного початка, Дж.

$$A_{\text{сум}} = 0,77 \cdot 10^{-3} + 0,175 \cdot 10^{-3} = 0,945 \cdot 10^{-3} \text{ Дж.}$$

Известно, что затрачиваемая на обмолот мощность находится в прямо пропорциональной зависимости от подачи початков:

$$N_{об} = 10^3 \frac{M}{m} A_{\text{сум}}, \quad (2.38)$$

где $N_{об}$ – мощность, необходимая для обмолота початков, кВт; M – масса початков, подаваемая в секунду, кг/с; $A_{\text{сум}}$ – работа на обмолот одного початка, Дж; m_n – масса початка, кг.

$$N_{об} = 10^3 \cdot \frac{0,25}{0,25} \cdot 0,945 \cdot 10^{-3} = 0,954 \text{ кВт.}$$

Затраты мощности на холостой ход рассчитаем по выражению, предложенному М. А. Пустыгиным [75]:

$$N_{xx} = \frac{A\omega_p + B\omega_p^3}{102}, \quad (2.39)$$

где N_{xx} – затраты мощности на холостой ход механизмов, кВт; A, B – коэффициенты пропорциональности, зависящие от геометрических параметров обмолачивающего вальца; ω_p – угловая скорость обмолачивающего вальца, рад/с.

Для практических расчетов можно принять $A = 0,3 \cdot 10^{-3}$ кгс·м и $B = 0,68 \cdot 10^{-6}$ кгс·м·с² [13,75].

$$N_{xx} = \frac{0,3 \cdot 10^{-3} \cdot 80,053 + 0,68 \cdot 10^{-6} \cdot 80,053^3}{102} = 0,004 \text{ кВт.}$$

Выбор электродвигателя осуществляется по стандартной методике [56].

Расчеты, выполненные по предлагаемой нами методике, позволяют еще на этапе проектирования определить затраты мощности на обмолот початков двухвальцовой молотилкой с прижимным механизмом, с учетом не превышения допустимых параметров механических воздействий рабочих органов на початок.

2.5 Выводы по главе

1. На основе анализа конструкций кукурузных молотильных устройств разработана конструктивно-технологическая схема селекционной двухвальцовой молотилки включающей: обмолачивающий валец, имеющий выступы, выполненные по форме спирали Архимеда; транспортирующий валец, снаб-

женный винтовой навивкой и прижимной механизм (патент РФ № 2690794, 2019 г.).

2. На основе уравнения динамики вращательного движения твердого тела разработана математическая модель движения початка кукурузы в двух-вальцовой молотилке с прижимным механизмом.

3. Частота вращения валцов с учетом не превышения допустимой деформации початков составляет $764,4 \text{ мин}^{-1}$, а время обмолота одного початка – 4,5 секунды.

4. Производительность предлагаемой молотилки составит $Q = 70,2 \text{ кг/ч}$.

5. Мощность, необходимая для обмолота початков составляет $N_{об} = 0,958 \text{ кВт}$.

3 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

3.1 Программа и методика экспериментальных исследований

Программой экспериментальных исследований предусматривалось:

- уточнение размерно-массовой характеристики початков гибрида Краснодарский 425 МВ;
- определение оптимальных параметров кукурузной селекционной двухвальцовой молотилки с прижимным механизмом по критериям дробления и недомолота зерна;
- проверка результатов теоретических исследований: по определению оптимальной частоты вращения рабочих органов, по оценке времени обмолота одного початка, по определению затрат мощности на обмолот початков.

3.1.1 Общая методика исследований

Экспериментальные исследования специально сконструированной опытной двухвальцовой молотилки с прижимным механизмом выполнялись в лабораториях кафедры тракторов, автомобилей и технической механики факультета механизации Кубанского ГАУ имени И. Т. Трубилина.

В опытах использовался селекционный материал отдела селекции и семеноводства кукурузы Национального центра зерна им. П. П. Лукьяненко.

Исследования проводились на специально сконструированной установке.

Влажность зерна определялась по ГОСТ 12041-82.

Масса 1000 зерен находилась по ISO 520-2014.

Отбор проб зерна осуществлялся в соответствии с требованиями ГОСТ 13586.3-2015.

Экспериментальные исследования выполнялись на основе положений СТО АИСТ 8.13-2010 «Испытания сельскохозяйственной техники». Машины для уборки и первичной обработки кукурузы. Методы оценки функциональных показателей.

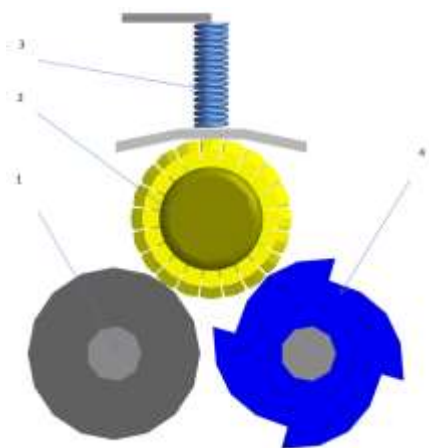
По данным Краснодарского НИИСХ [40] масса зерна обмолачиваемых партий початков селекционного назначения составляет от 0,1 до 5,0 кг.

0,1 кг - это примерно масса зерна одного початка наиболее мелких гибридов и инбредных линий кукурузы.

5,0 кг – это общая масса семян первого поколения гибрида, отправляемого селекционным учреждением (оригинатором) на оценку в государственную комиссию по испытанию и охране селекционных достижений. Для гибридов кукурузы, выращиваемых на зерно, она равна 2 кг, а на силос - 3 кг.

3.1.2 Описание экспериментальной установки

Нами был разработан экспериментальный образец двухвальцовой молотилки с прижимным механизмом и имеющей на одном из валцов выступы, выполненные по форме спирали Архимеда, а на другом винтовую навивку для удаления стержней из зоны обмолота, который показал высокое качество обмолота початков в ходе поисковых исследований [59]. Принципиальная схема молотилки представлена на рисунке 3.1.

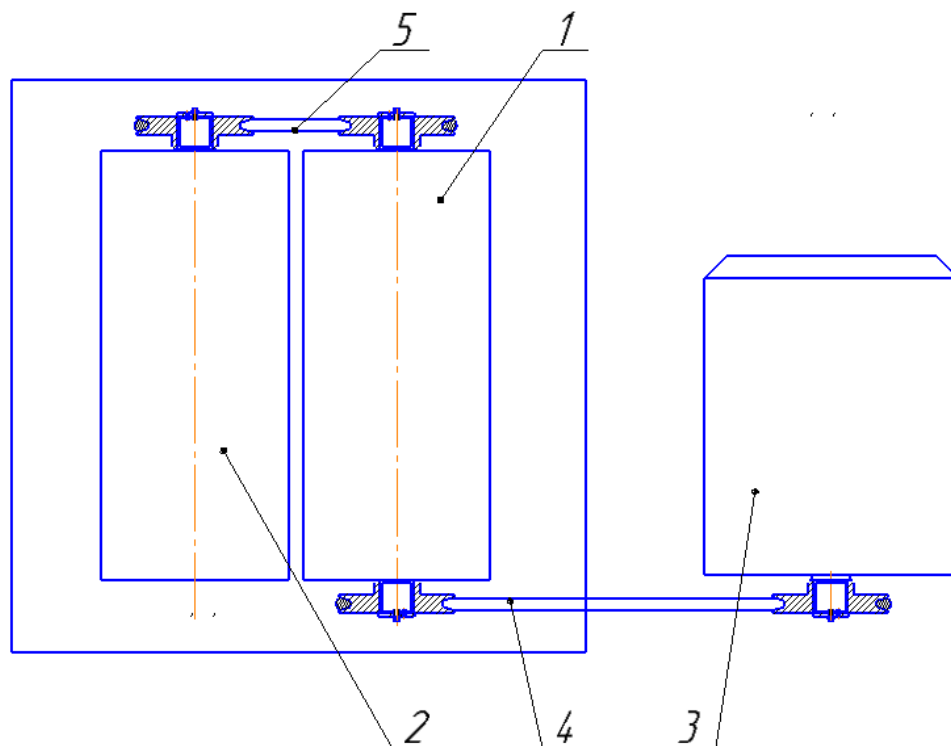


1 - транспортирующий валец; 2 - кукурузный початок; 3 – прижимной механизм; 4 - обмолачивающий валец.

Рисунок 3.1 – Принципиальная схема двухвальцовой молотилки с прижимным механизмом

Двухвальцовая молотилка включает в себя загрузочное устройство (условно не показано); молотильный блок с двумя вальцами: транспортирующим 1 и обмолачивающим 4; прижимной механизм 3, который обеспечивает постоянное усилие прижатия початка к вальцам.

Обмолачивающий валец представляет из себя цилиндр, в поперечном сечении имеющий форму храповика, поверхность выступов которого выполнена по форме спирали Архимеда. Транспортирующий валец – цилиндр, на котором имеется навивка из проволоки диаметром 4 мм для перемещения початка в процессе его обмолота. Вальцы вращаются в одну сторону и с одинаковой частотой. Привод вальцов осуществляется от асинхронного трехфазного электродвигателя АИР90L6 мощностью 1,5 кВт и с частотой вращения 935 мин^{-1} посредством клиноременной передачи. Кинематическая схема привода двухвальцовой молотилки показана на рисунке 3.2, а её общий вид на рисунке 3.3.



1 - обмолачивающий валец; 2 - транспортирующий валец;
3 – электродвигатель; 4,5 - клиноременные передачи.

Рисунок 3.2 – Кинематическая схема привода двухвальцовой молотилки



Рисунок 3.3 – Общий вид экспериментальной двухвальцовой молотилки с прижимным механизмом

Процесс обмолота початков осуществляется в следующем порядке. Початки вручную подаются в рабочую камеру под прижимной механизм, где они захватываются навивкой транспортирующего вальца и перемещаются им в процессе всего обмолота. Вымолоченные семена просыпаются между вальцами в специальный ящик для сбора семян, а обмолоченные стержни выталкиваются в лоток и поступают в емкость для сбора стержней.

Вымолоченное зерно вручную просеивается на сите с круглыми отверстиями диаметром 5 мм для удаления дробленного зерна и мелких примесей. Далее семена высыпаются в мешочек, на который привязывается бирка с указанием наименования селекционного номера.

В молотилке происходит самоочистка рабочих органов. Поэтому полностью выполняется одно из важнейших требований к селекционным машинам – полное исключение сортосмешивания семян при смене обрабатываемых селекционных номеров.

3.1.3 Методика определения качественных показателей работы двух-вальцовой молотилки

При изучении процесса обмолота початков двухвальцовой молотилкой определялись следующие показатели: недомолот зерна, дробление зерна, микротравмы зерна.

Как указывалось выше, обмолоченное зерно каждого селекционного номера просеивается вручную на сите с диаметром отверстий 5 мм. Поэтому, определение чистоты зерна в рассматриваемом варианте не имеет практического значения.

Засоренность рабочей камеры продуктами обмолота в предлагаемом аппарате невозможна в принципе, поэтому она и не определялась.

Потери зерна за молотилкой также не определялись, так как во время поисковых экспериментов было установлено, что все обмолоченное зерно просыпается между вальцами, и не вылетает за пределы молотилки.

В соответствии с исходными требованиями на базовые машинные технологические операции в растениеводстве [34] недомолот находится как процентное отношение массы зерна, оставшегося на початке к массе стержневой обмолачиваемой партии. Нормативная величина недомолота равна 1,2 % [34].

$$Q_H = 100 \frac{Q_{3C}}{Q_3}, \quad (3.1)$$

где Q_H – недомолот зерна, %; Q_{3C} – масса зерна, оставшаяся на стержнях, г; Q_C – масса стержней, г.

Дробление зерна определялось как процентное отношение суммарной массы зерен с макроповреждениями к общей массе разбираемой пробы.

$$Q_{ДЗ} = 100 \frac{Q_{ДР} + Q_P + Q_{ВЗ}}{Q_{ПР}}, \quad (3.2)$$

где $Q_{ДЗ}$ – дробление зерна, %; $Q_{ДР}$ – масса дробленного зерна, г; Q_P – масса раздавленного зерна, г; $Q_{ВЗ}$ – масса зерен с полностью выбитым зародышем, г; $Q_{ПР}$ – масса зерна, содержащегося во всей навеске, г.

Из каждой обмолачиваемой партии отбиралось по три стограммовых навески. Из навесок отбиралось с выбитым зародышем, а также дробленое и давленное зерно.

Дробленным считалось зерно, потерявшее более одной трети зерновки. Для семян дробление допускается не более 1,0 % [34].

Оценки степени микротравмирования семян в области зародыша осуществлялась при помощи обычной лупы с предварительным окрашиванием семян в 0,5 %-ном растворе йода в йодистом калии [82].

Из обмолоченной партии отбирались две пробы по 100 семян каждая. Каждая проба помещалась в отдельную стеклянную емкость объемом 0,5 л. Далее проба заливалась раствором йода в йодистом калии и взбалтывалась в течение одной минуты.

Далее раствор сразу сливался. От раствора йода все травмированные места в области зародыша окрашиваются и четко проступают на поверхности зерна.

Затем проводился визуальный осмотр семян при помощи лупы с пятикратным увеличением. На основании осмотра отбирались семена с микротравмами в области зародыша.

Далее определялся общий процент травмированных семян как процентное отношение массы травмированных семян к массе пробы семян.

3.1.4 Методика обработки экспериментальных данных

Математическая обработка экспериментальных данных осуществлялась методами общей теории статистики и теории планирования многофакторного эксперимента [18,42,52,76,79].

Статистическая характеристика выборки определялась при помощи программа Microsoft Office Excel 2010.

Для оценки резко выделяющихся наблюдений в соответствие с РТМ 44-62 применялся критерий Ирвина [79].

Для нахождения оптимальных геометрических параметров и кинематического режима работы двухвальной молотилки с прижимным механизмом использовали многофакторное планирование эксперимента [18,42,52,54,76]. Математическую модель процесса обмолота кукурузы двухвальной молотилкой искали в форме полинома второй степени.

Для математической обработки экспериментальных данных использовались программы, разработанные нами в приложении Mathcad 7.

При анализе уравнений регрессии и принятия решений по ним учитывалась методические рекомендации профессора В. А. Вознесенского [18].

Ошибка, с которой математическая модель описывает опытные данные, оценивалась дисперсией адекватности [42,52,54].

Адекватность полученных математических моделей оценивалась по критерию Фишера [42,52,54].

Для определения значений факторов, при которых Y_1 имеет экстремальное значение (особая точка S), брали частные производные по X_i . Решая полученную систему уравнений, определяли текущие значения факторов X_i , при которых Y_1 достигает экстремального значения [42,52,54].

3.1.5 Измерительная аппаратура

При проведении экспериментальных исследований использовались следующие измерительные приборы и инструменты: весы лабораторные ВЛКТ-500; секундомер механический однокнопочный СОПр-2а-3-000; тахометр магнитный ручной ИО-30; комплект измерительный К505; штангенциркуль второго класса со шкалой 0...250 мм.

Весы лабораторные ВЛКТ-500 использовались для взвешивания вымолоченных семян кукурузы и обмолоченных стержней. Максимальный предел взвешивания 500 г, цена деления 1 г, погрешность взвешивания ± 20 мг.

Секундомер механический однокнопочный СОПр-2а-3-000. Секундомер имеет 60-ти секундную шкалу с ценой деления 0,2 с и 30-ти минутный счетчик с ценой деления 1 мин. Предназначен для измерения интервалов времени в минутах, секундах и долях секунды.

Тахометр магнитный ручной ИО-30 использовался для измерения частоты вращения вала электродвигателя молотилки. Диапазоны измерений частоты вращения составляют - от 30 мин⁻¹ до 300 мин⁻¹; от 300 мин⁻¹ до 3000 мин⁻¹; от 3000 мин⁻¹ до 30 000 мин⁻¹. Погрешность измерения верхнего предела диапазона составляет ± 2 %. Продолжительность измерения не должна превышать 5 с.

Комплект К-505 состоит из трех многопредельных приборов: амперметра, вольтметра и ваттметра. Он позволяет измерять при прямом включении (без измерительных трансформаторов) ток до 10 А, напряжение до 600 В и активную мощность до 6 кВт.

Прибор имеет переключатель фаз, позволяющий производить последовательные измерения величин во всех трех фазах без разрыва электрической цепи и, соответственно, без отключения электроустановки.

Для измерения электрических величин электродвигателя серии АИР мощностью 1,5 кВт на приборе К505 выставляются следующие пределы по измерениям – по току 10 А и напряжение 300 В (так как прибор измеряет фазное напряжение), который подключается напрямую без измерительных трансформаторов тока.

3.2 Оптимизация параметров кукурузной селекционной двухвальной молотилки с прижимным механизмом

Разработанная конструкция вальцовой молотилки позволяет провести активный эксперимент с четырьмя управляемыми факторами: X_1 – диаметр вальцов, мм; X_2 – частота вращения вальцов, мин⁻¹; X_3 – подача початков, кг/с; X_4 – зазор между вальцами, мм.

Количество початков в селекционных номерах варьирует от одного до нескольких десятков. При таких объемах понятие подачи початков имеет очень условное значение. Поэтому, в ходе эксперимента початок подавался в зону обмолота сразу после выхода из нее предыдущего початка. На основании этого решения подача початков была исключена из числа анализируемых факторов. Зазор между вальцами в процессе обмолота варьирует от минимального - между транспортирующим вальцом и верхней точкой выступа обмолачивающего вальца, до максимального - между транспортирующим вальцом и нижней точкой выступа обмолачивающего вальца. Минимальный зазор приняли равный 6 мм, что больше чем средняя толщина зерна кукурузы. Величину выступа обмолачивающего вальца приняли равной 10 мм на основании исследований профессора В. С. Кравченко [37]. Поэтому зазор между вальцами также был исключен из числа анализируемых факторов.

В качестве критерия оптимизации использовали дробление зерна. В качестве ограничения использовали недомолот зерна.

Известно, что зависимость качественных показателей процесса обмолота кукурузы от параметров молотильного устройства носит нелинейный характер. Поэтому математическую модель процесса обмолота кукурузы двухвальной молотилкой искали в форме полинома второй степени.

Уровни и интервалы варьирования выбранных управляемых факторов приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Уровни и интервалы варьирования факторов

Уровни факторов	Факторы в натуральном виде		Факторы в кодированном виде	
	d , мм	n , мин ⁻¹	x_1	x_2
Основной	150	740	0	0
Верхний	180	780	+1	+1
Нижний	120	700	-1	-1
Интервал варьирования	30	40		

При выборе областей определения управляемых факторов были приняты во внимание результаты исследований, выполненных в Краснодарском НИИСХ и Кубанском ГАУ [37,45], а также результаты наших теоретических исследований по определению частоты вращения рабочих органов, представленные в подразделе 2.2 настоящей работы.

Для проведения эксперимента был выбран полнофакторный план 2^3 , так как мы не стремились к сокращению числа опытов. Повторность опытов была принята равной трехкратной. В качестве материала исследований использовали початки гибрида Краснодарский 425 МВ. Размерно-массовая характеристика початков приведена в приложении 1. Количество обмолачиваемых початков в одной партии было принято равным пяти.

Матрица планирования и результаты опытов по дроблению зерна приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Матрица планирования и результаты опытов по обмоло-ту початков гибрида Краснодарский 425 МВ

Номер опыта	Порядок проведения опытов			Матрица планирования		Дробление зерна, %
				x_1	x_2	
1	3	1	7	+1	+1	10,87
2	4	2	6	-1	+1	4,07
3	7	4	8	+1	-1	2,62
4	2	8	4	-1	-1	3,05
5	6	7	5	+1	0	5,16
6	1	5	2	-1	0	1,98
7	8	6	3	0	+1	5,13
8	5	3	1	0	-1	0,50

Для обработки результатов опытов были разработаны специальные программы в приложении Mathcad 7 (приложение 4).

По результатам эксперимента было получено следующее уравнение регрессии:

$$Y = 1,058 + 1,576 x_1 + 2,311 x_2 + 1,807 x_1 x_2 + 2,337 x_1^2 + 1,583 x_2^2. \quad (3.15)$$

Расчетное значение критерия Фишера меньше табличного

$$F_p = 0,291 < F_T = 6,04.$$

Следовательно, уравнение (3.15) адекватно описывает процесс обмолота початков.

Для определения значений факторов, при которых уравнение (3.15) достигает экстремума (в данном случае минимума), необходимо взять частные производные по X_i и, приравняв их нулю решить полученную систему уравнений.

$$\left. \begin{aligned} \frac{dY}{dx_1} &= 1,576 + 1,807 x_2 + 4,674 x_1, \\ \frac{dY}{dx_2} &= 2,311 + 1,807 x_1 + 3,166 x_2. \end{aligned} \right\} \quad (3.16)$$

Решениями системы уравнений (3.16) являются следующие значения

$$X_1^* = -0,07055; \quad X_2^* = -0,68968.$$

Подставив полученные данные в уравнение (3.14) получим минимальное дробление зерна $Y = 0,2 \%$.

Для определения натуральных координат факторного пространства использовали формулы переходы от кодированных значений факторов к натуральным:

$$x_1 = \frac{d - 150}{30}, \quad (3.17)$$

$$x_2 = \frac{n - 740}{40}, \quad (3.18)$$

Для определения оптимальных значений диаметра вальцов и частоты вращения подставим значения точек экстремума в кодированном виде в выражения (3.17) и (3.18). В результате получим координаты особой точки S с оптимальными параметрами исследуемых факторов

$$d = 147,88 \text{ мм и } n = 712,41 \text{ мин}^{-1}.$$

Для определения области допустимых диапазонов изменения изучаемых факторов построим зависимость дробления от диаметра вальцов и частоты вращения, а так же двумерные сечения поверхности отклика или линии равного выхода (рисунки 3.4 и 3.5) используя полученное уравнение регрессии (3.15) в канонической форме.

$$Y_{-0,205} = 2,939x_1^2 + 0,981x_2^2 \quad (3.19)$$

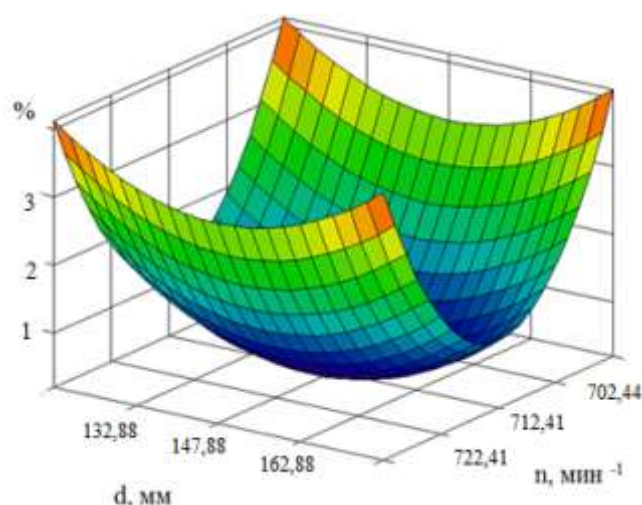


Рисунок 3.4 – Зависимость дробления зерна от диаметра вальцов (x_1) и частоты их вращения (x_2)

Угол поворота осей составляет 33,67 град.

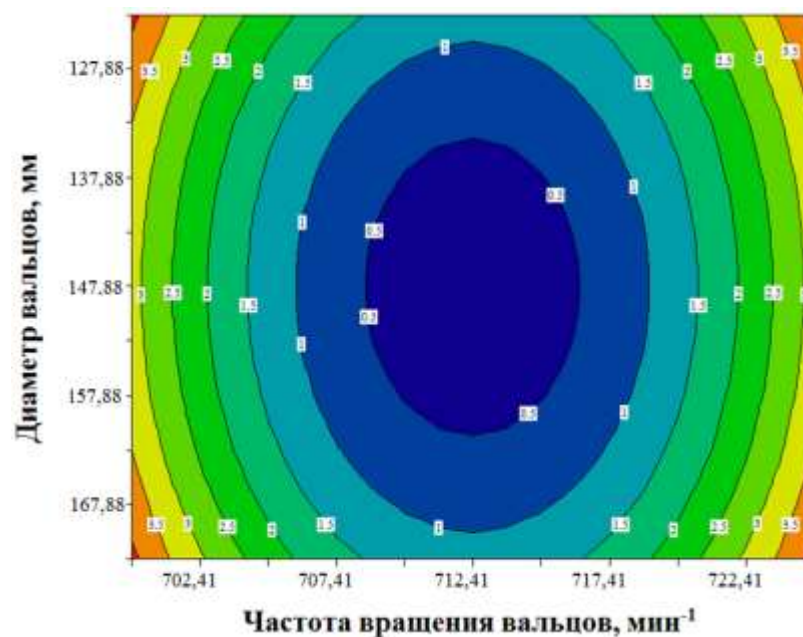


Рисунок 3.5 – Линии равного выхода дробления семян гибрида Краснодарский 425 МВ

Матрица планирования и результаты опытов по недомолоту зерна приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Матрица планирования и результаты опытов по обмоло-ту початков гибрида Краснодарский 425 МВ

Номер опыта	Порядок проведения опытов			Матрица планирования		Недомолот зерна, %
				x_1	x_2	
1	3	1	7	+1	+1	12,86
2	4	2	6	-1	+1	5,24
3	7	4	8	+1	-1	3,10
4	2	8	4	-1	-1	3,68
5	6	7	5	+1	0	5,82
6	1	5	2	-1	0	2,3
7	8	6	3	0	+1	7,11
8	5	3	1	0	-1	1,45

По результатам эксперимента было получено следующее уравнение регрессии:

$$Y = 2,127 + 1,761 x_1 + 2,831 x_2 + 2,051 x_1 x_2 + 1,935 x_1^2 + 2,154 x_2^2. \quad (3.20)$$

Расчетное значение критерия Фишера меньше табличного

$$F_p = 0,23 < F_T = 6,04.$$

Следовательно, уравнение (3.20) адекватно описывает процесс обмолота початков.

Для определения значений факторов, при которых уравнение (3.20) достигает экстремума (в данном случае минимума), необходимо взять частные производные по X_i и, приравняв их нулю решить полученную систему уравнений.

$$\left. \begin{aligned} \frac{dY}{dx_1} &= 1,761 + 2,831x_2 + 3,87x_1, \\ \frac{dY}{dx_2} &= 2,831 + 2,051x_1 + 4,308x_2. \end{aligned} \right\} \quad (3.21)$$

Решениями системы уравнений (3.21) являются следующие значения

$$X_1^* = -0,1428; \quad X_2^* = -0,5892.$$

Подставив полученные данные в уравнение (3.14) получим минимальный недомолот зерна $Y = 1,16 \%$.

Для определения натуральных координат факторного пространства используем формулы переходы от кодированных значений факторов к натуральным:

$$x_1 = \frac{d - 150}{30}, \quad (3.22)$$

$$x_2 = \frac{n - 740}{40}, \quad (3.23)$$

Для определения оптимальных значений диаметра валцов и частоты вращения подставим значения точек экстремума в кодированном виде в выражения (3.22) и (3.23). В результате получим координаты особой точки S с оптимальными параметрами исследуемых факторов:

$$d = 145,72 \text{ мм и } n = 716,43 \text{ мин}^{-1}.$$

Для определения области допустимых диапазонов изменения изучаемых факторов построим зависимость недомолота от диаметра валцов и частоты вращения, а так же двумерные сечения поверхности отклика или линии равного выхода (рисунки 3.6 и 3.7) используя полученное уравнение регрессии (3.20) в канонической форме:

$$Y - 1,1673 = 1,0132x_1^2 + 3,0758x_2^2 \quad (3.24)$$

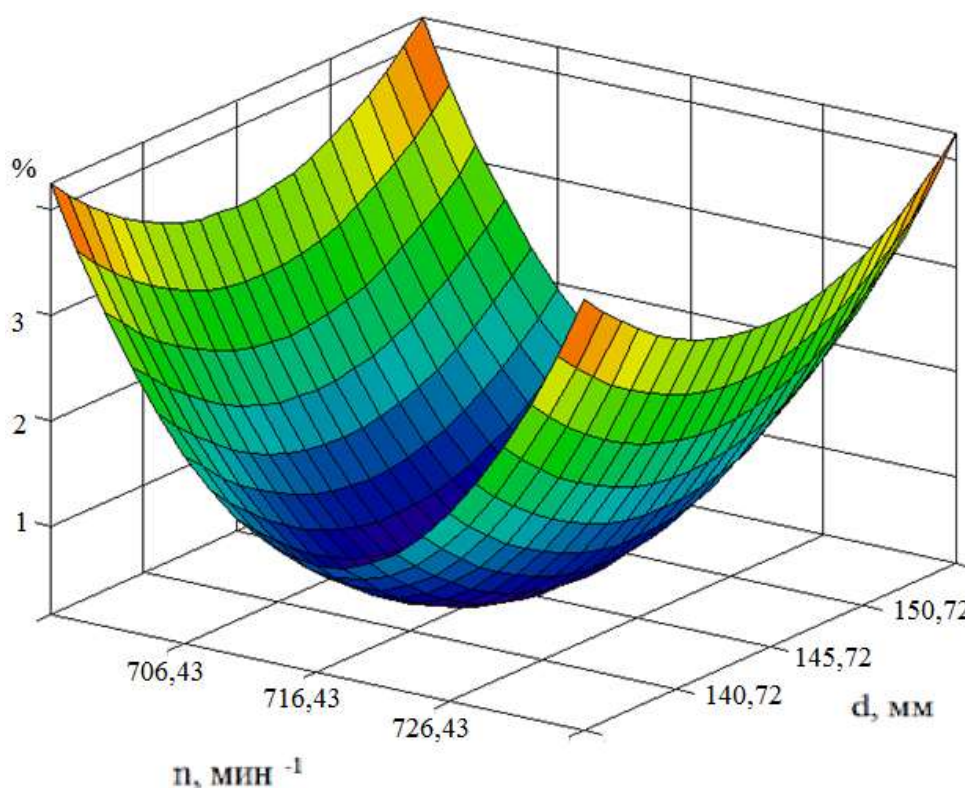


Рисунок 3.6 – Зависимость недомолота зерна от диаметра валцов (x_1) и частоты их вращения (x_2)

Угол поворота осей составляет 41,95 град.

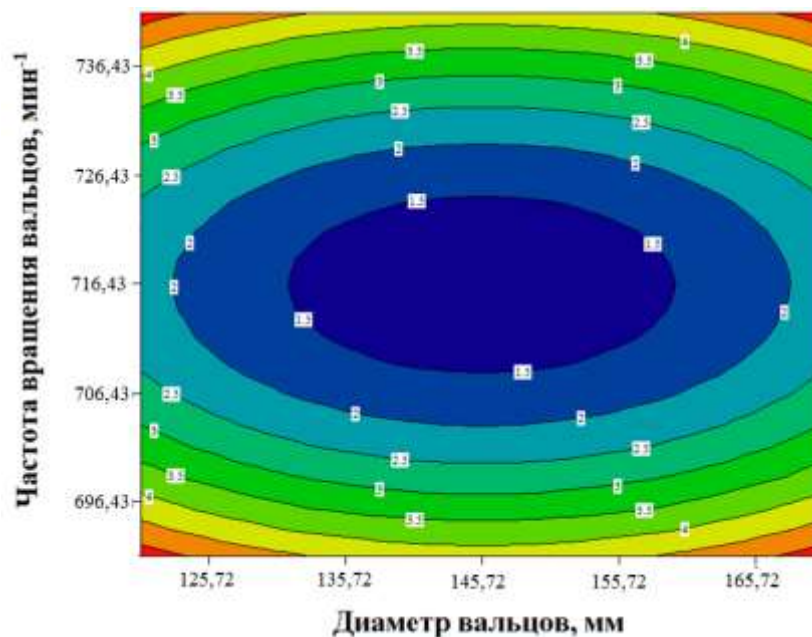


Рисунок 3.7 – Линии равного выхода недомолота зерна гибрида Краснодарский 425 МВ

Зависимости дробления и недомолота зерна от диаметра вальцов представлены на рисунке 3.8, а от частоты вращения вальцов на рисунке 3.9.

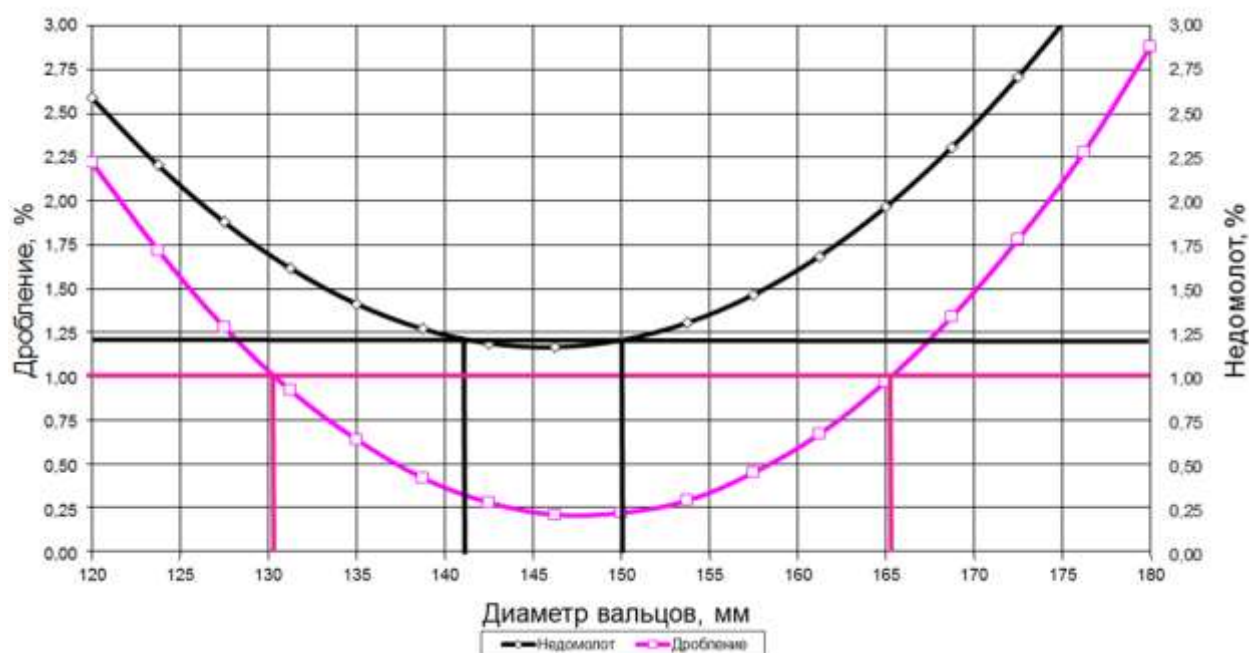


Рисунок 3.8 – График зависимости дробления и недомолота зерна от диаметра вальцов

Из анализа графика на рисунке 3.8 следует что, требования по дроблению семян будут выполняться при диаметре валцов от 125,5 до 170,1 мм, а по недомолоту зерна от 141,3 до 150,1 мм.

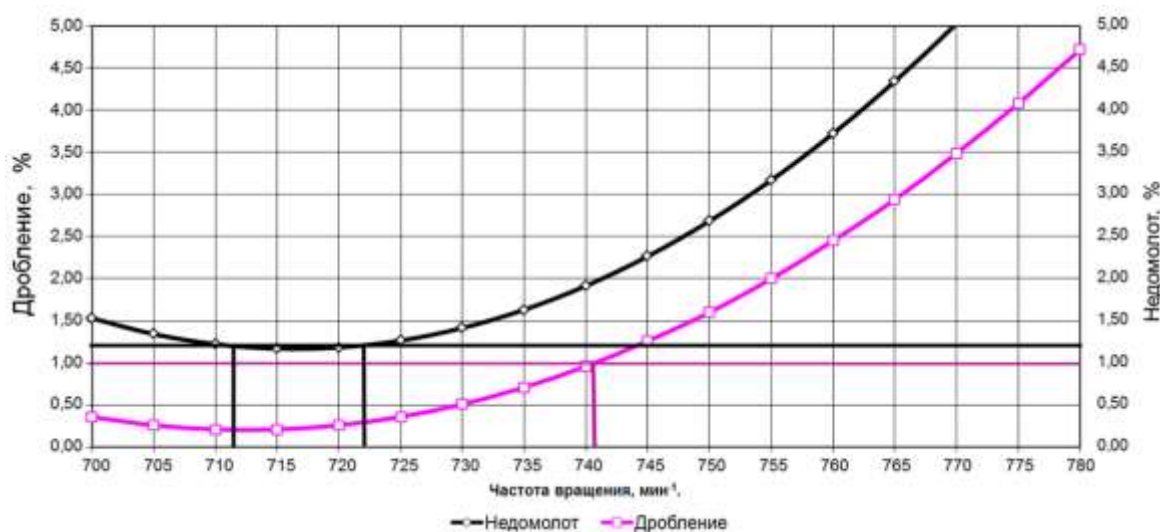


Рисунок 3.9 – График зависимости дробления и недомолота зерна от частоты вращения валцов

Из анализа графика на рисунке 3.9 следует что, требования по дроблению семян будут выполняться при частоте вращения валцов от 685,2 до 740,5 мин⁻¹, а по недомолоту зерна от 711,7 до 722 мин⁻¹.

Совместный анализ графиков на рисунках 3.8. и 3.9 позволяет утверждать, что дробление зерна менее 1 % при недомолоте менее 1,2 % обеспечивается при диаметре валцов 141-150 мм и частоте вращения валцов 711-722 мин⁻¹. Таким образом, определены допустимые (рациональные) интервалы изменения диаметра валцов и их частоты вращения.

В предыдущей главе нами было выведено дифференциальное уравнение движения початка (выражение 2.25). Из него следует, что частота вращения валцов, с учетом агробиологически допустимого ударного импульса, должна составлять 764 мин⁻¹.

В результате эксперимента установлено, что допустимая область варьирования частоты вращения валцов равна 711...722 мин⁻¹.

Определим величину расхождения между теоретическими и экспериментальными данными по формуле:

$$\eta = \frac{n_{\text{эки}} - n_{\text{т}}}{n_{\text{т}}} \cdot 100 \quad (3.25)$$

где η – расхождение между теоретическими и экспериментальными значениями частоты вращения вальцов, %; $n_{\text{эки}}$ – экспериментальная частота вращения вальцов, мин^{-1} ; $n_{\text{т}}$ – теоретическая частота вращения вальцов, мин^{-1} ;

Отсюда

при минимальном значении $n_{\text{экmin}}$

$$\eta = \frac{711 - 764}{764} \cdot 100 = 6,9\%$$

при максимальном значении $n_{\text{экmax}}$

$$\eta = \frac{722 - 764}{764} \cdot 100 = 5,5\%$$

Таким образом, расхождение между теоретическим и экспериментальными значениями частоты вращения не превышает 7 %. Это можно считать удовлетворительным результатом.

В результате теоретических исследований (выражение 2.28) было установлено, что время обмолота одного початка составляет 4,5 с.

После определения допустимых (рациональных) значение диаметров вальцов их частоты вращения был поставлен отдельный опыт по определению времени обмолота одного початка. Время фиксировалось визуально при помощи секундомера СДСпр-1-2. Повторность опытов пятикратная.

Эксперимент проводился при диаметре вальцов 150 мм и частоте вращения 730 мин^{-1} , как наиболее близкой к теоретическому значению из допустимого интервала частоты вращения.

Результаты опытов приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Время обмолота одного початка $t_{об}$, с

Повторности					Среднее значение
1-я	2-я	3-я	4-я	5-я	4,34
4,4	4,3	4,3	4,4	4,3	

Расхождение экспериментальных значений и теоретических составляет 3,6 %, что является вполне удовлетворительным.

На этом же режиме при помощи измерительного прибора К 505 были определены затраты мощности на обмолот одного початка. Опыты проводились в пятикратной повторности – таблица 3.5.

Таблица 3.5 – Затраты мощности

Параметр	Повторности					Среднее значение
	1-я	2-я	3-я	4-я	5-я	
Затраты мощности на привод молотильного аппарата при обмолоте одного початка, кВт	1,2	1,3	1,3	1,2	1,3	1,26

Расхождение между теоретическими и опытными данными по затратам мощности на привод молотильного аппарата в процессе обмолота составило 6,8 %. Полученные результаты подтверждают правильность теоретических расчетов.

На этом же режиме было проанализировано микротравмирование зерна в области зародыша. Опыты проводились в пятикратной повторности – таблица 3.6.

Таблица 3.6 – Микротравмирование зерна в области зародыша

Параметр	Повторности					Среднее значение
	1-я	2-я	3-я	4-я	5-я	
Микротравмы зерна в области зародыша, %	14,0	12,0	15,0	16,0	12,0	13,8

Микротравмы зерна в области зародыша не должны превышать 20 % [34]. Следовательно, молотилка и по этому показателю соответствует предъявляемым требованиям.

3.3 Выводы по главе

1. Уточнена размерно-массовая характеристика початков гибрида Краснодарский 425 МВ: длина початка 200 мм, диаметр початка 60 мм, масса семян одного початка 250 г, масса стержня 80 г, диаметр стержня 40 мм.

2. В результате проведенных экспериментальных исследований были установлены:

- оптимальные параметры вальцовой молотилки, обеспечивающие минимальное дробление зерна 0,2 % - диаметр вальцов 148 мм и частота вращения вальцов 712 мин^{-1} ; недомолот зерна при этом составил 1,16 %, при максимально допустимом значении 1,2 %;

- рациональные параметры вальцовой молотилки, обеспечивающие в соответствие с агротехническими требованиями дробление зерна менее 1 % и недомолот менее 1,2 % - диаметр вальцов 141...150 мм и частота вращения вальцов $711...722 \text{ мин}^{-1}$.

3. Расхождение между теоретическим и экспериментальными рациональными значениями частоты вращения вальцов не превышает 7 %.

4. Расхождение между теоретическим и экспериментальными оптимальными значениями времени обмолота одного початка составляет 3,6 %.

5. Расхождение между теоретическим и экспериментальными значениями по затратам мощности на привод молотилки в процессе обмолота составило 6,8 %.

4 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КУКУРУЗНОЙ СЕЛЕКЦИОННОЙ ДВУХВАЛЬЦОВОЙ МОЛОТИЛКИ С ПРИЖИМНЫМ МЕХАНИЗМОМ

Экономическую эффективность разработанной двухвальцовой молотилки с прижимным механизмом выполняли в соответствии с ГОСТ Р 53056-2008 «Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки», с учетом справочных данных.

В качестве базы для сравнения примем дисковую молотилку МКД-М, как имеющую наибольшее распространение в селекционных учреждениях, а также наиболее близкую по качеству обмолота початков и производительности к разработанной нами двухвальцовой молотилке с прижимным механизмом.

Для оценки экономической эффективности предлагаемой молотилки необходимо рассчитать и сравнить ряд технико-экономических показателей с молотилкой МКД-М.

4.1 Расчет цены на изготовление кукурузной селекционной молотилки

Дополнительные капиталовложения на модернизацию молотилки определим методом калькуляции:

$$K_d = K_m + K_{гд} + K_{изг} \quad (4.1)$$

где K_d – дополнительные капиталовложения, руб.; K_m – стоимость расходуемых материалов, руб.; $K_{гд}$ – стоимость используемых готовых деталей, руб.; $K_{изг}$ – стоимость работы при изготовлении, руб.

Стоимость расходуемых материалов и используемых готовых деталей приведена в таблице 4.1. Стоимость работ при изготовлении приведена в таблице 4.2.

Таблица 4.1 – Стоимость материалов и готовых изделий

Наименование материалов и деталей	Количество	Цена единицы, руб.	Сумма, руб.
Лист δ 10мм Ст. 3, кг	14,3	43,8	626,5
Круг $\varnothing$ 24 мм Ст. 3, кг	8,1	42,4	343,5
Круг $\varnothing$ 30 мм Ст. 3, кг	4,7	42,4	199,5
Круг $\varnothing$ 42 мм Ст. 3, кг	6,2	42,4	264,5
Круг $\varnothing$ 90 мм Ст. 3, кг	8,3	41,8	347
Круг $\varnothing$ 100 мм Ст. 3, кг	9,4	41,8	393
Ремень 0-16x11-1060	1 шт	400	400
Ремень 0-16x11-1120	1 шт	410	410
Ремень 0-12,5x9-1120	1 шт	360	360
Труба $\varnothing$ 150 мм Ст. 3, кг	5 кг	50	250
Пусковое устройство	1 шт	500	500
Кабель ВВГп-НГ (А)-LS 3x2.5, м	4	45	180
Шкив 1SPA-100	4 шт	600	2400
Метизы, кг	1,6	330,0	528
Электроды Э42, кг	3,1	350,0	1085
ИТОГО:			8287

Таблица 4.2 – Стоимость работ при изготовлении

Название работы	Разряд	Продолжительность работы, ч	Часовая тарифная ставка, руб.	Сумма, руб.
Токарные	IV	11,0	640,0	7040
Сварочные	IV	4,0	845,0	3380
Слесарные	III	10,0	725,0	7250
Фрезерные	III	4,0	1300,0	5200
Электротехнические	III	3,0	1200,0	3600
ИТОГО:				26470
Начисления в фонд социального страхования, 30 %				7943
ВСЕГО:				34413

Итого дополнительные капиталовложения составили

$$K_d = 8287 + 34413 = 42700 \text{ руб.}$$

4.2 Расчет основных экономических показателей

Часовая производительность молотилки МКД-М составляет 63,1 кг/ч, а предлагаемой – 70,2 кг/ч.

Сезонная производительность молотилки определяется из выражения:

$$W_{сез} = W_{ч} \cdot D_{сез} \quad (4.2)$$

где $W_{сез}$ – сезонная производительность молотилки, кг/сез; $W_{ч}$ – часовая производительность молотилки, кг/ч; $D_{сез}$ – нормативная сезонная загрузка молотилки, ч/сез., $D_{сез} = 210$ ч/сез.

$$W_{сез}^c = 63,1 \cdot 210 = 13251 \text{ кг/сез.}$$

$$W_{сез}^M = 70,2 \cdot 210 = 14742 \text{ кг/сез.}$$

Изменение производительности молотилки рассчитаем по формуле

$$P_{W\%} = \frac{W_{ч}^M - W_{ч}^c}{W_{ч}^M} \quad (4.3)$$

где $P_{W\%}$ – изменение производительности агрегата; $W_{ч}^M$, $W_{ч}^c$ – часовая производительность молотилки соответственно предлагаемой и МКД-М.

$$P_{W\%} = \frac{70,2 - 63,1}{70,2} \cdot 100\% = 10,1\%$$

Затраты труда определим по выражению:

$$H_y = \frac{l}{W_{ч}} \quad (4.4)$$

где H_y – затраты труда, чел.ч/кг; l – число работников, обслуживающих молотилку, $l_c = l_M = 1$ чел.

$$H_y^c = \frac{1}{63,1} = 0,016 \text{ чел.ч/кг}$$

$$H_y^m = \frac{1}{70,2} = 0,014 \text{ чел.ч/кг}$$

Удельная экономия затрат труда находится по формуле:

$$\mathcal{E}_{Hy} = H_y^c - H_y^m \quad (4.5)$$

где $\mathcal{E}_{Hy}$ – удельная экономия затрат труда, чел.ч/кг; H_y^c , H_y^m – затраты труда соответственно на молотилке МКД-М и предлагаемой.

$$\mathcal{E}_{Hy} = 0,016 - 0,014 = 0,002 \text{ чел.ч/кг}$$

Сезонная экономия труда предлагаемой молотилки в сравнение с МКД-М находится по выражению:

$$\mathcal{E}_{H_{сез}} = (H_y^c - H_y^m) \cdot W_{сез}^m \quad (4.6)$$

где $\mathcal{E}_{H_{сез}}$ – сезонная экономия труда, чел.ч.

$$\mathcal{E}_{H_{сез}} = (0,016 - 0,014) \cdot 14742 = 35,48 \text{ чел.ч}$$

Снижение затрат труда определим по выражению:

$$P_{H\%} = \frac{H_y^c - H_y^m}{H_y^c} \cdot 100\% \quad (4.7)$$

где $P_{H\%}$ – снижение затрат труда при использовании предлагаемой молотилки, проц.

$$P_{H\%} = \frac{0,016 - 0,014}{0,016} \cdot 100\% = 12,5\%$$

Производительность труда определим по выражению:

$$P_{\text{тр}} = \frac{l}{H_y} \quad (4.8)$$

где $P_{\text{тр}}$ – производительность труда, кг/чел.ч.

$$P_{\text{тр}}^c = \frac{1}{0,016} = 62,5 \text{ кг/чел.ч}$$

$$P_{\text{тр}}^m = \frac{1}{0,014} = 71,43 \text{ кг/чел.ч}$$

Эксплуатационные затраты рассчитываются по выражению:

$$S_y = C_z + C_a + C_{\text{ТО}} + C_{\text{эл}} + C_{\text{пр}} \quad (4.9)$$

где S_y – сумма эксплуатационных затрат, руб./кг; C_z – 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:

$$C_z = \frac{(l_{\text{НС}} \cdot m_{\text{ч}}^{\text{НС}} \cdot K_{\text{д}} + l_{\text{л}} \cdot m_{\text{ч}}^{\text{НС}} \cdot K_{\text{д}}) \cdot K_{\text{соц}}}{W_{\text{ч}}} \quad (4.10)$$

где $l_{\text{НС}}$, $l_{\text{л}}$ – количество работников, обслуживающих молотилку, соответственно научный сотрудник и лаборант, $l_{\text{НС}}=1$ чел., $l_{\text{л}}=1$ чел.; $m_{\text{ч}}^{\text{НС}}$, $m_{\text{ч}}^{\text{л}}$ – часо-

вая тарифная ставка научного сотрудника и лаборанта соответственно, $m_{\text{ч}}^{\text{НС}} = 250$ руб./ч; $m_{\text{ч}}^{\text{Л}} = 120$ руб./ч; $K_{\text{д}}$ – коэффициент, учитывающий доплаты к тарифной ставке за классность, стаж, премии. При обмолоте $K_{\text{д}} = 1,65$; $K_{\text{соц}}$ – коэффициент, учитывающий начисления в фонд социального страхования, $K_{\text{соц}} = 1,265$.

$$C_3^c = \frac{(250 \cdot 1,65 + 120 \cdot 1,65)}{63,1} = 9,68 \text{ руб./кг}$$

$$C_3^M = \frac{(250 \cdot 1,65 + 120 \cdot 1,65)}{70,2} = 8,7 \text{ руб./кг}$$

Амортизационные отчисления:

$$C_a = \frac{K_M^c \cdot a_M}{100 \cdot D_{\text{сез}} \cdot W_{\text{ч}}} \quad (4.11)$$

где K_M^c – балансовая стоимость существующей молотилки, $K_M = 430000$ руб.; a_M – годовая норма амортизации молотилки, $a_M = 11,4\%$;

$$C_a = \frac{430000 \cdot 11,4}{100 \cdot 210 \cdot 63,1} = 3,7 \text{ руб./кг}$$

Стоимость предлагаемой молотилки:

$$K_M^M = K_M^c + K_d \quad (4.12)$$

где K_M – стоимость предлагаемой молотилки, руб.

$$K_M^M = 430000 + 42700 = 472700 \text{ руб.}$$

Тогда амортизационные отчисления на предлагаемую молотилку составят:

$$C_a^M = \frac{472700 \cdot 11,4}{100 \cdot 210 \cdot 70,2} = 3,65 \text{ руб./кг}$$

Затраты на ремонт и ТО рассчитываем по формуле:

$$C_{TO} = \frac{K_M \cdot Z_M}{100 \cdot D_{сез} \cdot W_q} \quad (4.13)$$

где Z_M – норма отчислений на ремонт и ТО, $Z_M=12,6\%$.

$$C_{TO}^c = \frac{430000 \cdot 12,6}{100 \cdot 210 \cdot 63,1} = 4,1 \text{ руб./кг}$$

$$C_{TO}^M = \frac{472700 \cdot 12,6}{100 \cdot 210 \cdot 70,2} = 4,04 \text{ руб./кг}$$

Стоимость расходуемой электроэнергии рассчитаем по формуле:

$$C_{эл} = \frac{N_d \cdot Z_{эл}}{W_q} \quad (4.14)$$

где $Z_{эл}$ – цена 1 кВт·ч, $Z_{эл}=4,12 \text{ руб./кВт·ч}$; N_d – мощность двигателя молотилки, $N_d=1,5 \text{ кВт}$.

$$C_{эл}^c = \frac{1,5 \cdot 4,12}{63,1} = 0,1 \text{ руб./кг}$$

$$C_{эл}^M = \frac{1,5 \cdot 4,12}{70,2} = 0,09 \text{ руб./кг}$$

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

$$C_{пр} = 0,04 \cdot C_z \quad (4.15)$$

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

$$C_{\text{пр}}^c = 0,04 \cdot 9,68 = 0,39 \text{ руб./кг}$$

$$C_{\text{пр}}^c = 0,04 \cdot 8,7 = 0,35 \text{ руб./кг}$$

Подставив полученные данные в формулу 4.9 получим:

$$S_y^c = 9,68 + 3,7 + 4,1 + 0,1 + 0,39 = 18,87 \text{ руб./кг}$$

$$S_y^m = 8,7 + 3,65 + 4,04 + 0,09 + 0,35 = 16,83 \text{ руб./кг}$$

Разница между удельными эксплуатационными затратами сравниваемых молотилок:

$$\mathcal{E}_{S_y} = S_y^c - S_y^m \quad (4.16)$$

где $\mathcal{E}_{S_y}$ – разница между удельными эксплуатационными затратами, руб./кг.

$$\mathcal{E}_{S_y} = 18,87 - 16,83 = 2,04 \text{ руб./кг}$$

Сезонная экономия эксплуатационных затрат:

$$\mathcal{E}_{S_{\text{сез}}} = \mathcal{E}_{S_y} \cdot W_{\text{сез}}^m \quad (4.17)$$

где $\mathcal{E}_{S_{\text{сез}}}$ – сезонная экономия эксплуатационных затрат, руб./сез.

$$\mathcal{E}_{S_{\text{сез}}} = 2,04 \cdot 14742 = 30073,7 \text{ руб./сез}$$

Срок окупаемости дополнительных капиталовложений:

$$T_0 = \frac{K_d}{\mathcal{E}_{S_{\text{сез}}}} \quad (4.18)$$

где T_0 – срок окупаемости дополнительных капиталовложений, сез.

$$T_0 = \frac{42700}{30073,7} = 1,42 \text{ сез.}$$

Удельные капиталовложения:

$$K_y = \frac{K_M}{W_{\text{сез}}} \quad (4.19)$$

где K_y – удельные капиталовложения, руб.

$$K_y^c = \frac{430000}{13251} = 32,45 \text{ руб./кг}$$

$$K_y^M = \frac{472700}{14742} = 32,06 \text{ руб./кг}$$

Приведённые затраты:

$$C_{\min} = S_y + K_y \cdot E \quad (4.20)$$

где $C_{\min}$ – приведённые затраты, руб./кг; E – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений, принимаем равным 0,15 .

$$C_{\min,y}^c = 18,87 + 32,45 \cdot 0,15 = 23,74 \text{ руб.}$$

$$C_{\min,y}^M = 16,83 + 32,06 \cdot 0,15 = 21,64 \text{ руб.}$$

Металлоёмкость процесса:

$$M = \frac{M_M}{D_{\text{сез}} \cdot W_{\text{ч}}} \quad (4.21)$$

где M – металлоёмкость процесса, кг/кг; M_M - масса молотилки, кг. Согласно паспортным данным $M_M^c = 155$ кг, $M_M^M = 162$ кг.

$$M_c = \frac{155}{210 \cdot 63,1} = 0,012 \text{ кг/ч}$$

$$M_c = \frac{162}{210 \cdot 70,2} = 0,011 \text{ кг/ч}$$

Энергоёмкость процесса:

$$A = \frac{N_d}{W_q} \quad (4.22)$$

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

$$A_c = \frac{1,5}{63,1} = 0,024 \text{ кВт · ч/кг}$$

$$A_m = \frac{1,5}{70,2} = 0,021 \text{ кВт · ч/кг}$$

Полученные данные сведем в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 – Экономическая эффективность применения предлагаемой молотилки

Показатель	Значение показателя		Разница, ±
	существующего	проектируемого	
Производительность, кг/ч	63,1	70,2	7,1
Затраты труда, чел.ч/кг	0,016	0,014	-0,002
Дополнительные капиталовложения, руб.	—	42700	—
Эксплуатационные затраты, руб./кг	18,87	16,83	-2,04
Капиталовложения, руб./кг	32,45	32,06	-0,39
Экономия эксплуатационных затрат, руб./сез.	—	30073,7	—
Приведённые затраты, руб./кг	23,74	21,64	-2,1
Срок окупаемости дополнительных капвложений, сез.	—	1,42	—
Металлоёмкость процесса, кг/ч	0,012	0,011	-0,001
Энергоёмкость процесса, кВт · ч/кг	0,024	0,021	-0,003

4.3 Выводы по главе

1. Произведен расчет цены кукурузной селекционной двухвальной молотилки с прижимным механизмом. Итоговая цена молотилки составила 472,7 тыс. руб.

2. Выполнен расчет экономической эффективности применения разработанной кукурузной селекционной двухвальной молотилки с прижимным механизмом. В результате расчетов установлено:

- эксплуатационные затраты уменьшатся на 2,04 руб./кг или на 10,8%;
- энергоёмкость процесса уменьшится на 0,003 кВт·ч/кг или 12,5%;
- дополнительные капиталовложения в размере 42,7 тыс. руб. окупятся за 1,4 сезона.

Заключение

Итоги выполненного исследования

1. На основе анализа конструкций кукурузных молотильных устройств разработана конструктивно-технологическая схема кукурузной селекционной двухвальцовой молотилки включающей: обмолачивающий валец, имеющий выступы, выполненные по форме спирали Архимеда; транспортирующий валец, снабженный винтовой навивкой и прижимную пластину (патент РФ № 2690794, 2019 г.).

2. Уточнена размерно-массовая характеристика початков гибрида Краснодарский 425 МВ: длина початка 200 мм, диаметр початка 60 мм, масса семян одного початка 250 г, масса стержня 80 г, диаметр стержня 40 мм.

3. На основе уравнения динамики вращательного движения твердого тела разработана математическая модель движения початка кукурузы в вальцовой молотилке.

4. По результатам теоретических исследований частота вращения валцов с учетом не превышения допустимой деформации початков гибрида Краснодарский 425 МВ составляет $764,4 \text{ мин}^{-1}$, а время обмолота одного початка – 4,5 секунды.

5. В результате проведенных экспериментальных исследований были установлены:

- оптимальные параметры вальцовой молотилки, обеспечивающие минимальное дробление зерна 0,2 % — диаметр валцов 148 мм и частота вращения валцов 712 мин^{-1} ; недомолот зерна при этом составил 1,16 %, при максимально допустимом значении 1,2 %;

- рациональные параметры вальцовой молотилки, обеспечивающие в соответствии с агротехническими требованиями дробление зерна менее 1,0 % и недомолот менее 1,2 % — диаметр валцов 141...150 мм и частота вращения валцов $711...722 \text{ мин}^{-1}$.

6. Сравнение результатов теоретических и экспериментальных исследований показало:

- расхождение между теоретическим и экспериментальными рациональными значениями частоты вращения валцов не превышает 7 %;

- при оптимальных параметрах молотилки расхождение между теоретическим и экспериментальными значениями времени обмолота одного початка составило 3,6 %, а по затратам мощности на привод молотилки в процессе обмолота - 6,8 %.

7. Эксплуатационные затраты на обмолот початков кукурузы предлагаемой молотилки, в сравнение с молотилкой МКД-М, снижаются с 18,87 руб./кг до 16,83 руб./кг, то есть на 10,8 %, а дополнительные капиталовложения окупаются за 1,4 сезона.

Рекомендации производству

Предложенные в работе параметры рабочих органов двухвальцовой молотилки с прижимным механизмом могут быть использованы конструкторскими организациями при разработке устройств для обмолота початков на этапе первичного семеноводства кукурузы.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Полученную математическую модель движения початка в двухвальцовой молотилке с прижимным механизмом можно использовать при разработке рабочих органов других типов вальцовых молотилок для различных сортов и гибридов кукурузы.

Литература

1. А. с. 164732 СССР, МПК A01F. Способ обмолота початков кукурузы / Н.Г. Бережнов, А.Т. Буряков, М.В. Кузьмин. – Заявл. 25.12.61, Оpubл. 19.08.64. - Бюл. № 10.
2. А. с. 190692 СССР, МКИ¹ А 01-D 45/02. Очиститель початков кукурузы / М.В. Галдин, А.И. Буянов, Н.А. Смирнов и С.М. Якушенков; заявитель ВИМ. – № 1016181/30–15; заявл. 05.07.65; опубл. 29.12.66, Бюл. № 2. – 3 с.: ил.
3. А. с. 223513 СССР, МКИ¹ МПК A01F. Кукурузная селекционная молотилка / Н.В. Краснощеков, В.Ф. Куц; заявитель ОКБ Сибирского НИИСХ; – заявл. – 19.06.67; опубл. 02.08.68, Бюл. № 24. – 3 с.: ил.
4. А. с. 1114370 СССР, МКИ³ A01F11/06. Селекционная кукурузная молотилка / В.А. Пшеничный, Г.И. Корольков, А.В. Пристинский; заявитель НИИСХ Центрально-Черноземной полосы им. В.В. Докучаева. – № 3592851/30–15; заявл. 17.05.83; опубл. 23.09.84, Бюл. № 35. – 5 с.: ил.
5. А. с. 917765 СССР, МКИЗ A01D45/02. Прибор для определения прочности связи зерна кукурузы со стержнем початка / Краснодарский НИИСХ им. П.П. Лукьяненко: В.С. Кравченко, В.В. Куцеев. - Заявл. 11.11.80, Оpubл. 07.04.82. - Бюл. № 13.
6. А. с. 1069674 СССР, МКИЗ A01D45/02. Способ обработки початков кукурузы // ВНИИПТИМЭСХ: А.Д. Беспмятнов, Р.М. Хачиров, Б.М. Дубнов. - Заявл. 02.09.81, Оpubл. 30.01.84. - Бюл. № 4.
7. А. с. 1005901 СССР, МКИЗ B02C19/06. Устройство для измельчения пористых материалов / Краснодарский НИИСХ им. П.П. Лукьяненко: В.С. Кравченко, В.В. Куцеев, А.И. Медведев. - Заявл. 21.07.81, Оpubл. 23.03.83. – Бюл. № 11.
8. А. с. 1667719 СССР, МКИ⁴ A01F11/06. Способ обмолота початков кукурузы / Э.В. Жалнин, А.А. Алдошин, И.Ф. Савенков и др.; заявитель

ХАИ им. Н.Е. Жуковского. – № 4386960/15; заявл. 29.02.88; опубл. 07.08.91, Бюл. № 29. – 3 с.: ил.

9. Абликов В.А. Машины для уборки сельскохозяйственных культур / В.А. Абликов, Е. И. Трубилин. - Краснодар: КубГАУ, 2010. - 325 с

10. Алейников В.И. Определение качества обмолота кукурузы / В.И. Алейников, С.Г. Белицкая // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1986. – № 6. – С. 52–53.

11. Анискин В.И. Рекомендации по организации пунктов обработки семян родительских форм гибридов кукурузы и требования к выполнению технологических процессов / В.И. Анискин, А.Б. Чижилов, В.Д. Бабченко, Н.У. Сулейменов. – М.: АгроНИИТЭИИТО, 1986. – 36 с.

12. Бахарев Д. Н. Бионические основы разработки и конструирования эффективных шипов молотильно-сепарирующих устройств для кукурузы / Д.Н. Бахарев, С.Ф. Вольвак // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. - 2017. - № 3 (15). - С. 3-13.

13. Бобриков Н.А. Исследование рабочих органов молотильных аппаратов для обмолота кукурузы: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.20.01 - Ростов-на-Дону, 1963. - 22 с.

14. Босой Е.С., Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин / Е.С. Босой, О.В. Верняев, Ш.И. Смирнов, Е.Г. Султан-Шах. – М.: Машиностроение, 1977. – С. 568.

15. Бумбар И.В. К оценке обмолота початков кукурузы бильным барабаном зернового комбайна / И.В. Бумбар, А.А. Кувшинов // Дальневосточный аграрный вестник. 2017. № 3 (43). С. 183-191.

16. Василев С. Винтов аппарат за ронене на царевични кочани / С. Василев. – София: Селскостопанска техника, 1980. – Т. XVII, № 3. – С. 43–47 (болг.)

17. Василев С. Изследване на дисков аппарат за ронене на царевица / С. Василев, Терзиев, П. Стоянов. – София: Селскостопанска техника, 1982. – XIX, № 2. – С. 27–33 (болг.)

18. Виндижев Н. Л.. Механико-технологическое обоснование методов снижения потерь от травмирования зерна при уборке кукурузы и масличных культур / Н. Л. Виндижев: дис. ...д-ра техн. наук: 05.20.01 / Кабардино-Балкарская ГСА . – Нальчик, 1999. – 273 с.
19. Вознесенский В.А., Ковальчук А.Ф. Принятие решений по статистическим моделям. - М.: Статистика, 1978. - 192 с. (добавлена ссылка на стр. 63)
20. Войцехович В.В. Определение расхода энергии на обмолот початков кукурузы бичевым барабаном / В.В. Войцехович // Тр. / Кишиневский СХИ. – Кишинев, 1972. – Т. 84. – С. 101–105.
21. Войцехович В.В. Статическое и динамическое воздействие сил на обмолачиваемый початок / В.В. Войцехович // Тр. / Кишиневский СХИ. – Кишинев, 1972. – Т. 84. – С. 105–110.
22. Гибриды кукурузы, созданные в Краснодарском НИИСХ им. П. П. Лукьяненко. – Краснодар: Престиж–Плюс, 2004. – 32 с.
23. Гокоев А.И. Обзор и анализ отечественных и зарубежных конструкций молотильных устройств / А.И. Гокоев // Тр. ВИСХОМ. – Вып. 47. – М., 1966. – С. 326–341.
24. Гокоев А.И. Физико-механические свойства початка кукурузы / А.И. Гокоев. // Тр. ВИСХОМ. – Вып. 47. – М., 1966. – С. 281–289.
25. ГОСТ Р 52325-2005 Семена сельскохозяйственных растений. Сортные и посевные качества. Общие технические условия (с Поправкой). Дата введения 2006-01-01. М.: Стандартинформ, 2009. – 21 с.
26. Голик М.Г. Хранение и обработка початков и зерна кукурузы / М.Г. Голик. – М.: Колос, 1968. – 335 с.
27. Горячкин В.П. Собрание сочинений в 3 т. Т. 1. – М.: Колос, 1965. – 384 с.
28. Гуров И.Н. Обмолот кукурузы / И.Н. Гуров. – Ростов н/Д.: из-во Ростовского ун-та, 1964. – 47 с.

29. Данилевич С.Ю. Прочность зерна кукурузы и его связей со стержнем початка / С.Ю. Данилевич // Науч. тр. / УкрНИИМЭСХ. – Киев: УАСХН, 1960. – Т. 2. – С. 72–79.
30. Дембеле С. Процесс работы планетарно-роликового аппарата на уборке кукурузы: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.20.01 - Краснодар, 1985. - 29 с.
31. Деревенко В.В. Планетарные аппараты уборочных машин: Конструкция, теория, расчет. – Ч. II. – Краснодар: Кубанский СХИ, 1981. – 101 с.
32. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Колос, 1979. – 416 с.
33. Жалнин Э.В. Математическое моделирование процессов земледельческой механики / Э.В. Жалнин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2000. - № 1. – С. 20-23.
34. Измайлов А.Ю. Механизация селекционно-опытной работы / А.Ю. Измайлов, Н.Е. Евтюшенков. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2016. № 4. С. 4-9
35. Исходные требования на базовые машинные технологические операции в растениеводстве : [сборник] / Министерство сел. хоз-ва Рос. Федерации, Федер. агентство по сел. хоз-ву ; [разраб. : В. П. Елизаров и др.]. - М. : Росинформагротех, 2005 (Тип. ФГНУ Росинформагротех). - 270 с.
36. Кравченко В.С. Исследование планетарного початкоотделяющего аппарата с активным вальцовым подбарабашем для обмолота кукурузы. автореф. дис... канд. техн. наук: 05.20.01 – Краснодар, 1974. - 25 с.
37. Кравченко В.С. Параметры и режимы обмолота початков кукурузы / В.С. Кравченко: дис. ... д-ра техн. наук. - Т. 1.: 05.20.01. – Зерноград, 1997. – 483 с.
38. Кравченко В.С. Методика расчета мощности, потребляемой тангенциальными аппаратами при обмолоте кукурузы / В.С. Кравченко, В.С. Курасов, А.А. Казеев // Энерго- и ресурсосбережение производственных

процессов АПК: сб. науч. тр. / КубГАУ. – Вып. 382(410). – Краснодар, 2000. – С. 18–23.

39. Креймерман Г.И. Обмолот початков кукурузы / Г.И. Креймерман. – М.: Колос, 1966. – 104 с.

40. Курасов В.С. Механико-технологическое обоснование комплекса технических средств для селекции, сортоиспытания и первичного семеноводства кукурузы: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 / КГАУ. – Краснодар, 2003. – 343 с.

41. Лавренчук Н.Ф. Основные направления селекционно-семеноводческой работы по кукурузе в Краснодарском НИИСХ им. П.П. Лукьяненко / Н.Ф. Лавренчук // Стратегия развития сельского хозяйства Адыгеи на пороге XXI века: материалы регион. науч.-практ. конф., посвящ. 40-летию Адыгейского НИИСХ. – Майкоп, 2003. – С. 187–189.

42. Машины для селекции, сортоиспытания и первичного семеноводства полевых культур [Электронный ресурс]: 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. – ISBN 978-5-7367-0704-1. — Режим доступа: <https://rucont.ru/efd/213373>

43. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рощин. – Л.: Колос, 1980. – 168 с

44. Методические рекомендации по применению терминов и определений в области механизации работ в селекции, сортоиспытании и первичном семеноводстве кукурузы. Параметры опытного поля, схемы посева и требования к типуажу посевных и уборочных машин в селекции, сортоиспытании и первичном семеноводстве кукурузы / под ред. В.С. Сотченко. – ВНИИ кукурузы, КубГАУ, КНИИСХ. – Краснодар, 2002. – 11 с.

45. Методические указания по производству гибридных и сортовых семян кукурузы. – М.: Колос, 1975. – 167 с.

46. Механизация работ в селекции, сортоиспытании и первичном семеноводстве кукурузы: монография / В.С. Курасов, В.В. Куцеев, Е.Е. Самурганов / Краснодар, 2013. – 151 с. ISBN 978-5-94672-723-5
47. Механизация возделывания и уборки кукурузы на зерно: обзор. информ. / Р.С. Суханова, А.Н. Хитров. – М.: ВНИИТЭИ, 1982. – С. 25–33.
48. Митков А. Изследване на работата на вертикален цилиндрично-конусен апарат за ронене царевица за посев / А. Митков, Ле Конг Хун, П. Радулов, М. Белопитова // София: Селскостопанска техника, 1982. – Т. XIX.
49. Митков А. Изследване на горизонтален конусен апарат за ронене царевични кочани / А. Митков, П. Радулов. – Русе: Научни трудове на ВТУ «Ангел Кънчев», 1981. – Т. XXIII, серия 1. – С. 37–40.
50. Мозговой Ю.И. Исследование процесса обмолота кукурузы бильными барабанами: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. – Ростов н/Д., 1968. – 25 с.
51. Молотилка для обмолота початков кукурузы МПК-0,3 // Кукуруза и сорго. – 2004. – № 3. – С. 26.
52. Молотильное устройство для обмолота початков // Проспект ВДНХ СССР / Госагропром СССР. Кишиневский СХИ. – 1986. – 4 с.
53. Налимов В.В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / В.В. Налимов, Н.А. Чернова. – М.: Наука, 1965. – 340 с.
54. Никитина Г.А. Обмолот початков кукурузы без непосредственного воздействия на зерно: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. – М., 1969. – 21 с.
55. Об экспорте кукурузы из России в 2015-2019 гг. [Электронный ресурс]. – URL: <https://ab-centre.ru/news/ob-eksporte-kukuruzu-iz-rossii-v-2015-2019-gg> (дата обращения: 09.07.2019).
56. Оськин С.В. Электротехнологии в сельском хозяйстве : учебник / С.В. Оськин - Краснодар : КубГАУ, 2016. - 501 с. ISBN 978-5-00097-000-3
57. Пат. 162558 Российская Федерация, Установка для обмолота початков кукурузы / В.В. Куцеев, В.С. Курасов, В.М. Погосян, А.С. Голицын;

заявитель и патентообладатель Кубанский гос. аграр. ун-т. 2016106308/13, заявл. 24.02.2016; опубл. 20.06.2016. Бюл. № 17. -5 с.

58. Пат. 2171023 Российская Федерация, МПК⁷ А 01F 11/06. Линия обмолота селекционного материала кукурузы / Е.И. Трубилин, В.В. Куцеев, В.С. Курасов и И.А. Петунина; заявитель и патентообладатель КубГАУ. – № 99122084; заявл. 19.10.99; опубл. 27.07.01, Бюл. № 21. – 14 с.: ил.

59. Пат. 2023373 РФ, МКИ4 А01F/11/06. Способ обмолота початков кукурузы / Краснодарский НИИСХ им. П.П. Лукьяненко: В.С. Кравченко, С.В. Анищенко. – Заявл. 13.08.90, Опубл. 30.11.94. - Бюл. № 22

60. Пат. 2690794 Российская Федерация, Селекционная установка для обмолота початков кукурузы / В.М. Погосян, А.С. Голицын, Д.А. Артюхин; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина". 2018121877, заявл. 13.06.2018; опубл. 05.06.2019. Бюл. № 16. - 6 с.

61. Петунина И.А. Обмолот початков кукурузы / И.А. Петунина: монография. – Краснодар: КубГАУ, 2006. – 200 с.

62. Петунина И.А. Очистка и обмолот початков кукурузы / И.А. Петунина. – Краснодар: КубГАУ, 2007. – 525 с.

63. Петунина, И.А. Разработка ресурсосберегающих процессов очистки и обмолота початков семенной кукурузы / И.А. Петунина: дис. ...д-ра. техн. наук: 05.20.01 / КГАУ. – Краснодар, 2008. – 349 с.

64. Погосян В.М. Исследование движения кукурузного початка в вальцовой молотилке / В.С. Курасов, В.М. Погосян, В.Н. Плешаков, Е.Е. Самурганов // Труды Кубанского государственного аграрного университета. - 2017. - № 69. - С. 315-318.

65. Погосян В.М. Анализ технических средств обмолота початков кукурузы / В. М. Погосян // Наука Кубани. – 2017. - № 3. – С. 4-11.

66. Погосян В.М. Параметры кукурузной селекционной вальцовой молотилки / В.С. Курасов, В.М. Погосян, В.В. Цыбулевский // Политемати-

ческий сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. - 2018. - № 136. - С. 1-14.

67. Погосян В.М. Селекционная однопочатковая молотилка / В.М. Погосян // Инновации в сельском хозяйстве. - 2015. - № 2 (12). - С. 145-149.

68. Погосян В.М. Исследование процесса обмолота початков кукурузы трехвальцовой молотилкой на этапе селекции / В.М. Погосян // В сборнике: Вклад молодых ученых в аграрную науку: материалы Международной научно-практической конференции. Кинель, 22-23 апреля 2015 г. - Самарская ГСХА. - 2015. - С. 285-289.

69. Погосян В.М. Тенденции развития аппаратов для обмолота кукурузы / В.М. Погосян // В сборнике: НАУЧНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА - сборник статей по материалам 72-й научно-практической конференции преподавателей Кубанского ГАУ по итогам НИР за 2016 г. - Краснодар: Кубанский ГАУ. - 2017. - С. 313-314.

70. Погосян В.М. Обмолот кукурузного початка в вальцовой молотилке / В.М. Погосян // В сборнике: НАУЧНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА Сборник статей по материалам XI Всероссийской конференции молодых ученых, посвященной 95-летию Кубанского ГАУ и 80-летию со дня образования Краснодарского края. Ответственный за выпуск А.Г. Кощаев. - Краснодар: Кубанский ГАУ. - 2017. - С. 436-437.

71. Погосян В.М. Селекционное устройство для обмолота початков кукурузы / В.М. Погосян // В сборнике: НАУЧНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА Сборник статей по материалам X Всероссийской конференции молодых ученых, посвященной 120-летию И.С. Косенко. Отв. за вып. А. Г. Кощаев. - Краснодар: Кубанский ГАУ. - 2017. - С. 608-609.

72. Погосян В.М. Гистограмма распределения измерений диаметра початка гибрида кукурузы РОСС 149 МВ. В.С. Курасов, В.М. Погосян,

Е.Е. Самурганов, А.А. Елисеева. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2013614012. Зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 22.04. 2013 г.

73. Поединок В.Е. Исследование молотильного аппарата зерноуборочного комбайна на уборке кукурузы / В.Е. Поединок // Долговечность и надежность с.-х. машин: сб. докл. – М., 1966. – С. 182–187.

74. Полевицкий К. А. Принципы обмолота початков в кукурузных молотилках / К.А. Полевицкий // Механизация социалистического сельского хозяйства. – 1936. – №7. – С. 36 .

75. Пугачёв А.Н. Повреждение зерна машинами / А.Н. Пугачёв. – М.: Колос, 1976. – 320 с.

76. Пустыгин М.А. Теория и технологический расчет молотильных устройств / М.А. Пустыгин. – М.: ОГИЗ, Сельхозгиз, 1948. – 96 с.

77. Пустыльник Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений / Е.И. Пустыльник. – М.: Наука, 1968. –288 с.

78. Пьянков А.И. Кукуруза / А.И. Пьянков // Физико-механические свойства растений, почв и удобрений. – М., 1970. – С. 226–241.

79. Раздорский В.Ф. Архитектоника растений / В.Ф. Раздорский. – М.: Советская наука, 1955. – 432 с.

80. РТМ 44-62. Методика статистической обработки эмпирических данных. - М.: Комитет стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР, 1965. - 100 с.

81. Сабликов М. В. Защемление и затягивание тел / М.В. Сабликов // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1968. – № 3. – С. 6–8.

82. Состояние рынка семян кукурузы в Российской Федерации: доклад / Национальная ассоциация производителей семян кукурузы и подсолнечника [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://napksk.ru/media/upload/_2017_kukuruza.pdf (дата обращения: 10.07.2019).

83. Строна И.Г. Общее семеноводство полевых культур / И.Г. Строна. – М.: Колос, 1966. – 464 с.
84. Стандарт отрасли ОСТ 10 2.18-2001 МСХ РФ. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы экономической оценки. – М., 2002. – 36 с.
85. Такоев Т.К. Исследование качества работы кукурузных молотилок / Т.К. Такоев // Труды Северо-Осет. СХИ. – Т. 17. – Орджоникидзе, 1956. – С. 345–348.
86. Тогонбаев Т.К. Исследование процесса обмолота кукурузы штифтовыми и лопастными барабанами: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.20.01. – Алма-Ата, 1967. – 21 с.
87. Топал Г.Д. Определение коэффициента трения продуктов обмолота кукурузы о различные материалы / Г.Д. Топал // Совершенствование технологических процессов, конструкции с.-х. машин и животноводческого оборудования: межвуз. сб. науч. тр. / Кишиневский СХИ. – Кишинев, 1979. – С. 54–58.
88. Топал Г.Д. Условие разрушения связи зерна с початков / Г.Д. Топал // Совершенствование технологических процессов, конструкций сельскохозяйственных машин и животноводческого оборудования: межвуз. сб. науч. тр. / Кишиневский СХИ. – Кишинев, 1979. – С. 58–62.
89. Труфляк Е.В. Физико-механические свойства кукурузы / Е.В. Труфляк. – Краснодар: КубГАУ, 2007, 197 с.
90. Ульрих Н.Н. Специфика научных исследований в области механизации производственных процессов в селекции, сортоиспытании и первичном семеноводстве / Н.Н. Ульрих // Тр. ВИМ. – Т. 74. – М., 1977. – С. 3–8.
91. Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства на 2017-2025 годы (утв. постановлением Правительства Российской Федерации от 25 августа 2017 г. № 996). – М.: ФГБНУ «Росинформгротех», 2017. – 52 с.
92. Цримов А.З. Исследование процесса взаимодействия рабочих органов кукурузной молотилки с объектом обработки / А.З. Цримов,

Ю.А. Шекихачев // Матер. междунар. практ. конф., посвящ. 80-ти летию чл.-корр. РАСХН, засл. деят. науки РСФСР и РД, проф. М.М. Джембулатова. – Махачкала, 2006.

93. Чаплыгин М.Е. Уборка кукурузы на зерно различными жатками / М.Е. Чаплыгин // Сельский механизатор. - 2015. - № 12. - С. 8-9..

94. Шабала Н.А. Селекционная молотилка / Н.А. Шабала // Кукуруза и сорго. – 1991. – № 4. – С. 23–24.

95. Шатилов К.В. Кукурузоуборочные машины / К.В. Шатилов, Б.Д. Козачок, А.П. Орехов. – М.: Машиностроение, 1981. – 224 с.

96. Шекихачев Ю.А Технические средства для обмолота початков кукурузы / Ю.А Шекихачев // NovaInfo.Ru - №45, 2016 г. - С. 28-35.

97. Южанинова Л. Рынок семян масличных культур в России [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.agroxxi.ru/gazeta-zaschita-rastenii/zrast/rynok-semjan-maslichnyh-kultur-v-rossii.html> (дата обращения: 14.05.2019).

98. Якушенков С.М. Метод определения мощности, необходимой для обмолота кукурузы / С.М. Якушенков // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1965. – № 2. – С. 82–84.

99. Agriculture in the European union. Statistical and economic information, 2003. – P. 40.

100. Anazodo U.G.N. Corn physical and mechanical properties as related to combine cylinder performance / U.G.N. Anazodo, G.L. Wall, E.R. Norris // Canadian agricultural engineering, 1981. – № 23. – P. 23–30.

101. Hamid F. Al-J. Laboratory Studies of a Low-Damage. Corn-Shelling Mashine / F. Al-J. Hamid, J.M. Stephen, H.C. Moffazzal // Transactions of the ASAE, 1980. – 23, № 2. – P. 278–283.

102. Hege Maschinen // Проспект фирмы Hege Maschinen. – Waldenburg. – 6 с.

103. Hege 212 – Forage Plot Harvester // Проспект фирмы Hege Maschinen. – Waldenburg. – 6 с.

104. Kaifas F. Szemestermenyek szilardsagi jellemzoi / F. Kaifas // Jarmuvek, Mezogazdasagi Gepek. 26, evfolyam. – 1979. – № 3. – S. 112–116.
105. LS 230 // Проспект фирмы Wintersteiger. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://docplayer.ru/27595409-Mashiny-dlya-laboratoriy-rus.html>
106. Plotmaster Universal // Проспект фирмы F. Walter & H. Wintersteiger. – Ried. – 8 с.
107. Egreneuse a mais 15/45 TZ // Проспект фирмы Bourgoin. – 4 с.
108. Egreneuse tropicale Bamba // Проспект фирмы Bourgoin. – 4 с.
109. Moreira S.M.C. Crack Formation in corn Kernels Subject to Impact / S.M.C. Moreira, G.W. Kruts, G.H. Foster // Transactions of the ASAE, 1981. – 24, № 26. – P. 889-892.
110. Сайт группы компаний «Содружество» [Электронный ресурс]: Информационный сервер. – Режим доступа: <http://www.sodrugestvo.ru>.
111. Сайт министерства сельского хозяйства РФ [Электронный ресурс]: Информационный сервер. – Режим доступа: <http://www.mcsx.ru>.

Приложение 1

Таблица 1 - Размерно-массовая характеристика початков гибрида Краснодарский 425 МВ

Показатель	Значение							
Длина початка, мм	197	203	200	185	175	203	219	196
	187	214	173	183	195	211	215	216
	212	200	209	204	205	213	206	209
	193	208	204	205	205	224	207	213
	195	200	208	220	169	208	206	177
	224	211	197	203	198	204	193	172
	218	213	199	171	180	206	225	188
	187	215	180	179	198	197	205	204
	178	187	186	201	195	212	186	197
	186	180	205	187	216	208	196	213
	222	199	213	214	209	187	215	197
	187	204	213	188	192	202	199	201
	216	203	199	168				
Диаметр початка, мм	64	65	60	59	59	61	60	56
	65	62	54	57	60	59	54	56
	63	52	61	60	53	59	60	62
	66	58	61	59	56	60	58	63
	63	62	61	59	59	65	58	59
	67	65	58	59	56	59	60	61
	64	68	61	59	56	65	61	60
	66	64	59	56	60	58	69	60
	66	62	60	57	54	62	60	60
	58	60	62	60	62	65	62	58
	59	61	55	59	53	59	54	61
	63	60	61	59	56	56	62	59
	62	60	63	59				
Масса семян с одного початка, г	225	275	254	258	265	240	279	241
	266	264	236	251	246	280	264	239
	237	280	224	255	211	251	246	279
	219	260	244	268	221	266	269	277
	254	255	235	256	241	241	258	241
	224	222	243	226	233	246	248	245
	251	266	231	253	212	221	285	254
	222	283	267	245	217	257	267	286
	237	274	268	218	238	259	247	241
	243	254	261	213	220	248	279	250
	260	266	223	278	241	224	283	253
	223	266	267	217	278	272	282	208
	211	268	273	286				

Продолжение таблицы 1

Показатель	Значение							
Масса стержня, г	78	68	85	81	87	73	84	81
	70	80	93	68	87	84	88	88
	91	80	94	94	73	78	81	68
	73	84	79	69	86	93	88	82
	76	84	90	68	85	84	81	78
	84	77	93	78	67	91	91	81
	90	76	66	72	76	94	74	80
	67	81	63	69	76	84	75	60
	79	73	85	75	79	89	79	67
	66	90	85	76	79	84	90	75
	83	84	81	85	80	87	75	77
	78	89	83	86	79	77	87	69
	91	77	72	69				
Диаметр стержня, мм	44	32	41	39	39	39	34	45
	45	38	38	39	40	41	40	42
	43	42	41	39	33	40	38	34
	46	45	39	36	36	41	38	41
	43	48	40	37	39	39	40	41
	47	44	42	40	36	39	41	39
	44	42	35	39	36	40	49	39
	46	40	41	39	40	45	40	45
	46	41	43	39	34	39	42	39
	38	40	34	40	42	45	36	36
	39	40	39	40	33	38	36	40
	43	42	37	38	36	42	42	43
	42	40	40	41				

Для статистической характеристики использовали следующие показатели: средняя арифметическая, дисперсия, стандартное отклонение, ошибка средней арифметической, коэффициент вариации, ошибка средней и относительная ошибка средней [31]. Формулы для расчета указанных показателей приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Формулы для вычисления статистических характеристик выборки при количественной изменчивости

Показатель	Расчётная формула
Среднее арифметическое	$\bar{X} = \frac{\sum X}{n}$
Дисперсия	$\delta^2 = \frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n - 1}$
Стандартное отклонение	$\delta = \sqrt{\delta^2}$
Коэффициент вариации	$V = \frac{\delta}{\bar{x}} \cdot 100$
Ошибка средней	$\delta \bar{x} = \frac{\delta}{\sqrt{n}}$
Относительная ошибка средней	$\delta \bar{x} \% = \frac{\delta \bar{x}}{\bar{x}} \cdot 100$

Результаты расчетов приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Результаты расчетов статистических характеристик

Показатель	Измеряемый параметр				
	Длина початка, мм	Диаметр початка, мм	Масса семян с одного початка, г	Масса стержня, г	Диаметр стержня, мм
Среднее значение	200	60,08	250,04	79,99	40,08
Минимум	168	52	208	60	32
Максимум	225	69	286	94	49
Дисперсия	181,5757576	11,2864646	442,705455	63,12111	11,28646
Стандартное отклонение	13,47500492	3,3595334	21,0405669	7,94488	3,359533
Коэффициент вариации	6,73	5,59	8,41	9,93	8,38
Ошибка средней	1,3475	0,33595	2,10405	0,79449	0,33595
Относительная ошибка средней	6,74	0,56	0,84	9,93	0,84

Документы о внедрении

Первый проректор
ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ
профессор
Резниченко С.М.
« 17 » февраля 2018 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 Погосяна Владимира Макичевича

Комиссия в составе председателя - декана факультета механизации профессора С.М. Сидоренко, членов комиссии - заведующего кафедрой «Тракторы, автомобили и техническая механика» профессора В.С. Курасова и председателя методической комиссии факультета механизации доцента А.А. Титученко, рассмотрела результаты научно-исследовательской работы старшего преподавателя кафедры «Тракторы, автомобили и техническая механика» Погосяна Владимира Макичевича по обмолоту початков кукурузы на этапе селекции и их использование в учебном процессе на факультете механизации.

Комиссия установила, что результаты научно-исследовательской работы Погосяна Владимира Макичевича используются в учебном процессе на кафедре «Тракторы, автомобили и техническая механика» при написании выпускных квалификационных работ магистрантами по направлению подготовки 35.06.04 «Технологии, средства механизации и энергетические оборудование в сельском, лесном и рыбном хозяйстве», профиль «Технологии и средства механизации сельского хозяйства».

Председатель комиссии _____ С.М. Сидоренко
Члены комиссии: _____ В.С. Курасов
_____ А.А. Титученко





«УТВЕРЖДАЮ»

Председатель ССПК ККЗ «Кубань»

Короткин В.М.

«21» августа 2019 г.

АКТ

о передаче (использовании) результатов исследований
старшего преподавателя Кубанского государственного аграрного
университета имени И.Т. Трубилина
Погосяна Владимира Макичевича

Комиссия в составе: заведующего кафедрой «Тракторы, автомобили и техническая механика» Кубанского ГАУ, доктора технических наук Курасова В.С., старшего преподавателя Кубанского ГАУ Погосяна В.М. и доцента Кубанского ГАУ кандидата технических наук Припорова И.Е. составили настоящий акт о том, что результаты исследований Погосяна Владимира Макичевича по обмолоту початков семенной кукурузы переданы для использования в «Сбытовой сельскохозяйственный потребительский кооператив кукурузокалибровочный завод «Кубань».

Члены комиссии:

В.С. Курасов

В.М. Погосян

И.Е. Припоров





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
(51) МПК
[A01F 11/06 \(2006.01\)](#)

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

Статус: действует (последнее изменение статуса: 27.02.2017)
Пошлина: учтена за 2 год с 25.02.2017 по 24.02.2018

(21)(22) Заявка: [2016106308/13](#), 24.02.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
24.02.2016

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 24.02.2016

(45) Опубликовано: [20.06.2016](#) Бюл. № 17

Адрес для переписки:

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

(72) Автор(ы):

Куцеев Владимир Васильевич (RU),
Кураев Владимир Станиславович (RU),
Погосин Владимир Макичевич (RU),
Голыцын Александр Сергеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

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

(54) УСТАНОВКА ДЛЯ ОБМОЛОТА ПОЧАТКОВ КУКУРУЗЫ

(57) Реферат:

Полезная модель относится к сельскому хозяйству, в частности к устройствам для обмолота початков кукурузы в селекции и первичном семеноводстве. Для увеличения пропускной способности в установке для обмолота початков кукурузы, содержащей загрузочное устройство 1, молотильный аппарат 2 с двумя молотильными вальцами 3 и 4, прижимным вальцом 5, расположенными параллельно, а загрузочное устройство 1 расположено у продольной стороны молотильного вальца 4, согласно полезной модели, прижимной валец 5 расположен на выходе из загрузочного устройства 1 и над молотильным вальцом 4, со стороны которого расположено загрузочное устройство 1, причем поперечное сечение прижимного вальца 5 выполнено в виде криволинейных участков 8, образующих форму храповика, а криволинейные участки 8 прижимного вальца 5 снабжены ребрами 9, расположенными вдоль его продольной оси симметрии.

Применение полезной модели позволит увеличить пропускную способность установки для обмолота початков кукурузы и как следствие увеличить производительность его работы, а также снизить травмирование семенного зерна кукурузы.

Полезная модель относится к сельскому хозяйству, в частности к устройствам для обмолота початков кукурузы в селекции и первичном семеноводстве.

Известна лабораторная кукурузная молотилка, включающая раму и закрепленную на ней воронку, обмолачивающее колесо и поворачивающий початки диск, расположенные вертикально, и деку, закрепленную на рычаге, шарнирно связанном одним концом с рамой, причем дека закреплена на другом конце рычага шарнирно

Листинги программ

Листинг программы

**Гистограмма распределения измерений диаметра
початка гибрида кукурузы РОСС 149 МБ**

100 измерений диаметра початка. Исходные данные заносятся в матрицу (V).

100 измерений диаметра початка, (мм)

$$v := \begin{pmatrix} 37 & 34 & 41 & 48 & 43 & 39 & 39 & 41 & 38 & 37 \\ 43 & 41 & 44 & 43 & 40 & 42 & 41 & 40 & 36 & 43 \\ 40 & 44 & 41 & 38 & 41 & 42 & 35 & 35 & 40 & 47 \\ 39 & 41 & 39 & 42 & 41 & 43 & 40 & 44 & 43 & 40 \\ 42 & 42 & 39 & 34 & 41 & 48 & 46 & 40 & 40 & 39 \\ 39 & 37 & 46 & 45 & 49 & 40 & 40 & 42 & 41 & 37 \\ 40 & 47 & 45 & 40 & 41 & 40 & 42 & 37 & 46 & 47 \\ 43 & 44 & 40 & 43 & 40 & 37 & 42 & 45 & 46 & 35 \\ 40 & 41 & 37 & 37 & 41 & 46 & 43 & 40 & 41 & 35 \\ 41 & 41 & 42 & 44 & 33 & 43 & 45 & 42 & 40 & 43 \end{pmatrix}$$

Максимальное значение показателя

$$v_{\max} := \max(v) \quad v_{\max} = 49 \quad \text{мм}$$

Минимальное значение показателя

$$v_{\min} := \min(v) \quad v_{\min} = 33 \quad \text{мм}$$

Размах варьирования результатов измерения равен

$$d := v_{\max} - v_{\min} \quad d = 16 \quad \text{мм}$$

Сгруппируем все полученные значения в k групп. Ориентировочно число групп равно корню квадратному из объема выборки, и оно должно быть не меньше 5, но не более 20.

В данном случае:

$$k := 5 \quad \text{групп}$$

Величину интервала групп определим по соотношению:

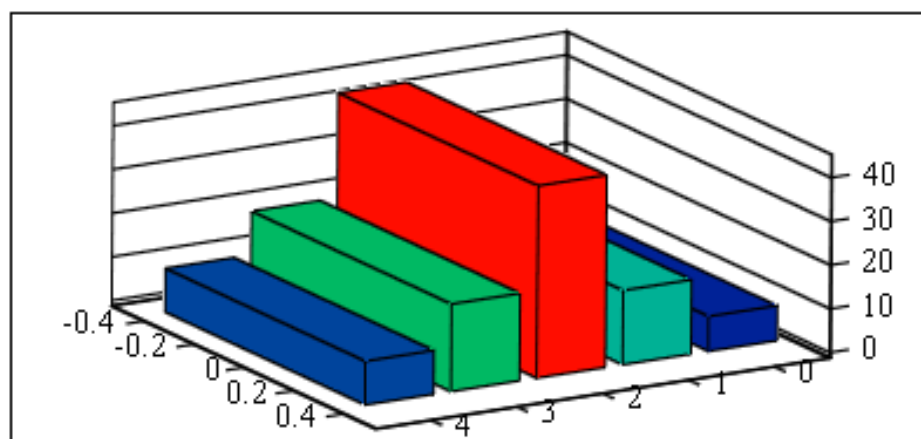
$$h := \frac{d}{k} \quad h = 3.2 \quad \text{мм}$$

Частота попадания признака в заданный интервал

$$\begin{aligned} n_j &:= \text{cols}(v) & n_j &= 10 & x_c &:= \text{mean}(v) & x_c &= 41.07 \\ n_i &:= \text{rows}(v) & n_i &= 10 & i &:= 0..k \end{aligned}$$

$$X_i := v_{\min} + h \cdot i \quad X = \begin{pmatrix} 33 \\ 36.2 \\ 39.4 \\ 42.6 \\ 45.8 \\ 49 \end{pmatrix} \quad f := \text{hist}(X, v) \quad f = \begin{pmatrix} 8 \\ 17 \\ 44 \\ 20 \\ 10 \end{pmatrix}$$

По полученным данным строится гистограмма и полигон эмпирического распределения (рисунок 1 и 2)



f

Рисунок 1 - Гистограмма эмпирического распределения

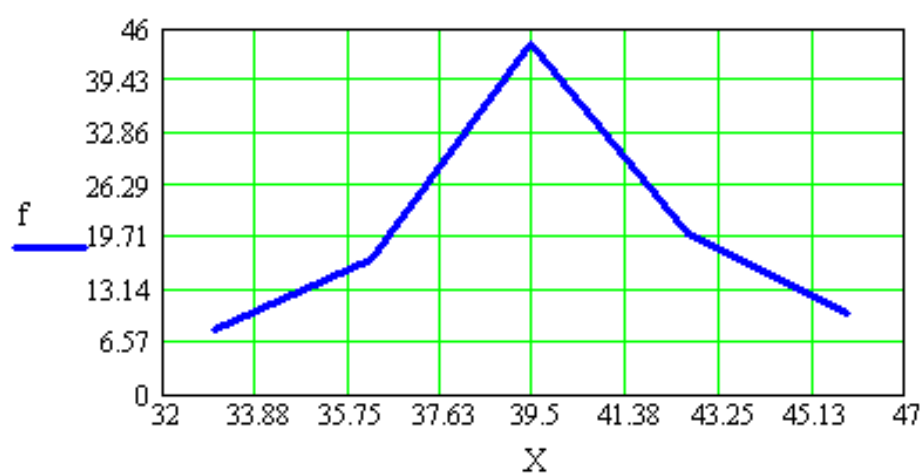


Рисунок 2 - Полигон эмпирического распределения

Листинг программы

Гистограмма распределения измерений длины початка гибрида кукурузы РОСС 149 МБ

100 измерений длины початка. Исходные данные заносятся в матрицу (V).

100 измерений длины початка, (мм)

$$V := \begin{pmatrix} 136 & 143 & 180 & 135 & 160 & 170 & 161 & 168 & 174 & 166 \\ 150 & 161 & 174 & 145 & 137 & 157 & 161 & 145 & 159 & 155 \\ 158 & 164 & 154 & 178 & 165 & 161 & 157 & 137 & 144 & 162 \\ 144 & 153 & 173 & 156 & 164 & 150 & 183 & 162 & 170 & 163 \\ 170 & 167 & 156 & 171 & 162 & 162 & 140 & 143 & 136 & 129 \\ 160 & 178 & 153 & 162 & 163 & 126 & 135 & 129 & 146 & 132 \\ 145 & 171 & 146 & 125 & 153 & 181 & 176 & 144 & 155 & 144 \\ 170 & 150 & 156 & 137 & 156 & 152 & 158 & 168 & 171 & 172 \\ 161 & 171 & 158 & 165 & 171 & 181 & 166 & 161 & 167 & 161 \\ 166 & 154 & 154 & 173 & 158 & 130 & 177 & 172 & 164 & 164 \end{pmatrix} +$$

Максимальное значение показателя

$$v_{\max} := \max(v) \quad v_{\max} = 183 \quad \text{мм}$$

Минимальное значение показателя

$$v_{\min} := \min(v) \quad v_{\min} = 125 \quad \text{мм}$$

Размах варьирования результатов измерения равен

$$d := v_{\max} - v_{\min} \quad d = 58 \quad \text{мм}$$

Сгруппируем все полученные значения в k групп. Ориентировочно число групп равно корню квадратному из объема выборки, и оно должно быть не меньше 5, но не более 20.

В данном случае:

$$k := 5 \quad \text{групп}$$

Величину интервала групп определим по соотношению:

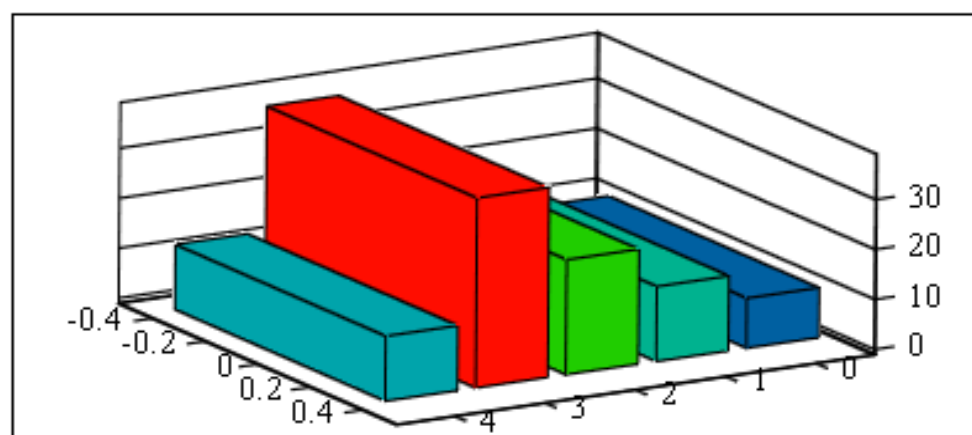
$$h := \frac{d}{k} \quad h = 11.6 \quad \text{мм}$$

Частота попадания признака в заданный интервал

$$\begin{aligned} n_j &:= \text{cols}(v) & n_j &= 10 & x_c &:= \text{mean}(v) & x_c &= 157.59 \\ n_i &:= \text{rows}(v) & n_i &= 10 & i &:= 0..k \end{aligned}$$

$$X_i := v_{\min} + h \cdot i \quad X = \begin{pmatrix} 125 \\ 136.6 \\ 148.2 \\ 159.8 \\ 171.4 \\ 183 \end{pmatrix} := \text{hist}(X, v) \quad f = \begin{pmatrix} 10 \\ 15 \\ 23 \\ 38 \\ 13 \end{pmatrix}$$

По полученным данным строится гистограмма и полигон эмпирического распределения (рисунок 1 и 2)



f

Рисунок 1 - Гистограмма эмпирического распределения

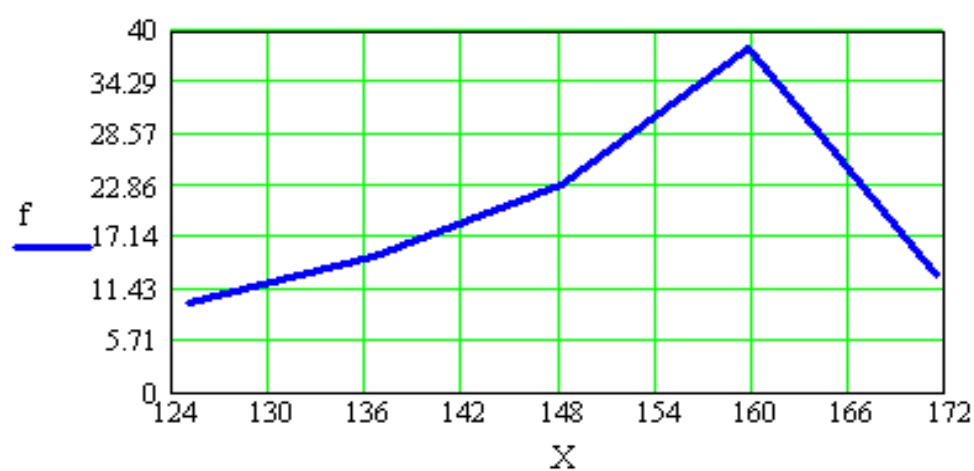


Рисунок 2 - Полигон эмпирического распределения

Листинг программы

Гистограмма распределения измерений массы початка гибрида кукурузы РОСС 149 МБ

100 измерений масса початка. Исходные данные заносятся в матрицу (V).

100 измерений масса початка, (гр)

$$v := \begin{pmatrix} 222 & 263 & 234 & 216 & 220 & 240 & 192 & 240 & 274 & 213 \\ 250 & 232 & 238 & 208 & 228 & 264 & 265 & 233 & 239 & 257 \\ 220 & 250 & 220 & 247 & 218 & 271 & 290 & 202 & 215 & 210 \\ 251 & 264 & 253 & 223 & 241 & 250 & 254 & 247 & 256 & 310 \\ 262 & 203 & 208 & 204 & 257 & 220 & 264 & 244 & 220 & 268 \\ 249 & 218 & 236 & 276 & 274 & 198 & 194 & 216 & 238 & 238 \\ 187 & 229 & 208 & 213 & 240 & 289 & 283 & 283 & 254 & 244 \\ 288 & 264 & 275 & 300 & 242 & 265 & 202 & 219 & 263 & 320 \\ 271 & 260 & 276 & 257 & 286 & 282 & 274 & 278 & 238 & 238 \\ 203 & 218 & 254 & 254 & 236 & 283 & 248 & 303 & 350 & 262 \end{pmatrix}$$

Максимальное значение показателя

$$v_{\max} := \max(v) \quad v_{\max} = 350 \quad \text{гр}$$

Минимальное значение показателя

$$v_{\min} := \min(v) \quad v_{\min} = 187 \quad \text{гр}$$

Размах варьирования результатов измерения равен

$$d := v_{\max} - v_{\min} \quad d = 163 \quad \text{гр}$$

Сгруппируем все полученные значения в k групп. Ориентировочно число групп равно корню квадратному из объема выборки, и оно должно быть не меньше 5, но не более 20.

В данном случае:

$$k := 8 \quad \text{групп}$$

Величину интервала групп определим по соотношению:

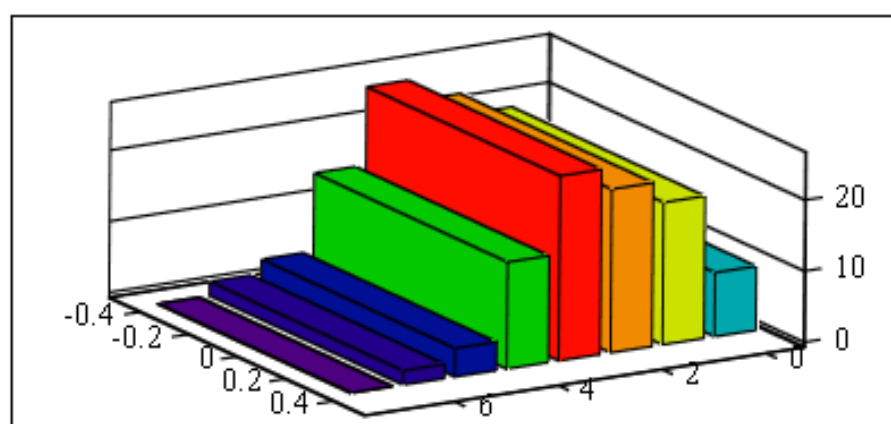
$$h := \frac{d}{k} \quad h = 20.375 \quad \boxed{\text{гр}}$$

Частота попадания признака в заданный интервал

$$\begin{aligned} n_j &:= \text{cols}(v) & n_j &= 10 & x_c &:= \text{mean}(v) & x_c &= 246.46 \\ m_i &:= \text{rows}(v) & m_i &= 10 & i &:= 0..k \end{aligned}$$

$$X_i := v_{\min} + h \cdot i \quad X = \begin{pmatrix} 187 \\ 207.375 \\ 227.75 \\ 248.125 \\ 268.5 \\ 288.875 \\ 309.25 \\ 329.625 \\ 350 \end{pmatrix} \quad f := \text{hist}(X, v) \quad f = \begin{pmatrix} 9 \\ 20 \\ 23 \\ 26 \\ 15 \\ 4 \\ 2 \\ 0 \end{pmatrix}$$

По полученным данным строится гистограмма и полигон эмпирического распределения (рисунок 1 и 2)



f

Рисунок 1 - Гистограмма эмпирического распределения

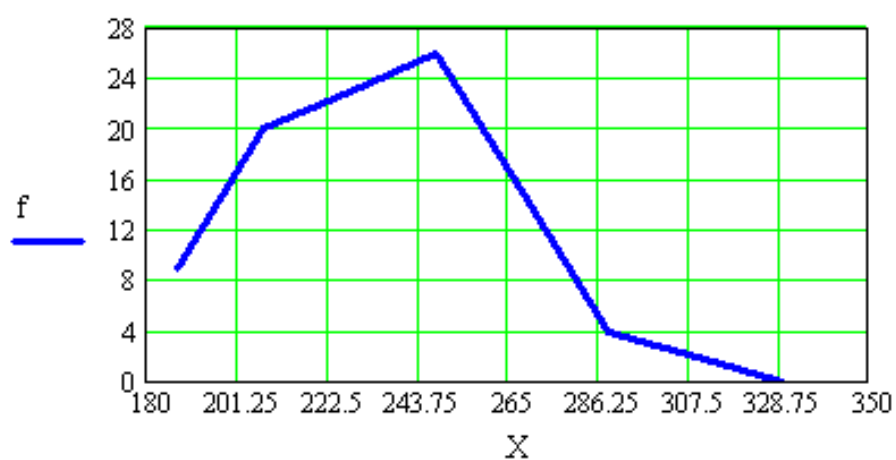


Рисунок 2 - Полигон эмпирического распределения

Расчет интеграла +

$$i := 1.25$$

$$a := 68.81$$

$$b := -0.142$$

$$bb := \int_0^i a \cdot e^{b \cdot t^2} dt \quad bb = 80.053$$

$$n := \frac{bb \cdot 30}{\pi} \quad n = 764.451$$

$$v = \begin{bmatrix} 19143752 \\ 861975 \\ 4009266 \\ 25257.2 \\ 5293.5 \\ 33.38 \end{bmatrix} \quad M = \begin{bmatrix} 2430483200000 & 101746800000 & 489465600000 & 3263104000 & 658560000 & 4390400 \\ 101746800000 & 4783860000 & 21778200000 & 137196000 & 29430000 & 185400 \\ 489465600000 & 21778200000 & 101746800000 & 658560000 & 137196000 & 888000 \\ 3263104000 & 137196000 & 658560000 & 4390400 & 888000 & 5920 \\ 658560000 & 29430000 & 137196000 & 888000 & 185400 & 1200 \\ 4390400 & 185400 & 888000 & 5920 & 1200 & 8 \end{bmatrix}$$

$$x = M^{-1} \cdot v \quad x = \begin{bmatrix} 0.0009890625 \\ 0.0025972222 \\ 0.00150625 \\ 1.6318333334 \\ 1.8407361111 \\ 717.6577083614 \end{bmatrix}$$

$$D0 = x_6 \quad D1 = x_5 \quad D2 = x_4 \quad D12 = x_3 \quad D11 = x_2 \quad D22 = x_1$$

Действительные коэффициенты уравнения вида:
 $y = D0 + D1 \cdot X1 + D2 \cdot X2 + D12 \cdot X1 \cdot X2 + D11 \cdot X1^2 + D22 \cdot X2^2$

$$\begin{aligned} D0 &= 717.658 & D1 &= -1.841 & D2 &= -1.632 & D12 &= 1.506 \cdot 10^{-3} \\ D11 &= 2.597 \cdot 10^{-3} & D22 &= 9.891 \cdot 10^{-4} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} j &= 1..n \\ yp1_j &= D0 + D1 \cdot X1_j + D2 \cdot X2_j \\ yp2_j &= D12 \cdot X1_j \cdot X2_j \\ yp3_j &= D11 \cdot X1_j^2 + D22 \cdot X2_j^2 \\ yp &= yp1 + yp2 + yp3 \\ dy &= y - yp \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X1 &= \begin{bmatrix} 180 \\ 120 \\ 180 \\ 120 \\ 180 \\ 120 \\ 150 \\ 150 \end{bmatrix} & X2 &= \begin{bmatrix} 780 \\ 780 \\ 700 \\ 700 \\ 740 \\ 740 \\ 780 \\ 700 \end{bmatrix} & y &= \begin{bmatrix} 10.87 \\ 4.07 \\ 2.62 \\ 3.05 \\ 5.16 \\ 1.98 \\ 5.13 \\ 0.5 \end{bmatrix} & yp &= \begin{bmatrix} 10.868 \\ 4.07 \\ 2.62 \\ 3.052 \\ 5.162 \\ 1.978 \\ 5.132 \\ 0.498 \end{bmatrix} & dy &= \begin{bmatrix} 1.667 \cdot 10^{-3} \\ 2.484 \cdot 10^{-10} \\ 7.276 \cdot 10^{-11} \\ -1.667 \cdot 10^{-3} \\ 1.667 \cdot 10^{-3} \\ 1.667 \cdot 10^{-3} \\ -1.667 \cdot 10^{-3} \\ 1.667 \cdot 10^{-3} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Листинг программы

Переход МНК-2 (действительные) - план Bk 2-х факторный

Дополнительно 5 опытов плана - n0

Всего опытов

n0 = 5

f1 = n0 - 1

f1 = 4

k0 = 8

$$y = \begin{bmatrix} 1.21 \\ 1.04 \\ 1.91 \\ 0.96 \\ 1.05 \end{bmatrix}$$

Среднее значение и дисперсия плана

```
ys =
s = 0
j = 0
while n0 - 1 > j
    s = s + yj
    n0
    j = j + 1
end
s
```

ys = 1.234

```
s2y =
s = 0
j = 0
while n0 - 1 > j
    s = s + (yj - ys)^2
    n0
    j = j + 1
end
s
```

s2y = 0.120824

sy = $\sqrt{s2y}$

sy = 0.348

При $\alpha=0,05$ и $f1=4$

t = 2.78

Действительные коэффициенты уравнения вида полученные МНК:

$$y = D0 + D1 \cdot X1 + D2 \cdot X2 + D12 \cdot X1 \cdot X2 + D11 \cdot X1^2 + D22 \cdot X2^2$$

D0 = 717.658

D1 = -1.841

D2 = -1.632

D12 = $1.506 \cdot 10^{-3}$ D11 = $2.597 \cdot 10^{-3}$ D22 = $9.891 \cdot 10^{-4}$

Центр плана и размах варьирования факторов

X10 = 150

X20 = 740

d1 = 30

d2 = 40

Уравнения перевода

$$X1 = x1 \cdot d1 - X10$$

$$X2 = x2 \cdot d2 - X20$$

$$b12 = D12 \cdot d1 \cdot d2$$

$$b22 = D22 \cdot d2 \cdot d2$$

$$b11 = D11 \cdot d1 \cdot d1$$

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

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

$$b01 = D0 = D1 \cdot X10 + D2 \cdot X20 - D12 \cdot X10 \cdot X20$$

$$b02 = D11 \cdot X10 \cdot X10 + D22 \cdot X20 \cdot X20$$

$$b0 = b01 + b02$$

Нормализованные коэффициенты уравнения

$$b0 = 1.058$$

$$b1 = 1.576$$

$$b2 = 2.311$$

$$b12 = 1.807$$

$$b11 = 2.337$$

$$b22 = 1.583$$

Вспомогательные константы

$$c7 = 0.63738$$

$$c8 = 0.162$$

$$c9 = 0.10353$$

$$c10 = 0.63742$$

Расчет доверительных интервалов

$$sb0 = c7 \cdot sy$$

$$sb0 = 0.222$$

$$sbi = c8 \cdot sy$$

$$sbi = 0.056$$

$$sbij = c9 \cdot sy$$

$$sbij = 0.036$$

$$sbii = c10 \cdot sy$$

$$sbii = 0.222$$

$$db0 = sb0 \cdot t$$

$$db0 = 0.616$$

$$dbi = sbi \cdot t$$

$$dbi = 0.157$$

$$dbij = sbij \cdot t$$

$$dbij = 0.1$$

$$dbii = sbii \cdot t$$

$$dbii = 0.616$$

Проверка значимости коэффициентов

$$b0 = \begin{cases} 0 & \text{if } |b0| < db0 \\ b0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$b1 = \begin{cases} 0 & \text{if } |b1| < dbi \\ b1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$b2 = \begin{cases} 0 & \text{if } |b2| < dbi \\ b2 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$b12 = \begin{cases} 0 & \text{if } b12 < db1j \\ b12 & \text{otherwise} \end{cases} \quad b11 = \begin{cases} 0 & \text{if } b11 < db1j \\ b11 & \text{otherwise} \end{cases} \quad b22 = \begin{cases} 0 & \text{if } b22 < db1j \\ b22 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Коэффициенты после проверки на значимость

$$b0 = 1.058 \quad b1 = 1.576 \quad b2 = 2.311$$

$$b12 = 1.807$$

$$b11 = 2.337 \quad b22 = 1.583$$

Определение числа степеней свободы

$$k1 = 0 \quad k1 = \begin{cases} k1 + 1 & \text{if } b0=0 \\ k1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad k1 = \begin{cases} k1 + 1 & \text{if } b1=0 \\ k1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad k1 = \begin{cases} k1 + 1 & \text{if } b2=0 \\ k1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$k1 = \begin{cases} k1 + 1 & \text{if } b12=0 \\ k1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad k1 = \begin{cases} k1 + 1 & \text{if } b11=0 \\ k1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad k1 = \begin{cases} k1 + 1 & \text{if } b22=0 \\ k1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$k1 = 0 \quad f2 = k0 - k1 - 1 \quad f2 = 7$$

$$ft = \begin{cases} 6.00 & \text{if } f2=9 \\ 5.96 & \text{if } f2=10 \\ 5.93 & \text{if } f2=11 \\ 5.91 & \text{if } f2=12 \\ 5.89 & \text{if } f2=13 \\ 5.87 & \text{if } f2=14 \\ 6.04 & \text{if } f2=8 \\ 6.09 & \text{if } f2=7 \\ 6.26 & \text{if } f2=6 \end{cases}$$

$$ft = 6.09$$

При значимости $\alpha=0,05$

$$zp = 1$$

Матрица плана

Отклик

$$x1 = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 1 \\ -1 \\ 1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$x2 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ -1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ -1 \end{bmatrix}$$

$$y = \begin{bmatrix} 10.87 \\ 4.07 \\ 2.62 \\ 3.05 \\ 5.16 \\ 1.98 \\ 5.13 \\ 0.50 \end{bmatrix}$$

$z = 0$ $c = 0$ $v = 0$ $a = 0$

```

ssn = s = 0
j = 0
while k0 = 1 > j
    z = z + b0 + b1·x1j + b2·x2j
    c = c + b12·x1j·x2j
    v = v + b11·x1j·x1j + b22·x2j·x2j
    a = a + z + c + v
    s = s + (yj - a)2
    j = j + 1
s

```

$ssn = 0.247$ $s2n = \frac{ssn}{t2}$ $fr = \frac{s2n}{s2y}$ $t2 = 7$ $t1 = 4$

Проверка на адекватность $fr < ft$

$s2n = 0.035$ $s2y = 0.121$ $fr = 0.291$ $ft = 6.09$

$b0 = 1.058$ $ys = 1.234$

Коэффициенты уравнения регрессии в нормализованном виде

$b0 = 1.058$ $b1 = 1.576$ $b2 = 2.311$

$b12 = 1.807$

$b11 = 2.337$ $b22 = 1.583$

Уравнения вида: $y = \beta_0 + \sum_{1 \leq i \leq k} \beta_i x_i + \sum_{1 \leq i \leq j \leq k} \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{1 \leq i \leq k} \beta_{ii} x_i^2$

"Каноническое преобразование Вк-2"

$$b_0 = 1.058 \quad b_1 = 1.576 \quad b_2 = 2.311$$

$$b_{12} = 1.807$$

$$b_{11} = 2.337 \quad b_{22} = 1.583$$

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

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

$$M = \begin{bmatrix} 2 \cdot b_{11} & b_{12} \\ b_{12} & 2 \cdot b_{22} \end{bmatrix} \quad v = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} \quad x = M^{-1} \cdot v \quad x = \begin{bmatrix} 0.07055 \\ 0.68968 \end{bmatrix}$$

$$x_1 = x_0 \quad x_2 = x_1$$

$$f_1(x_1, x_2) = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2$$

$$f(x_1, x_2) = f_1(x_1, x_2) + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{22} \cdot x_2^2 \quad Ys = f(x_1, x_2)$$

$$b = \begin{cases} \frac{b_{12}}{b_{11} - b_{22}} & \text{if } b_{12} \neq 0 \\ \frac{b_{11} - b_{22}}{b_{12}} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \alpha = \begin{cases} \frac{\arctan(b)}{2} & \text{if } b_{12} \neq 0 \\ 45^\circ & \text{if } b_{11} = b_{22} \\ \frac{\arctan\left(\frac{1}{b}\right)}{2} & \text{if } b = 0 \end{cases}$$

$$E = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A = \begin{bmatrix} b_{11} & \frac{b_{12}}{2} \\ \frac{b_{12}}{2} & b_{22} \end{bmatrix} \quad \alpha = \alpha \cdot \frac{180}{\pi}$$

$$B^2 = B \cdot (b_{11} + b_{22}) + \left[b_{11} \cdot b_{22} - \left(\frac{b_{12}}{2} \right)^2 \right] = 0$$

$$C = \text{eigenvals}(A) \quad C = \begin{bmatrix} 2.939 \\ 0.981 \end{bmatrix} \quad B_{11} = C_0 \quad B_{22} = C_1$$

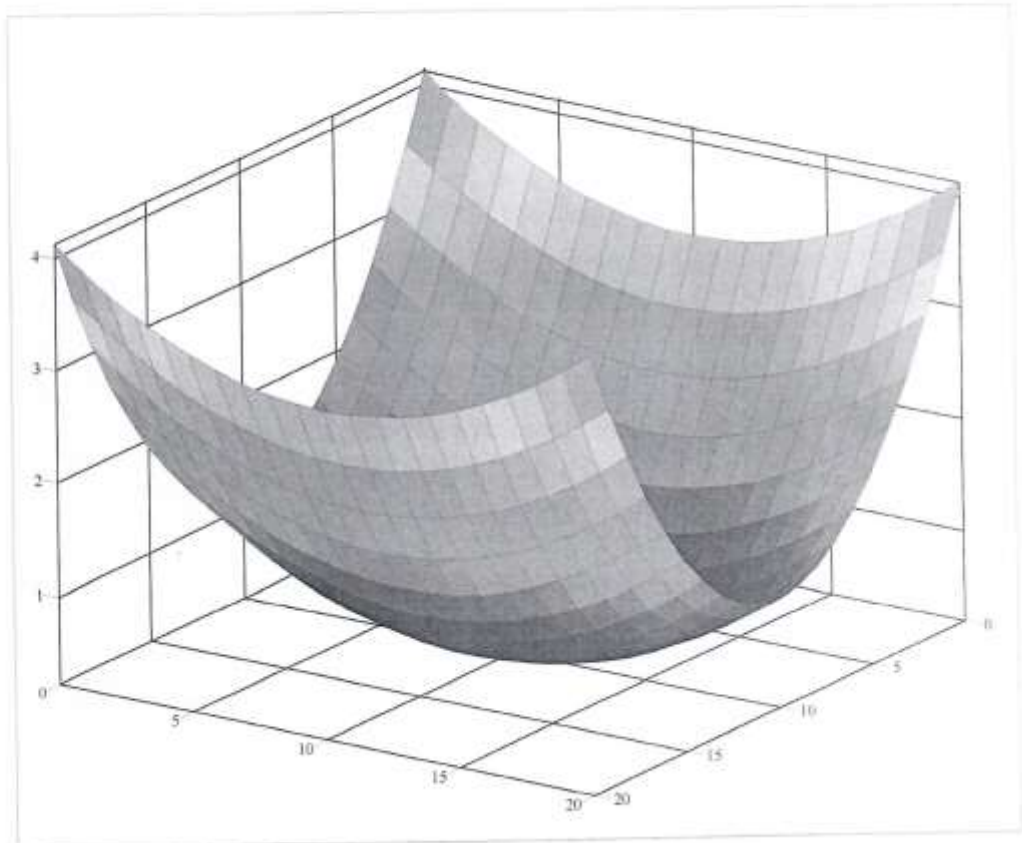
$$\begin{array}{llll}
 Y_s = 0.20549 & B_{11} = 2.939 & B_{22} = 0.981 & \alpha = 33.67544 \\
 x_1 = -0.07055 & x_2 = 0.68968 & & \\
 J_1 = b_{11} + b_{22} & J_2 = B_{11} + B_{22} & J_1 = 3.92 & J_2 = 3.92
 \end{array}$$

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

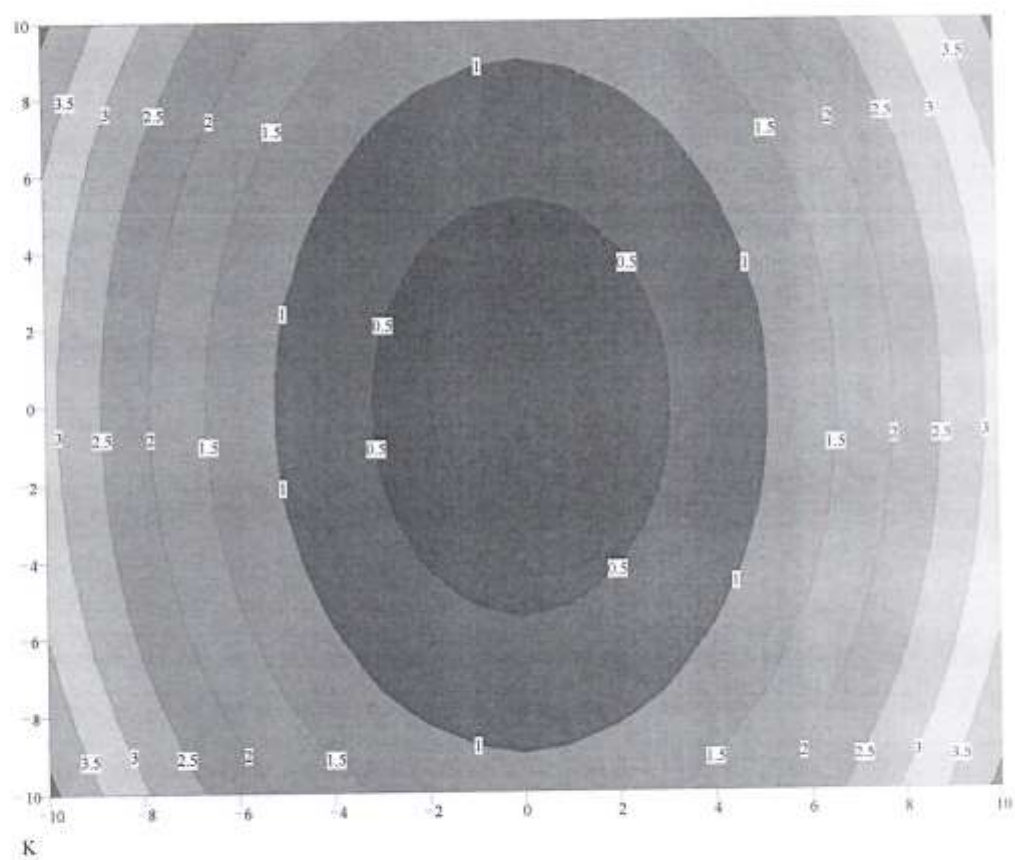
$$\frac{\frac{X_1^2}{Y - Y_s}}{B_1} + \frac{\frac{X_2^2}{Y - Y_s}}{B_2} = 1$$

$$kk = 20 \quad X_1 = 0..kk \quad X_2 = 0..kk \quad X_{11}(X_1) = 1 + 0.1 \cdot X_1 \quad X_{22}(X_2) = 1 + 0.1 \cdot X_2$$

$$z(X_{11}, X_{22}) = Y_s + B_{11} \cdot X_{11}(X_1) \cdot X_{11}(X_1) + B_{22} \cdot X_{22}(X_2) \cdot X_{22}(X_2) \quad K_{X_1, X_2} = z(X_{11}, X_{22})$$



K



Листинг программы

Переход МНК-2 (действительные) - план Bk 2-х факторный

Дополнительно 5 опытов плана - n0

Всего опытов

$$n0 = 5$$

$$f1 = n0 - 1$$

$$f1 = 4$$

$$k0 = 8$$

$$y = \begin{bmatrix} 2.13 \\ 2.14 \\ 2.12 \\ 2.13 \\ 2.12 \end{bmatrix}$$

Среднее значение и дисперсия плана

$$ys = \begin{bmatrix} s = 0 \\ j = 0 \\ \text{while } n0 - 1 \geq j \\ \quad s = s + \frac{y_j}{n0} \\ \quad j = j + 1 \\ s \end{bmatrix}$$

$$ys = 2.128$$

$$s2y = \begin{bmatrix} s = 0 \\ j = 0 \\ \text{while } n0 - 1 \geq j \\ \quad s = s + \frac{(y_j - ys)^2}{n0} \\ \quad j = j + 1 \\ s \end{bmatrix}$$

$$s2y = 5.6 \cdot 10^{-5}$$

$$sy = \sqrt{s2y}$$

$$sy = 7.483 \cdot 10^{-3}$$

При $\alpha=0.05$ и $f1=4$

$$t = 2.78$$

Действительные коэффициенты уравнения вида полученные МНК:

$$y = D0 + D1 \cdot X1 + D2 \cdot X2 + D12 \cdot X1 \cdot X2 + D11 \cdot X1^2 + D22 \cdot X2^2$$

$$D0 = 918.35$$

$$D1 = -1.852$$

$$D2 = -2.184$$

$$D12 = 1.708 \cdot 10^{-3}$$

$$D11 = 2.156 \cdot 10^{-3}$$

$$D22 = 1.35 \cdot 10^{-3}$$

Центр плана и размах варьирования факторов

$$X10 = 150$$

$$X20 = 740$$

$$d1 = 30$$

$$d2 = 40$$

Уравнения перевода

$$X1 = x1 \cdot d1 + X10$$

$$X2 = x2 \cdot d2 + X20$$

$$b12 = D12 \cdot d1 \cdot d2$$

$$b22 = D22 \cdot d2 \cdot d2$$

$$b11 = D11 \cdot d1 \cdot d1$$

$$b2 = D2 \cdot d2 + 2 \cdot X20 \cdot D22 \cdot d2 + X10 \cdot D12 \cdot d2$$

$$b1 = D1 \cdot d1 + 2 \cdot X10 \cdot D11 \cdot d1 + X20 \cdot D12 \cdot d1$$

$$b01 = D0 + D1 \cdot X10 + D2 \cdot X20 + D12 \cdot X10 \cdot X20$$

$$b02 = D11 \cdot X10 \cdot X10 + D22 \cdot X20 \cdot X20$$

$$b0 = b01 + b02$$

Нормализованные коэффициенты уравнения

$$b0 = 2.127$$

$$b1 = 1.761$$

$$b2 = 2.831$$

$$b12 = 2.051$$

$$b11 = 1.935$$

$$b22 = 2.154$$

Вспомогательные константы

$$c7 = 0.63738$$

$$c8 = 0.162$$

$$c9 = 0.10353$$

$$c10 = 0.63742$$

Расчет доверительных интервалов

$$sb0 = c7 \cdot sy$$

$$sb0 = 4.77 \cdot 10^{-3}$$

$$sbi = c8 \cdot sy$$

$$sbi = 1.212 \cdot 10^{-3}$$

$$sbij = c9 \cdot sy$$

$$sbij = 7.747 \cdot 10^{-4}$$

$$sbii = c10 \cdot sy$$

$$sbii = 4.77 \cdot 10^{-3}$$

$$db0 = sb0 \cdot t$$

$$db0 = 0.013$$

$$dbi = sbi \cdot t$$

$$dbi = 3.37 \cdot 10^{-3}$$

$$dbij = sbij \cdot t$$

$$dbij = 2.154 \cdot 10^{-3}$$

$$dbii = sbii \cdot t$$

$$dbii = 0.013$$

Проверка значимости коэффициентов

$$b0 = \begin{cases} 0 & \text{if } b0 < db0 \\ b0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$b1 = \begin{cases} 0 & \text{if } b1 < dbi \\ b1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$b2 = \begin{cases} 0 & \text{if } b2 < dbi \\ b2 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$b_{12} = \begin{cases} 0 & \text{if } |b_{12}| < db_{ij} \\ b_{12} & \text{otherwise} \end{cases} \quad b_{11} = \begin{cases} 0 & \text{if } |b_{11}| < db_{ii} \\ b_{11} & \text{otherwise} \end{cases} \quad b_{22} = \begin{cases} 0 & \text{if } |b_{22}| < db_{ii} \\ b_{22} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Коэффициенты после проверки на значимость

$$b_0 = 2.127 \quad b_1 = 1.761 \quad b_2 = 2.831$$

$$b_{12} = 2.051$$

$$b_{11} = 1.935 \quad b_{22} = 2.154$$

Определение числа степеней свободы

$$k_1 = 0 \quad k_1 = \begin{cases} k_1 + 1 & \text{if } b_0 = 0 \\ k_1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad k_1 = \begin{cases} k_1 + 1 & \text{if } b_1 = 0 \\ k_1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad k_1 = \begin{cases} k_1 + 1 & \text{if } b_2 = 0 \\ k_1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$k_1 = \begin{cases} k_1 + 1 & \text{if } b_{12} = 0 \\ k_1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad k_1 = \begin{cases} k_1 + 1 & \text{if } b_{11} = 0 \\ k_1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad k_1 = \begin{cases} k_1 + 1 & \text{if } b_{22} = 0 \\ k_1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$k_1 = 0 \quad f_2 = k_0 - k_1 - 1 \quad f_2 = 7$$

$$f_1 = \begin{cases} 6.00 & \text{if } f_2 = 9 \\ 5.96 & \text{if } f_2 = 10 \\ 5.93 & \text{if } f_2 = 11 \\ 5.91 & \text{if } f_2 = 12 \\ 5.89 & \text{if } f_2 = 13 \\ 5.87 & \text{if } f_2 = 14 \\ 6.04 & \text{if } f_2 = 8 \\ 6.09 & \text{if } f_2 = 7 \\ 6.26 & \text{if } f_2 = 6 \end{cases}$$

$$f_1 = 6.09$$

При значимости $\alpha=0.05$

$$z_p = 1$$

Матрица плана

Отклик

$$x_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 1 \\ -1 \\ 1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$x_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ -1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ -1 \end{bmatrix}$$

$$y = \begin{bmatrix} 12.86 \\ 5.24 \\ 3.10 \\ 3.68 \\ 5.82 \\ 2.30 \\ 7.11 \\ 1.45 \end{bmatrix}$$

$$z = 0 \quad c = 0 \quad v = 0 \quad a = 0$$

```

ssn =
s = 0
j = 0
while k0 - 1 > j
    z = z + b0 + b1·x1_j + b2·x2_j
    c = c + b12·x1_j·x2_j
    v = v + b11·x1_j·x1_j + b22·x2_j·x2_j
    a = a + z + c + v
    s = s + (y_j - a)^2
    j = j + 1
s

```

$$ssn = 9 \cdot 10^{-5} \quad s2n = \frac{ssn}{f2} \quad fr = \frac{s2n}{s2y} \quad f2 = 7 \quad f1 = 4$$

Проверка на адекватность $fr < ft$

$$s2n = 1.286 \cdot 10^{-5} \quad s2y = 5.6 \cdot 10^{-5} \quad fr = 0.23 \quad ft = 6.09$$

$$b0 = 2.127 \quad ys = 2.128$$

Коэффициенты уравнения регрессии в нормализованном виде

$$b0 = 2.127 \quad b1 = 1.761 \quad b2 = 2.831$$

$$b12 = 2.051$$

$$b11 = 1.935 \quad b22 = 2.154$$

Уравнения вида:
$$y = \beta_0 + \sum_{1 \leq i \leq k} \beta_i x_i + \sum_{1 \leq i \leq j \leq k} \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{1 \leq i \leq k} \beta_{ii} x_i^2$$

"Каноническое преобразование Вк-2"

$$b0 = 2.127 \quad b1 = 1.761 \quad b2 = 2.831$$

$$b12 = 2.051$$

$$b11 = 1.935 \quad b22 = 2.154$$

$$2 \cdot b11 \cdot x1 + b12 \cdot x2 = b1$$

$$b12 \cdot x1 + 2 \cdot b22 \cdot x2 = b2$$

$$M = \begin{bmatrix} 2 \cdot b11 & b12 \\ b12 & 2 \cdot b22 \end{bmatrix} \quad v = \begin{bmatrix} b1 \\ b2 \end{bmatrix} \quad x = M^{-1} \cdot v \quad x = \begin{bmatrix} 0.1428 \\ 0.58917 \end{bmatrix}$$

$$x1 = x_0 \quad x2 = x_1$$

$$f1(x1, x2) = b0 + b1 \cdot x1 + b2 \cdot x2 + b12 \cdot x1 \cdot x2$$

$$f(x1, x2) = f1(x1, x2) + b11 \cdot x1^2 + b22 \cdot x2^2 \quad Ys = f(x1, x2)$$

$$b = \begin{cases} \frac{b12}{b11 - b22} & \text{if } b12 \neq 0 \\ \frac{b11 - b22}{b12} & \text{otherwise} \end{cases} \quad a = \begin{cases} \frac{\text{atan}(b)}{2} & \text{if } b12 \neq 0 \\ \frac{45 \cdot \pi}{180} & \text{if } b11 = b22 \\ \frac{\text{atan}\left(\frac{1}{b}\right)}{2} & \text{if } b \neq 0 \end{cases}$$

$$E = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A = \begin{bmatrix} b11 & \frac{b12}{2} \\ \frac{b12}{2} & b22 \end{bmatrix} \quad a = a \cdot \frac{180}{\pi}$$

$$B^2 = B \cdot (b11 + b22) + \left[b11 \cdot b22 - \left(\frac{b12}{2} \right)^2 \right] = 0$$

$$C = \text{eigenvals}(A) \quad C = \begin{bmatrix} 1.01317 \\ 3.07583 \end{bmatrix} \quad B11 = C_0 \quad B22 = C_1$$

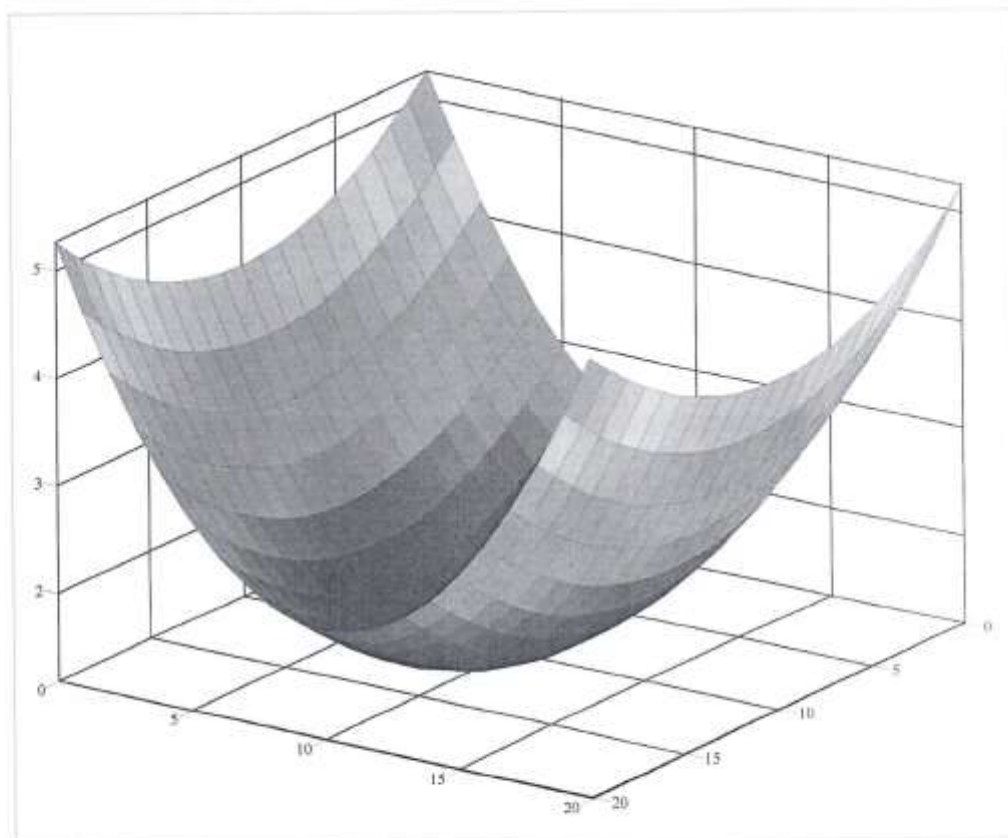
$$\begin{array}{llll}
 Y_s = 1.1673 & B_{11} = 1.01317 & B_{22} = 3.07583 & a = -41.95261 \\
 x_1 = -0.1428 & x_2 = -0.58917 & & \\
 J_1 = b_{11} - b_{22} & J_2 = B_{11} - B_{22} & J_1 = 4.089 & J_2 = 4.089
 \end{array}$$

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

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

$$kk \geq 20 \quad X_1 = 0..kk \quad X_2 = 0..kk \quad X_{11}(X_1) = 1 + 0.1 \cdot X_1 \quad X_{22}(X_2) = 1 + 0.1 \cdot X_2$$

$$z(X_{11}, X_{22}) = Y_s + B_{11} \cdot X_{11}(X_1) \cdot X_{11}(X_1) + B_{22} \cdot X_{22}(X_2) \cdot X_{22}(X_2) \quad K_{X_1, X_2} = z(X_{11}, X_{22})$$



К

