

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «БЕЛГОРОДСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. В.Я.ГОРИНА»

На правах рукописи



**БАХАРЕВ ДМИТРИЙ НИКОЛАЕВИЧ**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ  
ОБРАБОТКИ ПОЧАТКОВ СЕМЕННОЙ КУКУРУЗЫ НА ОСНОВЕ  
ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПОЭТАПНОГО ОБМОЛОТА**

Специальность: 05.20.01 - Технологии и средства  
механизации сельского хозяйства

ДИССЕРТАЦИЯ  
на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Научный консультант:  
доктор технических наук,  
профессор  
Пастухов Александр Геннадиевич

Белгород - 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	11
ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ОБМОЛОТА ПОЧАТКОВ СЕМЕННОЙ КУКУРУЗЫ. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	24
1.1 Белгородская область в структуре валового сбора зерна кукурузы России.....	24
1.2 Система научно-технического сопровождения семеноводства кукурузы в Белгородской области.....	27
1.3 Анализ современных технологий обработки початков и зерна кукурузы.....	29
1.4 Анализ общих принципов функционирования кукурузоуборочной и кукурузоперерабатывающей техники.....	36
1.4.1 Общие принципы функционирования машин для уборки растительной массы кукурузы или зерна прямым комбайнированием.....	36
1.4.2 Общие принципы функционирования машин для уборки кукурузы в початках.....	40
1.5 Систематизация и концепция обобщения существующих теорий обмолота початков кукурузы...	43
1.6 Анализ и систематизация исследований перспективных конструкций молотильно-сепарирующих устройств.....	48
1.6.1 Системный анализ устройств, способных ориентировать початки кукурузы в пространстве.....	48

1.6.2	Анализ принципов дифференцирования обмолачивающих сил в аксиально-роторных молотильно-сепарирующих устройствах для кукурузы.....	54
1.6.3	Аналитические исследования конструктивных особенностей части деки, выполняющей функцию разделения зерностержневой смеси в молотильно-сепарирующих устройствах.....	61
1.7	Нерешенные вопросы изучаемой проблемы.....	64
1.8	Перспективы развития технологий и технических средств для уборки и обмолота початков кукурузы на зерно.....	65
1.8.1	Потенциал повышения эффективности обмолота початков семенной кукурузы.....	65
1.8.2	Перспективы развития технических средств для обмолота початков семенной кукурузы.....	67
1.9	Выводы и задачи исследований.....	68
ГЛАВА 2	ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧАТКОВ И ЗЕРНА КУКУРУЗЫ РАЗЛИЧНЫХ ПОДВИДОВ.....	71
2.1	Зерно кукурузы как биологическая система функционально связанных органов.....	72
2.2	Методика экспериментальных исследований механико-технологических характеристик початков кукурузы различных подвидов и продуктов их обмолота.....	76
2.2.1	Методика экспериментальных исследований фрикционных свойств початков кукурузы различных подвидов и продуктов их обмолота.....	76

2.2.1.1	Методика экспериментальных исследований угла естественного откоса зерна кукурузы, обмолоченных стержней початков, необмолоченных початков в листовой обёртке и очищенных от обёртки.....	76
2.2.1.2	Методика экспериментальных исследований статического коэффициента трения початков кукурузы и продуктов их обмолота.....	80
2.2.1.3	Методика экспериментальных исследований динамического коэффициента трения скольжения початков кукурузы и продуктов их обмолота.....	82
2.2.2	Методика аналитико-экспериментальных исследований размерных характеристик початков различных подвидов.....	83
2.2.3	Методика экспериментальных исследований коэффициента Пуассона для материала защитной плодовой оболочки зерна кукурузы.....	84
2.2.4	Методика экспериментальных исследований модуля Юнга для материала защитной плодовой оболочки зерна кукурузы различных подвидов.....	86
2.2.5	Методика экспериментальных исследований прочности крепления зерна со стержнем в области носка, середины и комля початков различных подвидов кукурузы.....	89
2.3	Результаты экспериментальных исследований механико-технологических свойств початков кукурузы.....	91
2.3.1	Результаты экспериментальных исследований фрикционных свойств початков кукурузы различных подвидов и продуктов их обмолота .....	91

2.3.1.1	Результаты экспериментальных исследований угла естественного откоса зерна кукурузы, обмолоченных стержней початков, необмолоченных початков в листовой обёртке и очищенных от обёртки.....	91
2.3.1.2	Результаты экспериментальных исследований статического коэффициента трения початков кукурузы и продуктов их обмолота.....	93
2.3.1.3	Результаты экспериментальных исследований динамического коэффициента трения скольжения початков кукурузы и продуктов их обмолота.....	95
2.3.2	Результаты аналитико-экспериментальных исследований размерных характеристик початков кукурузы различных подвидов.....	96
2.3.3	Результаты экспериментальных исследований коэффициента Пуассона для материала защитной плодовой оболочки зерна кукурузы.....	99
2.3.4	Результаты экспериментальных исследований модуля Юнга для материала защитной плодовой оболочки зерна кукурузы различных подвидов.....	101
2.3.5	Результаты экспериментальных исследований усилия, необходимого для разрыва зерновой ножки в области носка, середины и комля початков различных подвидов кукурузы.....	104
2.4	Выводы.....	106

ГЛАВА 3	ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ	ОБОСНОВАНИЕ	
	ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ И КОМПЛЕКТА		
	ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПОЭТАПНОГО		
	ОБМОЛОТА ПОЧАТКОВ СЕМЕННОЙ КУКУРУЗЫ..		108

3.1	Обоснование технологических решений для щадящей безотходной заводской обработки початков и зерна семенной кукурузы .....	108
3.2	Технологическая взаимосвязь комплекта технических средств для поэтапного обмолота с другими комплектами оборудования в технологической схеме обработки початков семенной кукурузы.....	118
3.3	Логическая интерпретация процесса обмолота как системы поэтапно выполняемых операций. Постановка решаемой научной проблемы.....	130
3.4	Концептуальное обоснование параметров технических средств для первичного этапа обмолота с элементами вероятностного описания процесса ориентирования початков кукурузы в пространстве перед их подачей в МСУ.....	138
3.5	Перспективы дальнейших теоретических исследований по ориентированию початков кукурузы в пространстве.....	148
3.6	Конструкторско-аналитическое обоснование схемы соединения оборудования для ориентирования в пространстве и поэтапного обмолота початков семенной кукурузы в единый комплект .....	149
3.7	Бионическое обоснование конструктивных особенностей эффективных шипов МСУ.....	158
3.8	Математическое моделирование области контакта фасонного шипа МСУ и зерна кукурузы в процессе обмолота.....	171

3.9	Аналитическое обоснование кривизны контура внешней поверхности эффективных шипов МСУ.....	177
3.10	Исходные допущения для разработки математических моделей производительности МСУ и затрат мощности на поэтапный обмолот .....	183
3.11	Теоретическое исследование энергоемкости процесса поэтапного обмолота початков семенной кукурузы.....	192
3.12	Перспективы дальнейших теоретических исследований процесса поэтапного обмолота початков кукурузы.....	209
3.13	Выводы.....	210
ГЛАВА 4	<b>ПРОГРАММА И МЕТОДОЛОГИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....</b>	<b>213</b>
4.1	Программа экспериментальных исследований.....	213
4.2	Описание экспериментального оборудования.....	216
4.3	Методология проведения лабораторных экспериментов.....	222
4.3.1	Методика проведения поисковых однофакторных экспериментов .....	222
4.3.1.1	Методика экспериментального обоснования толщины резиновой подошвы пневмоподушек аксиально-роторного молотильно-сепарирующего устройства с пневмоадаптивной декой.....	222
4.3.1.2	Методика экспериментального определения рациональных значений факторов подачи початков на обмолот и частоты вращения ротора, а также их корректировки по качественным показателям обмолота.....	224

4.3.1.3	Методика экспериментального определения количества просыпавшегося обмолоченного зерна через прорези деки в каждой зоне обмолота .....	227
4.3.1.4	Методика экспериментального определения рационального количества шипов в зоне основного обмолота.....	228
4.3.2	Методика проведения лабораторных многофакторных экспериментов .....	230
4.4	Методика определения показателя всхожести обмолоченного зерна .....	235
4.5	Выводы .....	236
ГЛАВА 5	РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	238
5.1	Результаты проведения лабораторных экспериментов.....	238
5.1.1	Результаты проведения поисковых однофакторных экспериментов.....	238
5.1.1.1	Результаты экспериментального обоснования толщины резиновой подошвы пневмоподушек аксиально-роторного МСУ с пневмоадаптивной декой.....	238
5.1.1.2	Результаты экспериментального определения рациональных значений факторов подачи початков на обмолот и частоты вращения ротора, а также их корректировка по качественным показателям обмолота .....	240
5.1.1.3	Результаты экспериментального определения количества просыпавшегося обмолоченного зерна через прорези деки в каждой зоне обмолота .....	248



5.1.1.4	Результаты экспериментального определения рационального количества шипов в зоне основного обмолота.....	250
5.1.2	Результаты проведения лабораторных многофакторных экспериментов .....	253
5.2	Результаты производственных исследований новых технологических и технических решений, выраженных показателем всхожести и энергии прорастания семенного зерна, и расчет итогового уровня ресурсосбережения.....	268
5.3	Выводы.....	270
ГЛАВА 6	ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ И КОМПЛЕКТА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПОЭТАПНОГО ОБМОЛОТА ПОЧАТКОВ СЕМЕННОЙ КУКУРУЗЫ.....	273
6.1	Предложения производству по технологическим решениям обработки початков семенной кукурузы с минимальным макро- и микроповреждением зерна.....	273
6.2	Предложения производству по техническим решениям поэтапного обмолота початков семенной кукурузы .....	279
6.3	Технико-экономический анализ комплекта технических средств для поэтапного обмолота початков семенной кукурузы .....	289
6.4	Технико-экономическое обоснование предложенных технологических решений по обработке початков и зерна семенной кукурузы.....	293

6.5	Рекомендации к методике проектирования и инженерного расчета комплектов технических средств для поэтапного обмолота початков семенной кукурузы.....	296
6.6	Перспективы дальнейших исследований.....	306
6.7	Выводы .....	307
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	308
	СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ .....	312
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	313
	ПРИЛОЖЕНИЯ.....	350

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** Кукуруза по праву зовется царицей полей, поскольку является уникальной зерновой культурой, из которой изготавливают более 500 различных продуктов [1]. Зерно кукурузы используется для производства муки, крупы, крахмала, патоки, сахара, масла, спирта, биоэтанола и т. д. [2, 3]. Зерно кукурузы – высокоэнергетический корм для всех видов животных и птиц: 1 кг содержит 1,34 кормовых единиц, тогда как гороха – 1,14; ячменя – 1,13; овса – 1,0; пшеницы – 1,06. [4, 5]. Чтобы повысить продуктивность животных необходимо, чтобы в структуре зерновой части комбикормов было не менее 40% зерна кукурузы [6].

Именно в увеличении объемов производства кукурузы, наряду с пшеницей и рисом Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединённых Наций (FAO) видит решение проблемы обеспечения продовольственной безопасности в мире. В этом контексте кукуруза обладает наибольшим потенциалом урожайности. Например, максимальная урожайность пшеницы находится в пределах 98 ц/га, риса - 150 ц/га, а по кукурузе в 2020 году в США Национальная ассоциация производителей кукурузы (NCGA) опубликовала данные о том, что фермер Дэвид Хула из Чарльз-Сити, штат Вирджиния, выращивая гибрид P1197 бренда Pioneer® установил новый мировой рекорд урожайности - 386,6 ц/га.

В России развитие системы производства кукурузы осуществляется в соответствии с Федеральной научно-технической программой развития сельского хозяйства на 2017–2025 гг., которая определяет перечень мероприятий, направленных на создание и применение эффективных сельскохозяйственных технологий, технических средств и практических агротехнических приемов.

Стержень початка кукурузы является очень важным сопутствующим продуктом. На каждую тонну початков кукурузы приходится от 180 до 200 кг стержня, очищенного от зерна. Традиционно стержни початков кукурузы в сельском хозяйстве используют в качестве топлива или грубого целлюлозного

корма для животных [7]. Также дробленые стержни початков кукурузы являются лучшим материалом для подстилки на птицефабриках с напольным содержанием птиц [8].

По данным Экспертно-аналитического центра агробизнеса и Росстата в России осуществляется постоянное увеличение площадей возделывания кукурузы. По итогам 2020 года они составили 2872 тыс. га, что на 10,5% (на 273 тыс. га) больше, чем в 2019 году, за 10 лет - выросли на 90,5% (на 1232,3 тыс. га), по отношению к 2001 году - выросли на 290,5% (на 1929,6 тыс. га) [9].

Растут и валовые сборы зерна кукурузы. В 2020 году, по данным Росстата, валовые сборы кукурузы составили 13475 тыс. тонн. За 10 лет валовые сборы кукурузы выросли на 252,3% (на 9975,3 тыс. тонн), по отношению к 2001 году - на 1623,1% (на 13120,3 тыс. тонн).

В (ТОП 20) на 2020 год, по объемам производства кукурузы и урожайности Белгородская область занимает 5 место (848,9 тыс. тонн, 6,3%) и 76,9 ц/га. Это указывает на высокий потенциал кукурузы в Центральном федеральном округе. Для полноценного освоения данного потенциала сельскохозяйственным производителям необходимы новые научные знания, выраженные в эффективных технологиях, основанных на ресурсосберегающих процессах и высокоэффективной технике.

Производство зерна кукурузы требует использования значительного количества трудовых ресурсов; высоких затрат энергии (энергетических ресурсов); использования больших площадей сельхозугодий (земельных ресурсов); комплекса сложных сельскохозяйственных и перерабатывающих машин (материальных ресурсов). Экономия ресурсов может идти по следующим направлениям [10]:

- **биологическому** – применение генной и клеточной инженерии, а также совершенствование сортов растений;
- **организационному** – эффективная организация труда при соблюдении рациональной и гибкой технологии производства;

- **технологическому** – использование ресурсосберегающих технологий производства, переработки и хранения кукурузы, снижение количества макро- и микроповреждений оболочки, эндосперма и зародыша зерна и т. д.;

- **энергетическому** – оптимизация затрат энергии посредством автоматизации производственных процессов, совершенствования системы контроля и управления производством, использование нетрадиционных источников энергии и т. д.

Проблема ресурсосбережения при производстве зерна кукурузы плотно связана с урожайностью данной культуры. В свою очередь урожайность кукурузы зависит от свойств и состояния почвы, достаточного наличия влаги в почве, а также качества семенного зерна (биологическое и технологическое направление ресурсосбережения).

В технологическом аспекте качество семенного зерна высокопродуктивных гибридов кукурузы определяется количеством макро- и микроповреждений в обмолоченной партии. Своевременно проведенный обмолот с минимальным количеством макро- и микроповреждений зерна не только сохраняет потенциал урожайности, но и повышает стойкость зерна к вредным факторам, возникающим при его транспортировке и хранении. В свою очередь, минимизация макро- и микроповреждений зерна непосредственно связана со значительными трудозатратами, высокой энергоемкостью основных процессов и большой материалоемкостью применяемых технических систем, особенно молотильно-сепарирующих устройств (МСУ).

Зерно кукурузы получает макро- и микроповреждения не только при обмолоте, но и в результате погрузочно-перегрузочных работ, сушки, хранения, сепарации и т. д. Снижение количества механических повреждений зерна при погрузочно-перегрузочных работах и обмолоте семенной кукурузы позволяет получать более высокий урожай с гектара поля, а как следствие, более эффективно использовать земельные, энергетические, трудовые и материальные ресурсы.

Снижение урожайности кукурузы по причине макро- и микроповреждений зерна связано с нарушением естественного процесса развития растения. От жизненной силы растения в целом зависит урожайность кукурузы.

Как и любой живой организм растение кукурузы наиболее уязвимо в начале своего жизненного пути, когда из зерна только начинает формироваться главный корень и появляется зачаток листа. Причём на данном этапе зерно работает как автономная система, отдавая энергию для развития растения и все необходимые питательные вещества из своих органов. Следовательно, от качества зерна зависит не только урожайность кукурузы, но и эффективность развития растения в целом. Качественное семенное зерно кукурузы отличается от некачественного эффективностью работы системы жизнеобеспечения, отвечающей за стартовое развитие растения из зародыша.

Очевидно, что формирование растения из зерна идёт по определённому природному алгоритму и этот алгоритм выполняется без отклонений в случае обеспечения целостности, как отдельных органов зерна, так и зерна в целом.

Весь цикл производства зерна кукурузы начинается с предпосевной обработки семенного материала и заканчивается хранением полученного урожая. Следовательно, прежде чем зерно попадёт в почву и начнёт прорастать, оно будет многократно контактировать с различными машинами и устройствами, которые способны своими рабочими органами нанести зерну различные повреждения, и алгоритм развития растения из такого зерна естественно будет нарушен. Количество и характер повреждений зерна оказывает существенное влияние на урожайность кукурузы, это общеизвестный факт.

Производственный процесс получения урожая зерна кукурузы включает в себя технологический процесс, выполнение операций которого связано с экстремальным механическим воздействием на зерно. Этот технологический процесс называется уборка урожая. В процессе уборки урожая осуществляется обмолот початков. Именно при обмолоте зерно кукурузы получает максимальное количество повреждений. Повреждения зерна негативно сказываются не только на репродуктивных качествах семенной кукурузы, они также снижают

продолжительность его хранения, поскольку через повреждения к его внутренним тканям проникают различные микроорганизмы, активно разрушающие эндосперм и зародыш. Следовательно, минимизация количества макро- и микроповреждений зерна при послеуборочной обработке урожая семенной кукурузы это сложная многоуровневая научная проблема, в которой наиболее значимое место занимает обмолот. Совершенствование обмолота початков семенной кукурузы требует научного обоснования конструктивно-технологических параметров применяемых комплектов технических средств, теоретико-экспериментального определения рациональных режимов работы адаптивных рабочих органов, разработки цифровых систем управления интенсивностью силового воздействия на зерно, системного обоснования технологических решений по минимизации количества макро- и микроповреждений зерна при поэтапном выполнении процессов.

**Степень разработанности темы исследования.** Разработкой механико-технологических основ теории обмолота кукурузы и созданием инновационных МСУ занимались отечественные и зарубежные ученые, которые работали в следующих направлениях:

- разработка барабанно-дековых систем: В.П. Горячкин, И.В. Бумбар, К.В. Шатилов, Б.Д. Козачок, А.П. Орехов, Т.К. Тоганбаев, В.И. Корчагин, Ло-Эр-Чжень, Dainius Steponavičius, Aurelija Kemzūraitė, Valdas Kiniulis, Karolis Zokaitis, Fred J. Skahill [11 - 18];

- разработка дисковых систем: Ю.А. Шекихачев, А.З. Цримов, Л.М. Хажметов, Н.Н. Прихода, А.М. Федюшкин, А.И. Яковлев, С.Н. Бочкарев, И.Ф. Кондратьев, В.П. Олейников, Е.М. Печерский, Е.М. Монах, В.А. Ткаченко, В.Т. Гриценко, Н.И. Высоцкий, Н.В. Лесуков, В.К. Треножкин [19 - 26];

- разработка вальцевых систем: В.С. Курасов, И.А. Петунина, В.С. Кравченко, В.М. Погосян, А.Е. Кошванец, А.И. Яковлев, Hamid Al-Jalil, J.T. Wilson, Tony L. Kaminski, Robert H. Spry [27 - 37];

- разработка роторных систем: И.Н. Гуров, В.С. Курасов, В.С. Кравченко, Н.В. Сережина, А.И. Яковлев, А.И. Политучий, М.В. Туманов, Е.В. Рябко, И.Н. Георгиев, А.К. Атанасов, П.Т. Радулов, И.Й. Стоянов, Ted Stott,

Lyman J. Gunyou, Robertg A. Stelzer, Donald M. Young, Atanas L. Mitkov, Andrie Diederich Visagie [38 - 50];

- разработка специальных систем обмолота зерновых культур, в том числе кукурузы, воздействующих на початки направленным воздушным потоком или трением: Э.В. Жалнин, В.А. Сафонов, А.И. Ряднов, О.А. Федорова, В.В. Никитин, А.В. Анисимов, В.А. Анисимов, М.П. Васин, А.Е. Кошванец, А.И. Яковлев, А.М. Федюшкин, А.Н. Хабаров, Л.И. Горняцкий, М.А. Коваль, Е.М. Монах [51 - 60];

- анализ эффективности процессов переработки кукурузы на семенное зерно, в том числе перемещение початков в контейнерах, их обмолот, а также транспортировка зерна посредством сменных кузовов или бункеров: А.Ю. Измайлов, А.И. Купреенко, М.Г. Голик, А.И. Завражнов, В.И. Оробинский, В.И. Горшенин, С.В. Соловьёв, М.Л. Крюков, Г.И. Креймерман [61 - 67];

- изучение производственно-технических и экономических показателей работы новейших роторных самоходных комбайнов, способных убирать кукурузу на зерно: Э.В. Жалнин, Н.И. Кленин, В.Е. Бердышев, Н.В. Алдошин, М.Н. Московский, А.А. Золотов, С.Г. Ломакин, А.В. Шевцов, Г.В. Серга и др. [68 - 80].

Большое количество теоретико-экспериментальных исследований по данной тематике выполнено в США сотрудниками Iowa State University, здесь большой вклад внесли: Ronald William Brass, Hilbert John Hoof, Hamid Fadhil Al-Jalil, Thomas E. Hitzhusen, Ali Ramadan Mahmoud, Vu Thai Nguyen, Pradip Kumar Dutta, Mofazzal Hossain Chowdhury и др. [81 - 94]

Ведущими зарубежными компаниями-производителями МСУ для кукурузы являются, Cimbria, Serbia Product, Haldrup и др. [95 - 97]

Перечисленные выше исследователи и практики внесли большой вклад в решение ряда научных проблем, связанных с разработкой эффективных обмолачивающих систем для кукурузы, однако многообразие их конструктивных решений указывает на то, что потенциал повышения эффективности процесса обмолота початков кукурузы не исчерпан.



**Научная гипотеза** – минимизация количества макро- и микроповреждений зерна семенной кукурузы в технологии послеуборочной обработки початков при их поэтапном обмолоте достигается рациональным силовым воздействием на зерно адаптивными рабочими органами аксиально-роторного МСУ, в которое початки подаются из защитных контейнеров дозированно и упорядоченно.

**Цель исследования** – минимизация макро- и микроповреждений семенного зерна кукурузы при поэтапном обмолоте в технологии послеуборочной обработки початков.

**Объект исследования** – процесс поэтапного обмолота семенной кукурузы с дозированной и упорядоченной подачей початков из защитных контейнеров после предварительной сушки.

**Предмет исследования** – закономерности минимизации макро- и микроповреждений зерна при поэтапном обмолоте початков семенной кукурузы.

**Задачи исследования:**

1. Изучить механико-технологические свойства початков и зерна кукурузы различных подвидов.
2. Обосновать технологические решения минимизации макро- и микроповреждений зерна при обмолоте початков семенной кукурузы в процессе их послеуборочной обработки.
3. Разработать способ поэтапного обмолота семенной кукурузы и теоретически обосновать конструктивные параметры комплекта технических средств, включающего защитный контейнер, ориентирующе-дозировующий загрузочный аппарат и аксиально-роторное МСУ.
4. Экспериментально подтвердить результаты теоретических исследований процесса поэтапного обмолота початков семенной кукурузы комплектом технических средств.
5. Разработать методику проектирования комплектов технических средств для поэтапного обмолота початков семенной кукурузы.

6. Выполнить технико-экономический анализ эффективности технических и технологических решений минимизации макро- и микроповреждений семенного зерна кукурузы и разработать рекомендации производству.

**Научная новизна:**

– впервые математически описаны начальные условия силового воздействия при поэтапном обмолоте с учетом особенностей естественной системы защиты зерна в початке кукурузы;

– разработана математическая модель, определяющая вероятность ориентирования початков в единое положение на этапе подачи в аксиально-роторное МСУ с учетом угла наклона днища контейнера, высоты его выгрузного окна и длины откидного лотка, соотношения суммарной ширины ручьев ориентирующе-дозировочного загрузочного аппарата (ОДЗА) с их длиной;

– получил развитие метод обоснования конструктивных особенностей эффективных фасонных шипов МСУ на основе инвариантности принципов построения биологических прототипов;

– для аксиально-роторного МСУ получила дальнейшее развитие математическая модель скорости осевого перемещения початков, при которой деформация защитной плодовой оболочки зерна не превышает предельно допустимого значения, а вдавливание зерна в стержень, его боковое отклонение от положения равновесия и колебания початка обеспечивают обмолот.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** *Теоретическая значимость* диссертации заключается в:

– математическом описании начальных условий силового воздействия при поэтапном обмолоте с учетом особенностей естественной системы защиты зерна в початке кукурузы от механических повреждений;

– разработке математической модели, определяющей вероятность ориентирования початков в единое положение на этапе подачи в МСУ с учетом угла наклона днища контейнера, высоты его выгрузного окна и длины откидного лотка, соотношения суммарной ширины ручьев ОДЗА с их длиной;

- развитию метода обоснования конструктивных особенностей эффективных фасонных шипов МСУ на основе инвариантности принципов построения биологических прототипов;

- развитию для аксиально-роторного МСУ математической модели скорости осевого перемещения початков, при которой деформация защитной плодовой оболочки зерна не превышает предельно допустимого значения, а вдавливание зерна в стержень, его боковое отклонение от положения равновесия и колебания початка обеспечивают обмолот.

*Практическая значимость* работы характеризуется:

- результатами изучения механико-технологических свойств початков и зерна кукурузы различных подвидов;

- разработкой технологической схемы ресурсосберегающей заводской технологии обработки початков и зерна семенной кукурузы;

- технологическими решениями минимизации макро- и микроповреждений зерна при обмолоте посредством перемещения початков в защитных вентилируемых контейнерах, разгрузки контейнеров без опрокидывания, ориентирования початков и их дозированной подачи многоручьевым ОДЗА, адаптивного силового воздействия аксиально-роторным МСУ с многосекционной декой;

- разработкой комплекта технических средств для поэтапного обмолота початков семенной кукурузы и его рациональными конструктивно-технологическими параметрами, минимизирующим макро- и микроповреждения зерна;

- обоснованием целесообразности объединения комплектов технических средств для поэтапного обмолота початков семенной кукурузы в многоканальную систему, где каждый канал независим и взаимозаменяем;

- совершенствованием методики теоретико-экспериментального определения энергоемкости процесса поэтапного обмолота початков семенной кукурузы;

- разработкой действующего образца системы цифрового управления пневмоадаптивной декой МСУ и программного кода ее контроллера;
- методикой проектирования комплектов технических средств для поэтапного обмолота початков семенной кукурузы.

**Методология и методы исследования.** При выполнении аналитических исследований использовались общепринятые системные методы: построения Парето-оптимальной границы, расстояния к цели, экспертных процедур установления приоритетов, и классические методы статистики. Теоретические исследования проводились с применением базовых методологий и методов высшей математики, теоретической механики и сопротивления материалов. Использовалась теория реологии, контактная задача Герца, теория тонких оболочек и волновая теория удара. Применялись базовые методы бионики. Технические измерения выполнялись в соответствии со стандартными методиками посредством сертифицированного и оригинального испытательного оборудования. Результаты исследований обрабатывались посредством прикладных компьютерных программ.

**Положения, выносимые на защиту:**

- математическое описание начальных условий силового воздействия при поэтапном обмолоте с учетом особенностей естественной системы защиты зерна в початке кукурузы от механических повреждений;
- математическая модель, вероятности ориентирования початков в единое положение перед подачей в МСУ с учетом угла наклона днища контейнера, высоты его выгрузного окна и длины откидного лотка, а также соотношения суммарной ширины ручьев ОДЗА с их длиной;
- метод обоснования конструктивных особенностей эффективных фасонных шипов МСУ на основе инвариантности принципов построения биологических прототипов;
- для аксиально-роторного МСУ математическая модель скорости осевого перемещения початков, при которой деформация защитной плодовой оболочки зерна не превышает предельно допустимого значения, а вдавливание

зерна в стержень, его боковое отклонение от положения равновесия и колебания початка обеспечивают обмолот.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Материалы диссертации, основные научные положения, выводы и практические рекомендации исследований были доложены, обсуждены и одобрены на Международных и Всероссийских научно-практических конференциях: Ежегодные отчетные научно-практические конференции, ЛНАУ, Луганск (Украина), январь 2009 - 2013 гг.; Международная научно-практическая конференция «Технічне забезпечення інноваційних технологій АПК», ХНТУСХ им. П Василенко, Харьков (Украина), 16-19 марта 2010 г.; Международная научно-техническая конференция «Проблеми енергозбереження в агропромисловій та природоохоронній сферах», НУБиП, Киев (Украина), 14-15 октября 2010 г.; Международная научно-практическая конференция «Технічний прогрес в АПК», ХНТУСХ им. П Василенко, Харьков (Украина), 24-25 марта 2011 г.; Международная научно-техническая конференция «Сучасні біотехнічні системи і ресурсовикористання в тваринництві», ТГАТУ, Мелитополь (Украина), 10-11 сентября 2011 г.; Международная научно-методическая конференция «Інноваційні напрями розвитку технічного сервісу машин», ХНТУСХ им. П Василенко, Харьков (Украина), 21-22 марта 2012 г.; Международная научная сессия «Інноваційні проекти в галузі технічного сервісу машин», ХНТУСХ им. П Василенко, Харьков (Украина), 21-21 марта 2013 г.; XXI Международная научно-производственная конференция «Проблемы и решения современной аграрной экономики», ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, Майский 23-24 мая 2017 г.; Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы агроинженерии в XXI веке», ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, Майский 24 января 2018 г.; Международный симпозиум «ISB-INMA TEN Agricultural and mechanical engineering», Бухарест (Румыния), 2018 г.; Международная научно-техническая конференция «Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства», ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Москва, 5-6 декабря 2018 г.; XXVI Международный научный

симпозиум «Направления развития тракторов и возобновляемых источников энергии», JUMTO, Новый Сад (Сербия), 6 декабря 2018 г.; Международная научно-техническая конференция «Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства», ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Москва, 12-13 декабря 2019 г.; 7th International conference on trends in agricultural engineering 2019, TAE 2019, CzULS, Прага (Чехия), 17-20 сентября 2019 г.; 18th International scientific conference engineering for rural development, ERD 2019, LLU, Елгава (Латвия), 22-24 мая 2019 г.; Всероссийской научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов, молодых ученых и студентов «Перспективы развития сельскохозяйственного производства», ФГБОУ ВО Нижегородская ГСХА, Нижний Новгород, 14 июня 2019 г.; Международная научно-практическая конференция профессорско-преподавательского состава, посвященной 125-летию со дня рождения В.С. Немчинова, РГАУ МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, 3-5 декабря 2019 г.; XXIII Международная научно-производственная конференция «Инновационные решения в аграрной науке – взгляд в будущее», ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, Майский 28-29 мая 2019 г.; Региональная научно-практическая конференция «Инновационные решения в агроинженерии в XXI веке», ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, Майский 16 декабря 2020 г.; XXIV Международная научно-производственная конференция «Инновационные решения в аграрной науке – взгляд в будущее», ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, Майский 27-28 мая 2020 г.; 19th International scientific conference engineering for rural development, ERD 2020, LLU, Елгава (Латвия), 20-22 мая 2020 г.; Международная научно-практическая конференция «Научно-техническое обеспечение АПК Юга России», ФГБОУ ВО Донской ГАУ, Зерноград, с 25 мая по 02 июня 2020 г.; 20th International scientific conference engineering for rural development, ERD 2021, LLU, Елгава (Латвия), 26-28 мая 2021 г.; XXV Международная научно-производственная конференция «Роль науки в удвоении валового регионального продукта», ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, Майский, 26-27 мая 2021 г. В полном объеме диссертация заслушана и одобрена на

расширенных заседаниях кафедр: технической механики и конструирования машин ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ и сельскохозяйственных машин РГАУ МСХА имени К.А. Тимирязева. Результаты научных исследований используются в учебном процессе на инженерных факультетах ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ГОУ ВО ЛНР Луганский ГАУ и на инженерно-технологическом факультете Азово-Черноморского инженерного института ФГБОУ ВО Донской ГАУ.

Научно-методические рекомендации, разработанные по результатам исследований, рассмотрены, одобрены и рекомендованы департаментом АПК и воспроизводства окружающей среды Белгородской области. Результаты исследования в виде научно-технической продукции внедрены в: ФГБНУ Белгородский ФАНЦ РАН (РФ), ОАО «Белагромаш-Сервис имени В.М. Рязанова» (РФ), КФХ «Краснополянское» (РФ); ООО «Научно-производственное предприятие» АгроЛугань (ЛНР), ООО «ЛуганьПлемсервис» (ЛНР), ФХ Богданова В.А. (ЛНР), ФХ «Родник-С» (ЛНР).

**Публикация результатов исследования.** По теме диссертации опубликованы 42 научные работы, из них 11 - в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России (5,03 п.л., из них автору принадлежит 4,41 п.л. или 87,67 %), 4 - индексированы в международных наукометрических базах SCOPUS и Web of Science, 4 - монографии, 4 - патента РФ на полезную модель, 4 - патента Украины на полезную модель, 1 - свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация изложена на 446 страницах, состоит из введения, основной части, содержащей 112 рисунков, 52 таблицы, заключения, принятых сокращений, списка литературы (включает 339 наименования, в том числе 44 – на иностранном языке) и 20 приложений.

# ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ОБМОЛОТА ПОЧАТКОВ СЕМЕННОЙ КУКУРУЗЫ. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

## 1.1 Белгородская область в структуре валового сбора зерна кукурузы России

Кукуруза одна из самых перспективных зерновых культур России, ее объемы производства и урожайность постоянно растут [1-9, 98]. Корреляция показателей посевных площадей урожайности и валовых сборов кукурузы в России в 2001–2020 годах приведена на рисунке 1.1 [9, 98-100].

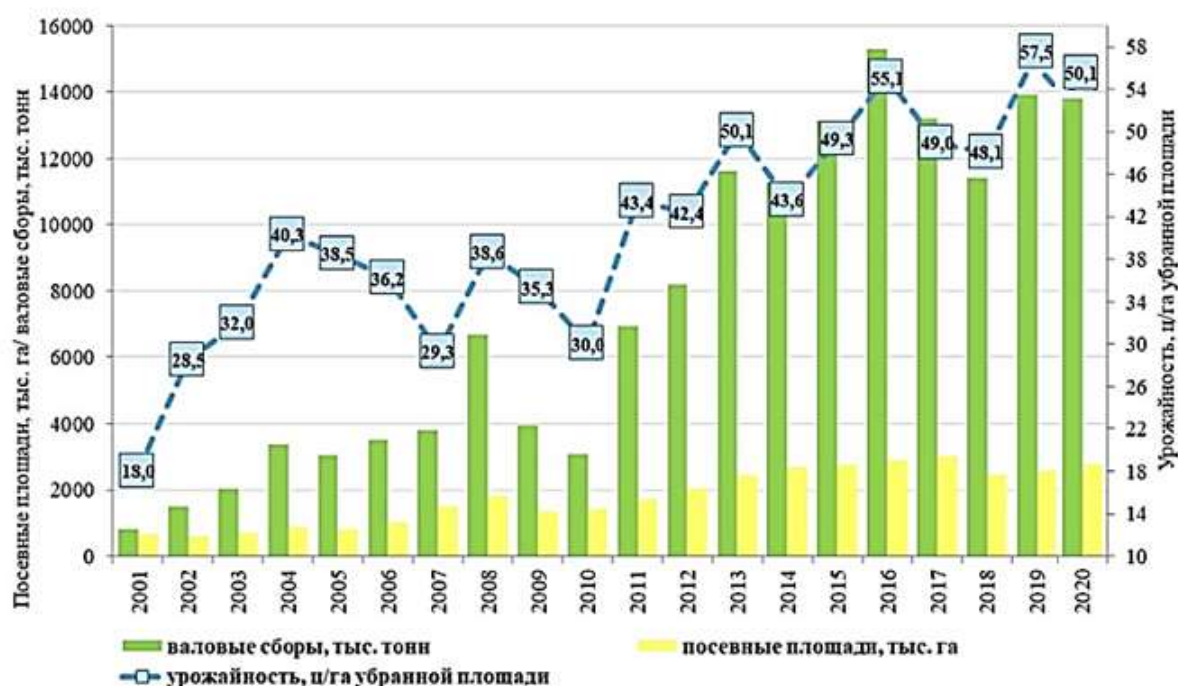


Рисунок 1.1 – Корреляция показателей посевных площадей урожайности и валовых сборов кукурузы в России в 2001–2020 годах, по данным Экспертно-аналитического центра агробизнеса и агропромышленного портала АгроXXI

В структуре посевных площадей кукурузы Белгородская область занимает 4,3% (рисунок 1.2) [9, 98-105].



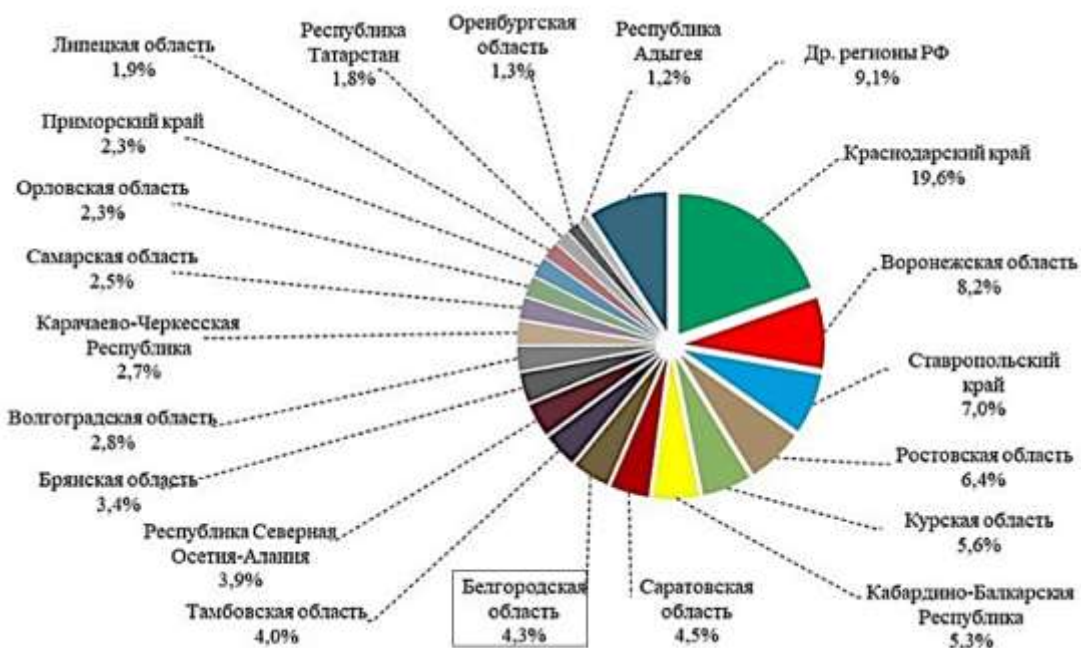


Рисунок 1.2 – Структура посевных площадей кукурузы в России по состоянию на 2020 год.

В структуре сборов зерна кукурузы Белгородская область занимает 6,3% (рисунок 1.3) [9, 98-105].

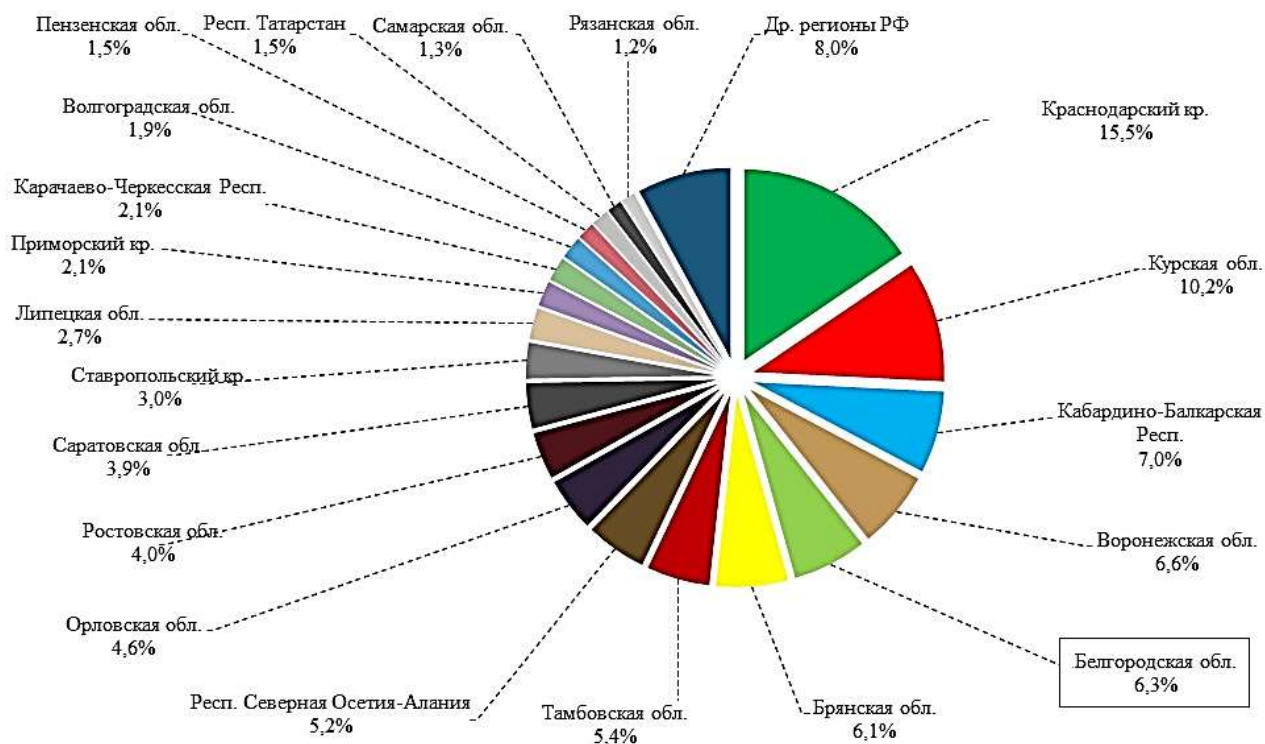


Рисунок 1.3 – Структура сборов зерна кукурузы в России по состоянию на 2020 год.

Урожайность кукурузы по регионам России приведена на рисунке 1.4. [9, 98-105]

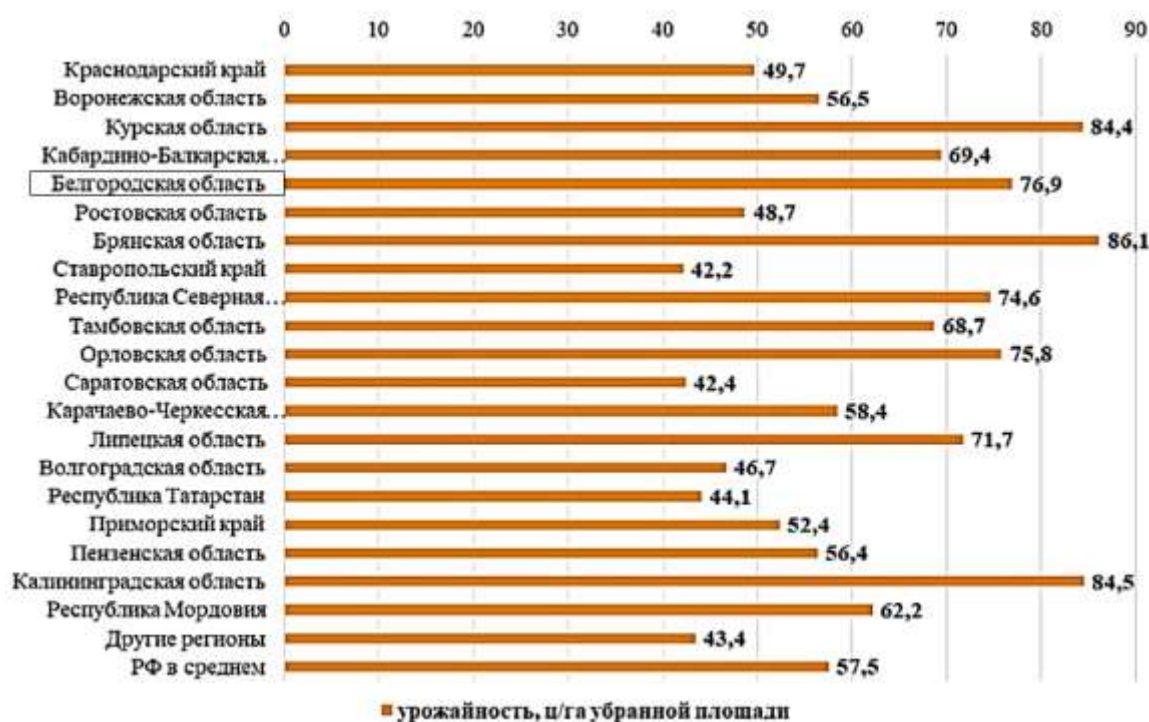


Рисунок 1.4 – Урожайность кукурузы по регионам России

Как видно из рисунка 1.4 урожайность кукурузы в Белгородской области занимает четвертое место среди самых урожайных регионов России. В Белгородской области в промышленных масштабах выращивают зубовидную, кремнистую, сахарную, крахмалистую и лопающуюся кукурузу на зерно. Данные подвиды кукурузы существенно отличаются по механико-технологическим характеристикам и требуют применения различных научно обоснованных агротехнологий. Высокая урожайность кукурузы в Белгородской области обусловлена рациональными природно-климатическими условиями и наличием высококвалифицированных научно-производственных кадров, постоянно совершенствующих эффективные агротехнологии [9, 98-105]. Поэтому Белгородская область обладает потенциалом, позволяющим стать одним из центров промышленного производства семян кукурузы в России.

Повысить урожайность данной культуры в Белгородской области можно путем применения более совершенных машинных технологий и технических средств для возделывания, уборки и обработки урожая [109-116]. Для этого необходимо обладать полнотой знаний о проблемах семеноводства кукурузы и путях их эффективного решения.

## 1.2 Система научно-технического сопровождения семеноводства кукурузы в Белгородской области

В России промышленное производство больших объемов зерна кукурузы осуществляется в 27 регионах (рисунок 1.5).



- 1 - Краснодарский край; 2 - Ставропольский край; 3 - Белгородская область;  
4 - Ростовская область; 5 - Курская область; 6 - Воронежская область; 7 - Кабардино-Балкарская Республика; 8 - Тамбовская область; 9 - Республика Татарстан; 10 - Липецкая область;  
11 - Республика Северная Осетия-Алания; 12 - Саратовская область;  
13 - Республика Мордовия; 14 - Республика Адыгея; 15 - Волгоградская область;  
16 - Орловская область; 17 - Брянская область; 18 - Карачаево-Черкесская Республика;  
19 - Рязанская область; 20 - Нижегородская область; 21 - Пензенская область; 22 - Самарская область;  
23 - Оренбургская область; 24 - Приморский край; 25 - Калининградская область;  
26 - Ульяновская область; 27 - Республика Крым; I – ФГБНУ ВНИИ кукурузы (г. Пятигорск);  
II – ФГБНУ «Национальный центр зерна им. П.П. Лукьяненко» (г. Краснодар);  
III – ФГБНУ «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма» (г. Симферополь); IV – ФГБНУ «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Центрально-Черноземной полосы имени В.В. Докучаева» (Воронежская область);  
V - ФГБНУ «Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы» (г. Саратов)

Рисунок 1.5 – Регионы промышленного возделывания зерна кукурузы

Регионы, перечисленные в подрисуночной надписи 1.5 расставлены в порядке убывания объёмов производства (по состоянию на 2020 г.). В целом на 27 крупных регионов производителей зерна работает всего 5 специализированных государственных научных центров кукурузного семеноводства. В результате Россия только в 2020 году закупила семян кукурузы 27,5 тыс. тонн на 105,3 млн. USD [154].

В Белгородской области семеноводство кукурузы ведется по следующей схеме [9, 98-105]:

а) первичное семеноводство родительских форм (питомники отбора и оценки, а также выращивание суперэлиты линий) сосредоточено всего в одной лаборатории селекции и семеноводства кукурузы ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН» [103-105];

б) элитное семеноводство линий и выращивание первого поколения материнского простого гибрида сосредоточено в ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН», а также в центре семеноводства ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ [103-105];

в) выращивание семян кукурузы первого поколения районированных гибридов сосредоточено в специализированных предприятиях области [103-105].

Производство семенного материала кукурузы большими партиями требует применения специализированных механизированных перерабатывающих пунктов [63-65]. В Белгородской области расположен всего один такой пункт (Шебекинский ККЗ), однако его уровень технического оснащения не позволяет осуществлять высококачественную обработку семян, поэтому ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН» сотрудничает с ООО «ККЗ Золотой початок», расположенное в соседней Воронежской области [103].

Развитие семеноводства кукурузы в Белгородской области требует увеличения количества лабораторий селекции и семеноводства, объединение их в единый государственный научный центр, а также оснащения данного производственного направления новыми механизированными перерабатывающими пунктами, укомплектованными отечественным высокоэффективным оборудованием. Для этого область обладает всеми необходимыми ресурсами. Научные ресурсы сконцентрированы в ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ и ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН». Технические ресурсы заключены в том, что здесь сконцентрирован ряд крупных предприятий сельхозмашиностроения, способных полностью обеспечить данное направление всеми необходимыми машинами.

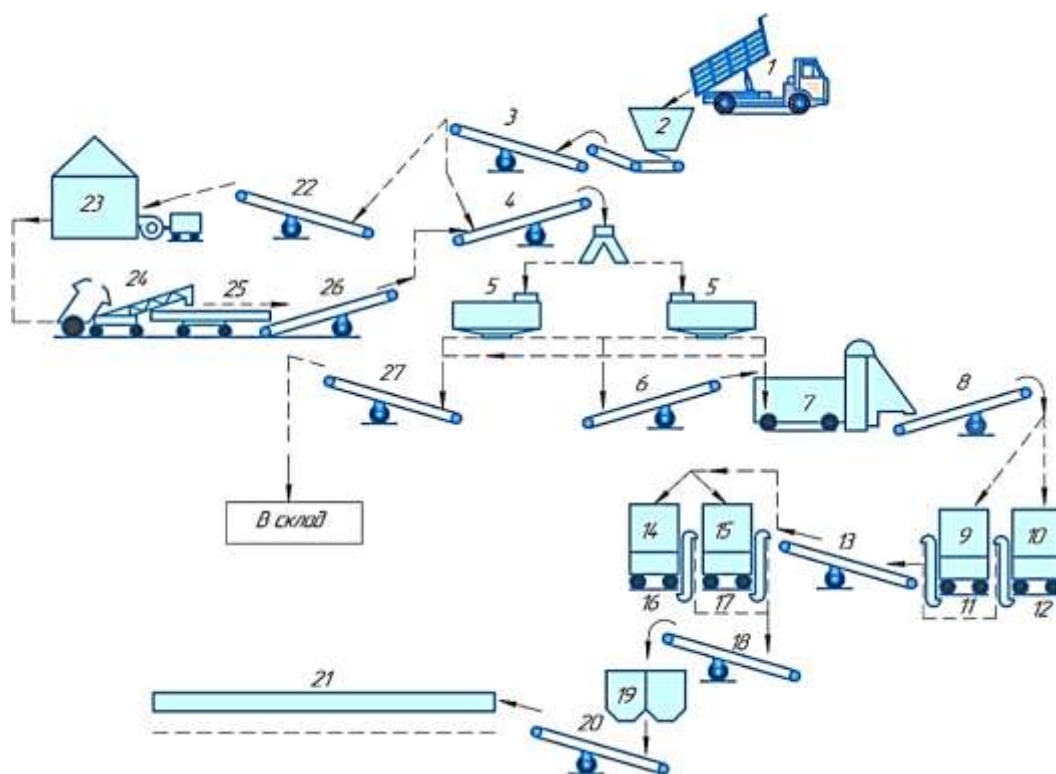
### 1.3 Анализ современных технологий обработки початков кукурузы

Поточная обработка является первым этапом обработки урожая кукурузы, убранный с поля в початках. Конечной целью поточной обработки початков кукурузы является закладка качественно высушенного и обмолоченного без макро- и микроповреждений зерна на длительное хранение. В технологии поточной обработки кукурузы в початках используют средства передвижной и стационарной механизации.

Основы технологий уборки, обмолота и обработки кукурузы при передвижной механизации изложили в своих работах следующие отечественные и зарубежные ученые: В.П. Горячкин, Э.В. Жалнин, А.Ю. Измайлов, И.Н. Кленин, В.Е. Бердышев, И.В. Бумбар, Н.В. Бышов, В.И. Анискин, А.И. Ряднов, О.А. Федорова, Н.В. Алдошин, Е.В. Труфля, М.Н. Московский, В.В. Никитин, С.М. Голик, К.В. Шатилов, Г.И. Креймерман, В.С. Кравченко, М.Л. Крюков, М.В. Иванов, К.А. Степанов, Г.В. Корнеев, Г.В. Серга, А.В. Шевцов, С.Г. Ломакин, Dainius Steponavičius, Aurelija Kemzūraitė, Valdas Kiniulis, Karolis Zokaitis, Thomas E. Hitzhusen, Nasser Abdulaziz Ajllan, Jeremiah Kingsley Johnson, Jason Nicholas Schuster, Seth Alexander Williams и др. [11-13, 31, 53-56, 61-64, 66, 67-79, 112, 114-117].

Основы технологий уборки, обмолота и обработки при стационарной механизации изложили в своих работах следующие отечественные и зарубежные ученые: Э.В. Жалнин, И.В. Бумбар, И.А. Петунина, И.Н. Гуров, В.С. Курасов, Ю.А. Шекихачев, В.А. Сафонов, С.М. Голик, Г.И. Креймерман, А.З. Цримов, Л.М. Хажметов, Т.К. Тоганбаев, В.И. Корчагин, Ло-Эр-Чжень, В.М. Погосян, Н.В. Сережина, Л.В. Фадеев, Ronald William Brass, Hilbert John Hoof, Hamid Fadhil Al-Jalil, Ahmad Kalbasi-Ashtari, Ali Ramadan Mahmoud, Vu Thai Nguyen, Pradip Kumar Dutta, Mofazzal Hossain Chowdhury, Adhemar Brandini, Thomas E. Hitzhusen, Henry Waelti и др. [12, 14-16, 18-22, 27-30, 32, 38-42, 51, 63, 64, 80-94].

Укрупненная принципиальная конструктивно-технологическая схема (КТС) обработки початков кукурузы в потоке при передвижной механизации представлена на рисунке 1.6 [63, 64, 110].

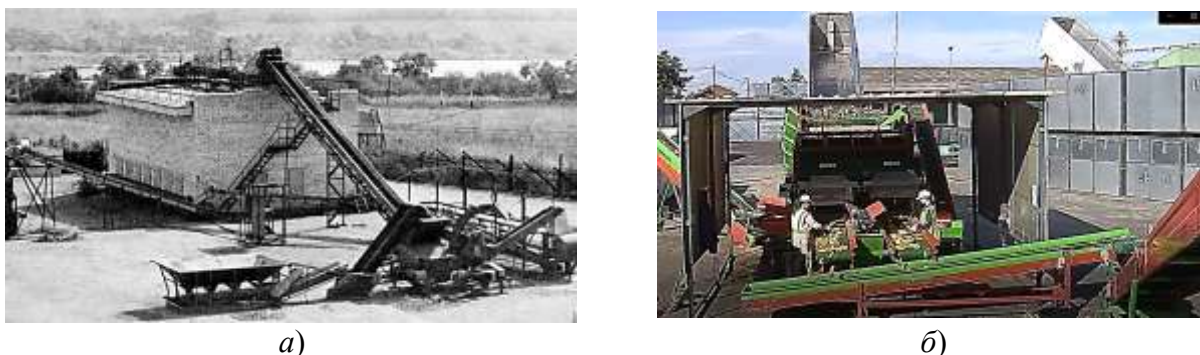


1 – транспортное средство; 2 – механизированный бункер; 3, 4, 6, 8, 13, 18, 20, 22, 25, 26, 27 – ленточные транспортеры; 5 – передвижные молотилки кукурузы; 7 – передвижная зерноочистительная машина; 9, 10 – передвижные зерносушилки ЗСПЖ-8; 11, 12, 16, 17 – нории; 14, 15 – передвижные зерносушилки для окончательной сушки зерна; 19 – бункерные весы; 21 – секционно-разборочный транспортер; 23 – мобильный склад початков с активной вентиляцией и тепловентиляционным агрегатом; 24 – самоходный ковшовый погрузчик

Рисунок 1.6 – Укрупненная принципиальная КТС обработки початков кукурузы в потоке при передвижной механизации

Суть технологии заключается в приемке, очистке и сортировке початков с их последующим обмолотом передвижными машинами, не требующими применения капитальных зданий и сооружений. После обмолота осуществляется сушка, очистка и калибровка зерна, также мобильными средствами механизации. Основная задача данной технологии заключается в снижении стартовых капитальных вложений. Технология изучалась ФГБНУ ФНАЦ ВИМ и институтом сельского хозяйства степной зоны НААН Украины, [51, 52, 63, 64] и активно применяется N' НАУХ Сонсерт (Франция) (рисунок 1.7). Для данной технологии оборудование производит

Petkus, Cimbria Scolari, Serbia Product и др. [95-97], причем N'HAUX Concept практикует перемещение очищенных от листовой обертки початков погрузчиками в крупных герметичных контейнерах (рисунок 1.7 б).



а) - проект института сельского хозяйства степной зоны НААН Украины;  
б) - элемент проекта N'HAUX Concept

Рисунок 1.7 – К анализу технологии передвижной механизации:

Технология обработки початков кукурузы при стационарной механизации не имеет опорной схемы, предполагает применение капитальных зданий и сооружений и выражается в конструктивном многообразии. Однако можно выделить обобщённые этапы обработки початков [12, 14-16, 18-22, 27-30, 32, 38-42, 51, 63, 64, 80-94]: уборка початков в поле; перевозка початков в стационарный пункт поточной обработки; накопление и временное хранение початков; очистка от оберток и сортировка; сушка до влажности 12...15%; обмолот початков; очистка обмолоченного зерна; временное хранение очищенного зерна (при необходимости досушивание зерна); калибровка зерна по ширине и толщине; калибровка зерна по длине; сортировка по удельному весу; переработка отходов (зерновых и незерновых); протравливание (инкрустация); затаривание; хранение; доставка торговым организациям или потребителям. Здесь также перспективным является перемещение початков в контейнерах.

Передвижная механизация характерна для условий сухого климата и переработки продовольственной и фуражной кукурузы [63, 64, 110, 118, 119]. Стационарная механизация применима для початков всех целевых назначений (семенное, продовольственное и фуражное зерно) [12, 14-16, 18-22, 27-30, 32, 38-42, 51, 63, 64, 110, 118, 119]. Эффективность объединенного в поточно-технологические линии (ПТЛ) оборудования для осуществления

вышеописанных технологий оценивается обобщёнными показателями: энергоёмкости процесса, материалоемкости оборудования, эксплуатационной себестоимости, а также количества потерь и качества полученного зерна. Анализ существующих обобщённых математических моделей, применимых для определения показателей эффективности комплектов оборудования, применяемого в технологии обработки початков кукурузы при передвижной и стационарной механизации, приведен в таблице 1.1.

Таблица 1.1 - Анализ укрупненных математических моделей для определения показателей эффективности оборудования, применяемого в передвижной или стационарной механизации

Исследователи, источник	Математическое выражение с расшифровкой	Области требующие уточнения
<b>Энергоёмкость</b>		
И.А. Петунина, В.С. Курасов, Г.И. Креймерман, Н.В. Брагинец, С.В. Мельников, [28, 41, 64, 116, 120, 121]	$\mathcal{E}_y = \frac{N_{\text{общ}}}{Q \cdot \lambda}, \quad (1.1)$ <p>где <math>\mathcal{E}_y</math> – энергоёмкость, кВтч/т;  <math>Q</math> – производительность поточной линии, т/ч;  <math>\lambda</math> – критерий качества;  <math>N_{\text{общ}}</math> – общая мощность, расходуемая на обработку, кВт.</p>	Качественный показатель обработки $\lambda$ является функцией многих переменных. Необходимы точные числовые значения, полученные на основании численно переделаемых критериев, несущих четкий физический смысл
<b>Материалоемкость</b>		
В.С. Курасов, Н.В. Брагинец, С.В. Мельников [116, 120, 121]	$M_y = \frac{M_{\text{общ}}}{Q}, \quad (1.2)$ <p>где <math>M_y</math> – удельная материалоемкость, кгч/т;  <math>M_{\text{общ}}</math> – общая масса комплекта оборудования, кг.</p>	Не учитывается качественный показатель обработки $\lambda$
<b>Эксплуатационная себестоимость</b>		
Э.В. Жалнин, И.Н. Кленин, В.Е. Бердышев, В.М. Пронин [67-69, 70,71, 78,]	$Z_T = \frac{Ч_{\text{ЭЭ}}}{W_T}, \quad (1.3)$ <p>где <math>Z_T</math> – эксплуатационная себестоимость, руб./т;  <math>Ч_{\text{ЭЭ}}</math> – часовые эксплуатационные затраты, руб.;  <math>W_T</math> – производительность с учетом коэффициента зональности, т/ч.</p>	Не учитываются потери зерна от дробления и снижение его качества от макро- и микроповреждений. Часовые эксплуатационные затраты $Ч_{\text{ЭЭ}}$ являются функцией многих переменных и требуют конкретизации
<b>Параметрический индекс роторного МСУ комбайна</b>		
Э.В. Жалнин [69]	$i_k = N/126 + 0,5(F_{nc} + F_p) \dots \dots (1.4)$ <p>где <math>N</math> - мощностью двигателя, кВт;  <math>F_{nc}</math> - площадь деки, м<sup>2</sup>;  <math>F_p</math> - площадь решет очистки, м<sup>2</sup>.</p>	Не учитывается домолачивающее устройство



Продолжение таблицы 1.1

Исследователи, источник	Математическое выражение с расшифровкой	Области требующие уточнения
<b>Затраты рабочего времени</b>		
С.М. Голик, Г.И. Креймерман, В.С. Курасов [63, 64, 116]	$\Delta T = T_O + T_B + T_{Доп} + T_{ПЗ}, \quad (1.5)$ где $\Delta T$ - затраты рабочего времени, ч $T_O$ - затраты времени на основные работы, ч; $T_B$ - затраты времени на вспомогательные работы, ч; $T_{Доп}$ - затраты времени на дополнительные (специальные) работы, ч; $T_{ПЗ}$ - затраты времени на подготовительно-заключительные работы, ч.	Требуются точные сводные таблицы данных, полученные в результате хронометража каждой конкретной технологии
<b>Комплексный показатель эффективности роторного МСУ</b>		
И.Н. Кленин, В.Е. Бердышев, С.Г. Ломакин [70, 71, 77]	$k_3 = m \left\{ \frac{\Pi_3^{дон} \Pi_{др}^{дон} N_m^{min}}{\Pi_3 \Pi_{др} N_m} \right\}, \quad (1.6)$ где $\Pi_3, \Pi_3^{дон}$ – фактическое и наилучшее значение прямых потерь зерна; $\Pi_{др}, \Pi_{др}^{дон}$ – фактическое и наилучшее значение дробления зерна; $N_m, N_m^{min}$ – фактическое и наилучшее значение затрат мощности на обмолот.	Не учитывается снижение качества зерна от его макро- и микроповреждений
<b>Показатель потребности ручного труда</b>		
С.М. Голик, Г.И. Креймерман, В.С. Курасов, Н.В. Брагинец [63, 64, 116, 120]	$\Delta U_{руч} = \frac{U_{руч}}{U_{общ}} \cdot 100, \quad (1.7)$ где $\Delta U_{руч}$ - показатель потребности ручного труда, %; $U_{руч}$ – объем работ, выполняемых вручную; $U_{общ}$ – общий объем работ.	Требуется определение показателя потребности ручного труда для каждой конкретной операции технологического процесса с оформлением сводных таблиц данных

Благодаря явному физическому смыслу, приведенные в таблице 1.1 модели наиболее часто используются в качестве критериев оптимизации при многофакторном экспериментальном исследовании процессов переработки початков семенной кукурузы на посевной материал. Качественные показатели работы технических средств, задействованных в анализируемых технологиях приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Качественные показатели работы технических средств, задействованных в анализируемых технологиях

Показатели	Значения, %	ФИО исследователя, источник
Машины для уборки початков в поле		
Полнота сбора початков	98,5	А.И. Ряднов, Е.В. Труфляк, Г.В. Серга [53, 79, 117]
Примеси в ворохе початков	Не более 1	И.А. Петунина, С.М. Голик, Г.И. Креймерман, В.С. Курасов [28, 64, 65, 116]
Повреждения початков в виде поломанных стержней	Не более 1	
Повреждение зерна в початках	Не более 2,5	
Машины для стационарной очистки початков от листовой обертки		
Вышелушивание зерна очистителем початков	Не более 3	И.А. Петунина, С.М. Голик, Г.И. Креймерман, В.С.Курасов [28, 63-65, 116]
Початки в обёртках после очистки	Не более 2	
Машины для сушки початков в стационаре		
Влажность початков при хранении	Не более 18	С.М. Голик, И.Г. Строна, Л.В. Фадеев, А.М. Гречанюк [63, 111-113]
Влажность зерна при обмолоте	Не более 15	
Повреждения зерна при сушке	Не более 10	
Машины для обмолота початков в стационаре		
Массовая доля потерь зерна (свободного и недомолоченного) в незерновой части урожая	2,0...2,5	И.А. Петунина, В.С. Курасов, И.Н. Гуров, И.В. Бумбар, Э.В. Жалнин, И.Н. Кленин, В.Е. Бердышев, М.Н. Московский, Н.В. Алдошин [12, 28, 38, 68, 70, 74, 75, 116]
Дробление зерна	1,5 (семенная) 2,5 (фуражная и продовольственная)	
Макро- и микротравмы в области зародыша	Для семенной до 20 (продовольственная и фуражная – не регламентируется)	

Большое количество качественных показателей определяет необходимость в анализе их изменения по этапам существующей передвижной или стационарной механизации. На основании [12, 14-16, 18-22, 27-30, 32, 38-42, 51, 63-65, 80-94, 112, 114-119, 122-125] предложено схематическое выражение этапов снижения качества зерна при существующей технологии (рисунок 1.8).

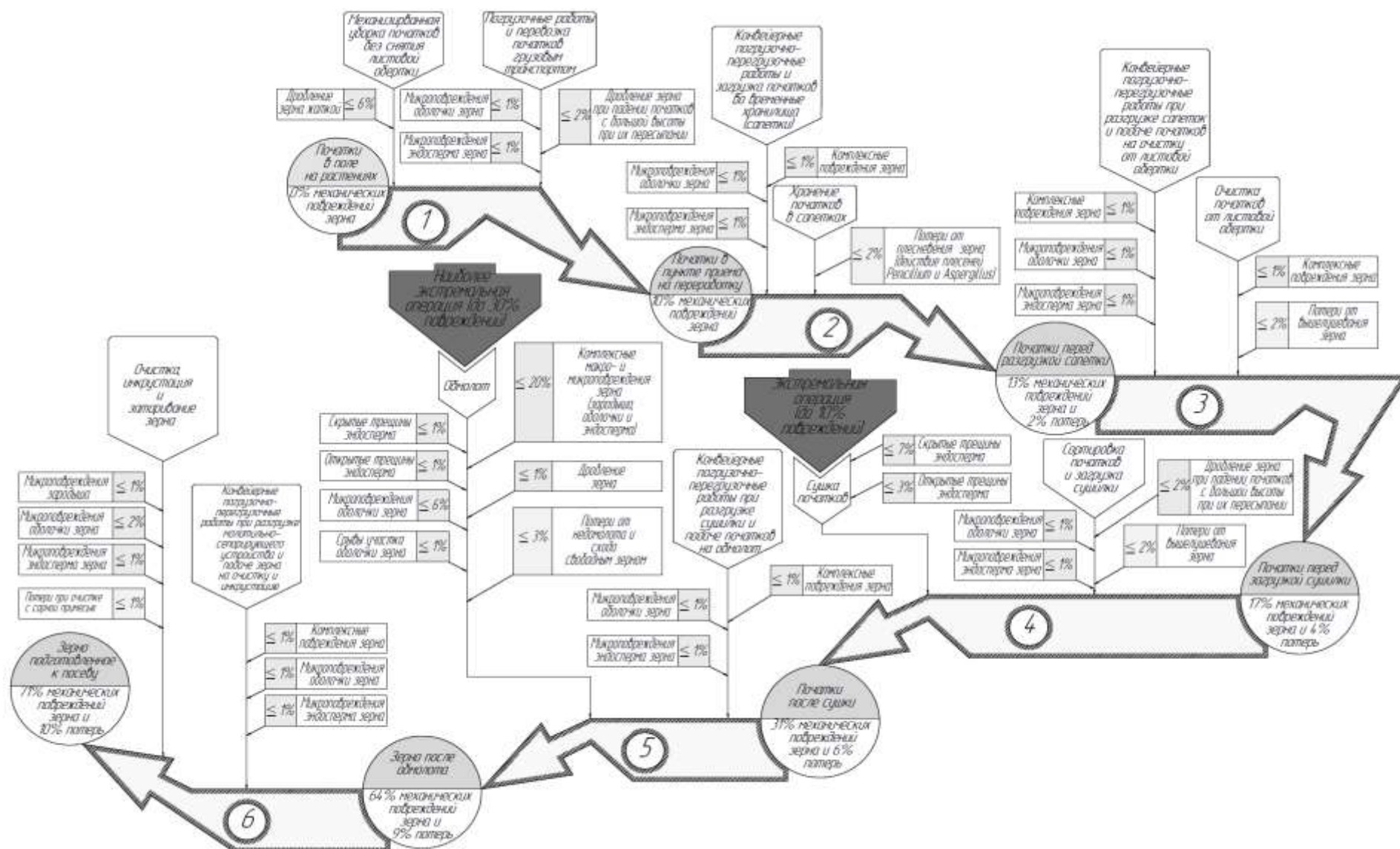


Рисунок 1.8 - Схематическое выражение этапов повреждения и потерь семенного материала при существующей технологии обработки початков и зерна кукурузы посредством передвижной или стационарной механизации (использующей многократные погрузочно-перегрузочные операции посредством конвейеров с гибким тяговым рабочим органом)

Схема показывает, что по итогу переработки початков количество поврежденного зерна может составлять до 71% в партии, при этом до 10% зерна может быть потеряно с отходами. При посеве семян с большим количеством макро- и микроповреждений, согласно опытам И.Г. Строна, В.М. Шевченко и А.М. Гречанюка недобор урожая может превышать 23% [111 – 113]. С позиции биологического и технологического направления ресурсосбережения это недопустимо.

Наиболее экстремальные условия взаимодействия с рабочими органами машин зерно кукурузы встречает в молотильной камере МСУ, здесь повреждения достигают 30% в партии. Следовательно, усовершенствование этапа обмолота с позиции качества зерна приведет к существенному повышению эффективности технологии в целом.

Из вышеизложенного вытекает необходимость в установлении причин столь значительного повреждения зерна в МСУ. Анализ существующей научной информации указывает на целесообразность поиска путей минимизации макро- и микроповреждений зерна кукурузы в области общих принципов функционирования кукурузоуборочной и кукурузоперерабатывающей техники.

#### **1.4 Анализ общих принципов функционирования кукурузоуборочной и кукурузоперерабатывающей техники**

##### **1.4.1 Общие принципы функционирования машин для уборки растительной массы кукурузы или зерна прямым комбайнированием**

Уборка кукурузы на силос предполагает измельчение растительной массы. Следовательно, применяется максимально повреждающая конструкция. Это позволяет начать исследование по принципу поиска доказательства от противного.

Для заготовки силосной массы из кукурузы применяют:

– прицепные комбайны: КПИ-2,4; КПИ-Ф-2,4А; ПН-400 «Простор»; Кубань-2; КДП-3000 (Палессе FT40); КПК-2.1 «Булат»; Scorpion; Vicon MH; Challenger (II Plus); Case IH FHX 300; F-41 (КР); JF-Stoll FCT 1355; John Deere 3955, 3975 и др. [70, 122];

– самоходные комбайны: Дон-680М; Марал-125М; КСК-600 «ПАЛЕССЕ FS60»; CLAAS Jaguar 960; Krone Big X700; John Deere 7000; New Holland Cursor 13 [70, 122].

По технологическому процессу уборка силосной массы и уборка зерна кукурузы отличаются значительно, однако есть несколько общих принципов, подлежащих анализу и осмыслению с целью их применения при построении обобщённой теории обмолота кукурузы, а именно [70, 79, 110, 117, 122]:

- процесс осуществляется поэтапно;
- независимо от конструкции силосоуборочного комбайна, стебли с початками подаются на измельчение в строго сориентированном положении;
- подача массы на измельчение осуществляется дозированно;
- ориентирование осуществляется в два этапа: первичное ориентирование жаткой и вторичное ориентирование системой транспортёров и вальцов, подающих массу на измельчение;
- наиболее эффективное измельчение (максимально возможное повреждение стебля вместе с початками) достигается за счёт применения барабанного или дискового измельчающего устройства с поперечной подачей массы.

Следовательно, применение систем, в которых реализована барабанная или дисковая схема рабочего органа с поперечной подачей перерабатываемой массы обеспечивает максимальный разрушающий эффект для стеблей, початков и зерна кукурузы. Из вышеизложенного следует, что в соответствии с принципом доказательства от противного можно предположить, что минимизация повреждений исключает барабанную и дисковую компоновку рабочих органов. Ориентирование и дозирование обрабатываемой массы перед

подачей в рабочую камеру повышает эффективность работы любой кукурузоперерабатывающей техники.

Для полноты анализа необходимо проследить общие принципы конструирования машин в технологиях уборки кукурузы на зерно.

Прямое комбайнирование зерна выполняют при уборке початков кукурузы фуражного целевого назначения, при этом влажность зерна в початке находится в пределах 25–35% [12,13, 28, 63, 64, 68, 70, 75, 78, 79, 110, 116, 123]. В данном случае применяют зерноуборочные комбайны, укомплектованные кукурузоуборочными жатками, допускающими до 6% дробления зерна при отрыве початков от стебля (**Приложение Б**).

Общие принципы работы машин для прямого комбайнирования зерна кукурузы иллюстрируются рисунком 1.9.

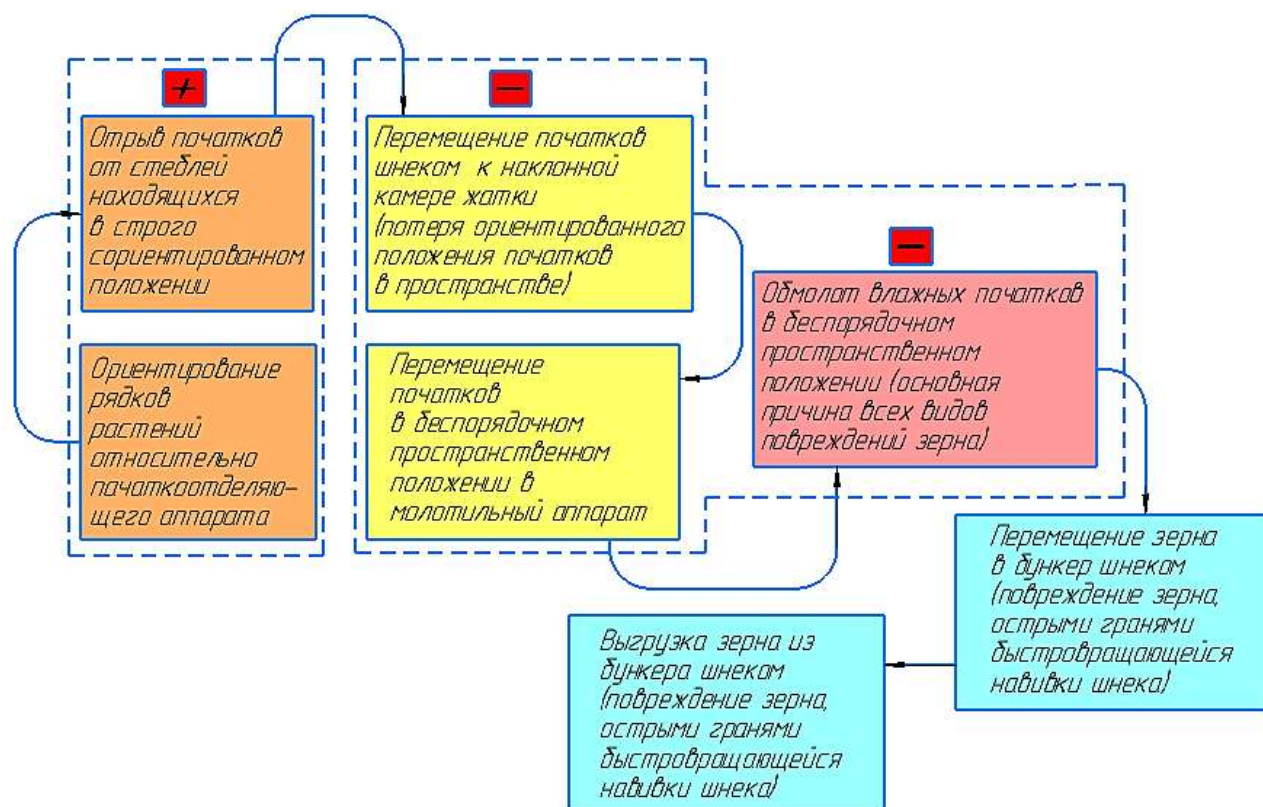


Рисунок 1.9 – Схема описания общих принципов работы машин для прямого комбайнирования зерна кукурузы: +/- - научно обоснована/не обоснована и практически реализована/не реализована техническая система ориентирования початков относительно исполнительных рабочих органов

Здесь подлежат анализу и осмыслению следующие общие принципы функционирования [28, 38, 41, 63, 64, 79, 116, 117]:

- процесс осуществляется поэтапно;
- в процессе уборки комбайн жаткой ориентирует рядки растений относительно початкоотделяющего аппарата с последующим отрывом початков в строго сориентированном положении;
- после отрыва початков их ориентированное положение нарушается, и все процессы протекают в условиях хаотичного движения обмолачиваемой массы;
- обмолот початков осуществляется преимущественно аксиально-роторными или тангенциально-роторными комбайнами, которые не требуют применения травмирующего зерно соломотряса, позволяют использовать увеличенные зазоры в молотильной камере и дифференцированно воздействуют на початки;
- в молотильной камере початки контактируют с обмолачивающими элементами (билами, шипами, штифтами, планками, прутками и т. д.) в нерациональном для отделения зерна положении, в результате обмолачивающие силы разрушают целостность зерна, поскольку в данном пространственном положении прочность связи зерна со стержнем больше предела прочности защитной плодовой оболочки зерна;
- обмолот осуществляется при повышенной влажности початков (до 35%), что увеличивает эластичность крепления зерна к стержню и как следствие требуется увеличение ударных нагрузок с многократным их повторением;
- обмолоченное зерно перемещается травмирующими шнековыми механизмами.

В отдельную группу можно выделить селекционные комбайны, в которых делается попытка снизить ударные нагрузки. В настоящее время используются следующие комбайны: WINTERSTEIGER Split NH, WINTERSTEIGER-ВИМ Delta, СК-110, TERRION-SAMPO SR2010, HALDRUP C-60, BAURAL SP 2100 и другие (**Приложение В**). Однако при обмолоте початков селекционным комбайном минимизировать повреждения зерна не удастся и в первичном семеноводстве применяется ручная уборка початков [116].

Для решения данной проблемы используется следующая технология. Початки убирают комбайном, вместо молотильной камеры которого установлен аппарат для снятия листовой обёртки. Затем очищенные початки перегружают в транспортное средство и перевозят на сушку, и только после доведения их влажности до 12–15% обмолачивают в стационаре [27-30, 63, 64, 110, 116, 122].

Существенным недостатком такой технологии является многократная перегрузка насыпи, при которой початки, масса которых в среднем 200–250 г, падают с большой высоты, повреждая зерно.

Для устранения данного негативного явления початки необходимо убирать в листовой обёртке, затем транспортировать в пункт их переработки, где обёртку снимут сразу перед закладкой початков на сушку.

Транспортировка початков в листовой обёртке минимизирует повреждения зерна при погрузочно-перегрузочных работах. Данный подход наиболее приемлем при производстве продовольственной и семенной кукурузы, и требует системного анализа.

#### **1.4.2 Общие принципы функционирования машин для уборки кукурузы в початках**

Уборка кукурузы в початках с последующим обмолотом в стационарных условиях выполняется специальными кукурузоуборочными комбайнами (**Приложение В**).

По конструкции данные самоходные комбайны представляют собой силовой агрегат с кукурузоуборочной жаткой, початкоочистителем, бункером и системой транспортёров.

Общие принципы работы машин для уборки кукурузы в початках иллюстрируются рисунком 1.10.



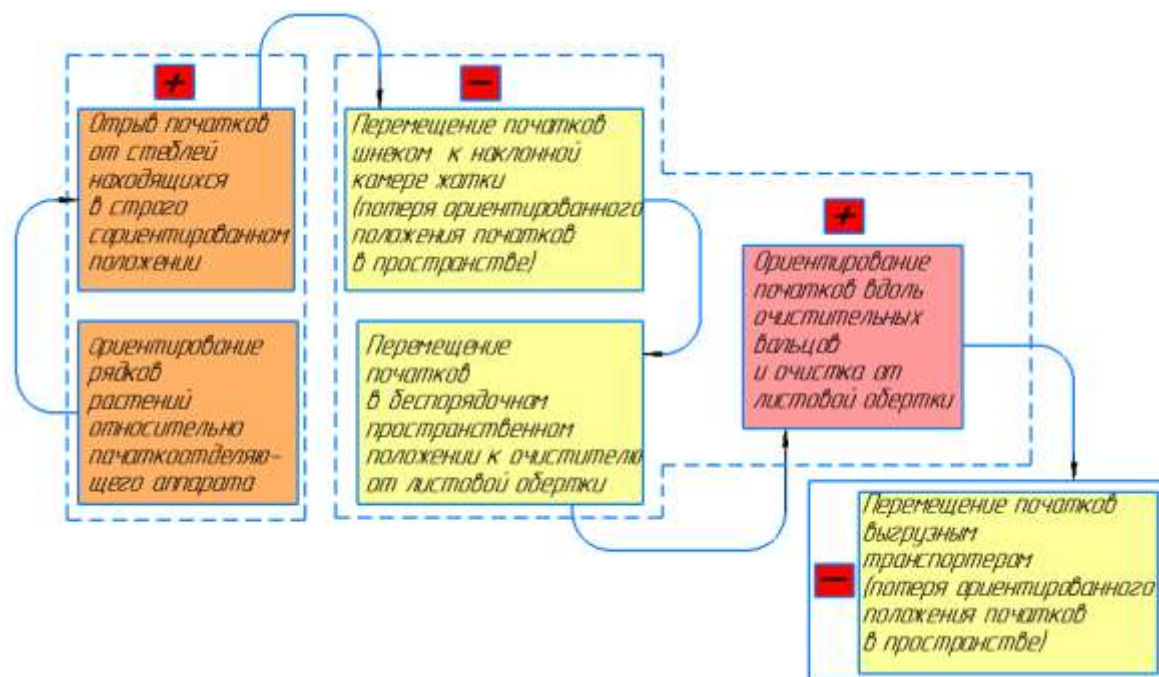


Рисунок 1.10 – Схема описания общих принципов работы машин для уборки кукурузы в початках: +/- - научно обоснована/не обоснована и практически реализована/не реализована техническая система ориентирования початков относительно исполнительных рабочих органов

Здесь общие принципы, подлежащие анализу и осмыслению следующие [28, 38, 41, 63, 64, 79, 116, 117, 122, 126-129]:

- процесс осуществляется поэтапно;
- в процессе работы кукурузоуборочного комбайна минимум два раза осуществляется процесс ориентирования початков в пространстве и после каждого ориентирования последующая операция технологического процесса приводит массу початков в хаотичное состояние;
- очистка початков от листовой обертки осуществляется преимущественно вальцевыми механизмами в строго сориентированном пространственном положении;
- вращающиеся валцы очистителей початков устанавливаются стационарно или подвижно (планетарное исполнение), рабочая поверхность валцов профилирована;
- накопительный бункер с очищенными початками разгружается опрокидыванием или посредством травмирующих зерно скребковых транспортеров.

Периодическое разрушение упорядоченности пространственного положения початков в комбайне с позиции энергосбережения нерационально.

Из вышеизложенного вытекает классификационная модель общих принципов функционирования и конструктивных особенностей машин для уборки урожая кукурузы (рисунок 1.11).

Из классификационной модели видно, что эффективность процессов взаимосвязана с ориентированием обрабатываемой кукурузной массы в рациональное пространственное положение относительно рабочих органов машин. Этот вопрос не решен для процесса обмолота початков кукурузы и может являть собой одну из основных причин значительного повреждения зерна в МСУ.

Поиск причины появления данной нерешенной научной задачи целесообразно начать в поле современной теории создания наиболее перспективных аксиально-роторных МСУ для кукурузы.

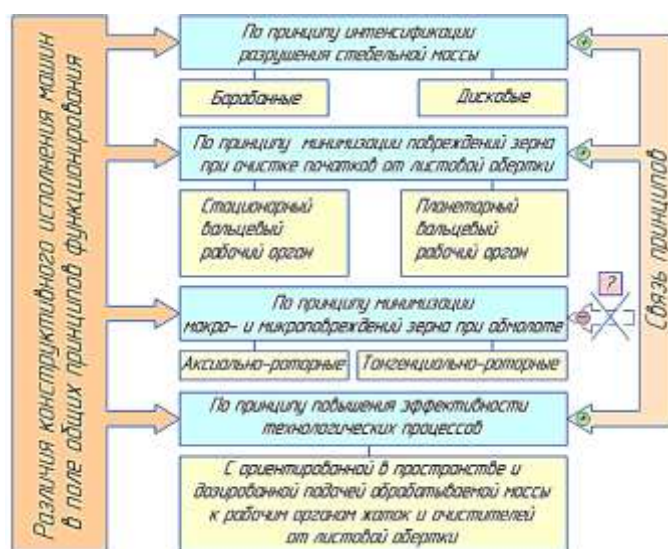


Рисунок 1.11 - Классификационная модель общих принципов функционирования и конструктивных особенностей машин для уборки урожая кукурузы:  
 +/- – связь научно обоснована/не обоснована и практически реализована/не реализована;  
 ? – нерешенная научная задача

Полнота анализа требует систематизации и обобщения теорий обмолота початков кукурузы с позиции решения задачи минимизации макро- и микроповреждений зерна, с одновременным прослеживанием эволюции теории обмолота початков в строго сориентированном пространственном положении.

## 1.5 Систематизация и концепция обобщения существующих теорий обмолота початков кукурузы

Анализ опорных математических моделей, на основе которых сформировалась современная теория обмолота початков кукурузы представлена в таблице 1.3.

Таблица 1.3 - Анализ опорных математических моделей, формирующих базис теории обмолота початков кукурузы

Разработчик и базовый принцип, опорные математические модели	Области, требующие продолжения исследований
Математическое выражение с расшифровкой	Наличие в теории элементов предполагающих пространственное ориентирование початков
И.Н. Гуков [38] обосновал теорию контролируемого удара лопастью ротора по початку	
<p>Скорость <math>V_a</math> перемещения лопасти ротора МСУ, обеспечивающая отделение зерна от стержня под действием ударного импульса, приложенного к любому участку поверхности початка:</p> $V_a = \sqrt{\frac{2 \int_0^{\delta} P_{BH}(\delta) d\delta}{m} \cdot \left(1 + \frac{2b^2}{r^2}\right)}, \quad (1.8)$ <p>где <math>V_a</math> – скорость перемещения лопасти ротора, м/с;  <math>\delta</math> – деформация початка под действием силы <math>P_{BH} = 15 \cdot \delta</math>, действующей со стороны ротора, мм;  <math>m</math> – масса початка, кг.  <math>b</math> – кратчайшее расстояние от центра тяжести початка до линии действия ударного импульса, м;  <math>r</math> – радиус початка, м.</p> <p>Угол наклона винтовой линии ротора относительно его оси:</p> $\alpha = \arctg \frac{t}{2\pi \cdot r_g} + \varphi, \quad (1.9)$ <p>где <math>\alpha</math> – угол наклона винтовой линии ротора, °;  <math>t</math> – шаг винта, мм;  <math>r_g</math> – расстояние от винтовой оси до заданной точки поверхности початка, мм;  <math>\varphi</math> – угол трения.</p>	<p>Скорость <math>V_a</math> определяется без учета показателя макро- и микрповреждений зерна.</p> <p>В исследование доказана необходимость контакта лопасти ротора и початка в точно фиксированных пространственных условиях и сделана попытка выразить данные условия через <math>t</math> и <math>r_g</math>.</p>

Продолжение таблицы 1.3

<p>Разработчик и базовый принцип, опорные математические модели</p>	<p>Области, требующие продолжения исследований</p>
<p>Математическое выражение с расшифровкой</p>	<p>Наличие в теории элементов предполагающих пространственное ориентирование початков</p>
<p>Ло-Эр-Чжень, И.Н. Гуров [16] описали выдавливающий эффект в нагруженном участке смежных зерен</p>	
<p>Условие, при котором внешняя сила, действующая в радиальном направлении поперечного сечения початка, будет выдавливать зерно из общей структуры в противоположном направлении:</p> $\frac{\beta}{2} \geq \varphi, \quad (1.10)$ <p>где <math>\beta</math> – угол между боковыми гранями зерна; <math>\varphi</math> – угол трения.</p>	<p>Условие получено только для нормального действия внешней силы. Не учитывается изменение геометрии зерна и его асимметричность.</p> <p>Необходимо строго фиксированное пространственное положение.</p>
<p>И.А. Петунина [27-30] обосновала теорию контактного взаимодействия початка с обмолачивающими вальцами молотилки</p>	
<p>Перемещение зерна при сжатии початка вальцевым молотильным аппаратом:</p> $w = \frac{\pi \delta p_0}{a} \left[ abK - \frac{b}{a} DX_1^2 - \frac{a}{b} (K - D) Y_1^2 \right], \quad (1.11)$ <p>где <math>w</math> – перемещение зерна при сжатии, м; <math>a</math> – большая полуось контурного эллипса, м; <math>b</math> – малая полуось контурного эллипса, м; <math>p_0</math> – наибольшее давление между соприкасающимися телами, Па; <math>\delta</math> – сближение соприкасающихся тел, м; <math>X_1, Y_1</math> – координаты произвольной точки эллипса; <math>K, D</math> – функции, получаемые при решении полных эллиптических интегралов первого и второго рода.</p> <p>Наибольшее давление между соприкасающимися телами:</p> $p_0 = \alpha_{p_0} \eta_{12}^{\frac{2}{3}} P^{\frac{1}{3}} D^{\frac{1}{6}} R^{\frac{1}{6}} (K - D)^{\frac{1}{2}} \left( \frac{1}{R} + \frac{1}{r_n} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (1.12)$ <p>где <math>P</math> – сила прижатия рабочего органа к початку, Н; <math>R</math> – радиус рабочего органа, м; <math>r_n</math> – радиус початка, м; <math>\alpha_{p_0}</math> – поправочный коэффициент; <math>\eta_{12}</math> – коэффициент, учитывающий модуль Юнга и коэффициент Пуассона.</p>	<p>Выражение справедливо только для случая формирования эллиптической площадки контакта.</p> <p>Использовались элементы контактной проблемы Г. Герца, которая предполагает исключительно фиксированные в пространстве условия контакта с четко определенными радиусами кривизны контактируемых поверхностей.</p>

Продолжение таблицы 1.3

<p>Разработчик и базовый принцип, опорные математические модели</p>	<p>Области, требующие продолжения исследований</p>
<p>Математическое выражение с расшифровкой</p>	<p>Наличие в теории элементов предполагающих пространственное ориентирование початков</p>
<p>В.А. Сафонов и Э.В. Жалнин [51] впервые предложили основы теории вихревого обмолота кукурузы</p>	
<p>Работа при вихревом обмолоте початков кукурузы:</p> $A_{обм} = F(K_1, K_{констр}, \rho, V, D, \bar{u}, \bar{e}), \quad (1.13)$ <p>где <math>A_{обм}</math> – работа обмолота;  <math>K_1</math> и <math>K_{констр}</math> – коэффициент, зависящий от влажности початков и диаметра трубы аэродинамического устройства, соответственно;  <math>\rho</math> – плотность среды;  <math>V</math> – скорость воздуха;  <math>\bar{u}, \bar{e}</math> – составляющие вязкости среды.</p>	<p>Необходим переход от функциональной зависимости к форме математического уравнения.</p> <p>Перемещение в трубе вихревого МСУ предполагает посредством воздушного потока перераспределение массы в строго сориентированное пространственное положение.</p>
<p>В.С. Курасов [41] связал в единую теорию конструкцию МСУ, удар и механические свойства зерна</p>	
<p>Угловая скорость лопасти ротора МСУ при подаче початков строго параллельно оси ротора:</p> $\omega_l = \frac{(M_{p.нр} + m_n) \cdot [S]}{R_{лк} \cdot M_{p.нр} \cdot m_n \cdot (1 + \varepsilon)}, \quad (1.14)$ <p>где <math>M_{p.нр}</math> – масса ротора приведенная к точке соударения, кг;  <math>m_n</math> – масса початка, кг;  <math>R_{лк}</math> – радиус ротора в точке соударения, м;  <math>\varepsilon</math> – коэффициент восстановления;  <math>[S]</math> – допустимый ударный импульс, <math>[S] = 1,45 \text{ Н} \cdot \text{с}</math> [38].</p>	<p>Коэффициент восстановления зерна в початке требует уточнения с учетом демпфирующей способности менее плотного материала стержня.</p> <p>Выражение создано для условий подачи початков в рабочую камеру в положении, предварительно сориентированном строго параллельно оси ротора.</p>

Продолжение таблицы 1.3

Разработчик и базовый принцип, опорные математические модели	Области, требующие продолжения исследований
Математическое выражение с расшифровкой	Наличие в теории элементов предполагающих пространственное ориентирование початков
<p>В своих научных работах использовали основное уравнение контактной проблемы Г. Герца следующие авторы: И.Н. Гуров, В.С. Курасов, И.А. Петунина, В.С. Кравченко [28, 31, 38, 41]</p>	
<p>Основное уравнение контактной проблемы Г. Герц в укрупненной форме [130-134]:</p> $\iint_{(R)} p(x, y) dR = F_p, \quad (1.15)$ <p>где <math>F_p</math> – равнодействующая сила, сжимающая тела, Н;  <math>p(x, y)</math> – давление распределенное по области сжатия R, Па</p> <p>Основное уравнение контактной проблемы Г. Герц в прикладной форме для случая удара [130-134]:</p> $F_p = n_{\Gamma} \cdot a^{3/2}, \quad (1.16)$ <p>где <math>a</math> - величина сближения тел, м;</p> $n_{\Gamma} = \frac{4 \cdot \sqrt{R_1}}{3 \cdot \pi \cdot (k_1 + k_2)} \quad (1.17)$ <p>где <math>R_1</math> – радиус кривизны ударника;  <math>k_1</math> и <math>k_2</math> - коэффициенты, зависящие от модуля Юнга и коэффициента Пуассона соударяющихся тел:</p> $k_1 = (1 - \nu_1^2) / \pi \cdot E_1 \quad (1.18)$ $k_2 = (1 - \nu_2^2) / \pi \cdot E_2, \quad (1.19)$ <p>где <math>E_1</math> и <math>E_2</math> - модули Юнга материалов соударяющихся тел, Па;  <math>\nu_1</math> и <math>\nu_2</math> - коэффициенты Пуассона для материалов, соударяющихся тел.</p>	<p>Контактная проблема Г. Герца предполагает исключительно фиксированные в пространстве условия контакта с четко определенными радиусами кривизны контактируемых поверхностей.</p>

Анализ показывает, что концептуальным обобщением математических моделей, формирующих базис теории обмолота початков кукурузы является стремление ученых описать процесс взаимодействия початка или зерна с рабочими органами в четко фиксированном пространственном положении. Однако, прослеживается разобщенность в подходах и методах исследования, что указывает на отсутствие базовой научной методологии. По данной причине нет единого мнения о рациональной конструкции МСУ и как следствие учеными, исследователями и рационализаторами созданы барабанные, ленточные, дисковые, роторные, пневматические, вальцевые и комбинированные МСУ,

являющиеся объединением нескольких вышеперечисленных машин в одну [12-16, 19-22, 28-31, 38, 39-42, 51, 52, 63, 64, 68-78, 114-119, 122-129]. Классификация существующих МСУ для початков кукурузы представлена на рисунке 1.12.

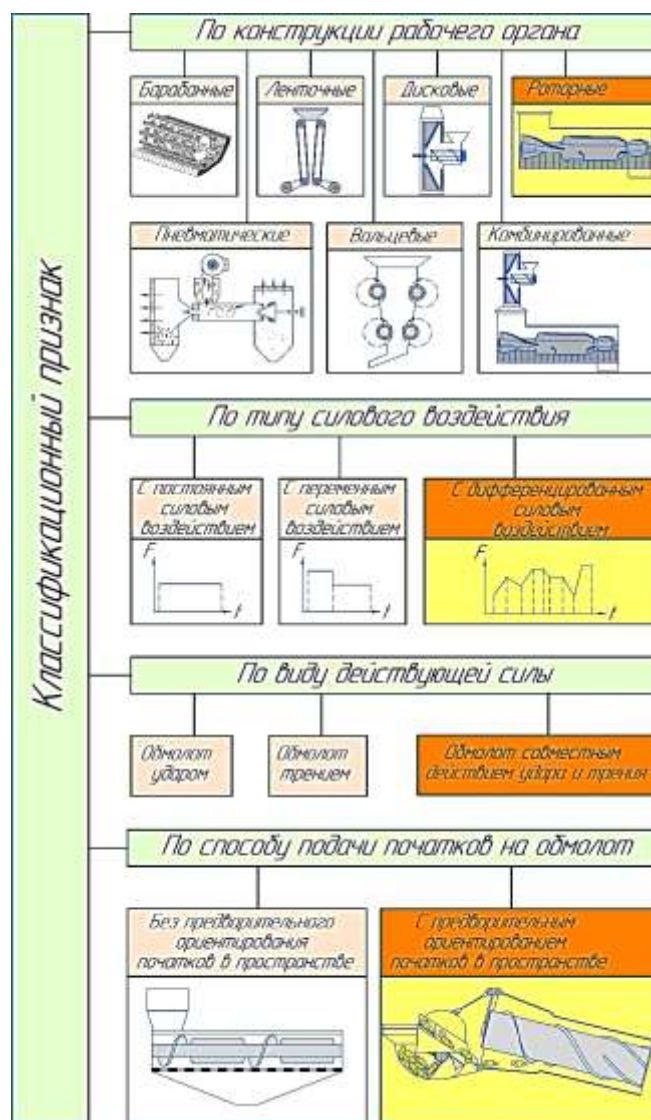


Рисунок 1.12 - Классификация существующих МСУ для початков кукурузы

Для преодоления данного разобщения в теорию обмолота необходимо ввести соединяющую концепцию и на ее основе выстроить обобщённую теорию, учитывающую весь багаж накопленного опыта. Как видно из анализа математических моделей роль соединяющей концепции может играть методика решения контактной проблемы Г. Герца. Однако однозначное мнение по этому поводу еще не сформировано, на что указывает многообразие конструкций МСУ для початков кукурузы.

Анализ теорий обмолота и конструкций МСУ для початков кукурузы указывает на инновационность и перспективность роторных машин с дифференцированным силовым воздействием сил удара и трения и предварительным ориентированием початков перед загрузкой в молотильную камеру. Кроме того, явно прослеживается тот факт, что обмолот и сепарация – две нераздельные части единого целого процесса. Для полноты анализа необходима систематизация исследований перспективных конструкций МСУ, которую целесообразно начать с систем дозированной подачи початков на обмолот. Важно установить общие принципы функционирования данных систем, а это в свою очередь требует всестороннего анализа по системным показателям.

Загрузку существующих МСУ початками при обмолоте осуществляют посредством ленточных, скребковых или ковшовых конвейеров, на которые початки подают посредством специальных загрузчиков: Р-6-КПШ-6, питатель очистителя початков ОП-15, питатель очистителя початков ОПП-5 и др. Применение такого принципа загрузки сопряжено с падениями початков с большой высоты и как следствие зерно получает травмы. Перспективной альтернативой является перемещение початков в защитных контейнерах, из которых можно рационально загрузить МСУ початками исключая их падения и удары [61, 62, 66, 116].

## **1.6 Анализ и систематизация исследований перспективных конструкций молотильно-сепарирующих устройств**

### **1.6.1 Системный анализ устройств, способных ориентировать початки кукурузы в пространстве**

Початок кукурузы является телом, обладающим конусностью и шестью степенями свободы в пространстве [28, 125]. Ориентирование початка в строго определенное положение требует лишения его как минимум четырёх степеней свободы ( $i = 4$ ) [135-146].



Для выбора наиболее перспективной конструкции ориентирующе-дозировочного загрузочного аппарата (ОДЗА) для початков кукурузы проведен системный анализ.

Для оценки конструктивных особенностей анализируемых аппаратов были предложены два логических критерия, первым из которых является показатель лишения степеней свободы  $\Delta_{лс}$  початка [122, 146]:

$$\Delta_{лс} = \sum_{i=1}^4 \frac{\theta_i}{100}, \quad (1.20)$$

где  $\theta_i$  –  $i$ -я степень свободы.

Исходя из логики рассуждений для требуемого условия равнозначности считаем, что на лишение одной из четырёх требуемых лишения степеней свободы отводится 25% эффективности работы аппарата, тогда количество лишаемых степеней свободы можно выразить в процентах.

Вторым критерием является функциональность ОДЗА, выраженная в процентах  $\Delta_{\phi}$  [122, 146]. Эффективные ОДЗА должны выполнять четыре необходимые функции ( $n = 4$ ):

- накопление массы хаотично уложенных початков в приёмном бункере;
- поштучный захват початков рабочим органом из общей массы в приёмном бункере;
- ориентирование початков в пространстве;
- создание запаса сориентированных початков.

По аналогии с первым логическим критерием считаем, что выполнение каждой из четырёх функций равнозначно и составляет 25% функциональности, откуда:

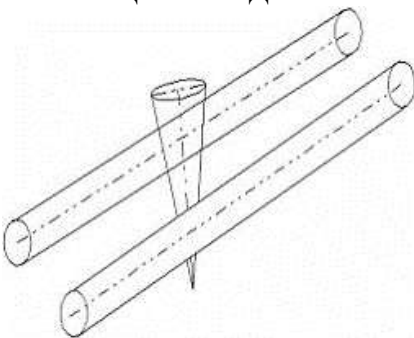
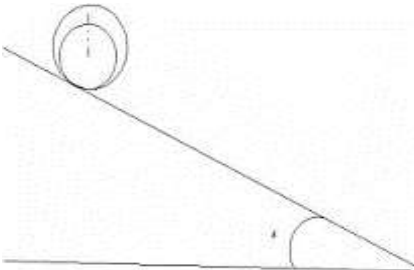
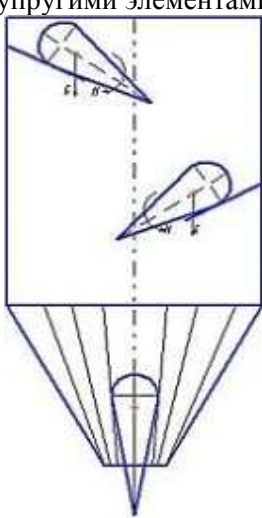
$$\Delta_{\phi} = \sum_{i=1}^4 \frac{n_i}{100}. \quad (1.21)$$

Размерная сопоставимость критериев позволяет для анализа существующих ОДЗА, способных ориентировать початки кукурузы в пространстве, применить метод построения эффективной границы Парето [122, 146, 147] (рисунок 1.13).

Анализ конструкций ОДЗА, способных ориентировать конусообразные тела в пространстве представлен в таблице 1.4.

Кодировка типов анализируемых устройств  $П_1...П_{11}$  проводилась согласно методике, предложенной в источнике [122].

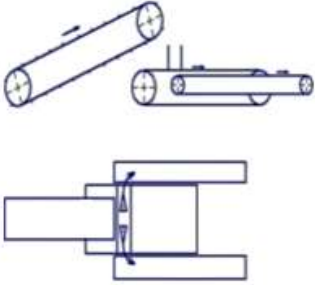
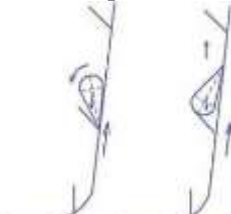
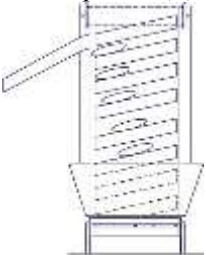


Таблица 1.4 – Анализ конструкций ОДЗА, способных ориентировать конусообразные тела в пространстве

Тип и схематическое изображение конструкции	Разработчики и исследователи	Принцип действия	$\Delta_{ЛС}$	$\Delta_{\Phi}$	Код
Щелевое ОДЗА 	В.С. Кравченко, И.А. Петунина, Е.В. Труфляк  [27-31, 117]	Для ориентации конусообразных тел используется щель, образованная вальцами или различие в частоте вращения вальцов	0,50	0,50	$П_1$
Ориентирующая наклонная плоскость 	И.А. Петунина, Е.А. Котелевская, [27-30, 125]	Конусообразные тела скатываются вниз и в сторону по дуге, описанной вокруг вершины конуса	0,25	0,50	$П_2$
ОДЗА с гибкими упругими элементами 	П.А. Емельянов, Е.И. Знаев [136, 137]	Состоит из корпуса, на противоположных сторонах которого закреплены два упора, смещённые относительно друг друга по высоте, и стабилизирующей воронки	0,75	0,75	$П_3$

Продолжение таблицы 1.4

Тип и схематическое изображение конструкции	Разработчики и исследователи	Принцип действия	$\Delta_{ЛС}$	$\Delta_{\Phi}$	Код
<p>ОДЗА с упорами</p> 	<p>П.А. Емельянов, Е.И. Знаев Н.А. Усанов [136-138]</p>	<p>Упоры устанавливаются на одном уровне над поверхностью перемещения таким образом, чтобы хвостовая часть задерживалась одним из упоров, а носовая часть свободно проходила под другим, противоположным упором</p>	1,00	0,75	$П_4$
<p>ОДЗА с шарнирно закреплённой вилкой</p> 	<p>Б.А. Якшов [139]</p>	<p>На сходе колеблющегося наклонного лотка шарнирно закреплена вилка, которая служит для ориентации конусообразных тел</p>	0,25	0,50	$П_5$
<p>Ориентирующий качающийся полуцилиндр</p> 	<p>А.В. Сазонов [140]</p>	<p>Конусообразные тела ориентируются за счет смещения центра тяжести в сторону хвостовой части</p>	0,25	0,50	$П_6$
<p>Ориентирующий клиноремной многоручьевой транспортёр</p> 	<p>Л.В. Погорелый, В.П. Давыдюк [141]</p>	<p>Конусообразные тела ориентируются вдоль направления движения транспортёра хвостовой частью вперёд за счёт разности линейных скоростей лент транспортёра</p>	0,75	1,00	$П_7$

Продолжение таблицы 1.4

Тип и схематическое изображение конструкции	Разработчики и исследователи	Принцип действия	$\Delta_{лс}$	$\Delta_{\phi}$	Код
<p>ОДЗА фрикционного типа</p> 	<p>Ж.В. Олевич, Г.Г. Левитов [142]</p>	<p>Используется свойство конуса смещаться в сторону вершины при раскручивании и придании точкам образующей конуса одинаковой линейной скорости лентой транспортера</p>	0,50	1,00	П <sub>8</sub>
<p>Ориентирующая люлечная нория</p> 	<p>И.А. Петунина, Е.А. Котелевская, Н.А. Усанов, [28-30, 125, 138]</p>	<p>Конусообразные тела ориентируются за счёт смещения центра тяжести относительно скребка</p>	0,75	1,00	П <sub>9</sub>
<p>Элеваторное ОДЗА</p> 	<p>Н.А. Усенко, И.С. Бляхеров [143]</p>	<p>Конусообразные тела ориентируются за счёт наклона пластин</p>	1,00	1,00	П <sub>10</sub>
<p>Вихревое ОДЗА</p> 	<p>А.В. Сафонов, Э.В. Жалнин, А.В. Анисимов, В.А. Анисимов, М.П. Васин [51, 52]</p>	<p>Используется свойство конуса смещаться в сторону вершины при раскручивании и придании точкам образующей конуса одинаковой линейной скорости тангенциальным воздушным потоком</p>	1,00	0,75	П <sub>11</sub>
<p>Ориентирующий качающийся многоканальный лоток</p> 	<p>N'HAUX Concept Франция [129]</p>	<p>Конусообразные тела ориентируются за счёт смещения центра тяжести в сторону хвостовой части</p>	1,00	1,00	П <sub>12</sub>

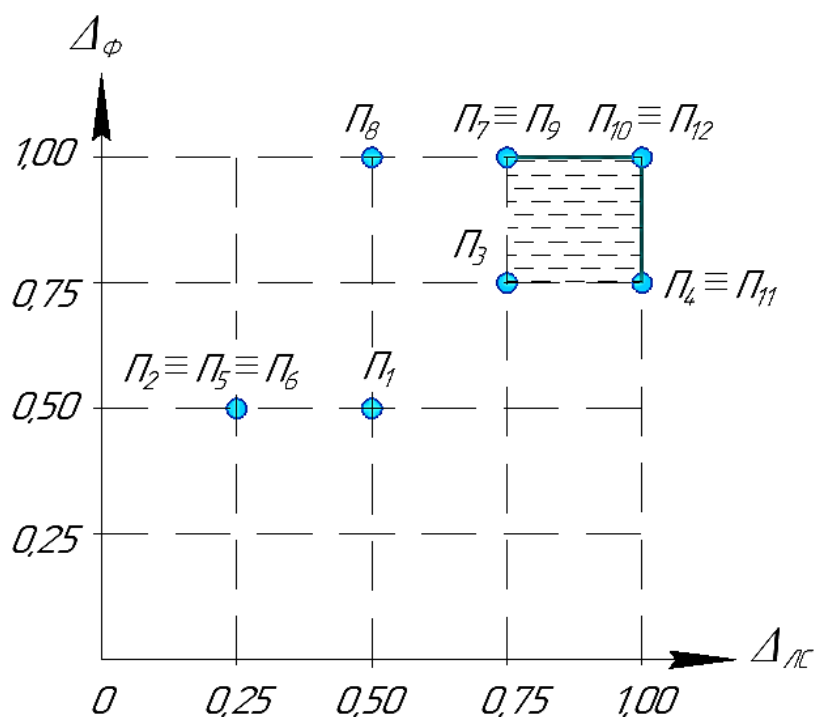


Рисунок 1.13 – К методу построения эффективной границы Парето

Рисунок 1.13 отражает суть принятого для анализа метода. По принятым логическим критериям оценки устройства  $\Pi_4, \Pi_7, \Pi_9, \Pi_{10}, \Pi_{11}$  и  $\Pi_{12}$  доминируют над остальными. Линия  $\Pi_7 \Pi_{12} \Pi_{11}$  – эффективная граница Парето [146, 147], ниже которой располагаются низкоэффективные устройства. Заштрихованная область  $\Pi_3 \Pi_7 \Pi_{12} \Pi_{11}$  – рациональная область поиска по принятым критериям оценки. Устройства  $\Pi_7, \Pi_9$  доминируют над  $\Pi_4, \Pi_{11}$  по показателю  $\Delta_\phi$ . В свою очередь,  $\Pi_4, \Pi_{11}$  доминируют над  $\Pi_7$  и  $\Pi_9$  по показателю  $\Delta_{ЛС}$ .

Для определения лучшего варианта из  $\Pi_4, \Pi_7, \Pi_9$  и  $\Pi_{11}$  необходим дополнительный многокритериальный анализ. Однако, в данном случае это нецелесообразно, поскольку существуют варианты  $\Pi_{10}$  и  $\Pi_{12}$ , характеризующиеся доминированием над всеми анализируемыми вариантами по двум критериям одновременно. Следовательно, данные типы ОДЗА можно принять в качестве прототипов для дальнейшего совершенствования.

ОДЗА вариантов  $\Pi_{10}$  и  $\Pi_{12}$  легко интегрируются в конструкцию аксиально-роторных МСУ, являющихся наиболее распространенными по причине высокой эффективности обусловленной непрерывностью процесса обмолота и простотой управления силовым воздействием на початки кукурузы [38].

## **1.6.2 Анализ принципов дифференцирования обмолачивающих сил в аксиально-роторных молотильно-сепарирующих устройствах для кукурузы**

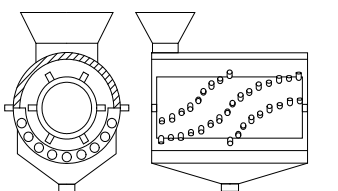
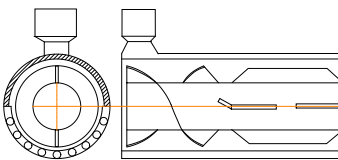
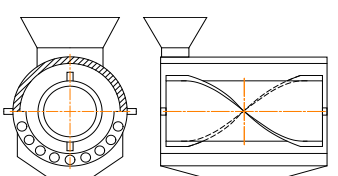
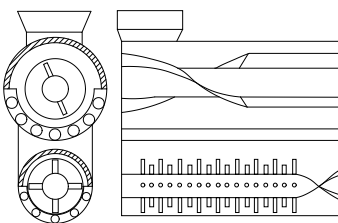
Минимизация количества макро- и микроповреждений при обмолоте початков кукурузы возможна только при адаптивном дифференцировании механического силового воздействия на зерно в молотильной камере.

На современном этапе развития МСУ для початков кукурузы наиболее эффективными являются аксиально-роторные обмолачивающие системы [38, 42, 63, 63, 71, 73, 75, 116, 122, 123, 128]. Эффективность аксиально-роторных МСУ, в сравнении с другими конструкциями, обеспечивается непрерывностью процесса обмолота, высокой производительностью, простотой и надёжностью конструкции системы ротор-дека, а также низкой энергоёмкостью процесса обмолота, минимальной материалоёмкостью МСУ, наименьшим количеством макро- и микроповреждений зерна при недомолоте и сходе свободным зерном менее 2%. В аксиально-роторных МСУ наиболее полно реализован принцип дифференцирования силового воздействия рабочих органов на каждый обмолачиваемый початок, каждый участок смежных зёрен в початке и каждое отдельное зерно, соответственно.

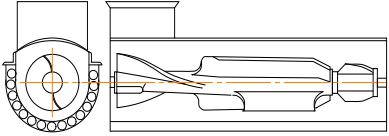
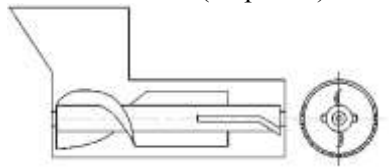
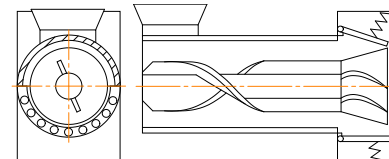
Дифференцирование силового воздействия на початки кукурузы в молотильной камере в значительной мере зависит от конструкции системы ротор-дека, используемого аксиально-роторного МСУ. На современном этапе развития сельскохозяйственной техники разработано большое количество аксиально-роторных МСУ для початков кукурузы, которые различаются конструкцией ротора и деки, количеством независимых систем в молотильной камере, частотой вращения рабочих органов, зазорами в молотильной камере и диаметром ротора.

Анализ конструктивно-технологических схем аксиально-роторных МСУ представлен в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Анализ систем ротор-дека, используемых в существующих конструкциях МСУ для кукурузы

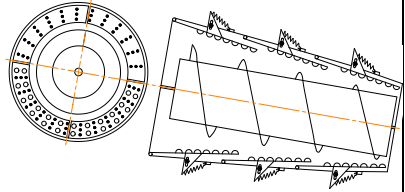
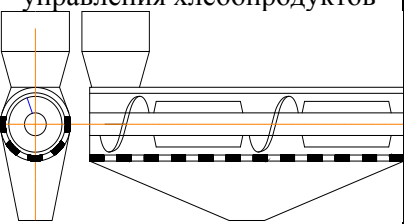
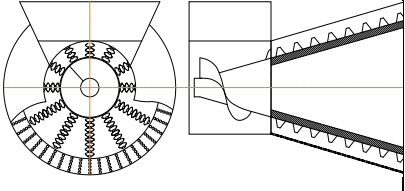
Схема системы ротор-дека (СРД) и марка МСУ, в котором она применяется	Исследователи	Конструкция ротора	Конструкция деки	Способ дифференцирования обмолачивающих сил	Предельное количество макро- и микроповреждений зерна, % [113]	Производительность, т/ч	Мощность двигателя, кВт	Частота вращения ротора, мин <sup>-1</sup>	Зазор в молотильной камере, мм	Диаметр ротора, мм
<p>ДММ-1, БКМ, МКП-3</p> 	<p>И.Н. Гуров, С.М. Голик, Г.И. Креймерман, В.С. Курасов, Т.К. Тоганбаев, Н.В. Сережина [14, 38, 42, 63, 64, 116]</p>	<p>Ротор длиной 560 мм с винтовым расположением штифтов</p>	<p>Верхняя сплошная и нижняя прутковая часть деки имеют равный угол охвата ротора 180 градусов. Верхняя часть деки стальная без отверстий</p>	-	> 20%	3,0 ... 10,0	10,0	1000...1100	55...60	220
<p>ШКГ-4</p> 		<p>Ротор длиной 850 мм с винтовыми и прямыми лопастями</p>		-	> 20%	7,0 ... 11,5	14,0	595...680	55	225
<p>НКМ</p> 		<p>Двухзаходный лопастной ротор длиной 1110 мм</p>		-	> 20%	7,0 ... 9,0	14,0	790...850	55...60	290
<p>ДМК-2 (аналог - United States Patent № 6,435,962)</p> 		<p>Длина верхнего лопастного и нижнего штифтового ротора 1120 мм</p>		<p>Разная частота вращения роторов в ступенях</p>	> 20%	20,0 ... 25,0	32,8	В – 1000 Н – 900	В – 45 Н – 27	В – 265 Н – 208

Продолжение таблицы 1.5.

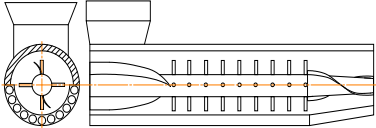
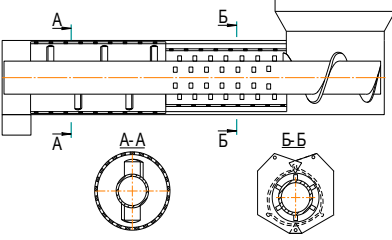
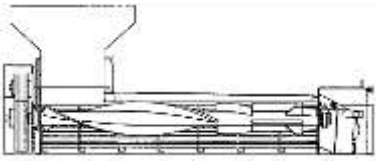
Схема системы ротор-дека (СРД) и марка МСУ, в котором она применяется	Исследователи	Конструкция ротора	Конструкция деки	Способ дифференцирования обмолачивающих сил	Предельное количество макро- и микроповреждений зерна, % [113]	Производительность, т/ч	Мощность двигателя, кВт	Частота вращения ротора, мин <sup>-1</sup>	Зазор в молотильной камере, мм	Диаметр ротора, мм
<p>МКП-30 (аналоги: МКП-12, МКПУ, MSH-25 «Serbia Product»)</p> 	<p>И.Н. Гуров, С.М. Голик, Г.И. Креймерман, В.С. Курасов, Н.В. Серезина Компания Serbia Product [14, 38, 42, 63, 64, 116]</p>	<p>Лопастной ротор длиной 1128 мм и тремя участками лопастей</p>	<p>Нижняя прутковая часть деки охватывает ротор на 270 градусов. Верхняя - стальная без отверстий</p>	<p>Лопастей переменной геометрии наносят удары с разной силой</p>	<p>&lt; 20%</p>	<p>15,4 ... 22,0</p>	<p>28,0</p>	<p>350... 835</p>	<p>50</p>	<p>254</p>
<p>МКП-10 (Украина)</p> 	<p>И.Н. Гуров, Н.В. Серезина, Г.И. Креймерман, В.С. Курасов [38, 42, 64, 116]</p>	<p>Лопастной ротор длиной 1150 мм и тремя участками лопастей</p>	<p>Нижняя часть деки – решетчатая, охватывает ротор на 270 градусов. Верхняя - стальная без отверстий</p>	<p>Автоматическое изменение частоты вращения ротора</p>	<p>&gt; 20%</p>	<p>10,0</p>	<p>11</p>	<p>600... 850</p>	<p>50</p>	<p>300</p>
<p>МК-30</p> 	<p>И.Н. Гуров, [38]</p>	<p>Лопастной ротор длиной 1128 мм и конической хвостовой частью</p>	<p>В лопастной части ротора дека аналогична НКМ. В конусной части состоит из четырёх подпружиненных секторов</p>	<p>Дека с пассивным и активными участками. Автоматическое изменение частоты вращения ротора</p>	<p>&lt; 20%</p>	<p>30,0</p>	<p>30,0</p>	<p>600... 850</p>	<p>60</p>	<p>Лопастная часть 290, конусная часть 290...350</p>



Продолжение таблицы 1.5.

Схема системы ротор-деки (СРД) и марка МСУ в котором она применяется	Исследователи	Конструкция ротора	Конструкция деки	Способ дифференцирования обмолачивающих сил	Предельное количество макро- и микроповреждений зерна, % [113]	Производительность, т/ч	Мощность двигателя, кВт	Частота вращения ротора, мин <sup>-1</sup>	Зазор в молотильной камере, мм	Диаметр ротора, мм
<p>Молотилка кафедры МППЖ Луганского НАУ</p> 	<p>Д.Н. Бахарев, С.Ф. Вольвак, Н.В. Брагинец [148 - 150]</p>	<p>Шнековый ротор длиной 1000 мм и навивкой переменной высоты</p>	<p>Дека включает три отдельных участка, состоящих из четырёх подпружиненных секторов с шипами и отверстиями</p>	<p>Подпружиненная ступенчатая дека. Изменение наклона молотильной камеры. Полимерные шипы деки</p>	<p>&lt; 20%</p>	<p>2,5...2,8</p>	<p>2,5</p>	<p>75... 200</p>	<p>60...15</p>	<p>По краю навивки переменной высоты 350 – 330</p>
<p>Молотилка Свердловского управления хлебопродуктов</p> 	<p>Г.И. Креймерман [64]</p>	<p>На роторе длиной 1650 мм две секции рабочих органов, состоящие из витка шнека и прямых лопастей</p>	<p>Нижняя часть деки стальная с пробивными отверстиями охватывает ротор на 220 градусов. Верхняя - без отверстий</p>	<p>Дискретное изменение скорости движения початков вдоль оси ротора</p>	<p>&gt; 20%</p>	<p>5,0...7,0</p>	<p>20,0</p>	<p>600... 1000</p>	<p>60</p>	<p>Шнековая навивка 250, прямые лопасти 180</p>
<p>Конусная молотилка початков кукурузы (КМПК)</p> 	<p>Г.И. Креймерман А.И. Яковлев, А.И. Полетучий, М.В. Туманов, Е.В. Рябко, Donald M. Young, Atanas L. Mitkov, Ivan N. Georgiev, Peter T. Radulov, [43, 47-49, 64]</p>	<p>Ротор длиной 1280 мм по форме конусный, со шнековой приёмной и шпифтовой основной частью</p>	<p>Нижняя часть деки стальная с пробивными отверстиями и охватывает ротор на 180 градусов. Верхняя - без отверстий</p>	<p>Плавное изменение угловой скорости початков</p>	<p>&lt; 20%</p>	<p>15,5...25,0</p>	<p>55,0</p>	<p>300... 650</p>	<p>60</p>	<p>Конус 300 ... 750</p>

Продолжение таблицы 1.5.

Схема системы ротор-деки и марка МСУ в котором она применяется	Исследователи	Конструкция ротора	Конструкция деки	Способ дифференцирования обмолачивающих сил	Предельное количество макро- и микроповреждений зерна, % [113]	Производительность, т/ч	Мощность двигателя, кВт	Частота вращения ротора, мин <sup>-1</sup>	Зазор в молотильной камере, мм	Диаметр ротора, мм
<p>Молотильный аппарат Rivera Casalis (Евросоюз)</p> 	К.В. Шатилов, Б.Д. Козачок, А.П. Орехов Компания Rivera Casalis [13]	Длина ротора 1700 мм. Цилиндрическая часть ротора с лопастями и шпифтами. Коническая - с лопастями.	Нижняя часть деки охватывает ротор на 220 градусов. Верхняя - стальная без отверстий	-	> 20%	15,0 ... 18,0	Мощность двигателя, расходуемая только на обмолот, 32,0	750 ... 1000	Цилиндр. 60. Конус. от 60 до 35	Цилиндр. 370. Конус. от 370 до 300
<p>Corn Sheller (USA)</p> 	Lyman J. Gunyou, Robert A. Stelzer, [45, 46]	Длина ротора 1750 мм. Приёмная часть шнековая, средняя - шпифтовая, концевая - с лопатками установленными под углом к оси ротора	Два независимых цилиндра с пробивными отверстиями охватывают ротор на 360 градусов. Диаметр 1-го цилиндра регулируется	Молотильная камера разбита на два участка, рабочие органы которых действуют на початки с разной интенсивностью	> 20%	8,0 ... 10,0	16,0	650 ... 780	50 ... 60	300
<p>Maize Sheller MR 20, Haldrup BCS-100 (Евросоюз)</p> 	Компании: Cimbria, Haldrup, Baural [95]	Лопастной ротор длиной 2200 мм и тремя участками лопастей	Нижняя пружинная часть деки охватывает ротор на 270 градусов. Верхняя - стальная без отверстий	Лопастей переменной геометрии наносят удары с разной силой	> 20%	20	22	250 ... 600	50 ... 60	≈ 300

Из анализа следует, что дифференцирование обмолачивающих сил достигается автоматически изменяющейся интенсивностью действия рабочих органов системы ротор-деки. Взаимодействие ротора и деки в процессе дифференцирования обмолачивающих сил целесообразно исследовать матричным методом [146, 147], сформировав матрицу взаимосвязи параметров (рисунок 1.14). Для этого действия ротора закодированы через  $X_i$ , а действия деки - через  $Y_j$ .

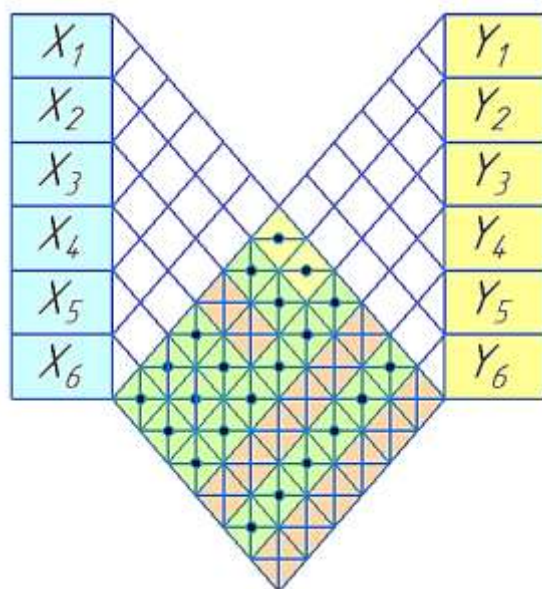
Действием ротора дифференцирование обмолачивающих сил достигается:

- $X_1$  - применение молотильных систем с двумя роторами, работающими последовательно (ДМК-2) [14, 38, 42, 63, 64, 116];
- $X_2$  - использование роторов с лопастями переменной геометрии (МКП-30 МКП-12, МКП-10, МКПУ, MSH-25) [14, 38, 42, 63, 64, 97, 116];
- $X_3$  - применение шипов ротора квадратной, цилиндрической, круглой и фасонной формы (ДМК-2, Rivera Casalis) [13, 38, 63, 64];
- $X_4$  - применение роторов, обеспечивающих дискретное изменение скорости движения початков вдоль молотильной камеры (молотилка Свердловского управления хлебопродуктов) [64];
- $X_5$  - плавное изменение угловой скорости початков путём применения конусных роторов (КМПК) [43, 47-49, 64];
- $X_6$  - возможность применения системы автоматического изменения частоты вращения ротора в зависимости от условий обмола (МКП-30 МКП-12, МКП-10, МКПУ, MSH-25, молотилка кафедры МППЖ Луганского НАУ, Maize Sheller MR 20) [14, 38, 42, 63, 64, 97, 116].

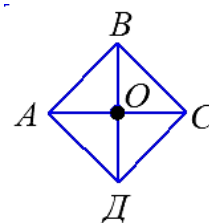
Действием деки дифференцирование обмолачивающих сил достигается:

- $Y_1$  - применение активной (подвижной) деки (молотилка кафедры МППЖ Луганского НАУ) [106, 114, 133, 134];
- $Y_2$  - применение деки с чередующимися пассивными и активными участками (МК-30) [38, 57, 58];

- $Y_3$  - применение многоступенчатой деки, с возможностью регулирования силового воздействия на початки в каждой независимой ступени (МК-30, МКП-12, молотилка кафедры МППЖ Луганского НАУ) [148-150];
- $Y_4$  - покрытие рабочих органов деки полимерными материалами или износостойкими резинами (применяется во всех конструкциях) [38, 63, 64];
- $Y_5$  - изменение угла наклона СРД относительно горизонта (КМПК, молотилка кафедры МППЖ Луганского НАУ) [43, 47-49, 64148-150];
- $Y_6$  - применение шипов деки квадратной, цилиндрической, круглой и фасонной формы (применяется во всех конструкциях оснащенных секционной декой) [38, 63, 64, 122].



а)



б)

а - матрица взаимосвязи параметров дифференцированного воздействия на зерно кукурузы в системе ротор-дека; б - шифровка связей:  
 АО – наличие связи (да/нет); ОС – сила связи (сильная/слабая); ВО – влияние на управляемость процессом отделения зерна от стержня (влияет/не влияет);  
 ОД – влияние на управляемость процессом минимизации повреждения зерна (влияет/не влияет); О – влияние на управляемость процессом сепарации зерна

Рисунок 1.14 – Матрица взаимодействия ротора и деки в процессе дифференцирования обмолачивающих сил

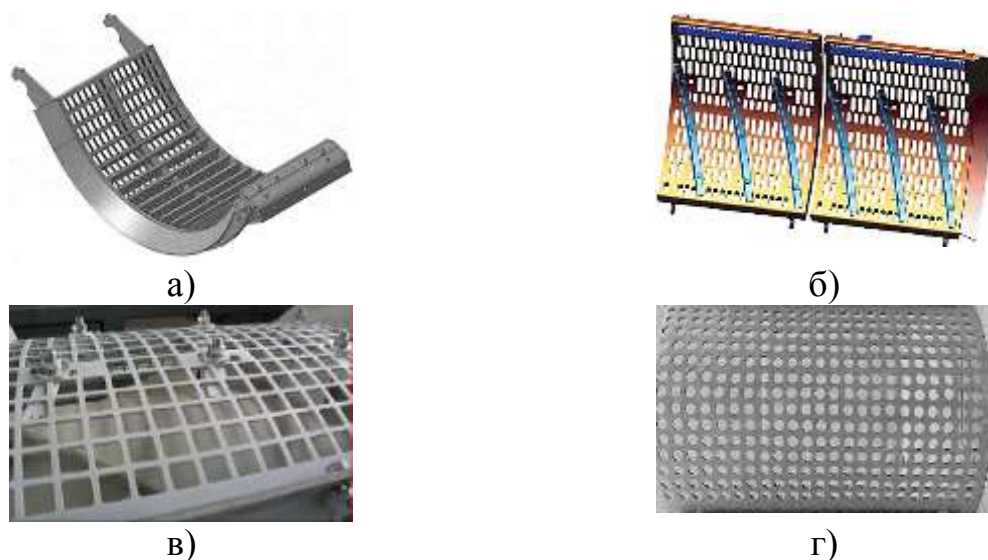
Из матрицы видно, что с позиции дифференцирования обмолачивающих сил совершенствование системы ротор-дека целесообразно вести в направлении

создания многоступенчатой молотильной камеры, позволяющей поэтапно регулировать силовое воздействие на початки в каждой независимой ступени. При этом данная многоступенчатая молотильная камера должна быть обеспечена системой изменения ее угла наклона относительно горизонта. Это позволит минимизировать количество повреждений зерна при обмолоте початков различных подвидов кукурузы в условиях широкого диапазона варьирования их механико-технологических характеристик.

Разработка конструкции МСУ, в которой реализованы вышеперечисленные пути дифференцирования силового воздействия на зерно – перспективная научно-техническая задача, решение которой позволит минимизировать количество макро- и микроповреждений зерна при обмолоте.

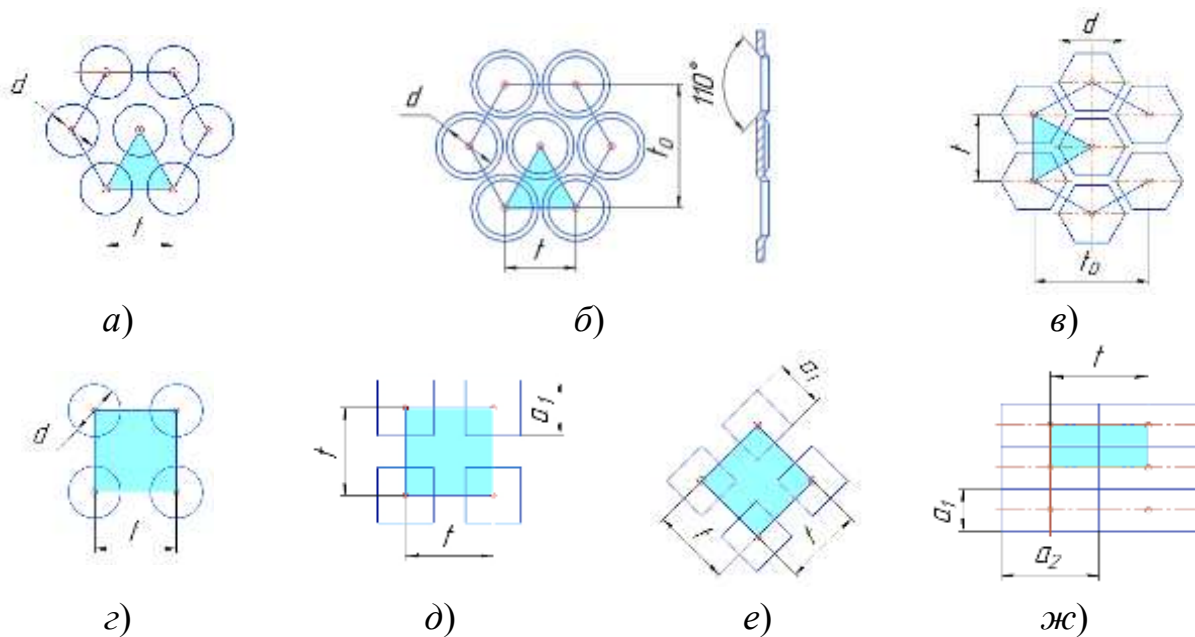
### **1.6.3 Аналитические исследования конструктивных особенностей части деки, выполняющей функцию разделения зерноотвержевой смеси в молотильно-сепарирующих устройствах**

Зерно отбирается из обмолоченной зерноотвержевой смеси посредством деки МСУ, по сути, представляющей собой сложное решето. В деке важна форма и размер отверстий, а также схема их расстановки (рисунок 1.15 и 1.16). В настоящее время нет однозначного мнения о рациональной форме и схеме расстановки отверстий решетчатой деки МСУ для кукурузы. Исследование данного вопроса идет в направлении экспериментального подбора конструктивного варианта, обладающего повышенной пропускной способностью. Наиболее интенсивно данные исследования проводятся в области оптимизации МСУ аксиально-роторных зерноуборочных комбайнов, в результате установлено, что рельефная дека с направляющими потока обеспечивает более эффективное прохождение обмолоченного зерна в отверстия и упорядоченное движение незерновой части в молотильной камере [13, 67-78, 122].



а – рельефная прутково-планчатая дека со щелевыми отверстиями прямоугольной формы;  
 б – плоская решетчатая дека с отверстиями прямоугольной формы и направляющими потока;  
 в – плоская решетчатая дека с квадратными отверстиями и направляющими потока; г –  
 плоская решетчатая дека с круглыми или круглыми лункообразными отверстиями

Рисунок 1.15 – Форма отверстий деки аксиально-роторных комбайнов



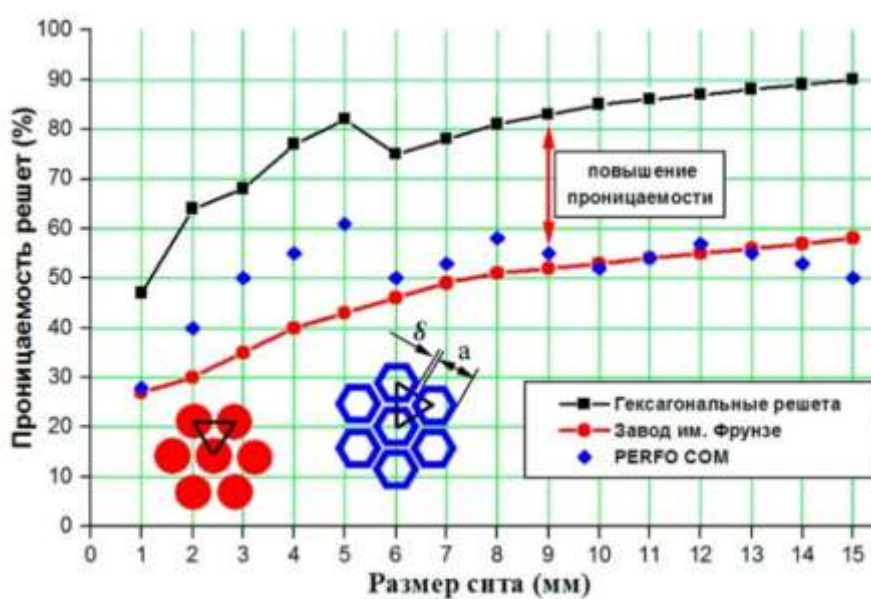
а и б – круглые и круглые лункообразные отверстия, расположенные по шестиугольнику; в – шестигранные отверстия; г – круглые отверстия, расположенные по квадрату;

д и е - квадратные отверстия, расположенные по квадрату; ж – прямоугольные отверстия, расположенные по прямоугольнику;  $d$  - диаметр отверстия;  $t$  и  $t_0$  – шаг;  $a_1$  и  $a_2$  – размер стороны

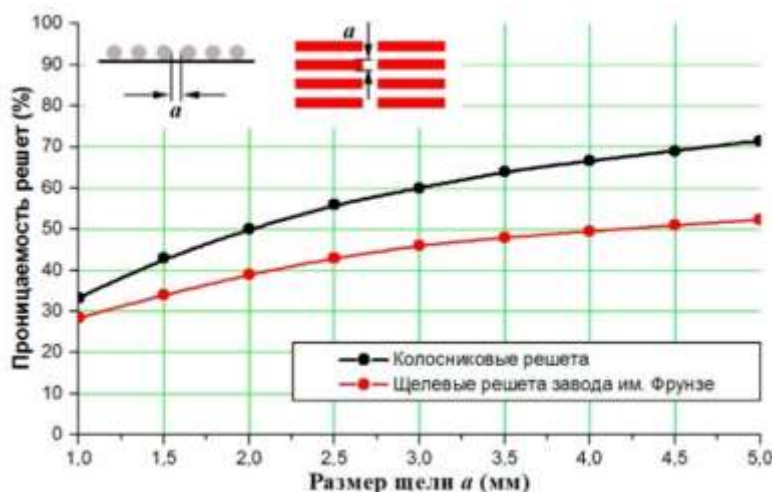
Рисунок 1.16 – Схемы расстановки отверстий в кукурузных решетках завода Фрунзе [151]

Различные формы отверстий и рельефы решетчатых машин для зерна кукурузы экспериментально изучались Л.В. Фадеевым [106-109, 112, 152, 153].

В результате установлено, что для кукурузы рациональными являются рельефные (колосниковые) решетчатые деки, щели которых образованы посредством соединения прутков круглого сечения [106-109, 112, 152, 153]. Данные решета одинаково эффективны для зерна кукурузы различных подвидов, существенно отличающихся по форме, размеру и фрикционным свойствам. Проницаемость решетчатых дек по данным Л.В. Фадеева [108] представлена на рисунке 1.17. Данным исследователем экспериментально доказано, что рельефная решетчатая дека эффективно меняет ориентацию зерна в пространстве и тем самым интенсифицирует процесс отвода зерна и делает его управляемым [151-157].



а)



б)

а – проницаемость пробивных решет; б – проницаемость щелевых решет  
Рисунок 1.17 - Проницаемость решет по данным Л.В. Фадеева

Л.В. Фадеев доказал, что щелевые решетчатые деки по эффективности уступают колосниковым, а деки с круглыми отверстиями уступают декам с гексагональными отверстиями.

Экспериментальные данные полученные Л.В. Фадеевым по рельефным декам подтверждаются уравнениями движения вороха в МСУ, полученными И.Н. Гуровым [38]. Данная конструкция деки перспективна и может быть принята в качестве прототипа для дальнейших исследований.

### **1.7 Нерешенные вопросы изучаемой проблемы**

Посредством проведенного анализа в изучаемой проблеме выделяется нерешённый комплексный вопрос, состоящий в минимизации макро- и микроповреждении зерна посредством усовершенствованной механизированной технологии, обеспечивающей снижение количества падений початков при погрузочно-перегрузочных операциях, щадящую подачу початков на обмолот из контейнеров в рациональном пространственном положении и поэтапный обмолот, позволяющий адаптивно менять интенсивность силового воздействия рабочих органов МСУ прийти к минимизации макро- и микроповреждений зерна в наиболее экстремальной фазе (рисунок 1.8) процесса стационарной переработки початков семенной кукурузы.

Общие принципы работы машин для уборки зерна или обмолота початков кукурузы, а также анализ существующих теорий обмолота указывают на то, что дальнейшего совершенствования требуют следующие этапы технологического процесса обмолота початков семенной кукурузы:

- ориентирование початков в пространстве при их подаче в МСУ;
- первичное нарушение зерновой структуры сориентированных в пространстве початков в начальный период загрузки МСУ (здесь нарушение зерновой структуры – это удаление нескольких зерен в разных участках поверхности каждого початка);



- движение початков в молотильной камере в положении, строго сориентированном относительно обмолачивающих рабочих органов;
- адаптивное дифференцирование силового воздействия на початки в молотильной камере;
- домолот комлевой и носковой части початков;
- максимально быстрый и эффективный вывод обмолоченного зерна из-под действия рабочих органов при нарушении зерновой структуры, основном обмолоте и домолоте.

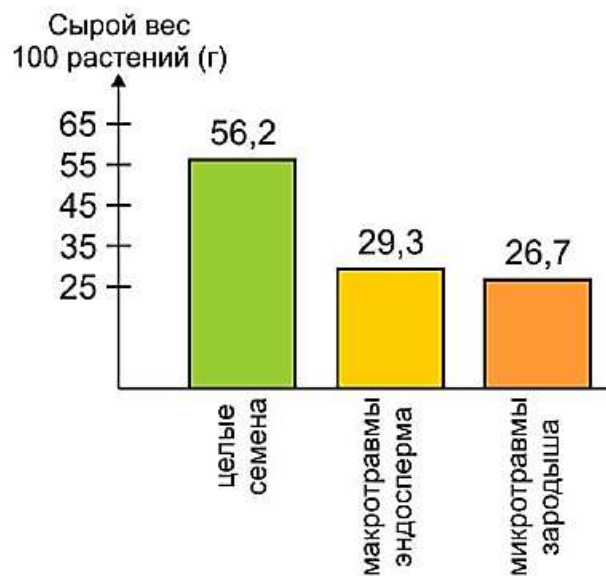
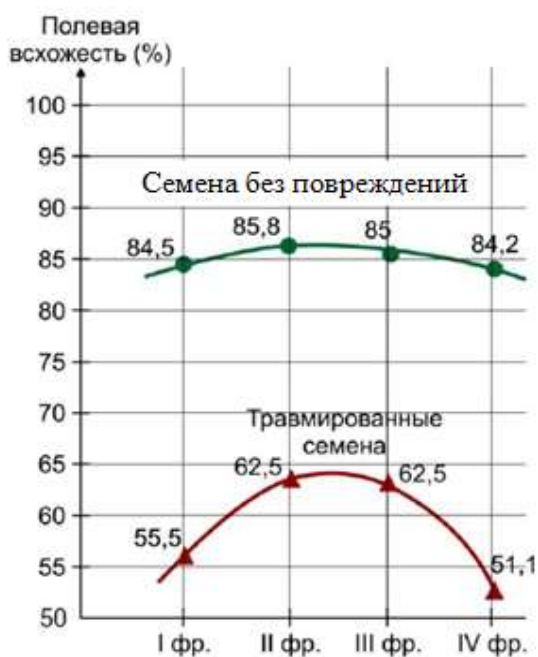
Решение данных задач позволит сохранить потенциал урожайности зерна кукурузы, получать больше зерна с гектара поля и тем самым экономить временные, материальные и трудовые ресурсы в сельскохозяйственных предприятиях России.

## **1.8 Перспективы развития технологий и технических средств для уборки и обмолота початков кукурузы на зерно**

### **1.8.1 Потенциал повышения эффективности обмолота початков семенной кукурузы**

Исследованиями И.Г. Строна, В.М. Шевченко, Л.В. Фадеева, А.М. Гречанюка доказано среднее снижение урожая кукурузы не менее, чем на 23% из-за макро- и микроповреждений семенного зерна, полученных в результате механизированной обработки початков по травмирующей технологии [111-113].

Травмирование семенного зерна значительно снижает полевую всхожесть и затрудняет вегетацию растений (рисунок 1.18). Все это впоследствии приводит к существенному недобору урожая.



а)

б)

а - полевая всхожесть целых и травмированных семян кукурузы (гибрид) ВПР-25;  
 б - интенсивность начального роста травмированных семян кукурузы и семян без повреждений

Рисунок 1.18 – Влияние макро- и микроповреждений зерна на развитие растений

По результатам 2020 года, например, Белгородская область произвела 852,2 тыс. тонн зерна кукурузы, убрав урожай на 150 тыс. га.

Применение механизированной обработки початков семенной кукурузы по щадящей технологии позволит снизить количество макро- и микроповреждений самостоятельно производимого семенного зерна, что в перспективе может существенно увеличить валовый сбор кукурузы без расширения посевных площадей области [111-113].

Россия в 2020 году импортировала семенного зерна на сумму 105,3 млн. USD [9, 154]. Для Белгородской области сумма закупок составляет 442,8 млн. рублей. Развитие собственной механизированной технологии обработки семенной кукурузы позволит полностью решить задачу импортозамещения по семенам кукурузы в Белгородской области и направить значительные финансовые средства в развитие регионального агропромышленного комплекса.

## **1.8.2 Перспективы развития технических средств для обмолота початков семенной кукурузы**

Совершенствование системы научного обоснования средств обмолота початков семенной кукурузы позволит:

- создавать высокоэффективные и конкурентоспособные средства стационарного обмолота для первичного семеноводства кукурузы;
- разработать высокоэффективный самоходный аксиально-роторный селекционный комбайн;
- расширить базу теоретико-экспериментальных данных для совершенствования отечественных самоходных аксиально-роторных зерноуборочных комбайнов и другой кукурузоуборочной техники.

Первичное семеноводство кукурузы недостаточно механизировано, это существенно снижает эффективность работы семеноводческих предприятий [59]. В этой связи создание одинаково эффективного для различных подвидов семенной кукурузы МСУ, в котором реализован принцип дифференцированного силового воздействия при обмолоте является задачей, требующей скорейшего решения.

Сравнение удельной стоимости отечественных малоразмерных селекционных комбайнов (например, СК-110 разработанный на «Омском экспериментальном заводе» [155]) и полноразмерных аксиально-роторных комбайнов от Ростсельмаш (например, TORUM-785 [156]) показывает, что недостаточная научная проработка основ создания селекционных комбайнов приводит к тому, что их стоимость в относительных величинах превышает аксиально-роторные комбайны от Ростсельмаш более чем в три раза. Из этого следует, что создание более доступного селекционного комбайна, способного осуществлять адаптивное силовое воздействие при обмолоте початков семенной кукурузы весьма перспективно.

Развитие технических средств для обмолота початков кукурузы позволит расширить базу теоретико-экспериментальных данных для создания

специализированных прицепных или самоходных кукурузоуборочных комбайнов, способных убирать кукурузу как в початках, так и с обмолотом в аксиально-роторных приставках адаптивного действия, востребованных при уборке продовольственной и фуражной кукурузы. Создание отечественных самоходных кукурузоуборочных машин перспективная задача импортозамещения, данная задача автоматически решается в результате комплексного решения первых двух задач.

## **1.9 Выводы и задачи исследований**

В результате проведенного анализа формулируются следующие выводы.

1. Белгородская область обладает большим научно-практическим и техническим потенциалом для увеличения объемов производства зерна кукурузы всех промышленных подвидов. Полное раскрытие данного потенциала возможно посредством создания на базе области единого научно-производственного центра, оснащенного отечественным высокоэффективным оборудованием, позволяющим создать и практически реализовать щадящую технологию переработки урожая семенной, продовольственной и фуражной кукурузы, обеспечивающую минимизацию макро- и микроповреждений зерна.

2. Технология обработки початков кукурузы с минимальным макро- и микроповреждением наиболее эффективно реализуется в условиях стационарной механизации. Здесь необходима глубокая научная проработка способов щадящего дифференцированного силового воздействия на зерно перерабатывающими машинами, среди которых наиболее травмирующими зерно являются МСУ.

3. Применение способа перемещения початков в защитных контейнерах позволяет создать условия для рационально загрузить МСУ початками исключая их падения и удары.

4. Анализ общих принципов функционирования кукурузоуборочной и кукурузоперерабатывающей техники показывает, что на данный момент научно-

практически не решена задача обработки початков кукурузы в наиболее рациональном пространственном расположении относительно рабочих органов машин. Для МСУ данная задача стоит наиболее остро, о чем свидетельствует стремление ученых и исследователей выстроить теорию обмолота кукурузы, задавая в качестве начального условия фиксированное пространственное положение початков.

5. Повышение эффективности обмолота семенной кукурузы возможно посредством реализации принципа поэтапного выполнения процесса при условии дифференцирования силового воздействия в аксиально-роторном МСУ с многосекционной молотильной камерой, позволяющей поэтапно регулировать силовое воздействие на упорядоченно выстроенные початки в каждой независимой секции. При этом такая техническая система поэтапного обмолота должна быть укомплектована ОДЗА и позволять обмолачивать початки, подаваемые не только транспортером, но и из контейнеров.

6. Обмолот початков кукурузы неразрывно связан с сепарацией зерна посредством решетчатой деки. Рельефная решетчатая дека эффективно меняет ориентацию зерна различных подвидов в пространстве и тем самым интенсифицирует процесс его отвода из молотильной камеры.

7. Потенциал повышения эффективности обмолота початков семенной кукурузы заключается не только в минимизации макро- и микроповреждений зерна, но и в расширении базы теоретико-экспериментальных данных для создания инновационных специализированных кукурузоперерабатывающих машин в целом и МСУ в частности.

Из вышеприведенной информации вытекает цель исследований.

Цель исследования – минимизация макро- и микроповреждений семенного зерна кукурузы при поэтапном обмолоте в технологии послеуборочной обработки початков.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие научные задачи:

1. Изучить механико-технологические свойства початков и зерна кукурузы различных подвидов.
2. Обосновать технологические решения минимизации макро- и микроповреждений зерна при обмолоте початков семенной кукурузы в процессе их послеуборочной обработки.
3. Разработать способ поэтапного обмолота семенной кукурузы и теоретически обосновать конструктивные параметры комплекта технических средств, включающего защитный контейнер, ориентирующе-дозировочный загрузочный аппарат и аксиально-роторное МСУ.
4. Экспериментально подтвердить результаты теоретических исследований процесса поэтапного обмолота початков семенной кукурузы комплектом технических средств.
5. Разработать методику проектирования комплектов технических средств для поэтапного обмолота початков семенной кукурузы.
6. Выполнить технико-экономический анализ эффективности технических и технологических решений минимизации макро- и микроповреждений семенного зерна кукурузы и разработать рекомендации производству.

## ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧАТКОВ И ЗЕРНА КУКУРУЗЫ РАЗЛИЧНЫХ ПОДВИДОВ

Изучением механико-технологических свойств початков и зерна кукурузы занимались И.В. Бумбар, В.С. Курасов, И.А. Петунина, К.В. Шатилов, И.Н. Гуров, Ю.А. Шекихачев, М.Г. Голик, Г.И. Креймерман, А.М. Гречанюк, Е.В. Труфляк, С.И. Капустин, Е.А. Котелевская, Кликович Рышард, М.Ф. Рожковский, А.И. Буянов, В.Я. Лобанов, А.И. Пьянков, О.М. Царенко, А.С. Кобець и др. [12, 13, 19, 27-30, 38, 41, 63, 64, 113, 116, 117, 123, 125, 126, 157-160].

Установлен ряд важных закономерностей в механико-технологических свойствах початков и зерна кукурузы (**Приложение Г**). Анализ результатов существующих исследований показал, что в настоящее время отсутствует четкое разделение всех механико-технологических свойств кукурузы по ботаническим подвидам. Следовательно, дальнейшее развитие данного направления исследований целесообразно вести для различных подвидов кукурузы по отдельности. В зависимости от морфологии и анатомических особенностей эндосперма зерна, кукурузу принято делить на ботанические подвиды или группы разновидностей (*convarietas*), такие как [63, 123]:

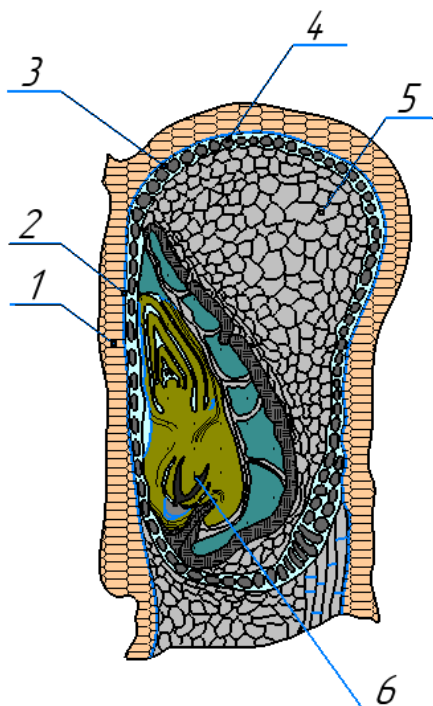
- 1) *Zea mays L. tunicata Sturt* – пленчатая;
- 2) *Zea mays L. amylacea Sturt* – крахмалистая;
- 3) *Zea mays L. everta Sturt* – лопающаяся;
- 4) *Zea mays L. indurata Sturt* – кремнистая;
- 5) *Zea mays L. semidentata Kulesh* – полузубовидная;
- 6) *Zea mays L. indentata Sturt* – зубовидная;
- 7) *Zea mays L. saccharata Sturt* – сахарная;
- 8) *Zea mays L. amyleosaccharata Sturt* – крахмалисто-сахарная;
- 9) *Zea mays L. ceratina Kulesh* – восковидная.

Кроме того, необходимо представить зерно как биологическую систему функционально связанных органов, состоящих из различных материалов, и изучать механико-технологические свойства данных материалов в отдельности.

## 2.1 Зерно кукурузы как биологическая система функционально связанных органов

Зерно кукурузы (рисунок 2.1) состоит из [63]:

- плодовой оболочки толщиной до 0,3 мм (5,5...7% массы зерна);
- полупроницаемой нуцеллярной мембраны толщиной до 1 мкм;
- семенной оболочки (до 2% массы зерна);
- алейронового или периферического слоя эндосперма без крахмала (6...8% массы зерна);
- эндосперма (до 70% массы зерна);
- зародыша (8...15% массы зерна).

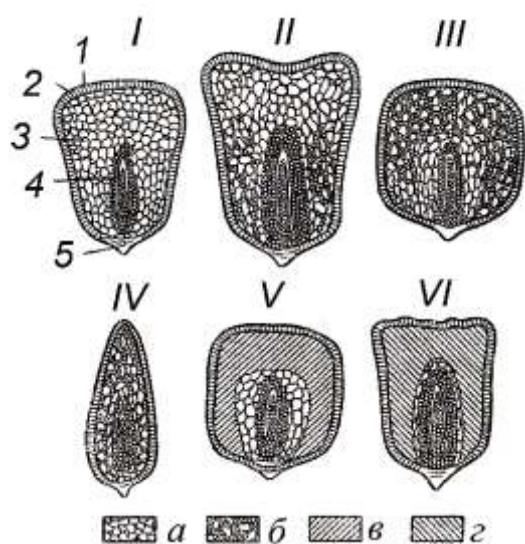


1 – плодовая оболочка; 2 – сплошная полупроницаемая оболочка (нуцеллярная мембрана); 3 – семенная оболочка; 4 – алейроновый слой; 5 – эндосперм; 6 – зародыш;  
Рисунок 2.1 – Строение зерновки кукурузы

Совокупность оболочек обеспечивает защиту внутренних органов зерна от вредных факторов окружающей среды и выполняет ряд специфических функций. Основная защитная функция лежит на плодовой оболочке.



Семенная оболочка следует сразу за плодовой и через алейроновый слой, без резкого деления, сопрягается с эндоспермом. Значимость семенной оболочки для жизни зерна и его прорастания исключительно высока. Тонкий гиалиновый слой, который находится между плодовой оболочкой и алейроновым слоем, регулирует поступление воды в зерновку, защищая её от переувлажнения и, вместе с тем, от пересыхания. Именно гиалиновый слой «не пускает» воду к зерновке в момент послеуборочного дозревания, обеспечивая при этом то состояние покоя, за время которого зерновка выходит на максимальный потенциал для прорастания [63]. Из вышеизложенного следует, что повреждение оболочек зерна кукурузы недопустимо. Зерно каждого подвида, как и початок в целом, обладает характерной формой. Многообразие форм зерна и початков кукурузы различных подвидов требует аналитического и экспериментального анализа и систематизации биометрических характеристик с целью практического применения данной информации при проектировании эффективных рабочих органов машин. Схема строения зёрен различных подвидов кукурузы (продольный разрез) приведена на рисунке 2.2 [63].

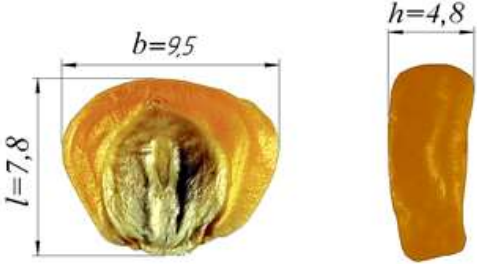
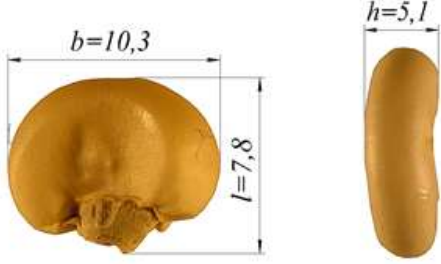
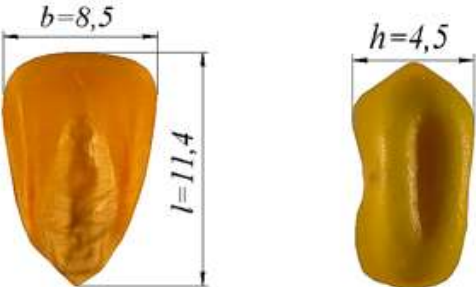
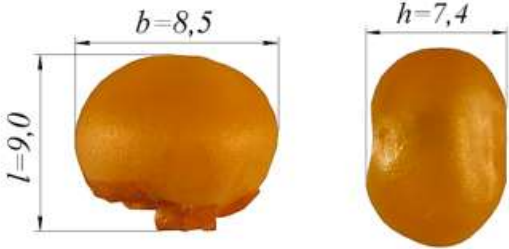
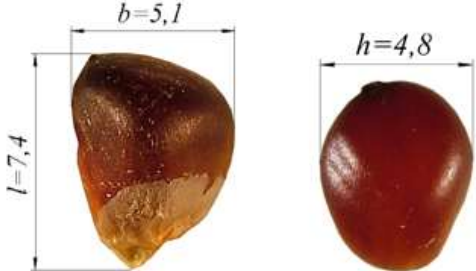

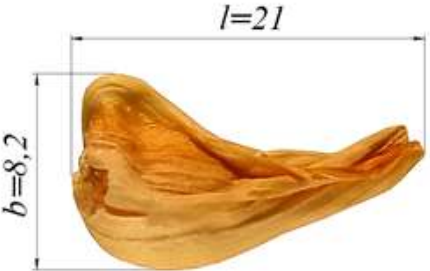


- a* – мучнистый эндосперм;
- б* – роговидный эндосперм;
- в* – восковидный эндосперм;
- г* – сахарный эндосперм;
- I* – крахмалистая; *II* – зубовидная;
- III* – кремнистая; *IV* – лопающаяся;
- V* – восковидная; *VI* – сахарная;
- 1 – перикарпий; 2 – алейроновый слой;
- 3 – эндосперм; 4 – зародыш;
- 5 – чехлик

Рисунок 2.2 – Схема строения зёрен различных подвидов кукурузы

Среди размеров зерна кукурузы можно выделить: толщину  $h$  (наименьшую величину), ширину  $b$  (среднюю величину) и длину  $l$  (наибольшую величину). Таким образом, размеры  $h$ ,  $b$  и  $l$  соответствуют максимальным размерам проекции зерна на три взаимноперпендикулярные плоскости (таблица 2.1).

Таблица 2.1 - Средние значения толщины  $h$ , ширины  $b$  и длины  $l$  зерна основных подвидов кукурузы, возделываемых в России

Подвиды кукурузы	
1. Сахарная	2. Восковидная
	
3. Зубовидная	4. Кремнистая
	
5. Лопающаяся	6. Пленчатая
	
7. Зерно пленчатой кукурузы в цветочной пленке	
	

Поскольку зерно кукурузы характеризуется тремя размерными характеристиками, то для их анализа закономерностей его строения целесообразно применить так называемое двойное отношение линейных размеров  $a$ ,  $b$ ,  $c$  [122, 161]:

$$W = \frac{(a+b) \cdot (b+c)}{b \cdot (a+b+c)}, \quad (2.1)$$

где  $W$  – вурф, или двойное отношение линейных размеров;

$a, b, c$  – наибольший, средний и наименьший размер зерна, обозначенный в таблице 2.1 символами  $h, b, l$ .

Результаты расчета двойного отношения линейных размеров зерна основных подвидов кукурузы представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Результаты расчета двойного отношения линейных размеров зерна основных подвидов кукурузы

Подвиды кукурузы	Наибольший размер зерна	Средний размер зерна	Наименьший размер зерна	Двойное отношение $W$
Сахарная	9,50	7,80	4,80	1,26
Восковидная	10,30	7,80	5,10	1,29
Зубовидная	11,40	8,50	4,50	1,25
Кремнистая	9,00	8,60	7,30	1,31
Лопающаяся	7,40	6,30	4,80	1,30
Пленчатая	6,70	6,10	5,00	1,31
Результаты статистической обработки				
Среднее значение	9,05	7,52	5,25	1,287
Среднее квадратическое отклонение, %				0,026
Абсолютная ошибка				0,059
Относительная ошибка среднего значения, %				4,620

Следовательно, существует общая закономерность в пропорциях и формах зерна кукурузы всех ботанических подвидов. Это необходимо учитывать при создании машин, рабочие органы которых позволяют одинаково эффективно взаимодействовать с зерном кукурузы всех подвидов.

Кроме того, при разработке и создании эффективных машин, обеспечивающих оптимальные условия механизированной обработки початков и зерна семенной кукурузы различных ботанических подвидов без макро- и микроповреждений оболочки и внутренних органов зерна, необходима полнота знаний о фрикционных свойствах, размерных параметрах и прочностных характеристиках. Для этого необходимо провести ряд экспериментальных исследований.

## **2.2 Методика экспериментальных исследований механико-технологических характеристик початков кукурузы различных подвидов и продуктов их обмолота**

### **2.2.1 Методика экспериментальных исследований фрикционных свойств початков кукурузы различных подвидов и продуктов их обмолота**

Энергетические характеристики процессов, осуществляемых при послеуборочной механической обработке кукурузы в значительной степени зависят от фрикционных свойств початков кукурузы и их отдельных частей (зерно, стержень).

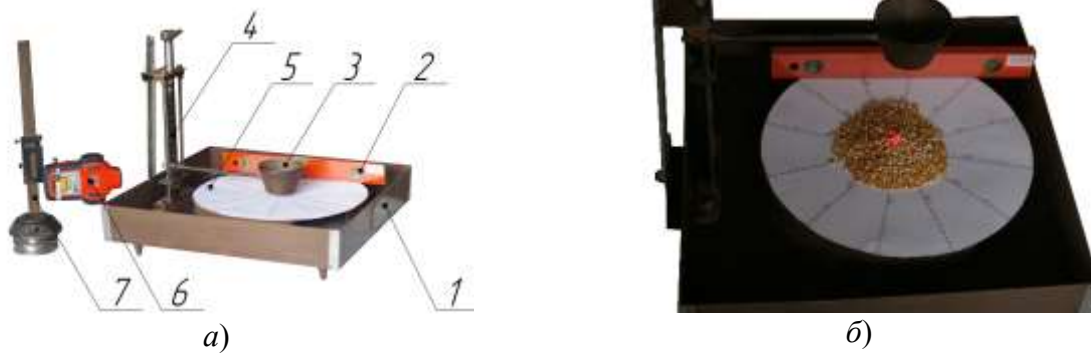
Многообразие подвидов кукурузы вызывает необходимость в дополнении существующей базы данных результатами экспериментального исследования фрикционных свойств початков кукурузы различных подвидов и продуктов их обмолота.

Следовательно, исследование проводится с целью дополнения существующей системы знаний о фрикционных свойствах початков кукурузы и продуктов их обмолота отличиями по подвидам.

#### **2.2.1.1 Методика экспериментальных исследований угла естественного откоса зерна кукурузы, обмолоченных стержней початков, необмолоченных початков в листовой обёртке и очищенных от обёртки**

Для определения угла естественного откоса конкретного сыпучего материала необходимо провести экспериментальные исследования, при которых требуется образовать насыпной конус, в котором частички удерживаются только под действием сил взаимного трения.

С этой целью была доработана и применена установка базовой конструкции [122, 162], представленная на рисунке 2.3.



а) – в исходном положении; б) – насыпной конус;  
 1 – платформа; 2 – устройство для установки платформы в горизонтальное положение (ватерпас); 3 – конусная воронка; 4 – винтовой механизм; 5 – мерная шкала;  
 6 – лазерный уровень; 7 – штангенрейсмас

Рисунок 2.3 – Установка для определения угла естественного откоса зерна кукурузы

Исследования проводились по следующей методике. С помощью ватерпаса 2 платформа 1 устанавливалась в горизонтальное положение, затем воронка 3 перемещалась в крайнее нижнее положение (рисунок 2.3, а). В данном положении воронка заполнялась зерном кукурузы конкретного подвида, при этом влажность зерна установлена заранее.

В связи с тем, что обмолот кукурузы целесообразно проводить при влажности зерна 12...15%, то и исследования механико-технологических свойств необходимо вести при данной влажности. Влажность зерна кукурузы контролировалась при помощи сертифицированного портативного электронного влагомера WILE 55 (компания Farmcomp agroelectronics Финляндия) (приложение Д). После того, как воронка была заполнена винтовым механизмом 4 её поднимали вверх, в результате чего зерно высыпалось на платформу с закреплённой на ней мерной шкалой 5 и образовывало насыпной конус (рисунок 2.3, б), высота которого измерялась при помощи лазерного уровня 6, установленного на штангенрейсмасе 7.

Угол естественного откоса  $\varphi_{EO}$  определялся по формуле [122, 158-160, 162]:

$$\varphi_{EO} = \arctg f, \quad (2.2)$$

где  $f$  – коэффициент внутреннего трения, определяется по формуле [122, 158-160, 162]:

$$f = \frac{2 \cdot h}{(D - d)}, \quad (2.3)$$

где  $h$  – высота насыпного конуса, м;

$D$  – диаметр основания насыпного конуса, м;

$d$  – диаметр отверстия воронки, м.

Диаметр основания насыпного конуса определялся как среднее значение диаметра, полученное по 12-ти основным направлениям, расположенным по окружности через каждые  $30^\circ$  (рисунок 2.3, б).

Экспериментальные исследования проводились на следующих подвидах кукурузы: лопающаяся, зубовидная, кремнистая и сахарная. Данные подвиды кукурузы возделываются на территории России и позволяют получить высокий урожай. Повторность опытов десятикратная, что обеспечивает высокую достоверность результатов эксперимента.

Статистическая обработка результатов исследований проводилась по известной методике, описанной в [163 - 165].

Определялось среднеарифметическое значение  $X_{cp}$  результатов измерения [163 - 165]:

$$X_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}, \quad (2.4)$$

где  $X_i$  –  $i$ -е значение результатов измерения;

$n$  – количество измерений.

Рассчитывалось среднее квадратичное отклонение  $\sigma$  [163 - 165]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{cp})^2}{n-1}}. \quad (2.5)$$

Определялась абсолютная ошибка измерений  $A$  [163 - 165]:

$$A = \sigma \cdot t, \quad (2.6)$$

где  $t$  – коэффициент Стьюдента.

Рассчитывалась относительная погрешность измерений  $m$  [163 - 165]:

$$m = \frac{A}{X_{cp}} \cdot 100\%. \quad (2.7)$$

Для определения угла естественного откоса початков и стержней кукурузы разработана оригинальная экспериментальная установка, состоящая из платформы 1, конусного бункера объёмом 0,05 м<sup>3</sup>, у которого диаметр нижнего основания составляет 300 мм и подъёмного механизма 3 (рисунок 2.4).



*a* – механизм подъёма конусного бункера; *б* – измерительные приборы;  
1 – платформа; 2 – конусный бункер; 3 – подъёмник; 4 – штангенрейсмас; 5 – ватерпас  
Рисунок 2.4 – Установка для определения угла естественного откоса початков и стержней кукурузы

Бункер устанавливался на платформу с нанесённой на ней в 12-ти направлениях мерной шкалой по окружности через каждые 30° и заполнялся початками. После того как бункер заполнен, механизм подъёма 3 его поднимал вверх, в результате чего початки высыпались на платформу и образовывался насыпной конус (рисунок 2.4, б), высота которого измерялась при помощи ватерпаса 5, установленного одним концом на штангенрейсмасе 4. Далее по выражениям (2.2) и (2.3) рассчитывался угол естественного откоса.

Влажность обмолоченных стержней и обёрток початков кукурузы контролировалась по общеизвестной методике в лабораторных условиях методом обезвоживания измельченных навесок в сушильном шкафу КС-65 с последующим вычислением изменения их массы путем взвешивания до и после высушивания.

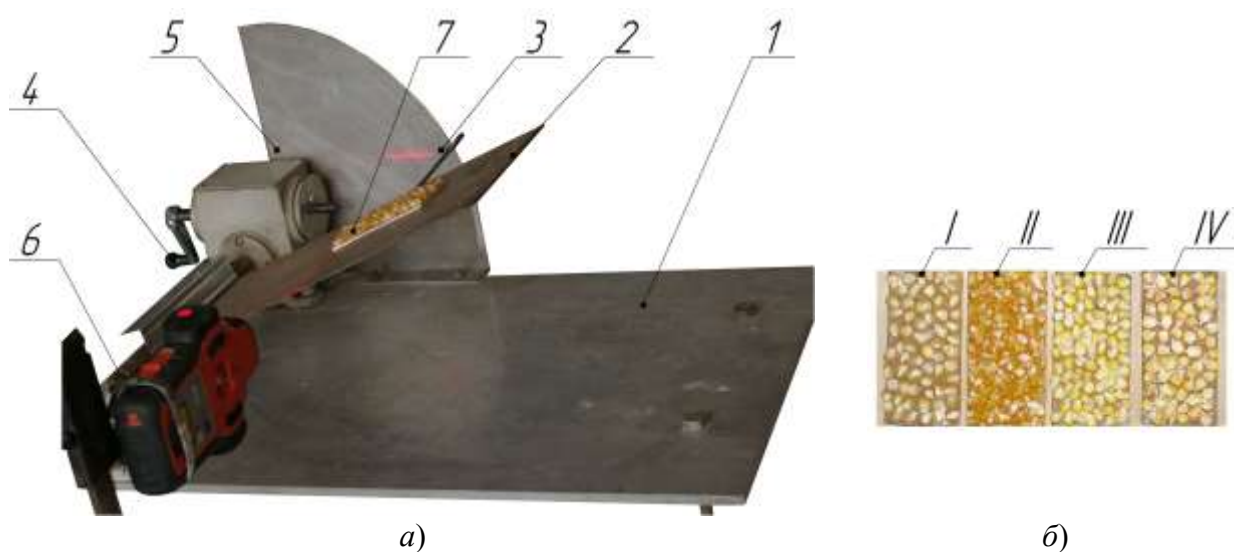
Знание угла естественного откоса необходимо при расчёте показателей эффективности опорожнения защитного контейнера, работы ОДЗА и МСУ в части определения рациональных углов наклона рабочих органов.

### 2.2.1.2 Методика экспериментальных исследований статического коэффициента трения початков кукурузы и продуктов их обмолота

Исследование проводилось с целью уточнения существующих данных по статическому коэффициенту трения для различных подвидов кукурузы.

При определении статического коэффициента трения была доработана и применена экспериментальная установка базовой конструкции (рисунок 2.5, *а*) [122, 158–160, 162].

Для исключения влияния материала стержня початка на результаты экспериментального исследования статического коэффициента трения зерна кукурузы были изготовлены 4 образца, имитирующие развёртку початка, покрытую зерном (рисунок 2.5, *б*).



*а*) – установка в исходном положении; *1* – платформа; *2* – наклонная поверхность; *3* – стрелка; *4* – рукоять; *5* – транспортер; *6* – лазерный уровень, закреплённый на штангенрейсмас; *7* – испытуемый образец; *б*) – образцы, имитирующие развёртку покрытой зерном поверхности початка кукурузы; *I* – сахарная кукуруза; *II* – лопающаяся кукуруза; *III* – кремнистая кукуруза; *IV* – зубовидная кукуруза

Рисунок 2.5 – Установка для определения коэффициентов статического и динамического трения зерна кукурузы основных подвидов

Статический коэффициент трения показывает пропорциональную зависимость между максимальным значением силы трения  $F_{тр\max}$  и силой нормального давления  $N$  [122, 158–160, 162]:



$$F_{mp\max} = f_c \cdot N, \quad (2.8)$$

где  $f_c$  – статический коэффициент трения;

Статический коэффициент трения определяется по методике, учитывающей, что тело переходит из состояния покоя в состояние движения, если движущая сила достигает максимального значения силы трения  $F_{mp\max}$  [122, 158–160, 162]. Такое значение движущая сила достигнет при некотором угле наклона  $\beta$  поверхности 2 (рисунок 2.5, а)

Вращением рукояти 4 приводилась в движение зубчатая пара редуктора, жестко связанная с пластиной, на внешней поверхности которой лежал испытуемый образец. Как только образец начинал движение, вращение рукояти прекращалось и по стрелке 3 на транспортире 5, подсвечиваемой лазерным уровнем 6, фиксировался искомый угол  $\beta$ , далее определялся статический коэффициент трения из выражения [122, 158-160, 162]:

$$f_c = \operatorname{tg}\beta. \quad (2.9)$$

Экспериментальные исследования статического коэффициента трения зерна кукурузы основных подвидов проводились на поверхностях, изготовленных из следующих материалов: сталь конструкционная, фанера, текстолит, резина гладкая, резина рифлёная.

Эксперимент проводился с десятикратной повторностью.

Экспериментальные исследования статического коэффициента трения початков кукурузы в обёртке и обмолоченных стержней проводились по вышеприведённой методике.

Полученные данные регистрировались в журнале наблюдений и статистически обрабатывались. Результаты исследований оформлялись в виде таблицы экспериментальных данных.

### 2.2.1.3 Методика экспериментальных исследований динамического коэффициента трения скольжения початков кукурузы и продуктов их обмолота

В данном конкретном случае под понятием динамического коэффициента трения понимается коэффициент трения скольжения в процессе движения.

В экспериментальных исследованиях использовалась установка для определения статического коэффициента трения (рисунок 2.5), дополнительно укомплектованная фиксатором исследуемых образцов и устройством контроля времени движения, оснащённым мерной линейкой и цифровой видеокамерой, производящей видеосъёмку процесса с частотой 50 кадров в секунду.

При исследованиях наклонную плоскость 2 устанавливали в горизонтальное положение и фиксировали на ней один из испытуемых образцов. Затем при помощи рукояти 4 наклонную плоскость устанавливали под углом равным углу естественного откоса, увеличенного на  $10^\circ$ , после чего отпускали фиксатор. В результате образец соскальзывал по наклонной плоскости. Весь процесс фиксировался на цифровую видеокамеру.

Разложение видеосъёмки по кадрам позволяло достаточно точно определять время движения образца по заданному участку пути, отмеченному мерной линейкой со шкалой 1 мм. Опыт выполняется с десятикратной повторностью для каждого материала поверхности и подвида кукурузы.

На основании экспериментальных исследований динамический коэффициент трения  $f_d$  определялся из выражения [122, 158–160, 162]:

$$f_d = \operatorname{tg} \beta_1 - \frac{2 \cdot S}{g \cdot t^2 \cdot \cos \beta_1}, \quad (2.10)$$

где  $S$  – путь образца, пройденный по наклонной плоскости,  $S=0,36$  м;

$t$  – время движения образца по наклонной плоскости, с;

$\beta_1$  – угол наклона плоскости, для исследований принят  $\beta_1 = \beta + 10^\circ$ .

Динамические коэффициенты трения исследуемых продуктов обмолота початков кукурузы определялись при скорости движения, не превышающей 1

м/с. Полученные данные регистрировались в журнале наблюдений и статистически обрабатывались. Результаты исследований оформлялись в виде таблицы экспериментальных данных.

### **2.2.2 Методика аналитико-экспериментальных исследований размерных характеристик початков различных подвидов**

Исследование проводилось с целью определения подвидов кукурузы, по которым наиболее целесообразно рассчитывать среднюю (эффективную) длину початка и его средний (эффективный) диаметр.

Для научно-практического обоснования рациональных конструктивно-технологических параметров защитных контейнеров, ОДЗА и МСУ необходима полнота экспериментально-аналитических данных о размерных характеристиках початков кукурузы различных подвидов, возделываемых в России. К данным характеристикам относится длина початка и три его диаметра: минимальный, средний и максимальный. Эти параметры определяют размеры рабочих органов, изучаемых машин и их рабочие зазоры.

Исследование проводилось аналитико-экспериментальным методом, предполагающим первоначальное определение наиболее распространенных в Центральном федеральном округе Российской Федерации сортов кукурузы по подвидам, анализ их размерных характеристик по каталогам производителей или оригинаторов сорта [103-105, 110, 122, 123, 166-171] и последующую практическую проверку полученных результатов на початках, выращенных в различных хозяйствах Белгородской области.

Практическая проверка аналитических данных сопровождалась статистической обработкой по выражениям (2.4) – (2.7). Результаты исследований оформлялись в виде таблицы аналитико-экспериментальных данных.

### 2.2.3 Методика экспериментальных исследований коэффициента Пуассона для материала защитной плодовой оболочки зерна кукурузы

Зерно кукурузы многослойное тело, в котором защитная оболочка наиболее прочная и именно она, контактируя с фасонными шипами МСУ в процессе обмолота, защищает внутренние органы (эндосперм, зародыш).

Исходя из этого, исследование проводилось с целью уточнения значения коэффициента Пуассона для материала защитной плодовой оболочки зерна кукурузы.

Коэффициент Пуассона является одной из основных механических характеристик материалов и связывает собой относительное удлинение  $\varepsilon$  и сужение  $\varepsilon'$  [172-174]:

$$\nu = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon}, \quad (2.11)$$

где  $\nu$  – коэффициент Пуассона.

Относительное сужение определяется выражением [172-179]:

$$\varepsilon' = \frac{\Delta a}{a_0}, \quad (2.12)$$

где  $\Delta a$  – абсолютное сужение;

$a_0$  – начальная толщина.

Относительное удлинение определяется выражением [172-179]:

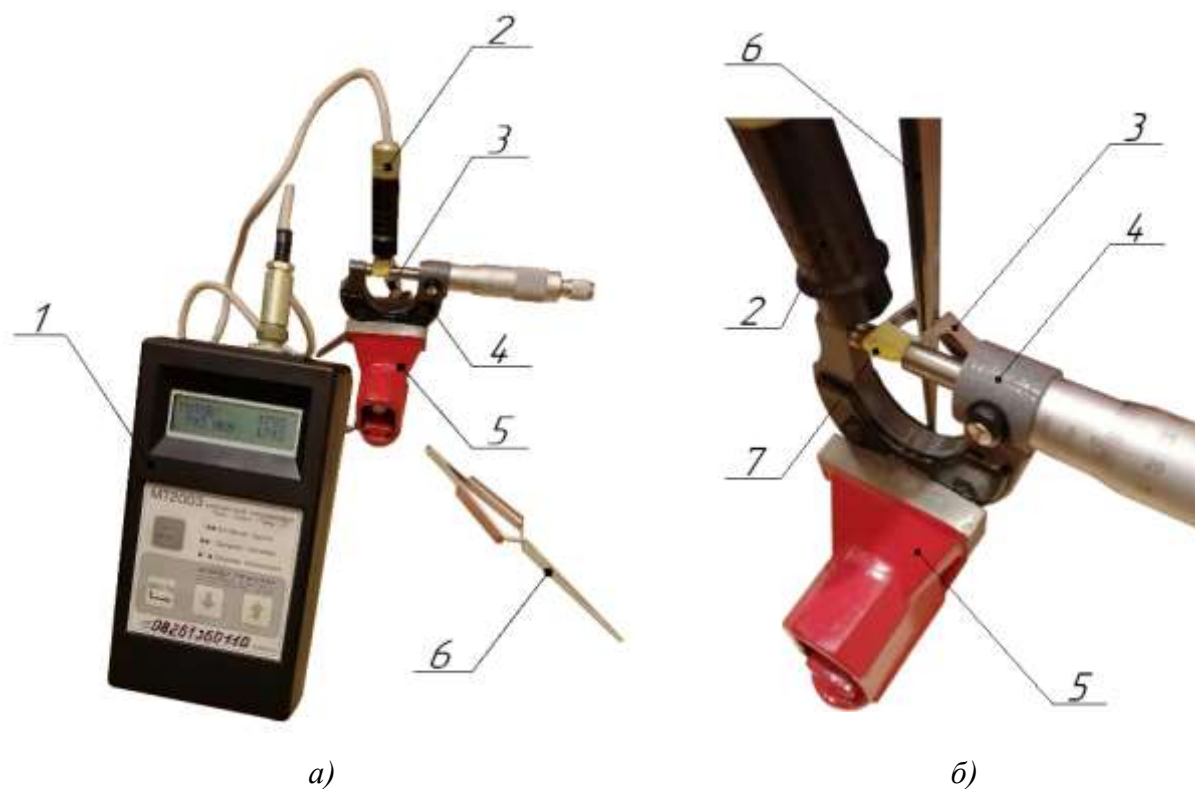
$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}, \quad (2.13)$$

где  $\Delta l$  – абсолютное удлинение;

$l_0$  – начальная длина.

Кроме того, коэффициент Пуассона необходим при решении научных задач с использованием основных уравнений контактной проблемы Герца и теории тонких оболочек.

Для данного уточнения была создана и применена специальная экспериментальная установка, приведенная на рисунке 2.6.



а – общий вид; б – расположение защитной плодовой оболочки зерна кукурузы относительно измерительных приборов; 1 – магнитный толщиномер МТ2003; 2 – датчик толщиномера; 3 – захват-расширитель; 4 – микрометр МК 0-25 0,01; 5 – минитиски; 6 – обратный пинцет; 7 - защитная плодовая оболочка зерна кукурузы  
 Рисунок 2.6 – Установка для определения коэффициента Пуассона защитной плодовой оболочки зерна кукурузы

Исследования проводились по следующей методике. С зерна зубовидной кукурузы (гибрид Ресурсный), созревшей до восковой спелости посредством пинцета, удалялся зародыш и эндосперм, так, чтобы защитная плодовая и семенная оболочка сохранила свою целостность. Затем освобожденная от внутренних тканей плодовая оболочка одевалась на стальной захват 3, посредством которого осуществлялось ее расширение без избыточного натяжения с последующим замером начальной длины  $l_0$  оболочки посредством микрометра 4 и начальной толщины  $a_0$  посредством магнитного толщиномера 1 (Приложение Е).

После того, как была зафиксирована начальная длина и толщина защитной плодовой оболочки шток микрометра перемещался на 2,25 мм в сторону увеличения. На эту величину осуществлялось растяжение оболочки. Данная величина растяжения оболочки установлена в результате поискового

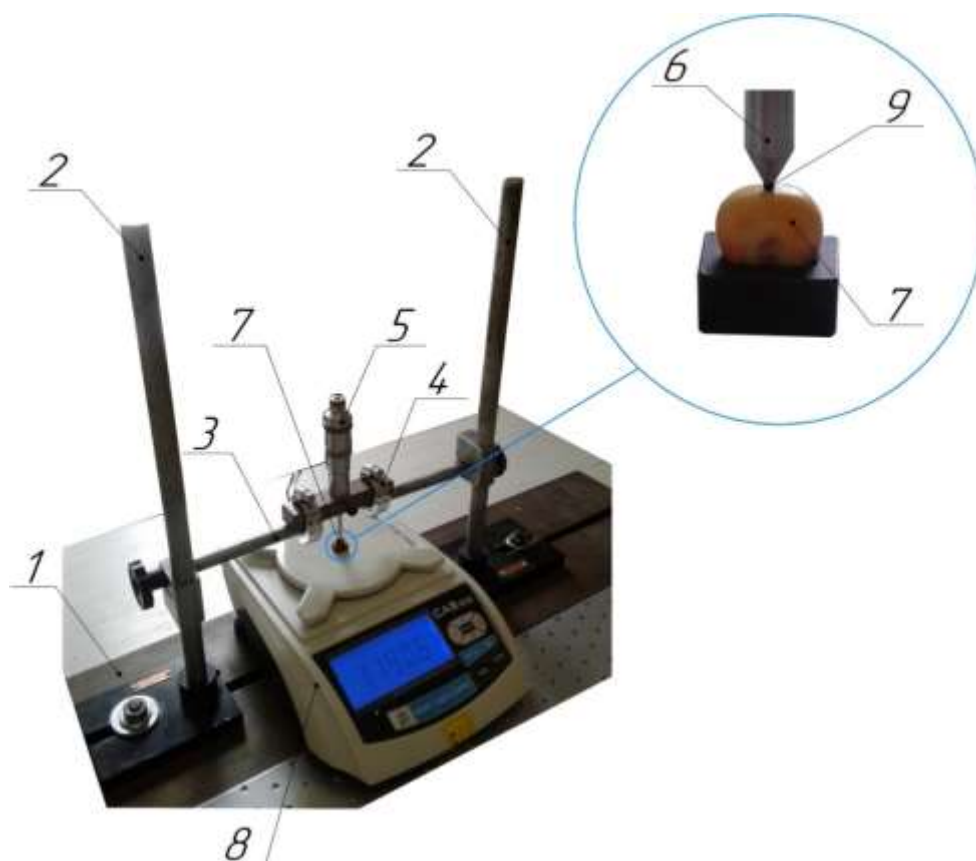
опыта и позволяла исключить ее полный или частичный разрыв. Затем, посредством обратного пинцета  $b$  осуществлялось растяжение оболочки на величину  $\Delta l$ , что ограничивалось упором в пятки микрометра и магнитным толщиномером  $l$ , фиксировалась толщина растянутого образца, а затем определялась величина абсолютного сужения  $\Delta a$ .

Для достижения допустимого значения относительной ошибки среднего значения исследования проводились с двадцатикратной повторностью, полученные данные регистрировались в журнале наблюдений и статистически обрабатывались. Результаты исследований оформлялись в виде таблицы экспериментальных данных.

#### **2.2.4 Методика экспериментальных исследований модуля Юнга для материала защитной плодовой оболочки зерна кукурузы различных подвидов**

Исследование проводилось с целью определения значений модуля Юнга плодовой оболочки зерна зубовидной, кремнистой, сахарной и лопающейся кукурузы.

В процессе обмолота початков кукурузы зерно испытывает ударное и сжимающее воздействие со стороны рабочих органов, поэтому наиболее естественным и целесообразным для определения модуля Юнга защитной оболочки зерна является метод ее сжатия в пределах упругой деформации. В данном случае применимы основные гипотезы контактной проблемы Герца, а процедура определения модуля Юнга становится практически реализуемой без применения сверхсложного лабораторного оборудования. Для экспериментального исследования модуля Юнга плодовой оболочки зерна кукурузы методом сжатия в пределах ее упругой деформации была создана и применена специальная экспериментальная установка, представленная на рисунке 2.7.



1 – салазки лабораторного стенда СМУ 000.000; 2 – стойка-штатив; 3 – опора;  
 4 – фиксирующая лента; 5 – микрометрический глубиномер ГМ50 (ГОСТ 7470-92)  
 (Приложение Ж); 6 – шток глубиномера; 7 – зерно; 8 – аналитические электронные весы  
 CAS; 9 – цилиндрический индентор из твердосплавного материала

Рисунок 2.7 - Экспериментальная установка для изучения модуля Юнга защитной плодовой оболочки зерна

На основании существующего опыта определения модуля Юнга зерновых материалов, изложенного в источниках [180-186], выбрана опорная математическая модель [180, 182]:

$$E = \frac{0,886 \cdot P_{ВИ} \cdot \psi \cdot (1 - \mu^2)}{H_{ВИ}^{\frac{3}{2}} \cdot d^{\frac{1}{2}}}, \quad (2.14)$$

где  $E$  – модуль Юнга, МПа;

$P_{ВИ}$  – сопротивление внедрению индентора в оболочку зерна, Н;

$\psi$  – приведенная константа упругости;

$\mu$  – коэффициент Пуассона;

$d$  – диаметр цилиндрического индентора,  $d = 1,13$  мм;

$H_{ВИ}$  – глубина внедрения индентора в оболочку зерна, мм.

Исходя из вышесказанного применялась методика, предполагающая установление экспериментальной взаимосвязи сопротивления внедрению цилиндрического индентора  $P_{ВИ}$  и глубины внедрения индентора в оболочку зерна  $H_{ВИ}$  до достижения границы ее упругих свойств.

Сопротивление внедрению цилиндрического индентора  $P_{ВИ}$  в плодовую оболочку зерна кукурузы измерялось посредством аналитического весового оборудования II-высокого класса точности 8, глубина внедрения индентора в оболочку зерна  $H_{ВИ}$  - микрометрическим глубиномером ГМ50 первого класса точности 5, установленного на опорах 3 стоек-штативов 2.

Влажность испытуемых образцов зерна составляла 12,8...13,4% и контролировалась по общеизвестной методике в лабораторных условиях методом обезвоживания навесок измельченного зерна в сушильном шкафу с последующим вычислением изменения их массы путем взвешивания до и после высушивания.

По общепринятой методике для каждого из четырех исследуемых подвидов кукурузы была отобрана группа зерен с равной толщиной и шириной верхней части. В защитную плодовую оболочку отобранных зерен 7 посредством перемещения штока глубиномера 6 внедрялся цилиндрический индентор 9 на глубину до 1600 мкм.

Сопротивление внедрению фиксировалось дискретно при ступенчатом изменении положения индентора с шагом 100 мкм. В каждом положении индентора эксперимент повторялся до появления статистически достоверного результата.

Применяемое измерительное оборудование и кратность повторения опытов позволили получить результаты экспериментов, доверительная вероятность которых превышает  $p = 0,95$ .

Зерно кукурузы можно считать несимметричным анизотропным телом, состоящим из разных материалов, к которым относятся: плодовые и семенные оболочки, а также эндосперм различного химического состава.



Кроме того, зерно кукурузы — это живой организм, развивающийся по законам биологии и биосимметрии. Исходя из этого, на основе методики теории подобия предложено приведенную константу упругости принять сопоставимой с величиной двойного отношения линейных размеров, для зерна кукурузы  $\psi = 1,29$  [122].

Полученные данные регистрировались в журнале наблюдений и статистически обрабатывались. Результаты исследований оформлялись в виде таблицы экспериментальных данных, по которым строились соответствующие графические зависимости.

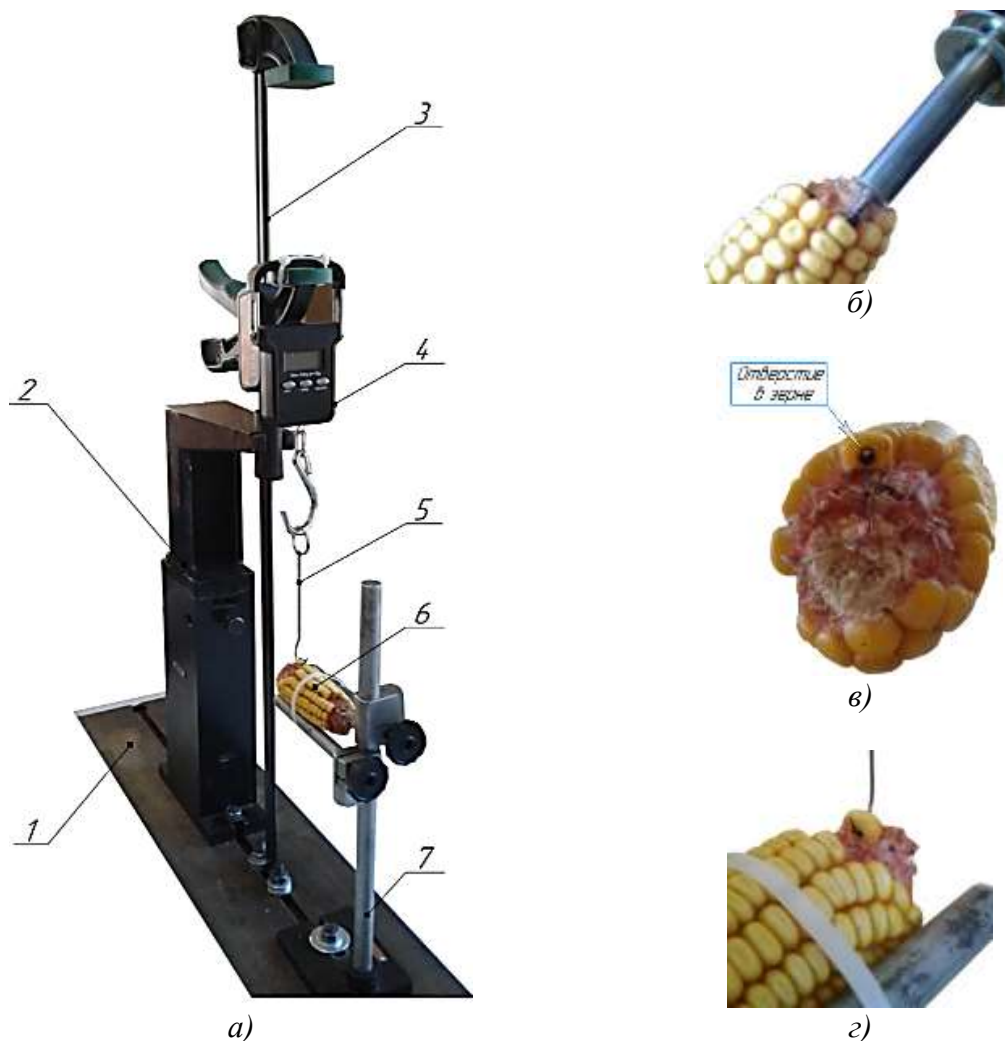
### **2.2.5 Методика экспериментальных исследований прочности крепления зерна со стержнем в области носка, середины и комля початков различных подвидов кукурузы**

Величина механического воздействия рабочих органов ОДЗА и МСУ на зерно кукурузы в початке ограничивается не только прочностными свойствами защитной плодовой оболочки, а также силой связи зерна со стержнем в области носка, середины и комля.

Знание данной механико-технологической характеристики позволяет повысить уровень дифференцирования силового воздействия на початки кукурузы со стороны рабочих органов применяемых машин. Это позволяет транспортировать початки кукурузы без листовой обертки, ориентировать их в пространстве и дозированно подавать на соответствующую обработку, а также обмолачивать без нанесения зерну макро- и микроповреждений.

С целью дальнейшего развития данного направления исследований осуществлялось уточнение данных по усилию выдёргивания одиночного зерна из носка, середины и комля початка кукурузы различных подвидов.

Для этого была создана и применена специальная экспериментальная установка (рисунок 2.8).



а – экспериментальная установка; б – прожиг отверстия в зерне; в – зерно с отверстием; г – захват зерна крюком динамометра; 1 – салазки лабораторного стенда СМУ 000.000; 2 – штатив лабораторного стенда СМУ 000.000; 3 – трубка; 4 – динамометр; 5 – цепь с крюком; 6 – початок кукурузы; 7 – стойка-штатив для крепления початков кукурузы  
 Рисунок 2.8 – Оборудование для исследования прочности зерновой ножки на разрыв

Исследования проводились по следующей методике.

Отбирались навески по 50 початков зубовидной, кремнистой и сахарной кукурузы. Початки выбирались с прочной и целостной зерновой структурой. В носке, середине и комле в единичном зерне осуществлялся прожиг отверстия, обеспечивая целостность крепления зерна к стержню (рисунок 2.8, б). В данное отверстие (рисунок 2.8, в) входил крюк динамометра (рисунок 2.8, г), закреплённого на трубке 3. При этом початок прочно крепился в ложе двух опор стойки-штатива 7.

Перемещением рукояти трубки создавалось постепенно увеличивающееся разрывное усилие, которое фиксировалось на экране

динамометра 4. Для установления достоверного результата опыты проводились с 60-кратной повторностью для зубовидной, кремнистой и сахарной кукурузы в области носка, середины и комля початка, соответственно.

Применяемое измерительное оборудование и повышенная кратность повторения опытов позволили получить результаты экспериментов, доверительная вероятность которых превышает  $p = 0,95$ .

Полученные данные регистрировались в журнале наблюдений и статистически обрабатывались. Результаты исследований оформлялись в виде таблицы экспериментальных данных. Все вышеперечисленные исследования позволили получить уточненные данные по ряду механико-технологических свойств кукурузы как продукта обмолота, что в результате позволило уточнить конструкцию рабочих органов новой системы поэтапного обмолота початков кукурузы и перейти к этапу поисковых экспериментальных исследований.

## **2.3 Результаты экспериментальных исследований механико-технологических свойств початков кукурузы**

### **2.3.1 Результаты экспериментальных исследований фрикционных свойств початков кукурузы различных подвидов и продуктов их обмолота**

#### **2.3.1.1 Результаты экспериментальных исследований угла естественного откоса зерна кукурузы, обмолоченных стержней початков, необмолоченных початков в листовой обёртке и очищенных от обёртки**

Экспериментальные исследования, выполненные по ранее разработанной и описанной методике изучения угла естественного откоса, позволили получить ряд опытных данных, который позволил осуществить анализ и статистическую обработку. В результате сформированы таблицы 2.3 и 2.4.

Для исследуемых подвидов кукурузы среднее значение угла естественного откоса зерна составляет  $31,2^\circ$ , при этом относительная

погрешность среднего значения 0,70%. Данное значение угла естественного откоса зерна можно считать инвариантным для изученных подвидов кукурузы.

Таблица 2.3 – Результаты экспериментальных исследований угла естественного откоса зерна кукурузы \*

Кукуруза	Средняя высота насыпного конуса $h$ , мм	Среднее значение диаметра основания насыпного конуса $D$ , мм	Относительная погрешность экспериментов, %	Коэффициент внутреннего трения $f$	Угол естественного откоса $\varphi_{EO}$ , °
Лопающаяся	28,8	165,0	0,93	0,55	28,8
Зубовидная	32,8	163,0	0,38	0,64	32,6
Кремнистая	32,0	161,2	0,62	0,63	32,2
Сахарная	33,2	161,8	0,86	0,65	33,0
Среднее значение	31,7	162,8	0,70	0,62	31,2

\* Экспериментальные исследования проводились с участием инженеров А.А. Романенко и А.В. Тинякова.

Влажность обмолоченных стержней и обёрток початков кукурузы контролировалась при помощи сертифицированного сушильного шкафа КС-65 и составляла: для стержней 10–11%, для обёрток 14–16%.

Таблица 2.4 – Результаты экспериментальных исследований угла естественного откоса початков и стержней кукурузы \*

Вид насыпного материала	Средняя высота насыпного конуса $h$ , мм	Диаметр основания насыпного конуса $D$ , мм	Относительная погрешность опытов, %	Коэффициент внутреннего трения $f$	Угол естественного откоса $\varphi_{EO}$ , °
Початки зубовидной кукурузы в обёртке	207	747	3,10	0,930	42,8
Початки зубовидной кукурузы без обёрток	172	870	3,93	0,604	31,1
Стержни початков кукурузы без зерна	240	793	3,28	0,974	44,2

\* Экспериментальные исследования проводились с участием инженеров А.А. Романенко, А.В. Тинякова, А.Е. Бурнукина.

Из таблицы 2.4 видно, что угол естественного откоса початков кукурузы очищенных от листовых обёрток с небольшим отклонением совпадает со средним значением угла естественного откоса зерна кукурузы (таблица 2.3).

Однако початки кукурузы в обёртке и стержни без зерна образуют более высокий насыпной конус, а, как следствие, возрастает значение угла естественного откоса, что указывает на большее, относительно очищенных початков, значение сопротивления перемещению слоёв в объёме материала, что необходимо учитывать при работе ОДЗА.

### 2.3.1.2 Результаты экспериментальных исследований статического коэффициента трения початков кукурузы и продуктов их обмолота

Экспериментальные исследования выполнены по ранее разработанной и описанной методике. Результаты экспериментальных исследований статического коэффициента трения початков кукурузы и продуктов их обмолота приведены в таблицах 2.5 и 2.6.

Таблица 2.5 – Результаты экспериментальных исследований статического коэффициента трения зерна основных подвидов кукурузы \*

Подвид кукурузы	Материал поверхности	Угол $\beta$ , град	Относительная погрешность экспериментов, %	Значения статического коэффициента трения $f_c$
Лопающаяся	Сталь конструкционная	30,2	2,27	0,58
	Фанера	28,8	2,53	0,55
	Текстолит	22,8	3,07	0,42
	Резина гладкая	32,5	0,82	0,63
	Резина рифлёная	36,0	4,13	0,73
Зубовидная	Сталь конструкционная	30,2	2,84	0,58
	Фанера	31,0	4,55	0,60
	Текстолит	23,3	4,41	0,43
	Резина гладкая	39,6	0,73	0,83
	Резина рифлёная	41,4	4,95	0,88
Кремнистая	Сталь конструкционная	29,5	1,73	0,57
	Фанера	29,9	3,36	0,58
	Текстолит	25,4	2,98	0,47
	Резина гладкая	32,6	0,19	0,64
	Резина рифлёная	35,5	2,77	0,71

Продолжение таблицы 2.5

Сахарная	Сталь конструкционная	26,9	2,55	0,51
	Фанера	32,4	2,07	0,63
	Текстолит	25,0	2,96	0,47
	Резина гладкая	30,5	0,41	0,60
	Резина рифлёная	34,8	3,99	0,70
Среднее для изучаемых подвидов	Сталь конструкционная	29,2	2,35	0,56
	Фанера	30,5	3,13	0,59
	Текстолит	24,1	3,36	0,45
	Резина гладкая	33,8	0,54	0,68
	Резина рифлёная	36,9	3,96	0,76
* Экспериментальные исследования проводились с участием инженеров А.А. Романенко, А.В. Тинякова.				

При выборе материала конкретного рабочего органа необходимо учитывать полученные результаты экспериментальных исследований статического коэффициента трения. Для исследуемых подвидов кукурузы общим является тот факт, что статический коэффициент трения зерна по конструкционной стали выше статического коэффициента трения по слоистому материалу на основе фенолформальдегидной смолы (текстолиту).

Таблица 2.6 – Результаты экспериментальных исследований статического коэффициента трения початков кукурузы в обертке и обмолоченных стержней \*

Вид материала	Материал поверхности	Угол $\beta$ , град	Относительная погрешность экспериментов, %	Значения статического коэффициента трения $f_c$
Початки зубовидной кукурузы в обертке	Сталь конструкционная	26,2	1,78	0,49
	Фанера	24,9	1,39	0,46
	Текстолит	34,4	0,89	0,68
	Резина гладкая	31,8	0,78	0,62
	Резина рифлёная	29,6	2,63	0,57
Стержни початков кукурузы без зерна	Сталь конструкционная	31,5	0,64	0,61
	Фанера	36,9	1,91	0,75
	Текстолит	34,6	0,90	0,69
	Резина гладкая	41,9	2,00	0,90
	Резина рифлёная	39,7	2,32	0,93
* Экспериментальные исследования проводились с участием инженеров А.А. Романенко, А.В. Тинякова, А.Е. Бурнукина.				

Статический коэффициент трения стержня початков кукурузы значительно выше аналогичного показателя для зерна, поэтому при разработке ОДЗА и МСУ новой конструкции целесообразно использовать средние значения коэффициентов трения, учитывающие данное отличие.

### 2.3.1.3 Результаты экспериментальных исследований динамического коэффициента трения скольжения початков кукурузы и продуктов их обмолота

Результаты экспериментальных исследований динамического коэффициента трения скольжения початков кукурузы и продуктов их обмолота приведены в таблицах 2.7 и 2.8.

Таблица 2.7 – Результаты экспериментальных исследований динамического коэффициента трения скольжения зерна основных подвидов кукурузы \*

Подвид кукурузы	Материал поверхности	Время движения образца $t$ , с	Относительная погрешность экспериментов, %	Значения динамического коэффициента трения $f_{\delta}$
Лопающаяся	Сталь конструкционная	0,46	4,32	0,37
	Фанера	0,56	4,37	0,51
	Текстолит	0,52	3,80	0,46
	Резина гладкая	0,46	4,30	0,40
	Резина рифлёная	0,52	4,76	0,46
Зубовидная	Сталь конструкционная	0,41	4,14	0,33
	Фанера	0,44	4,76	0,41
	Текстолит	0,48	4,85	0,48
	Резина гладкая	0,48	4,17	0,49
	Резина рифлёная	0,58	3,20	0,63
Кремнистая	Сталь конструкционная	0,40	4,25	0,30
	Фанера	0,43	4,80	0,37
	Текстолит	0,45	4,57	0,48
	Резина гладкая	0,48	4,30	0,50
	Резина рифлёная	0,49	4,25	0,56
Сахарная	Сталь конструкционная	0,39	4,80	0,27
	Фанера	0,60	4,57	0,65
	Текстолит	0,48	4,80	0,49
	Резина гладкая	0,42	4,26	0,49
	Резина рифлёная	0,48	4,80	0,58
Среднее для изучаемых подвидов	Сталь конструкционная	0,42	4,38	0,31
	Фанера	0,51	4,63	0,49
	Текстолит	0,48	4,51	0,48
	Резина гладкая	0,46	4,26	0,47
	Резина рифлёная	0,52	4,25	0,56

\* Экспериментальные исследования проводились с участием инженеров А.А. Романенко, А.В. Тинякова.

Таблица 2.8 – Результаты экспериментальных исследований динамического коэффициента трения скольжения початков кукурузы в обёртке и обмолоченных стержней \*

Вид материала	Материал поверхности	Время движения образца $t$ , с	Относительная погрешность экспериментов, %	Значения динамического коэффициента трения $f_d$
Початки зубовидной кукурузы в обёртке	Сталь конструкционная	0,41	4,85	0,21
	Фанера	0,39	4,28	0,29
	Текстолит	0,39	5,24	0,31
	Резина гладкая	0,50	4,56	0,36
	Резина рифлёная	0,45	6,00	0,50
Стержни початков кукурузы без зерна	Сталь конструкционная	0,43	5,50	0,36
	Фанера	0,39	5,30	0,36
	Текстолит	0,41	6,01	0,38
	Резина гладкая	0,44	4,01	0,65
	Резина рифлёная	0,51	5,50	0,75

\* Экспериментальные исследования проводились с участием инженеров А.А. Романенко, А.В. Гинякова, А.Е. Бурнукина.

Анализ данных, приведенных в таблицах 2.7 и 2.8, показывает, что динамический коэффициент трения зерна кукурузы всех подвидов значительно ниже статического коэффициента трения, это необходимо учитывать при расчёте теоретических значений параметров новых рабочих органов машин, применяемых в ПТЛ механической послеуборочной обработки початков кукурузы. Кроме того, при теоретическом изучении затрат энергии, расходуемой на движение початков кукурузы в ОДЗА и МСУ, необходимо использовать значения динамического коэффициента трения, поскольку в этом случае полученные теоретические результаты будут более адекватны реальным процессам.

### 2.3.2 Результаты аналитико-экспериментальных исследований размерных характеристик початков кукурузы различных подвидов

Результаты аналитико-экспериментальных исследований размерных характеристик початков различных подвидов приведены в таблице 2.9. [103-105, 110, 122, 123, 166–169]



Таблица 2.9 – Размерные характеристики початков кукурузы сортов (гибридов), возделываемых в Центральном федеральном округе Российской Федерации

Сорт/гибрид	Тип зерна (подвид)	Длина початка, см	Количество рядов зёрен, штук	Среднее значение диаметра початка, мм		
				min	max	по центру початка
Оригинаторы: ФГБНУ Белгородский ФАНЦ РАН, НССС ООО «Белкорн»						
Белкорн 250 МВ Гибрид среднеранний (ФАО 230)	Кремнисто-зубовидное	До 22	14...16	35	52	45
Достойный Гибрид среднеспелый (ФАО-270)	Кремнисто-зубовидное	25...26	14...16	31	53	47
Ресурсный Гибрид среднеранний (ФАО 220)	Зубовидное	18...21	20...22	32	47	43
Стабильный Гибрид среднеспелый (ФАО 260)	Зубовидное	18...22	18...20	31	48	44
Эффектный Гибрид раннеспелый (ФАО 180)	Зубовидное	23...25	14...16	30	51	48
ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ им. В.Я.Горина						
Надежда 3СВ Гибрид раннеспелый (ФАО 170)	Кремнистое	23...25	14...16	35	51	47
БелХа 234 МВ Гибрид среднеранний (ФАО 230)	Кремнисто-зубовидное	23...30	14...16	32	46	41
Оригинатор: ФГБНУ НИИСХ ЦЧП Воронежский ФАНЦ им. В.В. Докучаева						
Докучаевский 250 МВ Гибрид среднеранний (ФАО 200)	Кремнистое	23...25	14...16	35	49	44
Российская 1 Гибрид среднеранний (ФАО 210)	Кремнисто-зубовидное	18...22	12...16	32	46	41
Оригинатор: ФГБНУ Национальный центр зерна им. П.П. Лукьяненко						
РОСС 195 МВ Гибрид раннеспелый (ФАО 180)	Зубовидное	23...25	14...16	31	50	46
Краснодарский 206 МВ Гибрид среднеранний (ФАО 250)	Зубовидное	23...25	16...18	32	56	50
Краснодарский сахарный 280 СВ среднераннего типа (ФАО 280)	Сахарное	18...20	14...16	30	46	39

Продолжение таблицы 2.9

Сорт/гибрид	Тип зерна (подвид)	Длина початка, см	Количество рядов зёрен, штук	Среднее значение диаметра початка, мм		
				min	max	по центру початка
Российская лопающаяся 3 Гибрид среднеспелый (ФАО 400)	Лопающеесяя	18...20	14...18	27	43	39
Оригинатор: Syngenta Seeds						
Спирит F1 Гибрид раннеспелый	Сахарное	18...20	14...16	29	45	41
Бостон F1 Гибрид раннеспелый	Сахарное	20...22	14...16	30	47	44
Оригинатор: ФГБНУ «Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы»						
Забава Гибрид раннеспелый	Сахарное	До 17	14...16	28	46	41
Цукерка Гибрид раннеспелый	Сахарное	До 17	12...14	27	43	38
Оригинатор: ГНУ Кабардино-Балкарский НИИСХ						
Карнавал-464 Гибрид среднепоздний (ФАО 450)	Лопающеесяя	15...18	16...18	29	42	38
Ника 353 Гибрид среднеспелый (ФАО 300)	Сахарное	До 22	16...18	30	48	43
Кабардинская 38/12 Гибрид позднеспелый (ФАО 600)	Зубовидное	До 27	16...18	33	59	51

Анализ данных, приведенных в таблице 2.9, дает основание предполагать, что для практического расчета целесообразно принимать среднюю длину початка кремнисто-зубовидной кукурузы, поскольку початки данного подвита наиболее длинные, их среднестатистическая длина составляет 230...250 мм.

Кроме того, для практического расчета наибольших рабочих зазоров в машинах для обработки початков кукурузы целесообразно использовать максимальный диаметр зубовидной кукурузы, достигающий 59 мм и более.

Следовательно, система регулирования зазоров в молотильных камерах должна позволять обмолачивать початки с диаметром, находящимся в диапазоне 27...60 мм.

Данные размерные характеристики целесообразно использовать при разработке ОДЗА, выполняющих первичный этап обмолота, и аксиально-роторных МСУ, обмолачиваемых початки без макро- и микроповреждений зерна.

### **2.3.3 Результаты экспериментальных исследований коэффициента Пуассона для материала защитной плодовой оболочки зерна кукурузы**

Результаты экспериментальных исследований коэффициента Пуассона для материала защитной плодовой оболочки зерна кукурузы приведены в таблице 2.10.

Полученные результаты сопоставимы с верхними значениями диапазонов экспериментально-теоретических данных, опубликованных в работах отечественных и зарубежных ученых и исследователей [157, 180–185]. Однако данные таблицы 2.10 отражают коэффициент Пуассона не зерна в целом, а лишь его защитной плодовой оболочки, что являлось целью эксперимента.

Из таблицы 2.10 следует, что в среднем значение коэффициента Пуассона для материала защитной плодовой оболочки зерна кукурузы составляет 0,356, а диапазон значений может колебаться от 0,341 до 0,382.

Результаты изучения коэффициента Пуассона защитной плодовой оболочки зерна целесообразно использовать при расчете параметров рабочих органов МСУ, непосредственно осуществляющих силовое воздействие на зерно в молотильной камере.

Таблица 2.10 - Результаты экспериментальных исследований коэффициента Пуассона для материала защитной плодовой оболочки зерна кукурузы

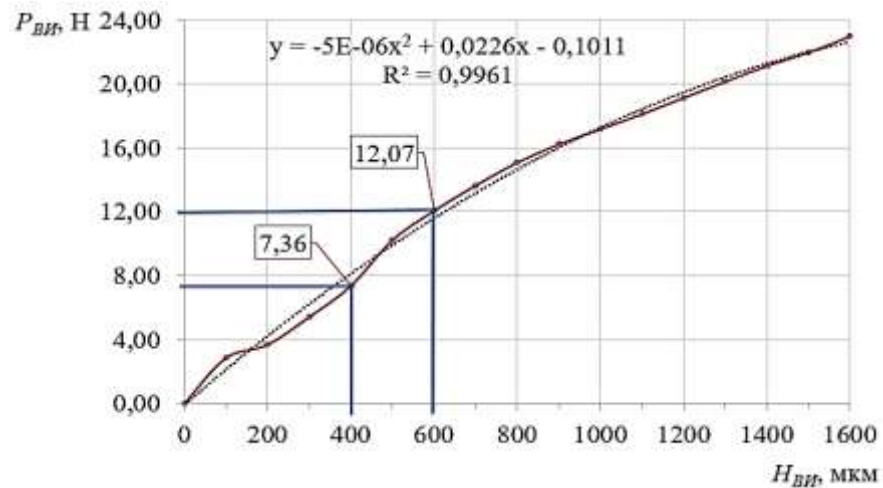
Номер образца	Начальная длина $l_0$ , мм	Абсолютное удлинение $\Delta l$ , мм	Относительное удлинение $\varepsilon$	Начальная толщина $a_0$ , мм	Абсолютное сужение $\Delta a$ , мм	Относительное сужение $\dot{\varepsilon}$	Коэффициент Пуассона $\nu$
1	8,15	2,25	0,276	0,615	0,058	0,094	0,342
2	7,92	2,25	0,284	0,575	0,061	0,106	0,373
3	8,14	2,25	0,276	0,605	0,057	0,094	0,341
4	8,07	2,25	0,279	0,647	0,062	0,096	0,344
5	6,92	2,25	0,325	0,671	0,075	0,112	0,344
6	7,38	2,25	0,305	0,632	0,067	0,106	0,348
7	7,75	2,25	0,290	0,614	0,061	0,099	0,342
8	8,54	2,25	0,263	0,598	0,059	0,099	0,374
9	8,17	2,25	0,275	0,548	0,055	0,100	0,364
10	7,82	2,25	0,288	0,606	0,061	0,101	0,350
11	8,35	2,25	0,269	0,578	0,055	0,095	0,353
12	8,83	2,25	0,255	0,569	0,051	0,090	0,352
13	7,56	2,25	0,298	0,605	0,063	0,104	0,350
14	9,22	2,25	0,244	0,633	0,057	0,090	0,369
15	9,63	2,25	0,234	0,549	0,049	0,089	0,382
16	7,84	2,25	0,287	0,611	0,061	0,100	0,348
17	7,95	2,25	0,283	0,618	0,062	0,100	0,354
18	8,12	2,25	0,277	0,605	0,063	0,104	0,376
19	7,87	2,25	0,286	0,596	0,061	0,102	0,358
20	9,01	2,25	0,250	0,608	0,054	0,089	0,356
Среднее значение	8,16	2,25	0,277	0,604	0,060	0,099	0,356
Среднее квадратическое отклонение							0,013
Абсолютная ошибка							0,026
Относительная ошибка, %							7,51

### **2.3.4 Результаты экспериментальных исследований модуля Юнга для материала защитной плодовой оболочки зерна кукурузы различных подвидов**

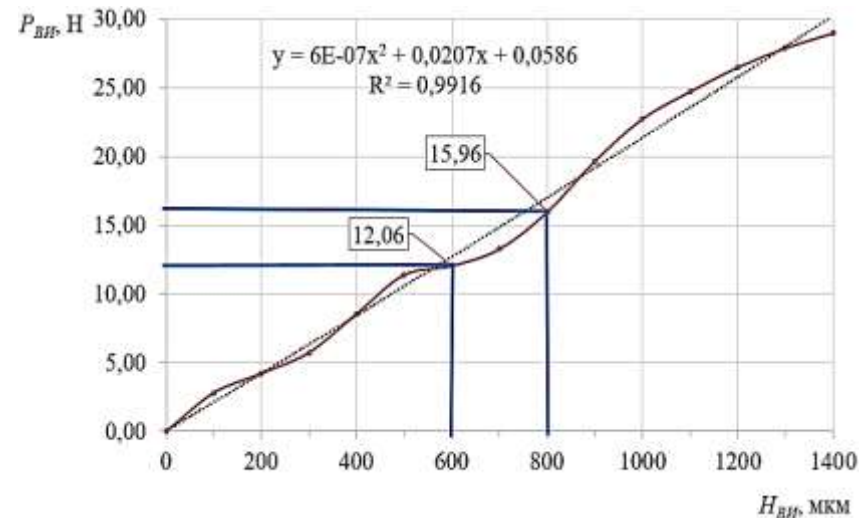
Наблюдения в ходе испытаний показали, что процесс проникновения цилиндрического индентора в тело защитной плодовой оболочки зерна кукурузы состоит из следующих стадий:

- касание опорной поверхностью цилиндрического индентора плодовой оболочки без ее деформации;
- первичная установка цилиндрического индентора в предельно малой локальной области криволинейной поверхности плодовой оболочки;
- переход от первичной установки к началу деформации оболочки;
- образование сжатого уплотненного участка тканей оболочки под опорной поверхностью цилиндрического индентора;
- переход от образования сжатого уплотненного участка к процессу растяжения тканей оболочки, находящихся в кольцевой области охватывающей периферию опорной поверхности цилиндрического индентора;
- упругое растяжение тканей данной кольцевой области;
- достижение предела упругости;
- течение тканей оболочки;
- достижение предельной деформации при течении тканей оболочки;
- пролонгированный во времени процесс разрыва связей между клетками деформируемых тканей оболочки;
- достижение полного разрыва всех тканей защитной плодовой оболочки зерна кукурузы;
- деформация эндосперма.

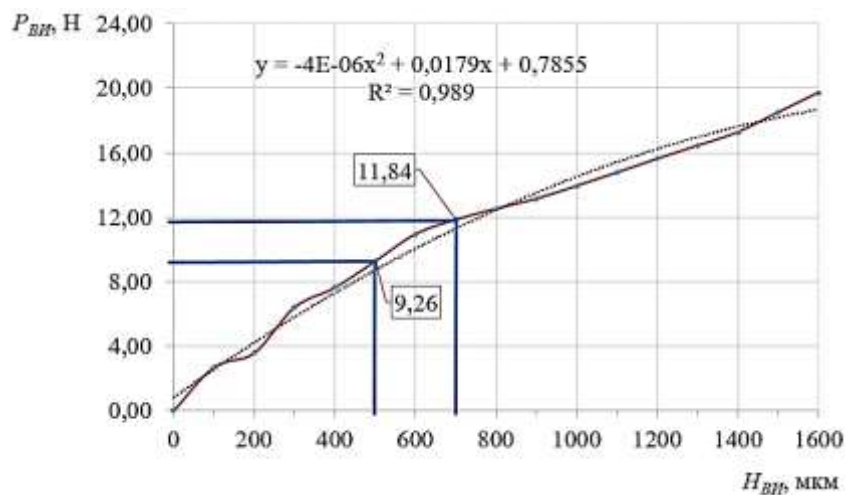
Все стадии характеризуются изменением сопротивления перемещению цилиндрического индентора в оболочке и эндосперме зерна кукурузы. Данное изменение графически выражается в виде перегибов на экспериментальных зависимостях, представленных на рисунке 2.9.



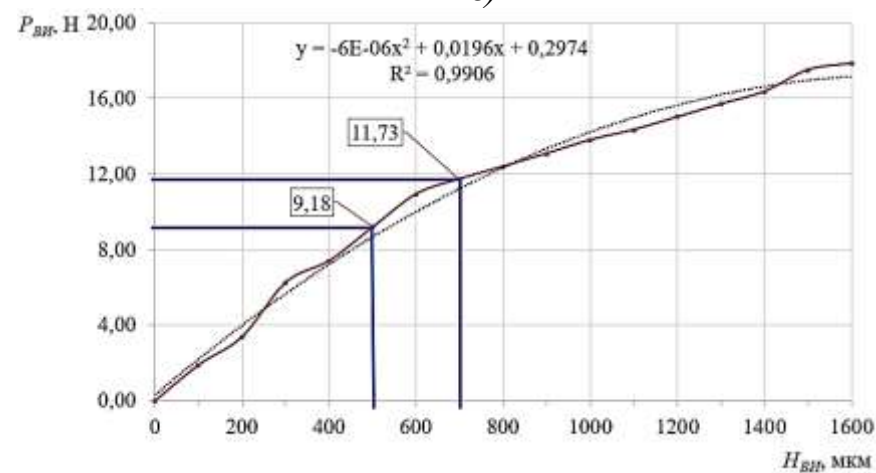
a)



b)



б)



г)

a – зубовидная кукуруза; б – кремнистая кукуруза; в - лопающаяся кукуруза; г – сахарная кукуруза

Рисунок 2.9 – Графическая зависимость сопротивления внедрению индентора в оболочку зерна от глубины его внедрения

После полного разрыва всех тканей защитной плодовой оболочки начинается деформация эндосперма, что характеризуется стабильностью сопротивления и графически выражается участком плавной кривой.

Для определения модуля Юнга защитной плодовой оболочки зерна наибольший научный интерес представляет последний изгиб кривой перед началом деформации эндосперма, поскольку здесь достигается предел упругости материала защитной плодовой оболочки зерна.

Числовые значения сопротивления в данном участке целесообразно использовать для расчета модуля Юнга по выражению (2.14). Результаты расчета модуля Юнга защитной плодовой оболочки зерна кукурузы представлены в виде четырех интервалов на числовой шкале одномерной диаграммы (рисунок 2.10).

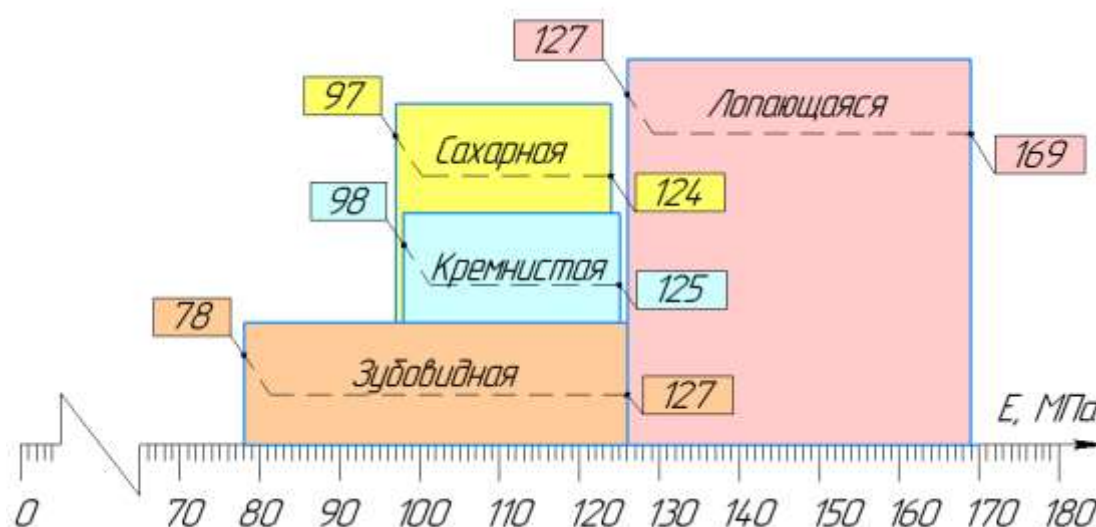


Рисунок 2.10 - Результаты расчета модуля Юнга защитной плодовой оболочки зерна кукурузы различных подвидов, выраженные в виде сопоставительной одномерной диаграммы

Анализ полученных результатов показывает, что в пределах фиксированной влажности 12,8...13,4% защитная плодовая оболочка зерна кремнистой и сахарной кукурузы характеризуются равными значениями модуля Юнга.

У зерна зубовидной кукурузы данный интервал более широкий, по причине необходимости осуществлять защиту от механических повреждений, грибковых инфекций и пересыхания, стекловидного и мучнистого эндосперма одновременно.

Максимальное значение модуля Юнга защитной плодовой оболочки зерна зубовидной кукурузы практически совпадает с максимальным значением для кремнистой и сахарной кукурузы, что объясняется подобием клеточных структур материала оболочки данных подвидов кукурузы.

Модуль Юнга защитной плодовой оболочки зерна лопающейся кукурузы характеризуется значениями, существенно превышающими значения, полученные для зерна зубовидной, кремнистой и сахарной кукурузы. Это объясняется более плотной клеточной структурой с повышенной способностью сопротивляться проникновению внешней среды к внутренним тканям зерна.

Защитная плодовая оболочка лопающейся кукурузы более прочная и очевидно обладает отличными от других подвидов реологическими свойствами, здесь упругие характеристики выше, чем у остальных изучаемых подвидов, ее плодовая защитная оболочка зерна более плотная. Это связано с развитой способностью эффективно препятствовать выходу водяного пара из эндосперма во внешнюю среду.

### **2.3.5 Результаты экспериментальных исследований усилия, необходимого для разрыва зерновой ножки в области носка, середины и комля початков различных подвидов кукурузы**

Результаты экспериментальных исследований усилия, необходимого для разрыва связи зерна со стержнем в области носка, середины и комля початков различных подвидов кукурузы, приведены в таблице 2.11.



Таблица 2.11 – Результаты экспериментальных исследований усилия, необходимого для разрыва связи зерна со стержнем в области носка, середины и комля початков различных подвидов кукурузы

Подвид кукурузы	Характеристика	Комель	Середина	Носок
Зубовидная	Среднее усилие выдёргивания зерна, Н	11,8	19,4	6,7
	Количество повторений опыта	60	60	60
	Среднее квадратичное отклонение	0,31	0,52	0,18
	Абсолютная погрешность	0,62	1,00	0,33
	Относительная погрешность, %	5,0	5,0	5,0
Сахарная	Среднее усилие выдёргивания зерна, Н	11,37	20,16	7,40
	Количество повторений опыта	60	60	60
	Среднее квадратичное отклонение	0,25	0,48	0,18
	Абсолютная погрешность	0,50	0,96	0,36
	Относительная погрешность, %	4,5	4,7	4,7
Кремнистая	Среднее усилие выдёргивания зерна, Н	11,84	19,57	6,32
	Количество повторений опыта	60	60	60
	Среднее квадратичное отклонение	0,29	0,42	0,16
	Абсолютная погрешность	0,58	0,84	0,32
	Относительная погрешность, %	4,8	4,2	4,8
Среднее для изучаемых подвидов	Усилие выдёргивания зерна, Н	11,67	19,71	6,81

Из результатов экспериментального исследования видно, что независимо от подвида кукурузы наиболее прочно зерно связано со стержнем початка в его средней части. Причем видно, что усилия необходимые для выдёргивания зерна из стержней початков трех изучаемых подвидов во всех трех их частях сопоставимы по значениям. Это дает основание сделать вывод о целесообразности использования в практических расчетах усредненного значения.

В комле и носке початка связь зерна меньше. Это поясняется природным свойством початка наиболее эффективно сохранять защитную зерновую структуру в области расположения наиболее биологически ценного зерна, то есть в его средней части. Поскольку кукуруза изначально сформировалась как горное растение, это естественное свойство позволяет расширять ареал ее существования в естественной природе.

Неравенство силы связи зерна со стержнем початка в комле, середине и носке необходимо учитывать при дифференцировании обмолачивающих сил удара и трения в молотильной камере МСУ, а также при выполнении условий первичного этапа обмолота при ориентированной загрузке початков в МСУ.

Все вышеприведенные результаты экспериментальных исследований механико-технологических свойств позволили осуществить более точные практические расчеты конструктивно-технологических параметров ОДЗА и МСУ, а также использованы для уточнения расчетных значений, полученных в результате теоретического исследования процесса поэтапного обмолота.

## 2.4 Выводы

1. Предложенные методики и экспериментальные установки позволяют изучать фрикционные свойства и прочностные характеристики початков и зерна кукурузы различных ботанических подвидов.

2. Для зерна и початков кукурузы различных ботанических подвидов установлено:

– усредненное значение динамического коэффициента трения скольжения зерна различных подвидов кукурузы по стали –  $f_{\partial z} = 0,31$  и стержня початка без зерна –  $f_{\partial z} = 0,36$ ;

– усредненное значение угла естественного откоса початков кукурузы без листовой обертки –  $\varphi_{EO} = 31,2^\circ$ ;

– базовое для конструирования машин по обработке кукурузы среднее значение длины початка – 230...250 мм и его диаметра – 59 мм;

– коэффициент Пуассона защитной плодовой оболочки зерна кукурузы –  $\nu = 0,356$ ;

– модуль Юнга защитной плодовой оболочки зубовидной кукурузы – 78...127 МПа, кремнистой – 98...125 МПа, сахарной – 97...124 МПа, лопающейся – 127...169 МПа;

– усредненное значение усилия разрыва зерновой ножки в области носка, середины и комля початков для различных подвидов кукурузы – 11,67; 19,71 и 6,81 Н.

3. Данные значения необходимо применять при вычислениях рациональных конструктивно-режимных параметров рабочих органов машин и оборудования для комплектов технических средств поэтапного обмолота початков семенной кукурузы.

### **ГЛАВА 3. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ И КОМПЛЕКТА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПОЭТАПНОГО ОБМОЛОТА ПОЧАТКОВ СЕМЕННОЙ КУКУРУЗЫ**

#### **3.1 Обоснование технологических решений для щадящей безотходной заводской обработки початков и зерна семенной кукурузы**

На современном этапе развития науки и техники совершенствование процессов обработки початков семенной кукурузы целесообразно осуществлять по организационно-технологическому пути, направленному на снижение количества макро- и микроповреждений оболочки, эндосперма и зародыша зерна, что сохраняет высокий потенциал урожайности данной культуры [12-16, 27-32, 38-42, 53-56, 63-78, 106-119, 122, 123].

Анализ накопленного багажа знаний по данному направлению указывает на то, что обработка початков семенной кукурузы сопровождается большим количеством макро- и микроповреждений зерна, до 71% в партии (рисунок 1.8), что идет в разрез с понятием ресурсосбережения в целом [28, 31, 32, 38, 41, 63, 64, 111-114, 116, 119, 122, 127, 159, 187]. Из схемы 1.8 видно, что до 14% массы обработанного зерна получает макро- и микроповреждения исключительно при транспортных и погрузочно-перегрузочных операциях в линиях стационарной механизации [28, 31, 38, 41, 61-77, 80-94, 110-119, 122, 123, 125-127, 129, 159]. Превышает этот показатель только обмолот, при котором до 30% массы зерна получает макро- и микроповреждения в результате чрезмерного силового воздействия рабочими органами МСУ [12-16, 19-22, 28, 31, 32, 38, 39-42, 51, 63, 64, 80-94, 110-113, 118, 119, 122, 123, 125-127, 129]. Решение проблемы повреждения зерна при транспортных и погрузочно-перегрузочных операциях лежит в области применения контейнерной технологии, на что указывают исследования, изложенные в источниках [61, 62, 66, 106-108, 112, 118, 119, 127, 129, 188, 189].

Обмолот – это процесс обработки початков, наиболее повреждающий зерно семенной кукурузы, его совершенствование лежит в области создания адаптивных

рабочих органов, действующих так, чтобы обмолачивающие силы не превышали предельно допустимых значений, а это требует поэтапного выполнения ряде специальных операций [12-16 27-32, 38-42, 67-94, 110, 116, 122, 123, 129, 144, 145, 148]. Из вышеизложенного следует:

- повысить уровень ресурсосбережения в процессах обработки початков семенной кукурузы можно за счет минимизации макро- и микроповреждений зерна при контейнерных транспортных и погрузочно-перегрузочных операциях в линиях стационарной механизации;

- минимизация макро- и микроповреждений зерна при обмолоте возможна посредством применения адаптивных рабочих органов МСУ, обеспечивающих поэтапный обмолот.

Данные направления исследований интегрируются в глубоко научно проработанную отечественную систему создания механизированных кукурузоперерабатывающих семеноводческих предприятий [28, 38, 63-66, 75, 101, 110-117, 122, 123, 125-127, 129]. Кроме того, аналитически прослеживается актуальность данного направления исследований для технологий обработки початков семенной кукурузы, предлагаемой зарубежными компаниями NHAUX Concept, Petkus, Cimbria Scolari и Serbia Product [95-97]. Стартовый этап системного обоснования технологических решений в щадящей безотходной заводской обработке початков и зерна семенной кукурузы требует разработки укрупненной технологической схемы процесса обработки початков и зерна семенной кукурузы при стационарной механизации, отражающей все этапы обработки, приведенные на рисунке 1.8. Разработка данной укрупненной технологической схемы проведена на основе научных исследований, выполненных и опубликованных следующими учеными, исследователями и рационализаторами: И.В. Бумбаром И.А. Петуниной, И.Н. Гуровым, В.С. Курасовым, Э.В. Жалниным, А.Ю. Измайловым, И.Н. Клениным, В.И. Анискиным, В.Е. Бердышевым, Н.В. Алдошиным, М.Н. Московским, А.И. Рядновым, Н.В. Бышовым, О.А. Федоровой, Ю.А. Шекихачевым, Е.В. Труфляком, В.И. Анискиным, С.М. Голиком, К.В. Шатиловым, В.С. Кравченко, Г.И. Креймерманом, Л.В. Фадеевым,

М.Л. Крюковым, В.В. Никитиным, Е.А Котелевской и др. [12, 13, 19, 27-31, 38, 41, 51–56, 61–79, 106-119, 122, 123, 125, 126, 129, 188, 189].

Укрупненная технологическая схема должна включать следующие этапы обработки початков семенной кукурузы.

1. Приемка, взвешивание и щадящая механизированная разгрузка неочищенных (в листовой обертке) початков семенной кукурузы.

2. Кратковременное хранение початков в листовой обертке в сухих вентилируемых хранилищах (сапетках).

3. Механизированная подача початков в цех снятия листовой обертки и сортировки транспортерами с мягкими прорезиненными рабочими органами.

4. Снятие листовых оберток и сортировка початков. При этом некачественно очищенные початки отделяются от качественно очищенных и механизировано возвращаются на повторную очистку. Снятая листовая обертка вместе с бракованными (подгнившими, плесневелыми недозревшими, больными, нетипичными и т.д.) початками отправляется в цех производства отопительных пеллет. Обрушенное зерно перемещается в цех измельчения для производства кормовой дерти из влажного зерна.

5. Загрузка качественно очищенных початков в защитные вентилируемые контейнеры (начало контейнерного этапа перемещения початков).

6. Сушка початков до влажности 12...15% в защитных вентилируемых контейнерах посредством сушилки, нагрев сушильного агента в которой осуществляется посредством сжигания отопительных пеллет, самостоятельно произведенных в условиях данного производства.

7. Транспортировка защитных вентилируемых контейнеров с початками кондиционной влажности на обмолот. При этом контейнеры оснащены открывающимся окном и откидным лотком, чтобы на этапе обмолота початки без падений и ударов равномерно самотёком высыпались из контейнера на рабочий орган ОДЗА системы обмолота. Для этого применяется специальная передвижная платформа, на которую устанавливается контейнер.

8. Поэтапный обмолот початков кукурузы в МСУ с пневмоадаптивной декой. При этом осуществляется пневмотранспортировка обмолоченного зерна из секционного бункера МСУ в разные группы контейнеров: для зерна полученного на первичном и начальном этапе обмолота, для зерна полученного на этапе основного обмолота и для зерна, полученного после домолота. Так осуществляется первичное разделение зерна на полновесное, легковесное и некондиционное. Обмолоченные стержни удаляются посредством механического транспортера в бункер-накопитель материалов для производства отопительных пеллет.

9. Сепарация обмолоченного семенного зерна, выгружаемого из контейнеров. При этом некондиционное зерно пневмотранспортом перемещается в цех измельчения для производства кормовой дерти и складировается в бункер-накопитель сухого некондиционного зерна. Полновесное зерно разделяется на массовые группы по различным зерновым контейнерам.

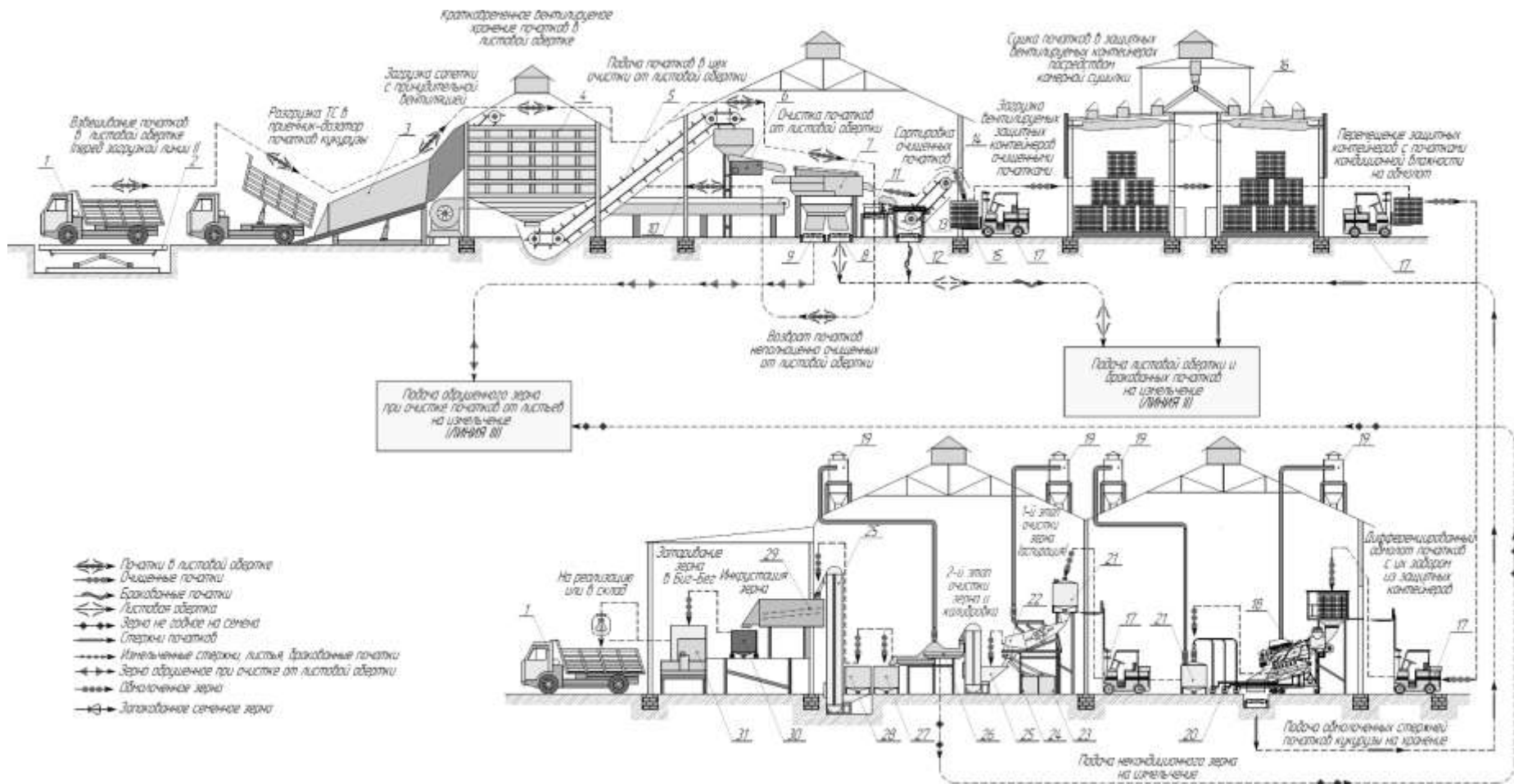
10. Инкрустация семенного зерна с загрузкой из зерновых контейнеров.

11. Загрузка готового к посеву семенного зерна в Big-bag.

12. Приготовление отопительных пеллет из измельченной смеси листовой обертки, бракованных початков и обмолоченных стержней, с их последующим сжиганием для нагрева теплового агента сушки початков до кондиционной влажности. Создание запаса пеллет для стартовых работ в следующем сезоне.

13. Приготовление кормовой дерти из влажного зерна и транспортировка ее в животноводческое предприятие для скармливания в день приготовления.

14. Приготовление кормовой дерти из сухого зерна и транспортировка ее в хранилище для последующей реализации. Укрупненная технологическая схема, включающая вышеописанные этапы осуществления ресурсосберегающих процессов обработки початков семенной кукурузы проиллюстрирована на рисунках 3.1 - 3.3.



1 – грузовое транспортное средство; 2 – весы; 3 – приемник-погрузчик; 4, 5 – временное хранилище и устройство для его разгрузки;

6, 7 – промежуточный бункер и очиститель початков от листовой обертки; 8 – 12 – транспортёры; 13 – сортировочный ленточный конвейер;

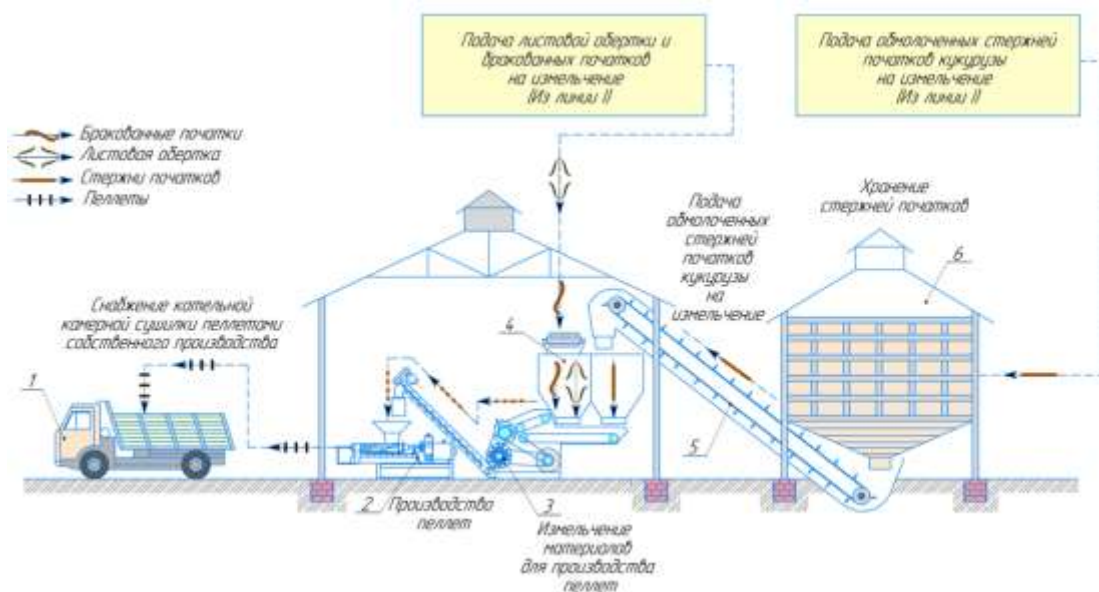
14 – конвейер; 15 – контейнер для очищенных початков; 16 – сушилка початков; 17 – погрузчик; 18 – аксиально-роторное МСУ; 19 – циклон;

20 – пневмозагрузчик; 21 – три переносных бункера для зерна с комля, середины и носка початков; 22 – аспиратор; 23 и 24 – бункеры для крупного и мелкого сора; 25 – нория Фадеева; 26 – очиститель-калибровщик; 27 и 28 – бункеры для легковесного и кондиционного зерна; 29 – инкрустатор (протравитель); 30 – бункер для семян готовых к посеву; 31 – комплекс затаривания Big-bag

Рисунок 3.1 – Линия I. Укрупненная технологическая схема шадящей безотходной заводской обработки початков и зерна семенной кукурузы



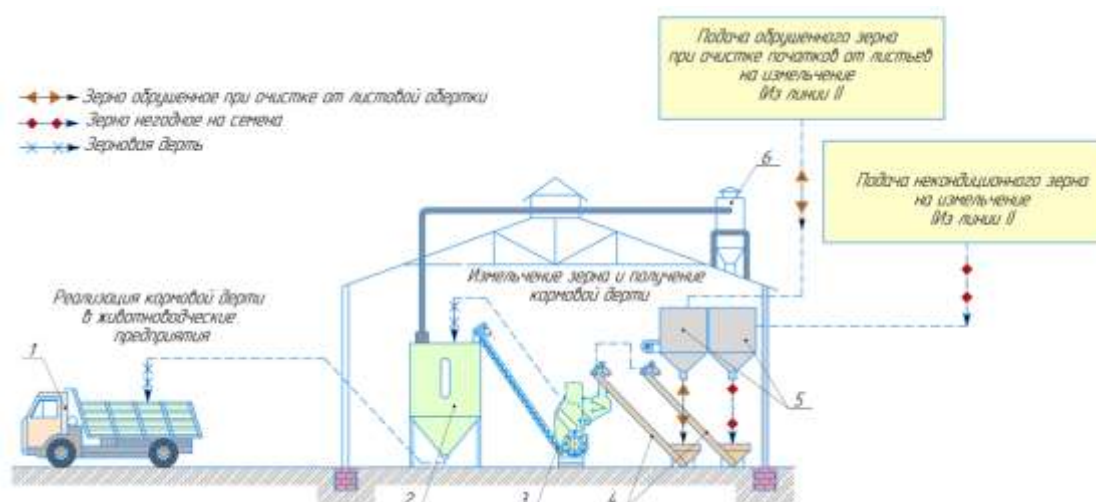
Эффективность технологии повышается при снижении затрат на электричество и тепловую энергию. Для этого отходы производства целесообразно переработать в отопительные pellets для твердотопливного котла сушилки початков кукурузы (рисунок 3.2).



1 – грузовое транспортное средство; 2 – аппарат для производства pellets; 3 – двухступенчатый измельчитель; 4 – секционный бункер; 5 – транспортёр; 6 – секционное временное хранилище

Рисунок 3.2 – Линия II. Технологическая схема процесса производства pellets для котла сушилки из некормовых отходов производства

Легковесное зерно, не представляющее ценности как семенной материал целесообразно перерабатывать в кормовую дерть для сельскохозяйственных животных, это дает дополнительный экономический эффект (рисунок 3.3).



1 – ТС; 2 – бункер для дерти; 3 – дробилка; 4 – зернопогрузчик; 5 – зерновой бункер  
Рисунок 3.3 – Линия III. Технологическая схема процесса производства зерновой дерти из кормовых отходов производства

В укрупненной технологической схеме (рисунок 3.1) реализуется комплекс защитных мероприятий минимизирующих макро- и микроповреждения зерна. Защита зерна от повреждений осуществляется в каждой операции технологического процесса по схеме, приведенной на рисунке 3.4.

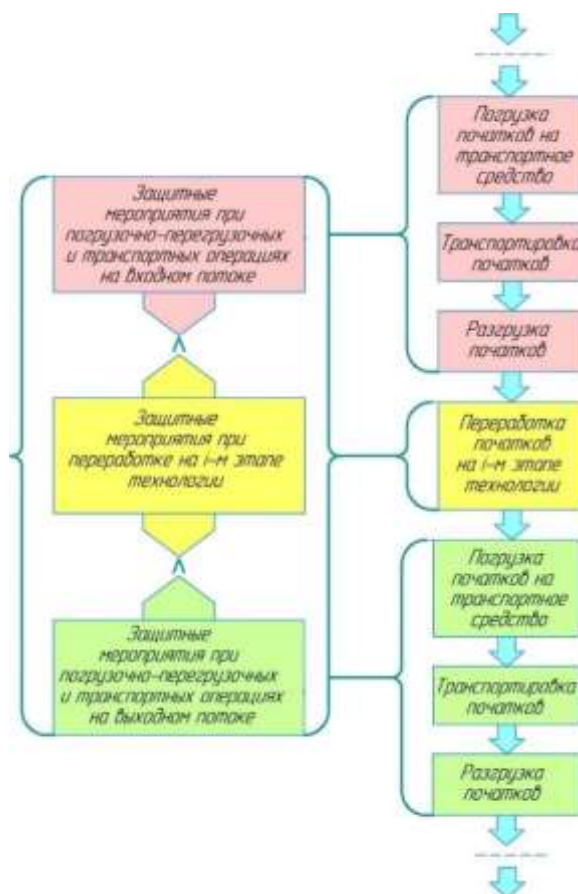


Рисунок 3.4 – Схема реализации мероприятий по защите зерна от макро- и микроповреждений на каждом этапе технологии

Следовательно, каждый этап обработки должен сопровождаться защитными мероприятиями на входном потоке, при обработке и на выходном потоке, минимум три защитных мероприятия на один этап.

Тогда, из рисунка 1.8 видно, что минимальное количество защитных мероприятий составляет 19. Из числа данных мероприятий наиболее значимым является поэтапный обмолот посредством технической системы, предполагающей забор початков из защитных вентилируемых контейнеров (рисунок 3.1 позиция 18).

На основании вышеизложенного и исходя из направления исследований предлагается перечень показателей эффективности технологических решений при

позапном обмолоте, приведенный в таблице 1.1, дополнить показателем технологического ресурсосбережения  $Y_{PC}^{ОБМ}$ , выраженным через количество макро- и микроповреждений зерна, а также его потерь от дробления, недомолота и схода свободным зерном:

$$Y_{PC}^{ОБМ} = \frac{\left( M_{общ}^{ОБМ} - \sum_{i=1}^n m_{мм} \right)}{M_{общ}^{ОБМ}} \cdot 100\% - \left( \sum_{i=1}^n \Delta_{\partial i} + \Delta_n + \Delta_c \right), \quad (3.1)$$

где  $M_{общ}^{ОБМ}$  – общее количество обмолоченного зерна, кг;

$\sum_{i=1}^n m_{мм}$  – суммарная масса зерна с макро- и микроповреждениями, кг;

$\sum_{i=1}^n \Delta_{\partial i}$  – суммарный показатель дробления зерна, %;

$\Delta_n$  – общий показатель недомолота, %;

$\Delta_c$  – общий показатель схода свободным зерном, %;

$n$  – количество этапов обмолота, штук.

Устанавливается дополнительное требование минимизации ручного труда при обработке початков кукурузы, что характеризуется известным показателем уровня механизации [63, 64, 116, 120, 121]:

$$k_{мех} = \frac{Z_m}{Z_m + Z_p}, \quad (3.2)$$

где  $k_{мех}$  – показатель уровня механизации;

$Z_m$  – количество операций, выполненных машинами, шт.;

$Z_p$  – количество операций, выполненных вручную, шт.

Тогда, в результате объединения (3.1) и (3.2) получено выражение:

$$Y_{PC}^{ОБМ} = k_{мех} \cdot \left( \frac{\left( M_{общ}^{ОБМ} - \sum_{i=1}^n m_{мм} \right)}{M_{общ}^{ОБМ}} \cdot 100\% - \left( \sum_{i=1}^n \Delta_{\partial i} + \Delta_n + \Delta_c \right) \right). \quad (3.3)$$

В укрупненной технологической схеме щадящей безотходной заводской обработки початков и зерна семенной кукурузы (рисунок 3.1) выделяется бесконтейнерная группа этапов:

этап 1 – уборка и доставка початков в листовой обертке с поля в пункт приема на обработку;

этап 2 – загрузка/разгрузка временного хранилища (сапетки);

этап 3 – очистка от листовой обертки и их сортировка.

Выделяется контейнерная группа этапов:

этап 4 – загрузка/разгрузка и непосредственная сушка початков;

этап 5 – перемещение и подача початков на обмолот;

этап 6 – перемещение и подача обмолоченного зерна на очистку сортировку и инкрустацию.

Анализ процессов при обработке початков (рисунок 1.8) показывает, что на этапе «загрузка сушилки → сушка → транспортировка на обмолот → обмолот» за счет применения защитных контейнеров прогнозируются исключения 2% дробления зерна и 5% его макро- и микроповреждений.

Управляемая разгрузка защитного контейнера способствует пространственному ориентированию початков в рациональное для обмолота положение. В связи с этим прогнозируется снижение количества поврежденного зерна при обмолоте до 10% в обмолоченной партии.

Прогноз достижения уровня повреждения зерна для усовершенствованного МСУ сделан на основании информации, описанной в источниках [12-16, 19-22, 28, 31, 32, 38, 39-42, 51, 63, 64, 80-94, 110-113, 118, 119, 122, 123, 125-127, 129].

Выражение (3.3) характеризует уровень технологического ресурсосбережения поэтапного обмолота, однако вложенный в модель принцип оценки при внесении уточнений справедлив и для других этапов обработки.

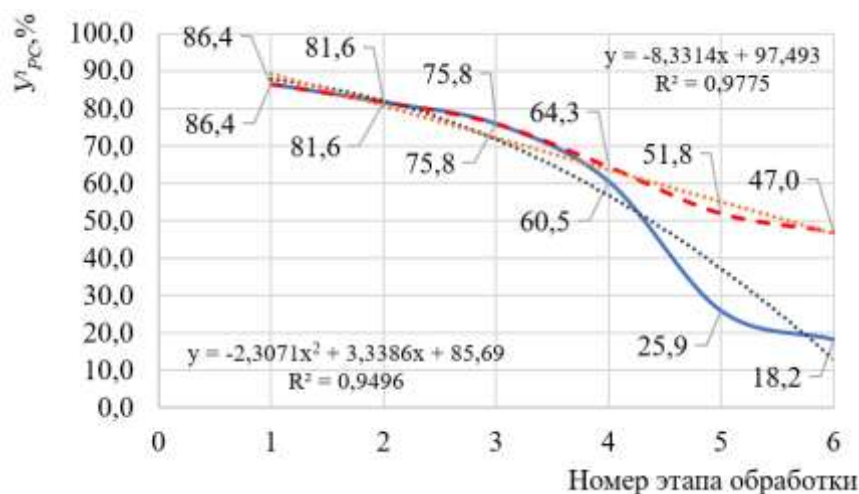
В связи с этим на основании данных, приведенных на рисунке 1.8 проведено сравнение существующего и прогнозируемого уровня технологического ресурсосбережения на всех этапах обработки початков и зерна семенной кукурузы (таблица 3.1). При сравнении для всех этапов принят показатель уровня механизации  $k_{мех} = 0,96$ .

Таблица 3.1 - \*Изменение существующего и прогнозируемого уровня технологического ресурсосбережения по этапам обработки початков и зерна семенной кукурузы

№ этапа обработки (рисунок 1.8)	Обработка с существующими технологическими решениями			**Обработка с предложенными технологическими решениями		
	% зерна без повреждений	% необратимых потерь зерна	$Y_{PC}^i$ , %	% зерна без повреждений	% необратимых потерь зерна	$Y_{PC}^i$ , %
1	90	-	86,4	90	-	86,4
2	87	2	81,6	87	2	81,6
3	83	4	75,8	83	4	75,8
4	69	6	60,5	73	6	64,3
5	36	9	25,9	63	9	51,8
6	29	10	18,2	59	10	47,0

\* Снижение выраженного в процентах количества целого зерна и увеличение потерь представлено по этапам нарастающим итогом.  
 \*\* На четвертом этапе обработки посредством применения контейнеров прогнозируется исключение 2% дробления и 2% макро- и микроповреждений зерна. На пятом этапе обработки посредством применения контейнеров прогнозируется исключение 3% макро- и микроповреждений зерна, а посредством реализации поэтапного обмолота – 20% макро- и микроповреждений зерна.

Изменение существующего и прогнозируемого уровня технологического ресурсосбережения по этапам обработки початков и зерна семенной кукурузы графически интерпретируется рисунком 3.5.



— по данным на рисунке 1.8;  
 - - - прогноз  
 Рисунок 3.5 – Прогноз-сравнение изменения существующего и прогнозируемого уровня технологического ресурсосбережения по этапам обработки початков и зерна семенной кукурузы

Из графика видно, что предложенные технологические решения позволяют прогнозировать повышение уровня технологического ресурсосбережения при обработке початков и зерна кукурузы на 28,8%.

Кроме того, проведенная аппроксимация показывает переход от сложно прогнозируемой полиномиальной зависимости к простой линейной модели, позволяющей более эффективно выстраивать стратегию функционирования технической системы в целом.

### 3.2 Технологическая взаимосвязь комплекта технических средств для поэтапного обмолота с другими комплектами оборудования в технологической схеме обработки початков семенной кукурузы

Каждый этап обработки початков и зерна семенной кукурузы выполняется в отдельной ПТЛ, которые в предложенной технологической схеме обладают гибкой связью посредством комплектов погрузочного, транспортного и разгрузочного оборудования и ограничены строительными особенностями зданий и сооружений  $O_C$ , комплектом оборудования для временного ресурсосберегающего хранения початков в листовой обертке  $I_M^{XPII}$  (типом сапеток) и комплектом оборудования для ресурсосберегающей сушки подготовленных к обмолоту початков  $I_M^{CIII}$ . При этом  $I_M^{XPII}$  и  $I_M^{CIII}$ , а также комплект технических средств для поэтапного обмолота  $I_M^{OEM}$  являются концентраторами потоков, где потоки обрабатываемых початков сходятся и расходятся.

В связи с этим функционирование комплекта оборудования для выполнения ресурсосберегающего процесса поэтапного обмолота початков семенной кукурузы оказывает ключевое влияние не только на общее ресурсосбережение (минимизацию макро- и микроповреждений зерна), но и на эффективность непрерывной поточной обработки в целом.

Поскольку в предложенной технологии обмолот является процессом перехода от стадии обработки початков к стадии обработки обмолоченного зерна, то технологическая взаимосвязь комплекта технических средств для поэтапного обмолота с другими объединенными в ПТЛ комплектами обработки семенной кукурузы выражается системной математической моделью:

$$\Phi_{TH} = f \left( Z_{KM} \wedge O_C \wedge \begin{cases} I_M^{XPII} \\ I_M^{OCHI} \\ I_M^{CIII} \\ I_M^{CIII} \end{cases} \wedge \begin{cases} C_{PC}^n \\ C_{TC}^n \\ C_{PC}^n \end{cases} \wedge I_M^{OEM} \wedge \begin{cases} C_{PC}^3 \\ C_{TC}^3 \\ C_{PC}^3 \end{cases} \wedge \begin{cases} I_M^{OCH.} \\ I_M^{CT3.} \\ I_M^{INH.} \\ I_M^{3T3.} \end{cases} \right) \text{ при } \begin{cases} Y_{PC} \rightarrow \max; \\ \mathcal{E}_y \rightarrow \min. \end{cases} \quad (3.4)$$

где  $\Phi_{TH}$  – функция технологической взаимосвязи;

$Z_{KM}$  – комплекс технических средств и мероприятий по защите зерна от макро- и микроповреждений;

$\wedge$  – знак логической операции конъюнкции (союза);

$O_C$  – строительные особенности зданий и сооружений (этажность, сетка колонн и т.д.);

$I_M^{OЧП}$  – комплект оборудования для выполнения ресурсосберегающего процесса очистки початков от листовой обертки;

$I_M^{СПП}$  – комплект оборудования для выполнения ресурсосберегающего процесса сортировки очищенных от листовой обертки початков;

$C_{ПС}^n, C_{ПС}^z$  – комплект погрузочного оборудования для  $i$ -го этапа обработки початков или зерна, соответственно (стационарные погрузчики-питатели, мобильные погрузчики и т. д.);

$C_{ТС}^n, C_{ТС}^z$  – комплект транспортного оборудования для  $i$ -го этапа обработки початков или зерна, соответственно (конвейеры, мобильные транспортные средства);

$C_{РС}^n, C_{РС}^z$  – комплект разгрузочного оборудования для  $i$ -го этапа обработки початков или зерна, соответственно (бункеры, конвейеры, мобильные погрузчики-разгрузчики);

$I_M^{OЧЗ}$  – комплект оборудования для выполнения ресурсосберегающего процесса очистки обмолоченного зерна;

$I_M^{СТЗ}$  – комплект оборудования для выполнения ресурсосберегающего процесса сортировки обмолоченного зерна;

$I_M^{ИНЗ}$  – комплект оборудования для выполнения ресурсосберегающего процесса инкрустации отсортированного зерна;

$I_M^{ЗТЗ}$  – комплект оборудования для выполнения ресурсосберегающего процесса затаривания зерна;

$Y_{PC}$  – показатель общего уровня технологического ресурсосбережения в технологической схеме, %;

$\mathcal{E}_y$  – общая энергоемкость процесса обработки початков и зерна семенной кукурузы, кВтч/т.

Системная модель (3.4) может быть графически интерпретирована в виде рисунка 3.6.

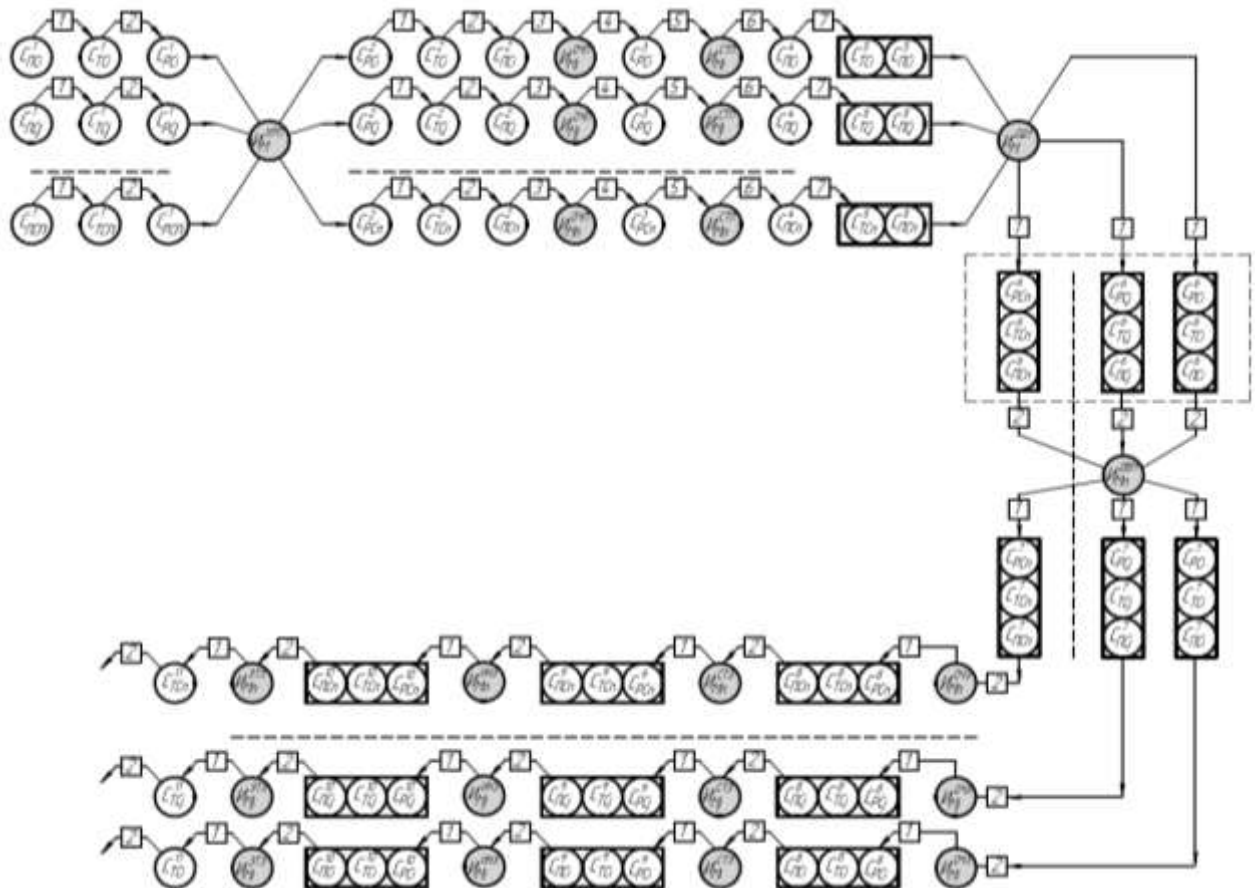


Рисунок 3.6 – Схема потоков в предложенной технологической схеме обработки початков и зерна семенной кукурузы

Из схемы потоков обрабатываемого материала (рисунок 3.6) видно, что контейнерный подход существенно сокращает количество погрузочно-перегрузочных операций, объединяя погрузку, транспортировку и разгрузку последующего в линии исполнительного механизма в одну операцию.

Обмолот в предложенной технологической схеме является завершающим этапом работы с целыми початками. По сути, все предыдущие процессы, предшествующие обмолоту, являются подготовкой к эффективному разделению початков на основной продукт (семенное зерно) и побочный продукт (обмолоченные



стержни). Остановка комплекта  $I_M^{ОБМ}$  неизбежно приведет к разрыву связи между двумя этапами технологического процесса, поэтому  $I_M^{ОБМ}$  целесообразно выполнить в виде многоканального комплекта технических средств обмолота (МТСО), где каждый канал независим и взаимозаменяем (рисунок 3.7). Количество каналов МТСО определяет пропускную способность процесса, выраженную через количество обработанных контейнеров с высушенными початками в единицу времени.

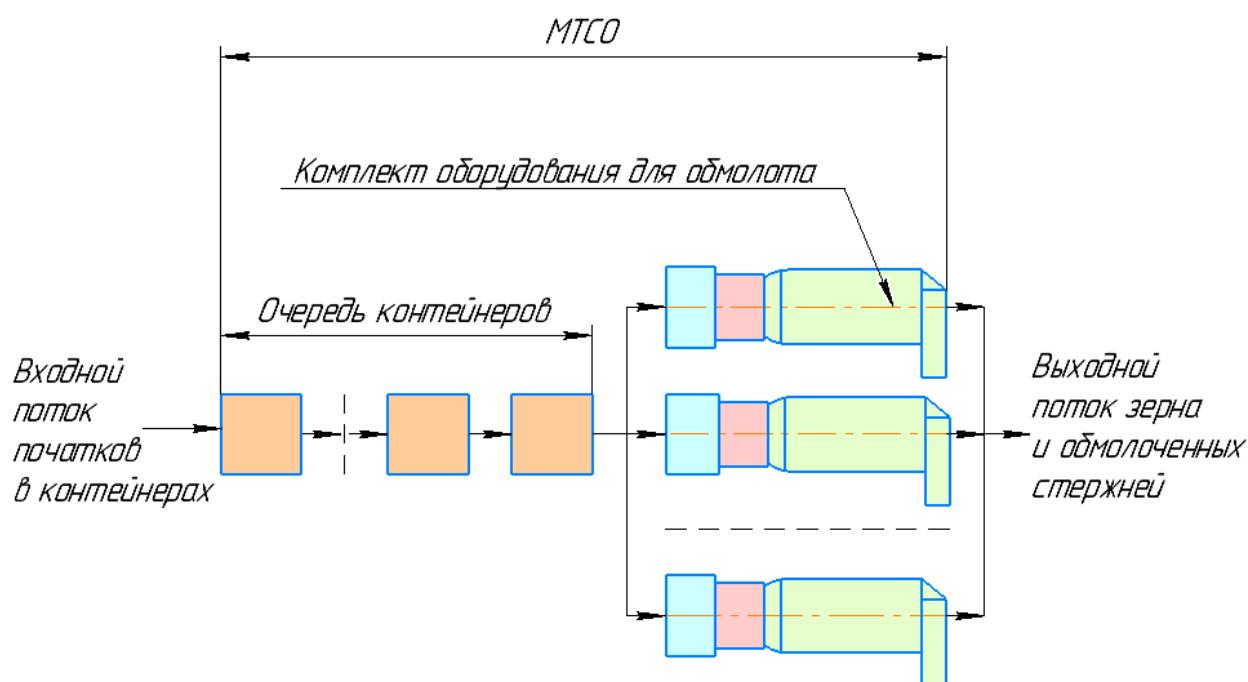


Рисунок 3.7 – Принципиальная схема МТСО

Исключить разрыв этапов обработки кукурузы в области МТСО можно обеспечив такую организацию процесса поэтапного обмолота, при которой легко определимы предельные вероятности обеспечения рациональной пропускной способности, исключающей нерационально длинную очередь из контейнеров.

Данная организация процесса описывается посредством теории А.К. Эрланга в форме прикладного определения предельной вероятности многоканальной системы массового обслуживания с ограниченной очередью, получившей развитие в научных разработках А.Н. Колмогорова [190-195]:

$$\left\{ \begin{array}{l}
p_0 = \left( 1 + \rho + \frac{\rho^2}{2!} + \dots + \frac{\rho^n}{n!} + \frac{\rho^{n+1}}{nn!} \cdot \frac{1 - \left(\frac{\rho}{n}\right)^m}{1 - \frac{\rho}{n}} \right)^{-1}; \\
\rho = \frac{\lambda}{\mu}; \\
p_1 = \rho \cdot p_0, p_2 = \frac{\rho^2}{2!} \cdot p_0, \dots, p_n = \frac{\rho^n}{n!} \cdot p_0; \\
p_{n+1} = \frac{\rho^{n+1}}{nn!} \cdot p_0; p_{n+2} = \frac{\rho^{n+2}}{n^2 n!} \cdot p_0, \dots, p_{n+m} = \frac{\rho^{n+m}}{n^m n!} \cdot p_0; \\
P_{отк} = p_{n+m} = \frac{\rho^{n+m}}{n^m n!} \cdot p_0; \\
Q = 1 - P_{отк}; \\
A = \lambda \cdot Q; \\
k_{зан} = \frac{A}{\mu} = \rho \cdot Q; \\
L_{оч} = \frac{\rho^{n+1}}{nn!} \cdot \frac{1 - \left(\frac{\rho}{n}\right)^m \cdot \left(m + 1 - \frac{m}{n} \rho\right)}{\left(1 - \frac{\rho}{n}\right)^2} \cdot p_0; \\
T_{оч} = \frac{L_{оч}}{\lambda}; \\
L_{сист} = L_{оч} + k_{зан}.
\end{array} \right. \quad (3.5)$$

где  $p_0$  – вероятность предельного состояния всей системы;

$n$  – количество каналов, шт.;

$p_1 - p_n$  – вероятность предельного состояния с 1-го до  $n$  – го канала соответственно;

$m$  – количество мест в очереди, шт.;

$\lambda$  – интенсивность входного потока контейнеров, конт./ч (или т/ч);

$\mu$  – интенсивность обслуживания контейнеров в МТСО конт./ч (или т/ч);

$A$  – абсолютная пропускная способность МТСО конт./ч (или т/ч);

$Q$  – относительная пропускная способность;

$P_{отк}$  – вероятность отказа в обработке контейнеров;

$k_{зан}$  – среднее число занятых каналов, шт.;

$L_{оч}$  – количество контейнеров в очереди на обработку, шт.;

$T_{оч}$  – время нахождения контейнеров в очереди на обработку, ч;

$L_{сист}$  – среднее число контейнеров в МТСО, шт.

По своей физической сути  $\lambda$  – это общая производительность комплекта транспортного оборудования  $C_{TC}^i$ , погрузочного оборудования  $C_{ПС}^i$  и разгрузочного оборудования  $C_{РС}^i$ ,  $\mu$  – общая производительность всех каналов обмолота, тогда:

$$\lambda = f\left(\sum_{i=1}^n C_{TC}^i, C_{ПС}^i, C_{РС}^i\right), \quad (3.6)$$

$$\mu = f\left(\sum_{i=1}^n K_K^i, K_{ОДЗА}^i, K_{МСУ}^i, K_{ВР}^i\right), \quad (3.7)$$

где  $K_K$  – конструктивные особенности защитного контейнера для початков кукурузы;

$K_{ОДЗА}$  – конструктивные особенности ОДЗА;

$K_{МСУ}$  – конструктивные особенности МСУ;

$K_{ВР}$  – конструктивные особенности воздушно-решетной очистки зерна перед его входом в бункер МСУ.

В соответствии с вышеизложенной информацией эффективность данной МТСО также характеризуется показателем общего уровня технологического ресурсосбережения в процессе обмолота початков семенной кукурузы  $У_{РС}^{ОБМ}$ , и энергоемкостью процесса обмолота початков семенной кукурузы  $Э_v^{ОБМ}$ .

Необходимая мощность для обеспечения  $\lambda$  характеризуется функциональной зависимостью:

$$N_\lambda = f\left(\sum_{i=1}^n N_{TC}^i, N_{ПС}^i, N_{РС}^i\right), \quad (3.8)$$

где  $N_\lambda$  – мощность необходимая для обеспечения заданной интенсивности входного потока контейнеров, кВт;

$N_{TC}^i$  – мощность необходимая для транспортировки контейнеров при заданной интенсивности входного потока, кВт;

$N_{ПС}^i$  – мощность необходимая для погрузки контейнеров при заданной интенсивности входного потока, кВт;

$N_{РС}^i$  – мощность необходимая для разгрузки контейнеров при заданной интенсивности входного потока, кВт.

Энергоемкость обеспечения входного потока или работы транспортной и погрузочно-разгрузочной системы (ТПРС):

$$\mathcal{E}_v^{ТПРС} = \frac{N_\lambda}{\lambda} \rightarrow \min. \quad (3.9)$$

Необходимая мощность для обеспечения  $\mu$  характеризуется функциональной зависимостью:

$$N_\mu = f\left(\sum_{i=1}^n N_{ОДЗА}^i, N_{МСУ}^i, N_{БР}^i\right), \quad (3.10)$$

где  $N_\mu$  – мощность, необходимая для обеспечения заданной интенсивности обслуживания контейнеров в МТСО, кВт;

$N_{ОДЗА}^i$  – мощность, необходимая для обеспечения работы ОДЗА, кВт;

$N_{МСУ}^i$  – мощность, необходимая для обеспечения работы МСУ, кВт;

$N_{БР}^i$  – мощность, необходимая для работы воздушно-решетной системы очистки зерна при проходе из СРД в зерновой бункер МСУ, кВт.

Энергоемкость обеспечения интенсивности обслуживания или обмолота:

$$\mathcal{E}_v^{ОБМ} = \frac{N_\mu}{\mu} \rightarrow \min. \quad (3.11)$$

Следовательно, организационно-технологическая эффективность МТСО характеризуется:

- вероятностью предельного состояния всей системы (МТСО не загружена или загружена нерационально);
- вероятностью отказа в приёме массы початков (контейнеров) на обмолот по техническим или организационным причинам;
- средним числом непрерывно работающих каналов МТСО;
- длиной очереди из контейнеров;
- средним временем ожидания контейнера в очереди.

Кроме этого, на основании модели (3.4) МТСО характеризуется энергоемкостью процесса обмолота  $\mathcal{E}_v^{ОБМ}$  и показателем технологического ресурсосбережения  $\mathcal{V}_{РС}^{ОБМ}$ .

Поскольку МТСО должна соответствовать принципам поточности, предлагается в качестве дополнительной характеристики использовать минимизацию количества машин (устройств), требующих жёсткого согласования по производительности ( $K_{СПМ} \rightarrow \min$ ). В связи с вышеизложенным перечень характеристик организационно-технологической эффективности МТСО можно выразить системой:

$$\begin{aligned}
 & I_M^{ОБМ} \rightarrow opt \text{ при } \left\{ \begin{array}{l}
 p_0 = \left( 1 + \rho + \frac{\rho^2}{2!} + \dots + \frac{\rho^n}{n!} + \frac{\rho^{n+1}}{nn!} \cdot \frac{1 - \left(\frac{\rho}{n}\right)^m}{1 - \frac{\rho}{n}} \right)^{-1}; \\
 \rho = \frac{\lambda}{\mu}; \\
 p_1 = \rho \cdot p_0, p_2 = \frac{\rho^2}{2!} \cdot p_0, \dots, p_n = \frac{\rho^n}{n!} \cdot p_0; \\
 p_{n+1} = \frac{\rho^{n+1}}{nn!} \cdot p_0, p_{n+2} = \frac{\rho^{n+2}}{n^2 n!} \cdot p_0, \dots, p_{n+m} = \frac{\rho^{n+m}}{n^m n!} \cdot p_0; \\
 P_{отк} = p_{n+m} = \frac{\rho^{n+m}}{n^m n!} \cdot p_0 \rightarrow \min; \\
 Q = 1 - P_{отк}; \\
 A = \lambda \cdot Q \rightarrow \max; \\
 k_{зан} = \frac{A}{\mu} = \rho \cdot Q \rightarrow \max; \\
 L_{оч} = \frac{\rho^{n+1}}{nn!} \cdot \frac{1 - \left(\frac{\rho}{n}\right)^m \cdot \left(m + 1 - \frac{m}{n} \rho\right)}{\left(1 - \frac{\rho}{n}\right)^2} \cdot p_0 \rightarrow \min; \\
 T_{оч} = \frac{L_{оч}}{\lambda} \rightarrow \min; \\
 L_{сист} = L_{оч} + k_{зан}; \\
 \mathcal{E}_y^{ПТРС} = \frac{N_\lambda}{\lambda} \rightarrow \min; \\
 \mathcal{E}_y^{ОБМ} = \frac{N_\mu}{\mu} \rightarrow \min; \\
 \mathcal{Y}_{PC}^{ОБМ} = k_{мех} \cdot \left( \frac{\left( M_{общ}^{ОБМ} - \sum_{i=1}^n m_{mm} \right)}{M_{общ}^{ОБМ}} \cdot 100\% - \left( \sum_{i=1}^n \Delta_{oi} + \Delta_h + \Delta_c \right) \right) \rightarrow \max; \\
 K_{СПМ} \rightarrow \min.
 \end{array} \right. \quad (3.12)
 \end{aligned}$$

Из модели (3.12) видно, что эффективность  $I_M^{ОБМ}$  оценивается рядом специфических организационно-технологических критериев. В связи с этим предлагается их совокупное действие оценивать критерием расстояния к цели по методу построения многокритериальной оценочной модели.

Оценочная модель позволяет сравнить реальный процесс с условно установленным экспертами идеальным процессом.

Критерий расстояния к цели  $\Theta_j$  определяется известным выражением [146, 147, 192, 196-201]:

$$\Theta_j = \frac{S_j}{S_i}; \quad \text{при } \Theta_j \geq 1, \quad (3.13)$$

где  $S_j$  - площадь графической модели, построенной на значениях организационно-технологических критериев реального процесса, мм<sup>2</sup>;

$S_i$  - площадь графической модели, построенной на значениях организационно-технологических критериев условно установленного экспертами идеального процесса, мм<sup>2</sup>.

Для сравнения организационно-технологической эффективности  $I_M^{ОБМ}$  в технологии, представленной в виде схемы (1.8) по предложенной методике, введены следующие условные варианты:

1) все погрузочно-транспортные работы осуществляются конвейерами, а обмолот – серийными молотильно-сепарирующими устройствами типа МКП-12 или MSH-25 «Serbia Product»;

2) все транспортные и погрузочно-разгрузочные работы осуществляются с применением защитных контейнеров, а поэтапный обмолот комплектом оборудования, с показателями уровня макро- и микроповреждений зерна не более 10%, дробления - не более 1,5%, недомолота - не более 1,5% и сход свободным зерном - не более 1%.

Исходные значения для сравнения сведены в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Исходные значения для сравнения организационно-технологической эффективности комплектов технических средств для обмолота початков семенной кукурузы

Показатель	Вариант	Значение	Возможность экспертного прогнозирования P – positive N – negative	Прим.
Вероятность предельного состояния всей системы (МТСО не загружена или загружена нерационально)	1	Не определима	N	
	2	$< 0,097$	P	$n = m = 3$ $\lambda = 22$ $\mu_i = 10$
Вероятность отказа в приёме массы початков на обмолот по техническим или организационным причинам	1	Не определима	N	
	2	$< 0,01$	P	$Q \geq 0,92$ $A \geq 21,83$
Среднее число непрерывно работающих каналов МТСО	1	Не прогнозируемо	N	
	2	2	P	
Длина очереди из контейнеров	1	Равна длине всех конвейеров для загрузки МТСО	P	
	2	$\leq 2$ контейнера	P	
Среднее время ожидания в очереди	1	Равно времени транспортирования	P	
	2	$\leq 5$ мин	P	В стационарных условиях
Минимальное количество машин (устройств) согласуемых по производительности с МТСО	1	5	P	При разгрузке сушиллки: погрузчик, конвейер При подаче в МТСО: конвейер, разгрузчик, бункер-питатель
	2	2	P	При разгрузке сушиллки: вилочный погрузчик При подаче в МТСО: вилочный погрузчик

Показатели, представленные в таблице 3.2 позволяют сформировать параметры оценочного графа (таблица 3.3).

Таблица 3.3 - Значения обобщённых критериев эффективности

Параметр	Значение для оцениваемого варианта		
	Код	С применением конвейеров	С применением защитных контейнеров
Отношение общего количества к количеству прогнозируемых организационных показателей	$J_1$	2	1
Минимальное количество машин согласуемых по производительности с МТСО, шт.	$J_2$	5	2
Сумма показателей макро- и микроповреждений, дробления и потерь зерна на этапе: разгрузка сушилки → транспортировка початков в МТСО → обмолот, %. Согласно схеме 1.8 и прогнозу на основании [13, 19-22, 27-32, 38, 63, 64, 80-94, 110, 114, 116, 122, 126].	$J_3$	36	13
Количество операторов	$J_4$	2	3
Площадь анализируемого графа $S_j$ , мм <sup>2</sup>	-	3350	1240
Площадь идеального графа $S_i$ , мм <sup>2</sup>	-	970	
Критерий расстояния к цели $\Theta_j$	-	3,25	1,28
Соотношение критериев расстояния к цели $\Theta$	-	2,5:1	

На основании таблицы 3.3 построен оценочный граф для сравнения технологических решений (рисунок 3.8), по которому рассчитаны площади и вычислен критерий расстояния к цели.

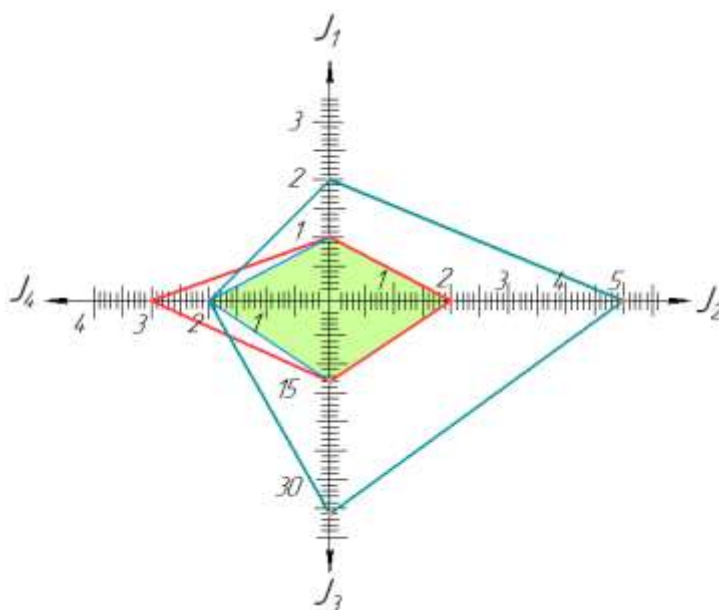


Рисунок 3.8 - Оценочный граф для сравнения технологических решений



Из проведенного системного анализа видно, что применение защитных контейнеров на этапе обработки початков: разгрузка сушиллки → транспортировка початков МТСО → обмолот, позволяет приблизить  $I_M^{ОБМ}$  к своему организационно-технологическому оптимуму в 2,5 раза относительно процесса, предполагающего применение конвейеров. Здесь  $\Theta = 2,5$  показывает, что при контейнерном подходе обобщенный критерий совместного и единовременного ограничивающего влияния  $J_1, J_2, J_3, J_4$  (таблица 3.3) на эффективность применяемых технологических решений при разгрузке сушиллки, транспортировке початков в МТСО и обмолоте в 2,5 раза меньше, чем при конвейерном подходе. Из вышеизложенного следует:

- в технологической схеме обработки семенной кукурузы обмолот является процессом перехода от стадии обработки початков к стадии обработки обмолоченного зерна, а остановка процесса обмолота приводит к разрыву этапов;
- все процессы, предшествующие обмолоту, являются подготовкой к эффективному разделению початков на основной продукт (семенное зерно) и побочный продукт (незерновая часть початков);
- функционирование комплекта оборудования для выполнения процесса обмолота початков семенной кукурузы оказывает ключевое влияние на общее ресурсосбережение (минимизацию макро- и микроповреждений зерна) при осуществлении предложенной технологии;
- эффективность процесса обмолота початков семенной кукурузы оценивается рядом специфических критериев, включающих в свой состав характеристики МТСО, выражаемые рядом уравнений Эрланга и Колмогорова, а также энергоемкостью процесса и показателем общего уровня технологического ресурсосбережения;
- совокупное действие всех показателей эффективности процесса обмолота оценивается критерием расстояния к цели по методу многокритериальной оценки, сравнивая реальный процесс с условно установленным экспертами идеальным процессом.

Обмолот является не только границей перехода от обработки початков к обработке зерна, но и наиболее экстремальным с точки зрения макро- и микроповреждений зерна процессом. Оптимизация обмолота как одного из ключевых процессов в ресурсосберегающей технологии несет первостепенный характер и требует всестороннего научного обоснования, при этом контейнерная система перемещения початков в процессе обработки является неотъемлемой частью данной оптимизации.

Дальнейшее исследование требует принципиального обоснования конструктивных особенностей защитных контейнеров и дальнейшего совершенствования процесса поэтапного обмолота початков семенной кукурузы с забором из контейнеров.

### **3.3 Логическая интерпретация процесса обмолота как системы поэтапно выполняемых операций. Постановка решаемой научной проблемы**

Принципиальное обоснование ресурсосберегающего процесса поэтапного обмолота початков семенной кукурузы целесообразно осуществить с описания начальных предположений и допущений в виде ряда логических системных функций.

Проведенный ранее анализ дает основание выдвинуть следующую **научную гипотезу** – минимизация количества макро- и микроповреждений зерна семенной кукурузы в технологии послеуборочной обработки початков при их поэтапном обмолоте достигается рациональным силовым воздействием на зерно адаптивными рабочими органами аксиально-роторного МСУ, в которое початки подаются из защитных контейнеров дозированно и упорядоченно.

В этом случае процесс обмолота выражается в виде следующих поэтапно выполняемых операций и процессов:

- контролируемой выгрузки массы початков из защитного контейнера;
- придания всем початкам единого пространственного положения;

- дозированной подачи сориентированных в пространстве початков в приемный лоток аксиально-роторного МСУ;
- щадящего перехода початков из приемного лотка в рабочий зазор СРД аксиально-роторного МСУ;
- обмолота початков кукурузы, перемещаемых в рабочем зазоре СРД в рациональном пространственном положении относительно рабочих органов, способных дифференцировать величину обмолачиваемых сил удара и трения.

В результате связь зерна со стержнями разрушится в любой части початков (комель, средняя часть и носок), а целостность оболочки, эндосперма и зародыша зерна будет сохранена. Тогда предлагаемый способ поэтапного обмолота состоит в следующем. Совокупность операций, выполняемых комплектом технических средств, состоящей из защитного контейнера и ОДЗА предлагается называть *первичный этап обмолота*, поскольку здесь посредством контролируемой выгрузки массы початков из защитного контейнера на рабочий орган ОДЗА, ориентирования початков в пространстве и их пересыпания в приемный лоток МСУ и щадящего входа в рабочий зазор СРД, формируются малые локальные участки разрушения целостности структуры в рядах зерен (освобождение от зерна 2...5% внешней поверхности початков).

В рабочем зазоре СРД аксиально-роторного МСУ реализуется еще три этапа обмолота:

- *начальный этап* обмолота (увеличение количества и размера малых локальных участков разрушения целостности структуры в рядах зерен, освобождение от зерна 10...15% внешней поверхности початков);
- *основной этап обмолота* (отделения от стержней початков до 90% всего зерна);
- *этап домолота* (отделения от стержней початков до 90% зерна, оставшегося после основного этапа обмолота).

Изучение технологии обмолота как системы поэтапно выполняемых операций и процессов требует применения системного метода построения модели функционирования комплекта технических средств для обмолота

початков семенной кукурузы по принципу черного ящика [122, 146, 147, 196-201] (рисунок 3.9).

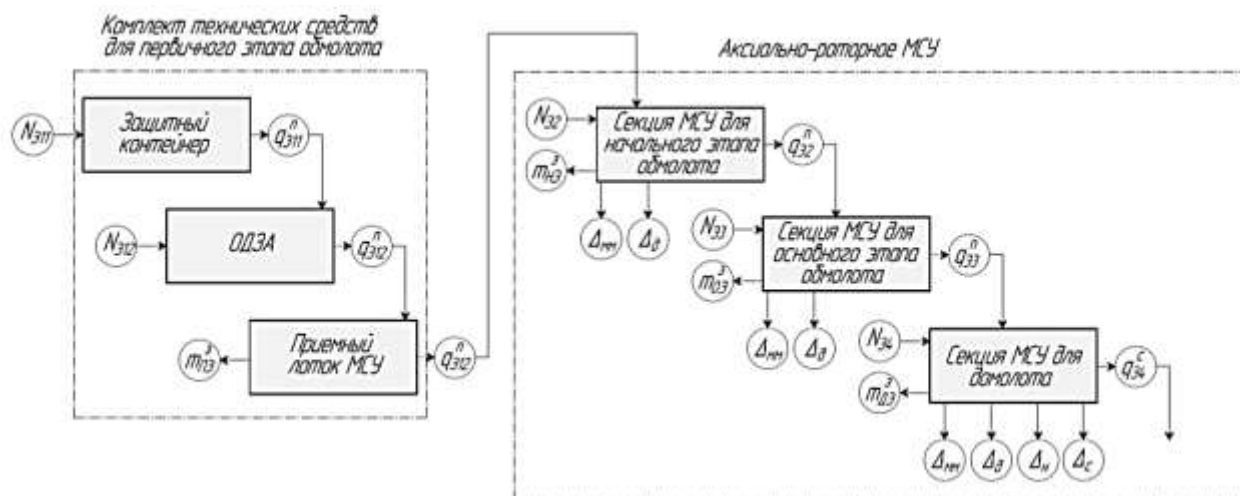


Рисунок 3.9 - Модель функционирования комплекта технических средств для поэтапного обмолота початков семенной кукурузы

Для данной модели функционирования системная функция взаимосвязи параметров имеет вид модели поэтапной характеристики процесса:

$$I_M^{ОБМ} = f(\mathcal{E}_V^{ОБМ} \Lambda Y_{PC}^{ОБМ}) \equiv \begin{cases} N_{Э11} + N_{Э12} \Lambda q_{Э11}^n + q_{Э12}^n \Lambda m_{ПЭ}^3 \\ N_{Э2} \Lambda q_{Э2}^n \Lambda m_{НЭ}^3 \Lambda \Delta_{mm} \Lambda \Delta_\rho \\ N_{Э3} \Lambda q_{Э3}^n \Lambda m_{ОЭ}^3 \Lambda \Delta_{mm} \Lambda \Delta_\rho \\ N_{Э4} \Lambda q_{Э4}^c \Lambda m_{ДЭ}^3 \Lambda \Delta_{mm} \Lambda \Delta_\rho \Lambda \Delta_n \Lambda \Delta_c \end{cases}, \quad (3.14)$$

где  $N_{Э11}$  – мощность, затраченная на подъем контейнера; кВт;

$N_{Э12}$  – мощность, затраченная на привод ОДЗА; кВт;

$N_{Э2}$  – мощность, затраченная на начальный этап обмолота; кВт;

$N_{Э3}$  – мощность, затраченная на основной этап обмолота; кВт;

$N_{Э4}$  – мощность, затраченная на домолот; кВт;

$q_{Э11}^n$  – подача початков из контейнера на ОДЗА, кг/с;

$q_{Э12}^n$  – подача початков ОДЗА, кг/с;

$q_{Э2}^n$  – пропускная способность секции начального обмолота; кг/с;

$q_{Э3}^n$  – пропускная способность секции основного обмолота; кг/с;

$q_{Э4}^c$  – пропускная способность секции домолота; кг/с;

$m_{ПЭ}^3$  – сход зерна в бункер МСУ после первичного этапа обмолота, кг;

$m_{НЭ}^3$  – сход зерна в бункер МСУ после начального этапа обмолота, кг;

$m_{ОЭ}^3$  – сход зерна в бункер МСУ после основного этапа обмолота, кг;

$m_{ДЭ}^3$  – сход зерна в бункер МСУ после этапа домолота, кг;

$\Delta_{мм}$  – показатель макро- и микроповреждений зерна, %;

$\Delta_n$  – показатель недомолота зерна, %;

$\Delta_d$  – показатель дробления зерна, %;

$\Delta_c$  – сход свободным зерном, %.

Модель (3.14) является **первой** логической формой описания обмолота как системы поэтапно выполняемых операций.

Согласно данного метода анализа необходимо выбрать целевые индикаторы эффективности функционирования комплекта технических средств для поэтапного обмолота початков семенной кукурузы в рамках принятой технологии. В соответствии с моделью функционирования целевыми индикаторами, определяющими эффективность функционирования комплекта технических средств для поэтапного обмолота початков семенной кукурузы, являются:

1) полная функция энергоемкости процесса поэтапного обмолота:

$$\mathcal{E}_y^{ОБМ} = f \left\{ \begin{array}{l} \mathcal{E}_{y(mp1)}^{ОБМ} + \mathcal{E}_{y(mp2)}^{ОБМ} + \mathcal{E}_{y(mp3)}^{ОБМ} + \mathcal{E}_{y(mp4)}^{ОБМ} \\ \mathcal{E}_{y(mc1)}^{ОБМ} + \mathcal{E}_{y(mc2)}^{ОБМ} + \mathcal{E}_{y(mc3)}^{ОБМ} + \mathcal{E}_{y(mc4)}^{ОБМ} \end{array} \right., \quad (3.15)$$

где  $\mathcal{E}_{y(mp1)}^{ОБМ} \dots \mathcal{E}_{y(mp4)}^{ОБМ}$  – энергоемкость процесса перемещения початков на первичном, начальном и основном этапе обмолота, а также при домолоте, кВтч/т;

$\mathcal{E}_{умс1}^{ОБМ} \dots \mathcal{E}_{умс4}^{ОБМ}$  – энергоемкость процесса отделения массовых долей зерен и их эвакуации из общей массы початков в рабочих камерах на первичном, начальном и основном этапе обмолота, а также при домолоте кВтч/т.

2) масса зерна с макро- и микроповреждениями, полученными при ориентировании початков в пространстве и их поэтапном обмолоте выражается формулой:

$$\sum_{i=1}^n m_{mm} = m_{mm1} + m_{mm2} + m_{mm3} + m_{mm4}, \quad (3.16)$$

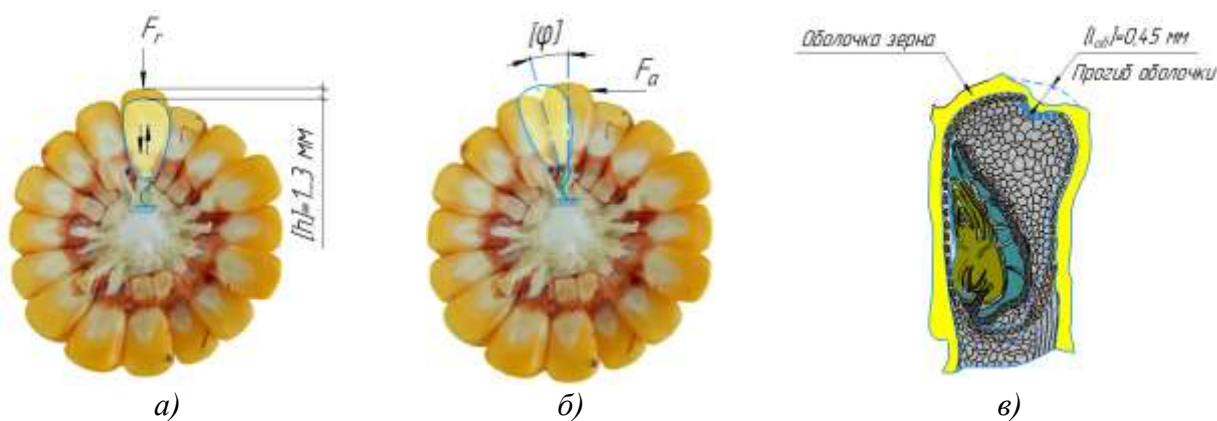
где  $m_{mm1} \dots m_{mm4}$  - масса зерна с макро- и микроповреждениями полученными на первичном, начальном и основном этапе обмолота, а также при домолоте, кг.

Каждый этап обмолота початков кукурузы требует автономного изучения, определения закономерностей взаимосвязи с другими этапами и соединение в единую эффективную систему ресурсосбережения.

Початок кукурузы как биологическая система [122] своим строением, геометрической формой и структурой в определённых пределах защищает зерно от травмирующего ударного силового воздействия. Это можно назвать естественной системой защиты зерна от механических повреждений [122, 129, 202-204].

Данная система состоит из следующих элементов. Зерно, находясь в початке, под действием радиальной статической нагрузки или ударного импульса  $[S] = 1,45$  Нс (значение определено И.Н. Гуровым [38, 116]) может углубляться в тело стержня на глубину  $[h] = 3$  мм (значение определено К.В. Шатиловым и И.Н. Гуровым [13, 38]) (рисунок 3.10, а). При воздействии на початок под углом к его радиусу зерно может, сохраняя целостность крепления к стержню, отклоняться в сторону на угол  $[\varphi] = 7 \dots 12$  (значение определено по методике А.И. Пьянкова [158]) вместе с несколькими смежными зёрнами, опираясь на последние (рисунок 3.10, б). Защитная плодовая оболочка зерна без повреждений может прогибаться на величину  $[l_{об}] = 0,45$  мм (значение определено Н.Ф. Рожковским [157]) (рисунок 3.10, в).

В качестве первого допущения принято, что вышеописанные числовые значения  $[h]$ ,  $[\varphi]$  и  $[l_{об}]$ , являются критическими. Превышение  $[h]$  и  $[\varphi]$  приводит к отделению зерна от стержня, а преодоление  $[l_{об}]$  – к разрушению защитной оболочки зерна.



*a* – вдавливание в стержень; *б* – смещение в сторону;  
*в* – прогиб оболочки зерна

Рисунок 3.10 – Элементы естественной системы защиты зерна кукурузы от механических повреждений

Силовое воздействие, травмирующее зерно, создается чрезмерным ударным импульсом со стороны рабочих органов МСУ. Ударный импульс характеризует скоростной режим обмолота и задает ограничения в конструктивных особенностях рабочих органов СРД в МСУ. Следовательно, начальные условия (НУ) ударного силового воздействия при поэтапном обмолоте с учетом особенностей естественной системы защиты зерна в початке кукурузы выражаются функцией  $\Phi_1$  в виде системы ограничений:

$$\Phi_1 = \left( \begin{cases} \mathcal{E}_y^{OБМ} \rightarrow \min \\ Y_{PC}^{OБМ} \rightarrow \max \end{cases} \right) \equiv \begin{cases} S \leq [S] \\ l_{об} \leq [l_{об}] \\ h \geq [h] \\ \varphi \geq [\varphi] \end{cases}, \quad (3.17)$$

где  $S$ ,  $[S]$  – необходимое и предельно допустимое значение ударного импульса, соответственно;

$l_{об}$ ,  $[l_{об}]$  – необходимое и предельно допустимое значение прогиба защитной оболочки зерна, соответственно;

$h$ ,  $[h]$  – необходимое и предельно допустимое значение углубления зерна в тело стержня початка, соответственно;

$\varphi$ ,  $[\varphi]$  – необходимое и предельно допустимое значение углового отклонения нагруженного зерна в участке смежных зерен на початке, соответственно.

Целевые индикаторы (3.15) и (3.16) стремятся к минимуму при условии обеспечения такого ударного импульса  $S$ , при котором защитная оболочка зерна сохранит целостность, а перемещение  $h$  и  $\varphi$  приведет к разрыву связи зерна со стержнем.

Выражение (3.17) является **второй** логической формой описания обмолота как системы поэтапно выполняемых операций.

Вместе с ударным воздействием процесс обмолота кукурузы сопровождается действием сил трения скольжения початков о рабочие органы МСУ и друг о друга. При этом трение скольжения должно быть таким, чтобы наряду с ударом выполнялось условие  $\varphi > [\varphi]$ , но при этом целостность защитной плодовой оболочки зерна не нарушалась. Это достигается посредством рационального прижатия зерна в початке к оптимальным по конструкции рабочим органам МСУ.

Следовательно, для трения зерна о рабочие органы МСУ при движении початков в процессе поэтапного обмолота НУ силового воздействия с учетом особенностей естественной системы защиты зерна в початке кукурузы выражаются функцией  $\Phi_2$  в виде системы ограничений:

$$\Phi_2 = \left( \begin{cases} \mathcal{E}_Y^{ОБМ} \rightarrow \min \\ Y_{PC}^{ОБМ} \rightarrow \max \end{cases} \right) \equiv \begin{cases} R_{Fc} \leq [R_{Fc}] \\ \varphi \geq [\varphi] \\ l_{об} \leq [l_{об}] \end{cases}, \quad (3.18)$$

где  $R_{Fc}$  и  $[R_{Fc}]$  – необходимое и предельно допустимое значение равнодействующей сил трения скольжения, способствующих отделению зерна от стержня, соответственно, Н.

Выражение (3.18) является **третьей** логической формой описания обмолота, как системы поэтапно выполняемых операций.

Трансформация выражений (3.14), (3.17) и (3.18) из обобщенной логической формы в вид взаимосвязанных математических выражений, представляющих собой теоретическое дополнение и уточнение существующей теоретико-экспериментальной базы данных, позволяет решить научные задачи, поставленные в данном исследовании.



Следовательно, минимизация количества макро- и микроповреждений зерна при послеуборочной обработке урожая семенной кукурузы это сложная многоуровневая научная проблема, в которой наиболее значимое место занимает обмолот.

Из вышеизложенного следует, что минимизация макро- и микроповреждений зерна при обмолоте возможна способом поэтапного обмолота початков семенной кукурузы, включающим этапы первичного, начального, основного обмолота и домолота, при этом первичный этап осуществляют при загрузке с ориентированием и дозированием початков до входа их в молотильно-сепарирующее устройство, а этапы начального, основного обмолота и домолота осуществляют непосредственно в аксиально-роторном молотильно-сепарирующем устройстве.

Теоретическая база разработки и создания комплектов технических средств для реализации способа поэтапного обмолота должна быть дополнена математическими моделями, учитывающими элементы естественной системы защиты зерна кукурузы от механических повреждений в початке.

В связи с этим теоретическое исследование процесса поэтапного обмолота целесообразно начинать с обоснования конструктивно-технологических параметров технических средств для первичного этапа обмолота, который осуществляется вне МСУ в процессе выхода початков из контейнера, перемещения по откидному лотку контейнера и ориентирования в единое положение посредством рабочего органа ОДЗА. Здесь важны конструктивные особенности контейнера, углы наклона днища контейнера и его откидного лотка, а также длина откидного лотка и ручьев рабочего органа ОДЗА.

Рациональное конструктивное соотношение контейнера, откидного лотка и ОДЗА позволяет укладывать початки в один слой и выстраивать их в единое положение, что в последующем обеспечит эффективный поэтапный обмолот в секциях аксиально-роторного МСУ.

### 3.4 Концептуальное обоснование параметров технических средств для первичного этапа обмолота с элементами вероятностного описания процесса ориентирования початков кукурузы в пространстве перед их подачей в МСУ

Вариативная форма и размеры початков кукурузы различных подвидов указывают на то, что теория их ориентирования в пространстве может базироваться на вероятностных моделях.

Для придания початкам кукурузы строго определённого положения в пространстве необходимо осуществить два этапа:

- создать рациональные условия для ориентирования при выходе из защитного контейнера на его откидной лоток (событие  $A_1$ ) и при перемещении по рабочей поверхности откидного лотка (событие  $A_2$ );

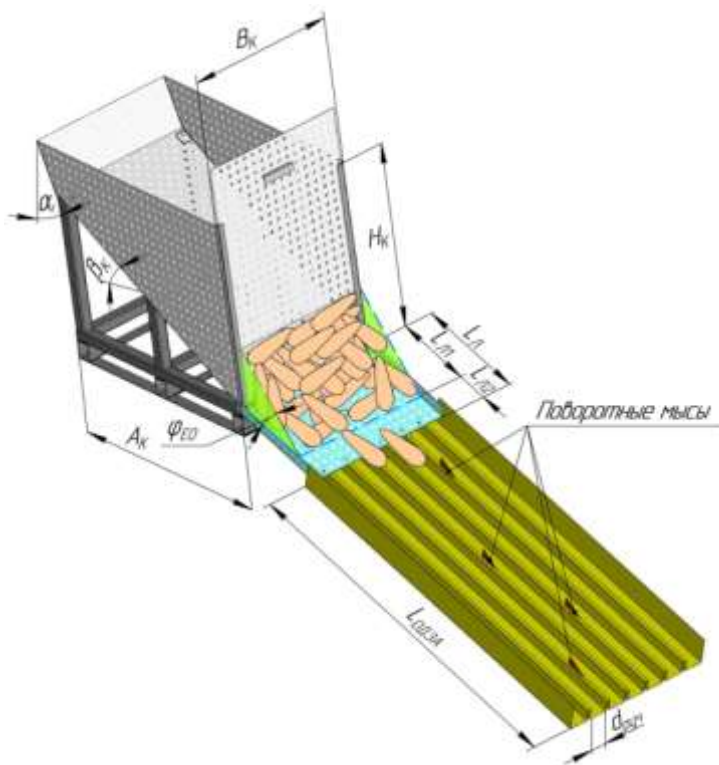
- осуществить ориентирование початков рабочей поверхностью ОДЗА (событие  $A_3$ ) и подать их в приемный лоток МСУ.

Каждое событие обладает вероятностным характером и обозначается  $p(A_1)$ ,  $p(A_2)$  и  $p(A_3)$ , соответственно. Тогда, вероятность ориентирования початка выражается уравнением:

$$p(A) = \begin{cases} p(A_1) \cdot p(A_2) \rightarrow \text{создание рациональных условий ориентирования} \\ p(A_3) \rightarrow \text{ориентирование массы початков} \end{cases}, \quad (3.19)$$

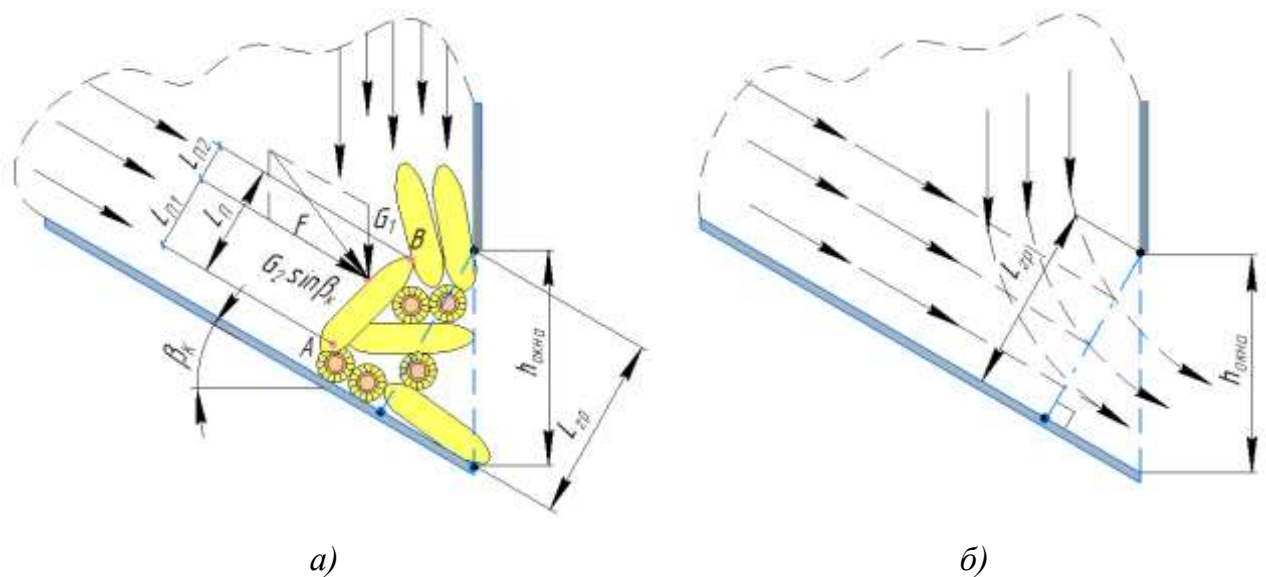
где  $p(A_1)$  и  $p(A_2)$  – вероятность создания рациональных условий для ориентирования початков при выходе из защитного контейнера и при перемещении по рабочей поверхности откидного лотка, соответственно;  $p(A_3)$  – вероятность ориентирования початков рабочей поверхностью ОДЗА.

Початки кукурузы, составляющие тело крупнокусковой сыпучей среды, движущейся самотеком из защитного контейнера (рисунок 3.11) в ОДЗА, можно рассматривать как стохастически сложенные двухопорные стержни (рисунок 3.12).



$A_k, B_k, H_k$  – длина, ширина и высота защитного вентилируемого контейнера;  $\beta_k$  – угол наклона днища контейнера;  $\alpha_k$  – угол наклона задней стенки контейнера;  $L_{Л1}$  – длина откидного лотка от его начала до границы насыпи, формирующей естественный откос с углом  $\varphi_{EO}$ , м;  $L_{Л2}$  – длина откидного лотка от границы насыпи, формирующей естественный откос до ОДЗА, м;  $L_{Л}$  – общая длина откидного лотка, м;  $\varphi_{EO}$  – угол естественного откоса початков кукурузы;  $d_{руч}$  – ширина ручья ОДЗА;  $l_{ОДЗА}$  – длина ручья ОДЗА, м

Рисунок 3.11 – Система ориентированной загрузки (СОЗ) початков в МСУ



*a* – представление массы початков в зоне выхода из контейнера в виде системы хаотично сложенных двухопорных стержней; *б* – графическая интерпретация истечения початков из бункера;  $L_{Л1}, L_{Л2}$  – расстояние от опор початка до точки приложения равнодействующей внешних сил  $F$ , м;  $L_{Л}$  – средняя (эффективная) длина початков в насыпи, м;  $G_1$  – вес массива початков над областью соединения вертикального и наклонного истечения;  $G_2 \sin \beta_k$  – равнодействующая сил, смещающих початки по наклонной плоскости днища;  $h_{окна}$  – высота выгрузного окна контейнера;  $L_{зр}$  – минимальная высота потока

Рисунок 3.12 – К определению вероятности распределения нагрузки по опорам початка, находящегося в насыпи

Если представить силовое воздействие на початки в виде сосредоточенной силы  $F$  (равнодействующая внешних сил на единичный початок), вероятность приложения которой равна 1, и задаться значением расстояния между опорами  $l_{II}=l_{III}+l_{II2}$ , можно определить вероятность распределения нагрузки по опорам [205- 208]. Следует понимать, что все точки початка на длине  $l_{II}$  обладают равными возможностями в отношении приложения нагрузки.

В данном случае плотность распределения вероятности составит [209-216]:

$$f_{(x)} = \frac{1}{l_{II}}. \quad (3.20)$$

Поскольку в подавляющем большинстве случаев сосредоточенная сила  $F$  будет приложена на расстоянии от центра симметрии початка (сила будет распределена по опорам неравномерно), то вероятность распределения нагрузки в опорах [205]:

$$p_A = \int_{l_{II1}}^{l_{II}} f_{(x)} dx = \int_{l_{II1}}^{l_{II}} \frac{1}{l_{II}} dx = 1 - \frac{l_{II1}}{l_{II}}. \quad (3.21)$$

Если два события составляют полное множество событий, то сумма их вероятностей равна 1 [205]:

$$p_A + p_B = 1, \quad (3.22)$$

$$p_B = \frac{l_{II1}}{l_{II}}, \quad (3.23)$$

где  $p_A$  – вероятность распределения нагрузки на опору  $A$ ;

$p_B$  – вероятность распределения нагрузки на опору  $B$ .

Тогда математическое ожидание реакции опоры  $A$  и опоры  $B$  составит [205]:

$$F_A = 1 - \frac{l_{II1}}{l_{II}} \cdot F; \quad F_B = \frac{l_{II1}}{l_{II}} \cdot F. \quad (3.24)$$

Сделано допущение, что рациональный интервал угла наклона днища контейнера равен интервалу значений угла естественного откоса для початков кукурузы различных подвидов  $\beta_k = \varphi_{EO} = 27...35^\circ$  [122, 129, 158–160, 162]. При этом конструкция защитного вентилируемого контейнера должна быть такой, чтобы

выполнялось условие  $G_2 \sin \beta_k > G_1$  (рисунок 3.13), тогда истечение початков из контейнера будет стабильным и равномерным.

Из исследований, описанных в [63, 110, 129, 217], а также на основании опубликованных данных зарубежных разработчиков сушилок початков кукурузы Cimbria, Mecmar, Petkus [218-220] сушить семенную кукурузу в початках целесообразно в защитных вентилируемых контейнерах. Следовательно, защитный вентилируемый контейнер предназначен не только для щадящего перемещения початков, но и для сушки початков. Опыт применения вентилируемых сапеток [63, 110, 129] и модульных сушилок початков кукурузы указывает на то, что рациональная для прохода теплоносителя толщина слоя початков в контейнере не должна превышать 0,8...1,2 м. При этом обеспечивается эффективная двухстадийная сушка, исключая перегрев и растрескивание зерна. Следовательно, в качестве базового размера защитного вентилируемого контейнера принята его высота  $H_K = 1,0$  м.

Выгрузное окно контейнера по высоте  $h_{окна}$  должно быть больше средней (эффективной) длины початков в насыпи, в этом случае исключается явление сводообразования и выход массы из контейнера происходит непрерывным потоком [221-225]:

$$l_{ПЧ} = \frac{l_{CP1} \cdot a_1 + l_{CP2} \cdot a_2 + \dots + l_{CPn} \cdot a_n}{a_{11} + a_{12} + \dots + a_{1n}}, \quad (3.25)$$

где  $l_{ПЧ}$  – средняя (эффективная) длина початка в насыпи, мм;

$l_{CP1}, l_{CP2}, \dots, l_{CPn}$  – средняя длина початков каждой фракции, мм;

$a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1n}$  – содержание каждой фракции в процентах, %.

Из данных, приведенных в таблице 2.9 видно, что  $l_{ПЧ} = 230 \dots 250$  мм. В связи с этим выгрузное окно контейнера должно открываться до  $h_{окна} = 270 \dots 300$  мм.

Перечисленные выше базовые размерные параметры дают основание к разработке расчётной схемы для определения конструктивных параметров защитного вентилируемого контейнера (рисунок 3.13)

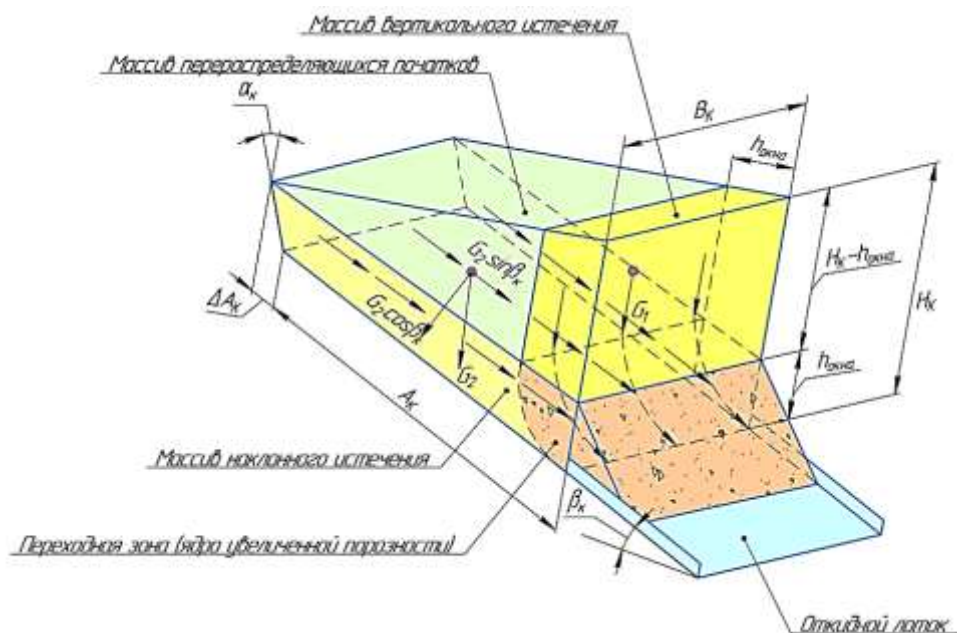


Рисунок 3.13 – Расчётная схема к определению конструктивных параметров защитного вентилируемого контейнера

В соответствии с **приложением Г** объемный вес насыпи початков находится в интервале  $\gamma_{ПК} = 430 \dots 480 \text{ кг/м}^3$ .

Вес массива початков в области вертикального истечения рассчитывается по формуле:

$$G_1 = (H_K - h_{\text{окна}}) \cdot B_K \cdot h_{\text{окна}} \cdot \gamma_{ПК} \cdot g, \quad (3.26)$$

Вес массива початков в области наклонного истечения рассчитывается по формуле:

$$G_2 = (A_K + \Delta A_K - h_{\text{окна}}) \cdot B_K \cdot h_{\text{окна}} \cdot \gamma_{ПК} \cdot g, \quad (3.27)$$

Результаты расчета параметров контейнера приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – \*Результаты расчета конструктивных параметров защитного вентилируемого контейнера

$H_K$ , м	$B_K$ , м	$A_K$ , м	$\Delta A_K$ , м	$h_{\text{окна}}$ , м	$\gamma_{ПК}$ , кг/м <sup>3</sup>	$G_1$ , Н	$G_2$ , Н	$G_2 \sin \beta_K$ , Н	Прим.
0,60	0,40	0,8	0,11	0,3	450	158,9	323,1	161,6	$G_2 \sin \beta_K > G_1$
0,65	0,45	0,9	0,11	0,3	450	208,6	423,1	211,6	
0,70	0,50	1,0	0,11	0,3	450	264,9	536,4	268,2	
0,75	0,55	1,1	0,11	0,3	450	327,8	662,8	331,4	
0,80	0,60	1,2	0,11	0,3	450	397,3	802,6	401,3	
0,85	0,65	1,3	0,11	0,3	450	473,5	955,5	477,8	
0,90	0,70	1,4	0,11	0,3	450	556,2	1121,7	560,9	
0,95	0,75	1,5	0,11	0,3	450	645,6	1301,2	650,6	
1,00	0,80	1,6	0,11	0,3	450	741,6	1493,9	746,9	

\*Ширина  $B_K = 0,8$  метра принята максимальной из соображений согласования с рациональной шириной загрузочной горловины аксиально-роторного МСУ

Закономерность получения события  $A_1$  обусловлена биосимметрией початка. Природная форма початка кукурузы любого размера, а также любого подвида такова, что присутствует пространственная асимметрия распределения зерновой массы относительно геометрического центра початка. Зерно в области комля крупнее и тяжелее, а в области носка меньше и легче. Кроме того, центр масс початка смещен в пространстве относительно его геометрической оси симметрии. Биосимметрия и геометрическая симметрия в отношении початков кукурузы не совпадают. На наклонной поверхности более тяжелая комлевая часть початка стремится развернуться вниз так, чтобы стабилизировать реакцию поверхности на действие силы веса. При этом качение початка, что негативно влияет на его ориентирование.

При выходе из защитного контейнера на откидной лоток початок может занимать 5 вероятных положений: комлем вперед и продольной осью параллельно бортам откидного лотка ( $\Pi_1$ ), комлем назад и продольной осью параллельно бортам откидного лотка ( $\Pi_2$ ), продольной осью перпендикулярно бортам откидного лотка ( $\Pi_3$ ), продольной осью под углом к бортам, когда комель ниже носка ( $\Pi_4$ ), продольной осью под углом к бортам, когда комель выше носка ( $\Pi_5$ ). В положении  $\Pi_3$  наиболее вероятно качение, что требует применения нерационально длинного откидного лотка защитного контейнера. Из вышеизложенного следует, что при пяти возможных исходах  $\Pi_1 \dots \Pi_5$ , один,  $\Pi_3$  можно считать негативными. Тогда по общему определению вероятности [214-216]:

$$p(\Pi) = \frac{n_{\text{бл}}}{n_{\text{общ}}}, \quad (3.28)$$

где  $p(\Pi)$  – вероятность выхода початков из контейнера на откидной лоток в благоприятном для ориентирования положении;

$n_{\text{бл}}$  – количество благоприятных исходов;

$n_{\text{общ}}$  – общее количество исходов.

Вероятность разворота початков без качения при выходе из разгрузочного окна контейнера характеризуется выражением (3.23), поскольку необходимо

создать такие условия, чтобы равнодействующая внешних сил  $F$  была приложена как можно ближе к одной из опор початка.

Объединяя выражение (3.23) и (3.28), получим:

$$p(A_1) = p(\Pi) \cdot \frac{l_{\Pi 1}}{l_{\Pi}} \quad (3.29)$$

Закономерность получения события  $A_2$  обусловлена длиной и углом наклона откидного лотка контейнера (рисунок 3.11). Основная задача откидного лотка подать массу на ОДЗА слоем в один початок, в этом случае ручки ОДЗА эффективно выполняют свою функцию. Однослойный сход с наклонного лотка контейнера обусловлен взаимным сдвигом слоев, выходящей из окна контейнера массы початков. В связи с этим, и на основании размерных характеристик початков, формируются следующие начальные условия осуществления события  $A_2$ :

$$\frac{h_{\text{окна}}}{\text{tg} \varphi_{EO} \cdot \cos \varphi_{EO}} \leq L_{\Pi 1} \leq L_{\Pi} \text{ при } L_{\Pi} = (1,8 \dots 2,5) \cdot h_{\text{окна}}. \quad (3.30)$$

Следовательно, вероятность однослойной подачи равна вероятности получения события  $A_2$ . По аналогии с распределением усилия по опорам початка, вероятность получения события  $A_2$  определяется выражением:

$$p(A_2) = \frac{l_{\Pi 1}}{l_{\Pi}} \text{ при } \begin{cases} \frac{h_{\text{окна}}}{\text{tg} \varphi_{EO} \cdot \cos \varphi_{EO}} \leq l_{\Pi 1} \leq l_{\Pi}; \\ l_{\Pi} = (1,8 \dots 2,5) \cdot h_{\text{окна}}. \end{cases} \quad (3.31)$$

Тогда, вероятность создания рациональных условий для ориентирования выражается моделью:

$$p(A_1) \cdot p(A_2) = p(\Pi) \cdot \frac{L_{\Pi 1}}{L_{\Pi}} \cdot \frac{L_{\Pi 1}}{L_{\Pi}} \text{ при } \begin{cases} \frac{h_{\text{окна}}}{\text{tg} \varphi_{EO} \cdot \cos \varphi_{EO}} \leq L_{\Pi 1} \leq L_{\Pi} \\ L_{\Pi} = (1,8 \dots 2,5) \cdot h_{\text{окна}} \end{cases} \quad (3.32)$$

Предварительно выстроенные в рациональное для ориентирования положение и уложенные в один слой початки, события  $A_1$  и  $A_2$ , сойдя с конца откидного лотка зашитого контейнера, должны быть полностью сориентированы рабочим органом ОДЗА так, чтобы продольная ось початков была расположена параллельно ручьям активного рабочего органа ОДЗА с длиной  $L_{\text{ОДЗА}}$ , Положение початка комлем вниз или носком вниз считается равнозначно



подходящим для выполнения поэтапного обмолота. Активизация многоручьевого рабочего органа ОДЗА, создание колебаний малой амплитуды, способствующие событию  $A_3$  при обеспечении однослойного схода початков с наклонного лотка контейнера. В случае схода початков несколькими слоями или в неблагоприятном для ориентирования положении разворот верхних слоев, их остановка и укладка в ручки ОДЗА осуществляется выступающими над каналами поворотными мысами, расставленными между каналами в шахматном порядке. Вибрация ОДЗА не позволяет мысам удерживать початки.

Очевидно, что при условии непрерывного движения вероятность ориентирования початков в единое положение зависит от произведения вероятностей  $p(A_1) \cdot p(A_2)$ , длины ручьев  $L_{ОДЗА}$ , ширины одного ручья  $d_{руч}$  и общего количества ручьев  $n$ . Следовательно, по логике формирования вышеприведенных моделей, вероятность получения события  $A_3$  можно определить выражением:

$$p(A_3) = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n d_{руч} \cdot k}{L_{ОДЗА}}, \quad (3.33)$$

где  $k$  – поправочный коэффициент, учитывающий процент початков подаваемых в ОДЗА в неблагоприятном для ориентирования положении,  $k = 1 - p(A_1) \cdot p(A_2)$ .

В результате в раскрытой форме модель (3.19) имеет вид:

$$p(A) = \begin{cases} p(A_1) \cdot p(A_2) = p(\Pi) \cdot \frac{L_{\Pi\Pi}}{L_{\Pi}} \cdot \frac{L_{\Pi\Pi}}{L_{\Pi}} & \text{при} \begin{cases} \frac{h_{окна}}{\operatorname{tg} \varphi_{EO} \cdot \cos \varphi_{EO}} \leq L_{\Pi\Pi} \leq L_{\Pi} \\ L_{\Pi} = (2,0 \dots 2,5) \cdot h_{окна} \end{cases} \\ p(A_3) = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n d_{руч} \cdot k}{L_{ОДЗА}} \end{cases} \quad (3.34)$$

В связи с многообразием вероятных пространственных положений початков в зоне соединения их наклонного и вертикального истечения из контейнера введено упрощение  $L_{\Pi\Pi}/L_{\Pi} = L_{гр}/h_{окна}$  (рисунок 3.14).

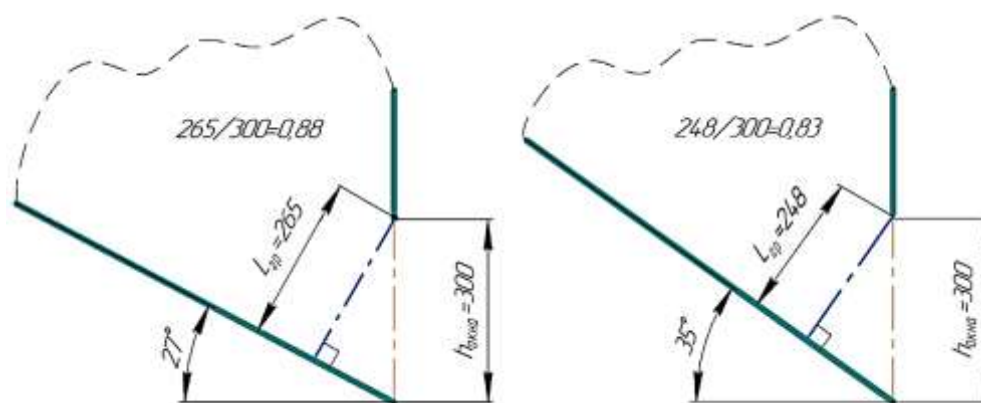


Рисунок 3.14 – Графическая интерпретация принятого упрощения

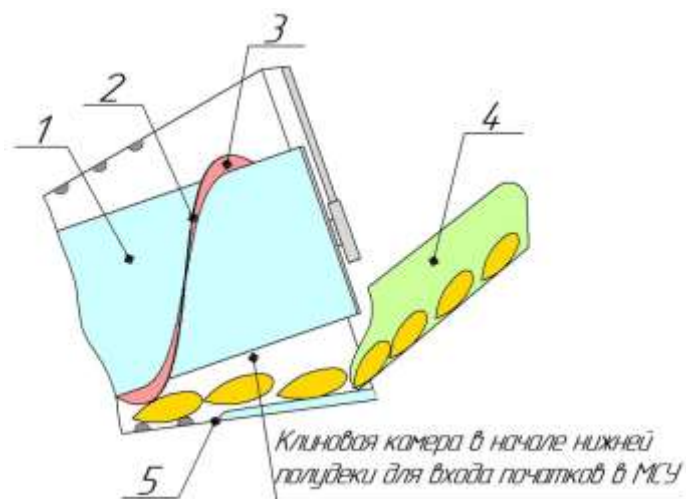
Для многоручьевого ОДЗА, предназначенного для работы с контейнером вышеописанных размеров, рациональное количество ручьев – 7...9 штук, а ширина ручья зависит от максимального диаметра початка (таблица 2.9) и составляет – 80...100 мм; рациональная длина ручья принята равной среднему значению длины наклонного днища контейнера  $A_K = 1600$  мм.

Результаты расчета вероятности событий  $p(A_1)$ ,  $p(A_2)$  и  $p(A_3)$  в зависимости от конструктивных особенностей СОЗ представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 - Результаты расчета вероятности событий  $p(A_1)$ ,  $p(A_2)$  и  $p(A_3)$  в зависимости от конструктивных особенностей СОЗ

$\beta_K, ^\circ$	$p(\Pi)$	$L_{\Pi\Pi}/L_{\Pi}$	$L_{\Pi\Pi} = L_{\Pi}, \text{ мм}$	$L_{\Pi\Pi}/L_{\Pi}$	$p(A_1) \cdot p(A_2)$	$k$	$L_{\text{ОДЗА}}, \text{ мм}$	$d_{\text{руч}}, \text{ мм}$	$n, \text{ шт}$	$p(A_3)$
27	0,8	0,88	600	$\approx 1$	0,70	0,296	1600	100	7	0,871
35	0,8	0,83	600	$\approx 1$	0,66	0,336	1600	100	7	0,853

Сохранение требуемого пространственного положения при переходе початков с ОДЗА в МСУ обусловлено формой загрузочного лотка МСУ, который должен способствовать подаче початков кукурузы в молотильную камеру, минимизируя негативное влияние встречного удара внешней кромкой навивки ротора по поверхности початка. Навивка ротора должна встречать початок своей боковой поверхностью, обеспечивая максимально возможную площадь контакта. В аксиально-роторном МСУ это возможно при условии входа початков в молотильную камеру в нижней части деки (рисунок 3.15).



1 – ротор; 2 – внешняя кромка навивки ротора (лопасти) 3 – боковая поверхность навивки ротора (лопасти); 4 – приемный лоток МСУ; 5 – дека

Рисунок 3.15 – К обоснованию способа загрузки аксиально-роторного МСУ

Загрузочный лоток МСУ криволинейной формы наполняется многоручьевым рабочим органом ОДЗА. В связи с этим возникает необходимость сгрузить початки к центру лотка МСУ без изменения пространственного положения. Это обеспечивается посредством геометрии лотка МСУ.

Конструкция СОЗ обеспечивает перемещение початков самотеком, при этом пересыпание початков с лотка контейнера в ОДЗА, а затем в приемный лоток МСУ осуществляется по наклонной поверхности, исключая прямой центральный удар. Высота падения определяется методами инженерного расчета и должна обеспечивать силу удара по зерну не более 20 Н (ограничение выбрано на основании таблицы 2.11).

В результате будет выдержано условие формирования малых локальных участков разрушения целостности структуры в рядах зерен, освобождение от зерна 2...5% внешней поверхности початков, а само зерно не получит макро- и микроповреждения.

Кроме того, початки с высокой долей вероятности войдут в область захвата ротором МСУ в условиях минимального действия прямого центрального удара лопастью и в пространственном положении, позволяющем максимально эффективно взаимодействовать с рабочими органами СРД.

Из вышеизложенного следует:

– початки кукурузы, забираемые из защитного вентилируемого контейнера, можно сориентировать в пространстве своей продольной осью параллельно оси ротора МСУ посредством конструктивных параметров контейнера и его откидного лотка, рабочего органа ОДЗА и загрузочного лотка МСУ;

– пространственное ориентирование початков можно сопровождать рациональным силовым воздействием при их выходе из контейнера, пересыпании из откидного лотка на рабочий орган ОДЗА, перемещения по ОДЗА, и пересыпания в загрузочный лоток МСУ. Это позволяет осуществить первичный этап обмолота и освободить от зерна 2...5% внешней поверхности початков;

– ориентирование початков в пространстве позволяет осуществлять их подачу в молотильную камеру в нижней части деки, а это позволяет навивке ротора встречать початок по его боковой поверхности, обеспечивая максимально возможную площадь контакта, в результате осуществляется щадящий переход с первичного этапа на начальный этап обмолота.

С позиции макро- и микроповреждений зерна наиболее важными являются те рабочие органы, которые непосредственно контактируют с каждым зерном и своим силовым воздействием разрывают связь зерна со стержнем. Эти рабочие органы требуют обоснования конструкторских параметров, поскольку именно они определяют конструкцию МСУ в целом и задают ограничения по скорости движения ротора, обмолачиваемой массы и т.д.

### **3.5 Перспективы дальнейших теоретических исследований по ориентированию початков кукурузы в пространстве**

Развитие теории ориентирования початков кукурузы в пространстве весьма актуально и перспективно, поскольку позволяет осуществлять дальнейшее совершенствование следующих технологий:

- комбайновой уборки кукурузы в початках;
- прямого комбайнирования зерна кукурузы в поле;
- контейнерной технологии щадящей сушки початков перед обмолотом;
- стационарного обмолота початков продовольственной и семенной кукурузы с минимальными макро- и микроповреждениями зерна.

Кроме того, становится возможным создание эффективных ОДЗА для:

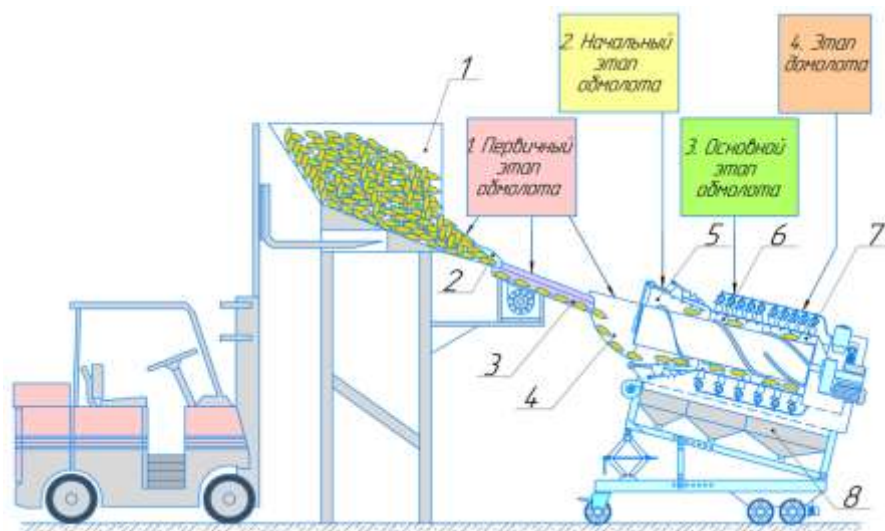
- специальных транспортеров и погрузчиков початков кукурузы;
- очистителей початков от листовой обертки;
- систем автоматической калибровки и сортировки початков;
- сушилок початков кукурузы;
- высокоэффективных МСУ.

В целом становится возможна подача початков кукурузы к рабочим органам любой кукурузоперерабатывающей машины в таком пространственном положении, при котором эффективность той или иной операции максимальна. Это обеспечит высокий уровень ресурсосбережения.

Кроме того, процессы обработки или переработки початков становятся более управляемыми, что дает основание к более углубленному внедрению уровня автоматизации и цифровизации.

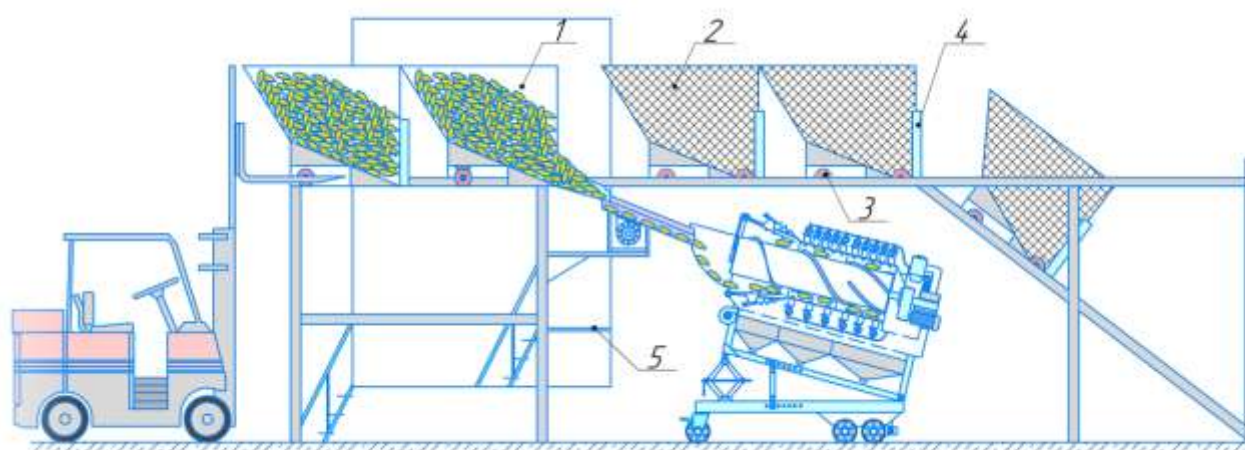
### **3.6 Конструкторско-аналитическое обоснование схемы соединения оборудования для ориентирования в пространстве и поэтапного обмолота початков семенной кукурузы в единый комплект**

Ранее была обоснована целесообразность выполнения процесса обмолота початков кукурузы четырёхэтапным способом (рисунок 3.9). В этом случае оборудование для выполнения ресурсосберегающего процесса поэтапного обмолота початков семенной кукурузы можно рассматривать как комплект, объединенный в ПТЛ, подчиненный принципам поточности, непрерывности, специализации и ритмичности процесса (рисунок 3.16 и 3.17).



1 – защитный контейнер; 2 – откидной лоток контейнера; 3 – многоручьевой рабочий орган ОДЗА; 4 – загрузочный лоток МСУ; 5 – камера МСУ для выполнения начального этапа обмолота; 6 – камера МСУ для выполнения основного этапа обмолота; 7 – камера МСУ для выполнения этапа домолота; 8 – секционный зерновой бункер МСУ

Рисунок 3.16 - Комплект оборудования для поэтапного обмолота початков семенной кукурузы

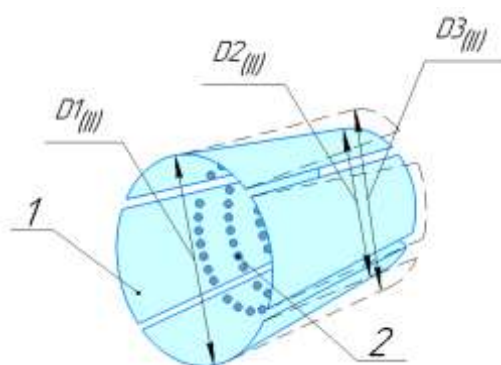


1 – защитный контейнер с початками; 2 – опорожненный защитный контейнер; 3 – съемные колеса контейнера; 4 – откидной лоток контейнера в закрытом положении; 5 – рабочее место оператора МТСО

Рисунок 3.17 – Схема перемещения защитных вентилируемых контейнеров при поэтапном обмолоте початков семенной кукурузы в МТСО

После того, как система ориентированной загрузки аксиально-роторного МСУ осуществит первичный этап обмолота посредством трения початков друг о друга при разгрузке защитного контейнера, перемещения початков самотеком, их пересыпания с откидного лотка контейнера в ОДЗА, движения в ручьях ОДЗА, а затем пересыпания в приемный лоток МСУ начнется выполнение

начального этапа обмолота. Здесь осуществляется увеличение количества и размера малых локальных участков разрушения целостности структуры в рядах зерен. Анализ существующих конструкций СРД (таблица 1.5) и современных научных исследований дает основание предположить, что задача начального этапа обмолота качественно решается посредством применения деки, конструктивно выполненной из нескольких подвижных подпружиненных участков с шипами, создающими коническую воронку с переменным диаметром меньшего основания [63, 64, 122, 123, 129, 148-150, 226-236]. Каждый участок такой деки независим, что позволяет дифференцировать силу прижатия початков различного диаметра к рабочим органам МСУ [122, 123, 129, 148-150]. Рациональное количество подпружиненных участков  $Z_{пвд} = 2...4$  [122, 123, 129, 148-150] (рисунок 3.18).



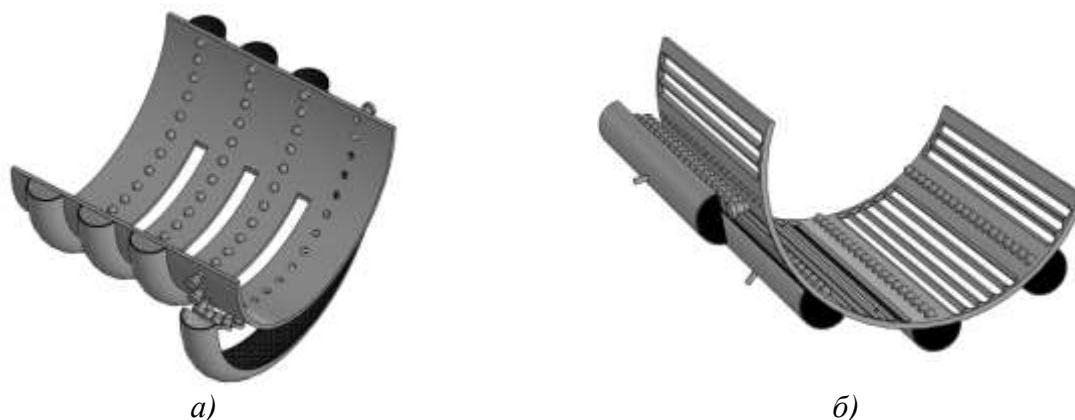
1 – подпружиненный участок деки с шипами; 2 – шипы;  $D1(III)$  – неизменяемый диаметр большего основания конусной воронки;  $D2(III)$  – диаметр меньшего основания конусной воронки до взаимодействия с початками кукурузы;  $D2(III)$  – диаметр меньшего основания конусной воронки после взаимодействия с початками кукурузы

Рисунок 3.18 – Схема расположения подпружиненных участков с шипами на части деки, которая посредством взаимодействия с ротором осуществляет первичный этап обмолота

В этом случае полностью выполняются условия совершенствования СРД, описанные матрицей взаимодействия ротора и деки в аксиально-роторном МСУ (рисунок 1.14).

При основном этапе обмолота и при домолоте необходимо обеспечить максимально возможный диапазон дифференцирования силового воздействия на зерно. Это возможно при условии, что каждый шип будет иметь возможность независимо от других воздействовать с зерном пропорционально

сопротивлению, создаваемому креплением зерна к стержню. Данное условие выполняется путем применения деки с независимыми плавающими шипами прижатыми к своему посадочному месту пневматическими подушками с гибким дном [204, 227, 229, 230, 237, 238]. Рациональная схема расположения шипов достигается чередованием продольного и радиального расположения их рядов, что также требует применения радиальных и продольных пневмоподушек (3.19). Такую деку можно считать пневмоадаптивной.



*а* – дека с независимыми фасонными шипами и радиальными пневмоподушками;  
*б* – дека с независимыми фасонными шипами и продольными пневмоподушками

Рисунок 3.19 – Конструктивные особенности части деки, которая посредством взаимодействия с ротором осуществляет основной этап обмолота и домолот

На основании понятия золотого сечения в бионике сделано предположение, что рациональное соотношение длин частей деки в зонах начального и основного этапа обмолота может составлять 1,618 [239-249]. В этом случае длина части деки в зоне домолота определяется по двойному отношению линейных размеров  $W$  по формуле (2.1) [161].

Для зерна кукурузы всех возделываемых подвидов в России  $W$  составляет 1,29 (таблица 2.2). Взяв данное значение за основу симметрии, получим:

$$\frac{(L_{d(III)} + L_{d(II)}) \cdot (L_{d(II)} + L_{d(IV)})}{L_{d(II)} \cdot (L_{d(II)} + L_{d(III)} + L_{d(IV)})} = 1,29, \quad (3.35)$$

где  $L_{d(II)}$ ,  $L_{d(III)}$  и  $L_{d(IV)}$  – длина части деки в зонах начального, основного этапа обмолота и домолота, соответственно (рисунок 3.20).



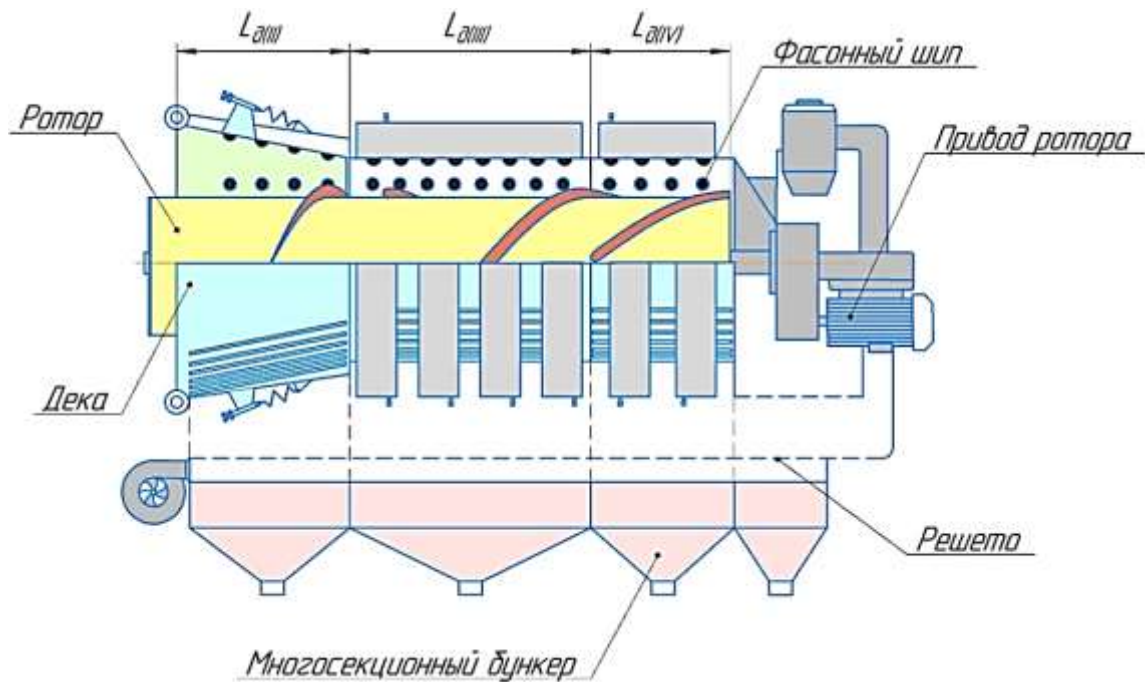
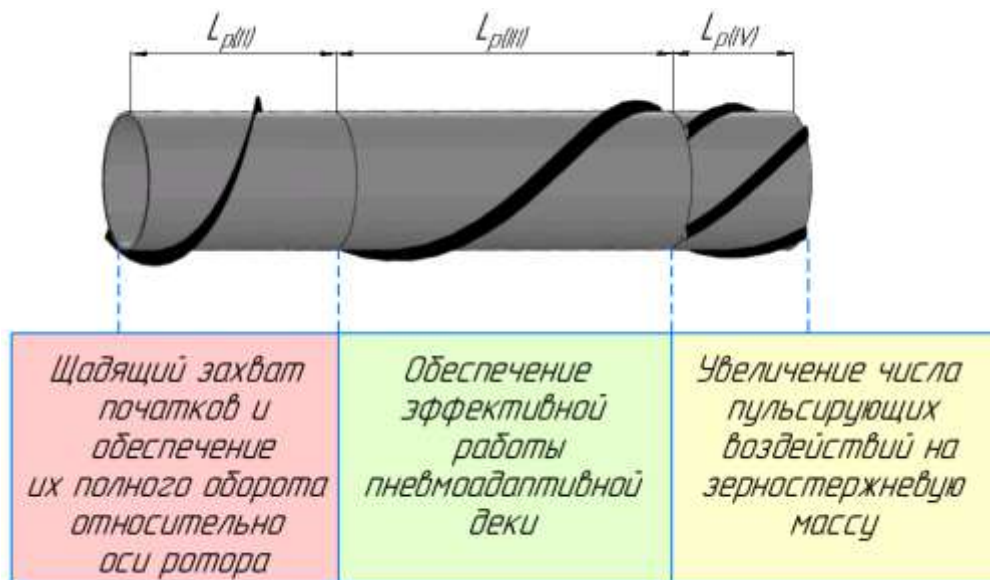


Рисунок 3.20 – К обоснованию длин частей деки аксиально-роторного МСУ

Логика концептуального обоснования конструкции указывает на то, что необходимо применение ротора с лопастями, адаптированными по форме и размеру под особенности конструкции конкретной части деки (рисунок 3.21).



$L_{p(I)}$ ,  $L_{p(III)}$  и  $L_{p(IV)}$  – длина части ротора в зонах начального, основного этапа обмолота и домолота, соответственно

Рисунок 3.21 – К описанию конструктивных особенностей ротора

В зоне начального этапа обмолота необходимо обеспечить качественный захват и полный оборот початков на ограниченной длине ротора, охваченной

декой, выполненной в виде шипованной конической воронки переменного диаметра. Это возможно посредством применения на роторе шнековой навивки переменной высоты, выполненной из плоской ленты (зона  $L_{p(II)}$ ) [38, 116, 122, 129, 148-150, 204, 227, 229, 230, 237, 238].

В зоне основного этапа обмолота необходимо снизить влияние ударных нагрузок лопастью и увеличить количество контактов с независимыми фасонными шипами деки, прижатыми к посадочным местам посредством пневмоподушек с гибким дном (обеспечить эффективную работу пневмоадаптивной деки). Это возможно посредством применения на роторе одно или двухзаходной винтовой лопасти увеличенного шага, выполненной из прутка фасонного поперечного сечения (зона  $L_{p(III)}$ ) [122, 129, 148-150, 204, 227, 229, 230, 237, 238].

В зоне этапа домолота необходимо увеличить число пульсирующих воздействий на значительно обмолоченную зерностержневую массу, но при этом не нанося зерну макро- и микроповреждений. Это возможно посредством применения на роторе многозаходной винтовой лопасти (более двух заходов), выполненной из прутка фасонного поперечного сечения (зона  $L_{p(IV)}$ ) [122, 129, 148-150, 204, 227, 229, 230, 237, 238].

В соответствии с инвариантностью принципов построения биологических прототипов соотношение длин секций деки в зонах начального, основного этапа обмолота и домолота соответствует  $W= 1,29$  (таблица 2.2) и с учетом размера початков составляет  $470 \times 650 \times 300$  мм, при максимальном диаметре ротора с навивкой не более 400 мм. Изменение диаметра ротора необходимо осуществлять с пропорциональным изменением длин участков деки.

СРД характеризуется не только эффективностью разрушения связи зерна со стержнем початка, но и сепарацией обмолоченного зерна, которое должно без задержек выходить из области активного действия ротора, как только отделилось от стержня [75, 116, 122, 129, 250-252].

В процессе обмолота в МСУ образуется смесь зерна целых и частично разрушенных стержней. Очевидно, что рациональный размер сепарирующих

отверстий деки должен быть таким, чтобы в него легко проходило только зерно. Данный размер целесообразно определять по условному диаметру частицы [232], исходя из следующих рассуждений. Форма зерна кукурузы любого сорта и подвида может быть представлена как пирамида высотой  $h_{\Pi}$  с квадратом в основании со стороной  $m_{\Pi}$  (рисунок 3.22).

На основании условия геометрического подобия объемов фигур, применяя 3D-моделирование, любое по форме зерно кукурузы можно преобразовать в шар, сохранив при этом исходный объем.

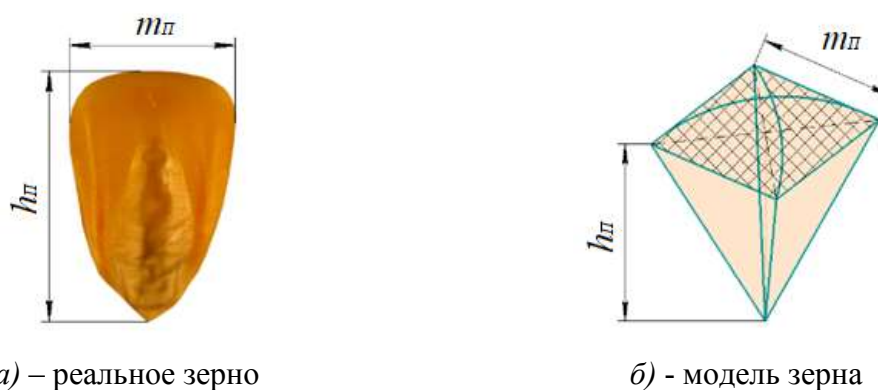


Рисунок 3.22 - К определению условного эквивалентного диаметра зерна кукурузы

Следовательно, условный эквивалентный диаметр зерна кукурузы  $d_{3К}$  определяется из соотношения [224, 225, 232]:

$$\frac{\pi d_{3К}^3}{6} = \frac{1}{3} \cdot S_{ОП} \cdot h_{\Pi} \Rightarrow d_{3К} = 0,64 \cdot \sqrt[3]{S_{ОП} \cdot h_{\Pi}}, \quad (3.36)$$

где  $S_{ОП}$  – площадь основания пирамиды, мм<sup>2</sup>.

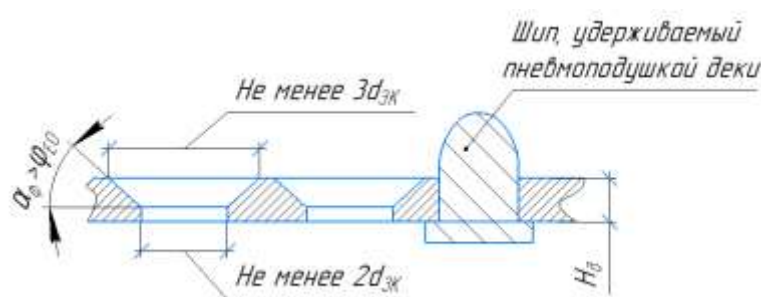
Согласно таблице 2.1, при  $m_{\Pi} \geq b$  и  $h_{\Pi} \geq l$  величина  $d_{3К}$  составит  $\approx 7 \dots 10$  мм. Следовательно, минимальный размер сепарирующих отверстий деки в ее нижней части должен быть таким, чтобы масса зерен с условным диаметром 7...10 мм беспрепятственно проходила из молотильной камеры к решетку накопительного многосекционного бункера, а части разрушенного стержня, оставались внутри молотильной камеры и эффективно перемещались ротором к месту выгрузки.

Согласно [13, 31, 38, 41, 63, 75, 76, 112, 115, 122, 129] сепарирующие отверстия в деке должны образовывать рельефную поверхность, что

способствует максимально эффективному истечению обмолоченного зерна из молотильной камеры в накопительный многосекционный бункер МСУ.

Эффективность истечения сквозь сепарирующие отверстия рельефной деки обусловлена отсутствием сводообразования в зерне.

Для создания требуемого рельефа поверхности деки МСУ сепарирующие отверстия целесообразно выполнять в виде продольных или поперечных щелей с фасками под углом больше угла естественного откоса для зерна кукурузы. Схема поперечного сечения сепарирующих отверстий деки МСУ приведена на рисунке 3.23.



$H_d$  – конструктивная толщина поперечного сечения несущей пластины деки;  
 $\alpha_f$  – угол наклона фаски;  $\varphi_{EO}$  – угол естественного откоса

Рисунок 3.23 - Схема поперечного сечения сепарирующих отверстий деки МСУ

Образование сводов в зерне кукурузы исключается при соблюдении условия, что максимальная ширина щели буден не менее  $2,5d_{зк}$ , а угол наклона фаски  $\alpha_f$  будет больше угла естественного откоса  $\varphi_{EO}$ , если минимальная ширина щели будет не менее  $2d_{зк}$ .

В итоге формируется СРД, работающая следующим образом. Початки, пройдя первичный этап обмолота посредством системы ориентированной загрузки аксиально-роторного МСУ щадяще захватываются плоской навивкой ротора в зоне начального этапа обмолота, делают полный оборот, входят в клин, образованный подпружиненными участками, и контактируют с шипами. При этом усилие прижатия шипов дифференцируется возвратными пружинами. В результате осуществляется отделение зерна на 15% поверхности початков.

Далее сориентированные в пространстве и частично обмолоченные початки входят в зону основного обмолота.

Здесь початки, совершая сложное движение, контактируют с независимыми друг от друга подвижными шипами, прижатыми несколькими отдельными пневматическими подушками с гибким дном. Усилие прижатия шипов дифференцируется в значительно большем диапазоне, чем в зоне начального обмолота. В результате пневмоадаптивная дека позволяет отделить до 90% зерна от початков и эффективно вывести его из молотильной камеры посредством рельефной щелевой поверхности.

После этого зерностержневая масса проходит в зону домолота. Здесь многозаходный ротор, контактируя с пневмоадаптивной декой, увеличивает количество воздействий на обмолачиваемую массу, в результате создается эффект пульсирующего силового воздействия и початки эффективно домолачиваются.

Обмолоченная масса стержней отводится из молотильной камеры через специальное выгрузное окно, расположенное в задней части МСУ.

Для обеспечения эффективного движения початков от входа к выходу СРД оснащена механизмом изменения угла наклона относительно горизонта (условие обосновано матрицей, приведенной на рисунке 1.14). Угол наклона регулируют в процессе работы для обеспечения непрерывного перемещения початков кукурузы ротором, что способствует увеличению производительности.




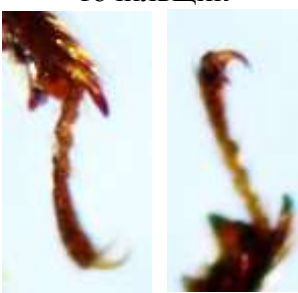
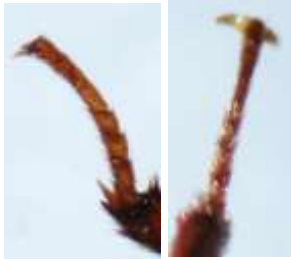
Предложенное конструктивно-аналитическое обоснование комплекта технических средств для выполнения ресурсосберегающего процесса поэтапного обмолота початков семенной кукурузы требует теоретического подтверждения, предполагающего дополнение теории обмолота кукурузы, основанного на изучении закономерностей протекания процессов в тканях зерна подверженных силовому воздействию. Для этого необходимо установить исходные допущения и определить векторы научных изысканий, что более просто достигается при использовании опыта живой природы в конструировании рабочих органов организмов, непосредственно поедающих зерно кукурузы.

### **3.7 Бионическое обоснование конструктивных особенностей эффективных шипов МСУ**

В МСУ любой конструкции зерно отделяется от початков кукурузы посредством контакта со специальными рабочими органами, установленными как на деке, так и на роторе (барабане). В соответствии с общепринятой терминологией эти рабочие органы называют: шипы, штифты или рифы бил [12-17, 19-22, 27-32, 38-42, 53-56, 63, 64, 70-74, 116, 122, 129]. В данной работе с целью обеспечения воспроизводства общепринятой терминологии используется термин - шипы деки. Для осуществления эффективного обмолота шипы деки должны качественно контактировать с зерном. То есть, контактировать по максимально-возможной площади с усилием, исключающим расход энергии привода на повреждение зерна. С данной позиции целесообразно обратить внимание на опыт живой природы, доведенный в результате эволюции до совершенства. Существуют насекомые, так называемые амбарные вредители [110, 122, 123, 202, 204, 253], которые поедая зерновые материалы идеально приспособились по ним перемещаться, прикрепляясь к поверхности зерна без лишних затрат энергии. В этом плане особый практический интерес представляет третье звено лапки различных амбарных вредителей, непосредственно контактирующее с зерном. Анализ особенностей строения живых организмов целесообразно начинать с характеристик биосимметрии [122, 161, 202, 239-249]. В свою очередь простая симметрия в живых организмах не просматривается, она открывается при рассмотрении двойного отношения линейных размеров (2.33) [122, 161]. Амбарные вредители для перемещения по поверхности зерновых материалов используют трёхзвенные лапки сложной конструкции. Механические характеристики данного трехзвенного механизма обусловлены биосимметрией звеньев и совокупностью кривых поверхностей на рабочих органах, непосредственно контактирующих с зерном.

Анализ биометрических характеристик 3-го звена лапок амбарных вредителей приведён в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Анализ биометрических характеристик 3-го звена лапок амбарных вредителей

Амбарный вредитель	Количество когтей	Опорная поверхность конечности	Количество подвижных частей 3-го звена лапки	Отношение длин когтя к длине 3-го звена лапки	Вурф <i>W</i>
1. Березковый зерноед 	2	Раздвоенная ярко выраженная	4	1:12	1,20
2. Гороховая зерновка 	2	Раздвоенная ярко выраженная	3	1:15	1,20
3. Рисовый долгоносик 	4	Раздвоенная слабо выраженная	4	1:7	1,20
4. Зерновой точильщик 	3	Отсутствует	4	1:7	1,23
5. Трогодерма черная 	4	Отсутствует	4	1:8	1,23

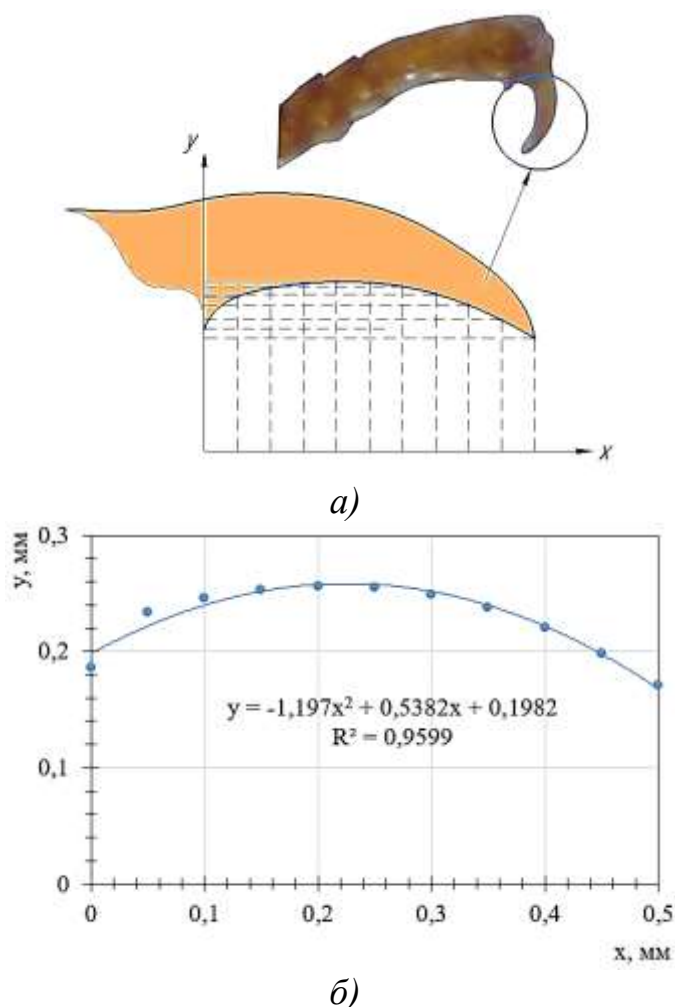
Продолжение таблицы 3.6

Амбарный вредитель	Количество когтей	Опорная поверхность конечности	Количество подвижных частей 3-го звена лапки	Отношение длин когтя к длине 3-го звена лапки	Вурф $W$
6. Хрущак большой мучной 	3	Отсутствует	5	1:5	1,24
7. Хрущак большой темный 	3	Отсутствует	5	1:6	1,20
8. Хрущак булавоусый 	3	Отсутствует	4	1:5	1,24
Результаты статистической обработки					
Среднее значение	3,0	-	4,0	1:8	1,21
Коэффициент вариации, %	25,2	-	15,54	Нет общей закономерности	1,45
Абсолютная ошибка	0,27	-	0,23		0,01
Относительная ошибка, %	8,91	-	5,49		0,51
<p><b>ПРИМЕЧАНИЕ.</b></p> <p>1. При расчете двойного отношения линейных размеров (Вурфа <math>W</math>) использовались длины участков лапки амбарного вредителя <math>a</math>, <math>b</math>, <math>c</math>, замеренные по приведенной ниже схеме.</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>2. Фотографии лапок амбарных вредителей получены в Луганской областной карантинной лаборатории с участием к.с.-х.н., доцента Старченко Светланы Викторовны. Увеличительное оборудование – сертифицированный стереомикроскоп Stemi 2000-C. (Приложение И).</p>					



Как видно из таблицы 3.6, двойное отношение линейных размеров анализируемых объектов находится в пределах 1,20...1,24, а обычная одинарная пропорция общей закономерности не показывает. Кроме того, лапки в качестве наконечника оснащены когтями, среднее количество когтей 3, причем 2 из них расположены в конце лапки, а третий – в начале 3-го звена. Если перед звеном размером  $b$  (примечание в таблице 3.6) есть опорная поверхность, то в начале 3-го звена лапки коготь отсутствует. Важной особенностью является то, что 3-е звено лапки амбарного вредителя состоит из нескольких подвижных частей.

Общей закономерностью в конструкции когтей 3-го звена лапки амбарных вредителей является то, что кривизна их поверхностей аппроксимируется полиномиальной функцией второго порядка (рисунок 3.24).



*а* – определение координат характерных точек кривой;  
*б* – построение линии тренда

Рисунок 3.24 – Аппроксимация кривой, описывающей поверхность когтя

Следовательно, захватывая зерно амбарные вредители используют когтистые трехзвенные конечности, двойное отношение линейных размеров которых показывают общую для всех закономерность. Это им позволяет подобно человеческой руке подбирать требуемое усилие воздействия (дифференцировать механические воздействия).

Кривизна поверхности когтей такова, что позволяет насекомому только за счет изменения пространственного положения конечностей увеличивать или уменьшать силу сцепления с зерном в широком диапазоне величин. При этом площадь контакта также изменяется.

Дальнейшее наблюдение за изучаемыми амбарными вредителями показало, что в процессе крепления к поверхности зерна насекомые вместе с конечностями используют элементы ротового аппарата, так называемые жвалы.

Изучение конструктивных особенностей жвал показало, что их рабочая поверхность включает в себя три участка различной кривизны и размера.

Поскольку форма рабочей поверхности жвал амбарного вредителя включает в себя три участка различной кривизны и размера, то для их анализа также целесообразно применить двойное отношение линейных размеров, согласно которому в качестве отрезков  $a$ ,  $b$ ,  $c$  приняты длины участков рабочей поверхности жвалы.

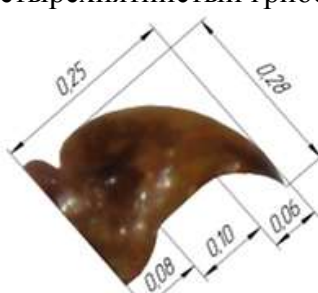
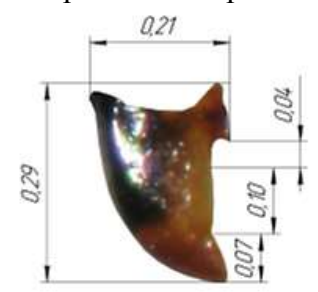
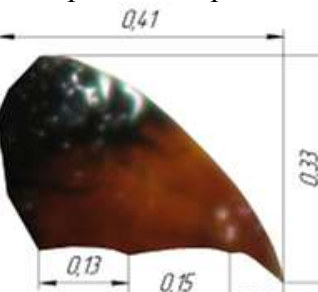

Анализ биометрических характеристик жвал амбарных вредителей представлен в таблице 3.7.

Результаты статистической обработки данных, полученных при биометрическом анализе жвал амбарных вредителей, представлены в таблице 3.8.

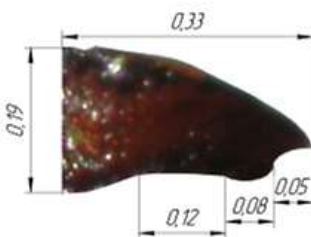
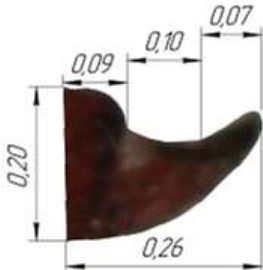
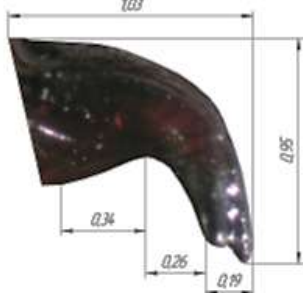
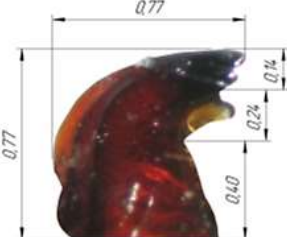
Анализ биометрических характеристик жвал амбарных вредителей проводился после их фотографирования с фиксированным увеличением и последующей компьютерной обработкой, проводимой с целью установления достоверных размерных показателей.

Увеличительное оборудование – сертифицированный стереомикроскоп Stemi 2000-C (**приложение II**).

Таблица 3.7 – Анализ биометрических характеристик жвал амбарных вредителей

Форма и размеры жвалы амбарных вредителей в мм	Двойное отношение $W$	Уравнение аппроксимирующей кривой участка жвалы	Показатель достоверности аппроксимации
<p>Четырехпятнистый грибоед</p>  <p>Средняя толщина жвалы 0,08 мм</p>	1,31	1 $y = A_0 + A_1 \cdot x + A_2 \cdot x^2$ $A_0 = -430,5; A_1 = 22,61;$ $A_2 = -0,28$	R = 0,986
		2 $y = A_0 + A_1 \cdot x^{1,5}$ $A_0 = -489,2; A_1 = 1,96$	R = 0,975
		3 $y = A_0 \cdot x^2 + A_1 \cdot x + A_2$ $A_0 = -0,065; A_1 = 3,2;$ $A_2 = 22,41$	R = 0,986
<p>Березковый зерноед</p>  <p>Средняя толщина жвалы 0,08 мм</p>	1,27	1 $y = A_0 + A_1 \cdot x + A_2 \cdot x^2$ $A_0 = -877,01; A_1 = 33,6;$ $A_2 = -0,32$	R = 0,990
		2 $y = A_0 \cdot x^3 + A_1 \cdot x^2 - A_2 \cdot x + A_3$ $A_0 = 0,0002; A_1 = 0,0001;$ $A_2 = 0,062; A_3 = 50,76$	R = 0,963
		3 $y = A_0 \cdot x^3 - A_1 \cdot x^2 + A_2 \cdot x + A_3$ $A_0 = 0,04; A_1 = 0,05;$ $A_2 = 2,02; A_3 = 16,31$	R = 0,985
<p>Гороховая зерновка</p>  <p>Средняя толщина жвалы 0,10 мм</p>	1,26	1 $y = A_0 \cdot x^2 + A_1 \cdot x + A_2$ $A_0 = -0,01; A_1 = 0,21;$ $A_2 = 55,675$	R = 0,954
		2 $y = \frac{1}{A_0 + A_1 \cdot x + A_2 \cdot x^2}$ $A_0 = -0,007; A_1 = 0,24;$ $A_2 = 54,6$	R = 0,965
		3 $y = \frac{1}{A_0 + A_1 \cdot x + A_2 \cdot x^2}$ $A_0 = 1,8E-02; A_1 = 8,51E-05;$ $A_2 = 1,33E-05$	R = 0,998
<p>Жук Кузька</p>  <p>Средняя толщина жвалы 0,12 мм</p>	1,30	1 $y = A_0 + A_1 \cdot x^{1,5}$ $A_0 = 106,27; A_1 = -9,1E-02$	R = 0,966
		2 $y = \frac{1}{A_0 + A_1 \cdot x + A_2 \cdot x^2}$ $A_0 = 9,20E-03; A_1 = 1,08E-04;$ $A_2 = -3,59E-06$	R = 0,990
		3 $y = A_0 + A_1 \cdot \lg(x)$ $A_0 = 228,60; A_1 = -107,70$	R = 0,996

Продолжение таблицы 3.7

Форма и размеры жвалы амбарных вредителей в мм	Двойное отношение $W$	Уравнение аппроксимирующей кривой участка жвалы		Показатель достоверности аппроксимации
<p>Зерновой точильщик</p>  <p>Средняя толщина жвалы 0,10 мм</p>	1,29	1	$y = A_0 + A_1 \cdot x + A_2 \cdot x^2$ $A_0 = 65,12; A_1 = 3,83E-02;$ $A_2 = 8,48E-03$	R = 0,910
		2	$y = A_0 + \frac{A_1}{x}$ $A_0 = - 1161,7; A_1 = 83272,7$	R = 0,984
		3	$y = A_0 \cdot A_1^x$ $A_0 = 6,1E-04; A_1 = 1,15$	R = 0,979
<p>Претворяшка злодей</p>  <p>Средняя толщина жвалы 0,09 мм</p>	1,30	1	$y = A_0 + A_1 \cdot x + A_2 \cdot x^2$ $A_0 = - 770,23; A_1 = 27,45;$ $A_2 = - 0,24$	R = 0,997
		2	$y = A_0 + A_1 \cdot x^{1,5}$ $A_0 = - 150,89; A_1 = 0,32$	R = 0,984
		3	$y = A_0 + A_1 \cdot x + A_2 \cdot x^2$ $A_0 = - 269,79; A_1 = 11,12;$ $A_2 = - 0,10$	R = 0,993
<p>Хрушак большой темный</p>  <p>Средняя толщина жвалы 0,25 мм</p>	1,31	1	$y = A_0 \cdot 10^{\frac{A_1}{x}}$ $A_0 = 2,8E+07; A_1 = - 890,2$	R = 0,983
		2	$y = A_0 + A_1 \cdot x + A_2 \cdot x^2$ $A_0 = - 115,1; A_1 = 4,14;$ $A_2 = - 7,78E-02$	R = 0,984
		3	$y = \frac{1}{A_0 + A_1 \cdot x + A_2 \cdot x^2}$ $A_0 = 8,6E-03; A_1 = 5,6E-05;$ $A_2 = - 1,2E-06$	R = 0,993
<p>Хрушак большой мучной</p>  <p>Средняя толщина жвалы 0,22 мм</p>	1,30	1	$y = A_0 + \frac{A_1}{x}$ $A_0 = 179,5; A_1 = - 9203,72$	R = 0,987
		2	$y = A_0 + A_1 \cdot x + A_2 \cdot x^2$ $A_0 = - 168,26; A_1 = 7,22;$ $A_2 = - 7,13E-03$	R = 0,980
		3	$y = \frac{1}{A_0 + A_1 \cdot x}$ $A_0 = 2,05E-02; A_1 = 2,87E-04;$	R = 0,990

Продолжение таблицы 3.7

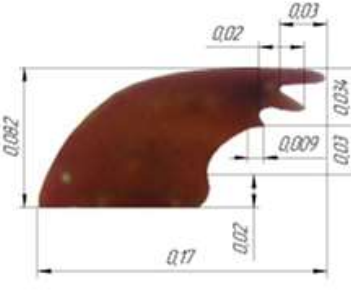
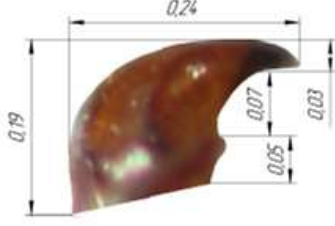
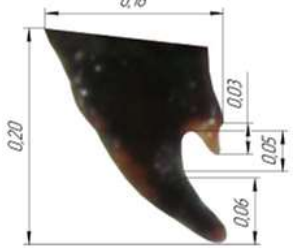
Форма и размеры жвалы амбарных вредителей в мм	Двойное отношение $W$	Уравнение аппроксимирующей кривой участка жвалы	Показатель достоверности аппроксимации	
<p>Суринамский мукоед</p>  <p>Средняя толщина жвалы 0,03 мм</p>	1,27	1	$y = A_0 + \frac{A_1}{x}$ $A_0 = -217,4; A_1 = 22690,62$	R = 0,990
		2	$y = A_0 + A_1 \cdot x + A_2 \cdot x^2$ $A_0 = -303,63; A_1 = 7,73;$ $A_2 = -4,6459E-06$	R = 0,988
		3	$y = A_0 + A_1 \cdot x$ $A_0 = 82,15; A_1 = -1,1$	R = 0,968
<p>Хрущак малый булавоусый</p>  <p>Средняя толщина жвалы 0,07 мм</p>	1,28	1	$y = A_0 + A_1 \cdot x^{1,5}$ $A_0 = 142,27; A_1 = -0,17$	R = 0,987
		2	$y = A_0 + A_1 \cdot x + A_2 \cdot x^2$ $A_0 = 84,99; A_1 = 0,246;$ $A_2 = -2,78E-02$	R = 0,997
		3	$y = A_0 + A_1 \cdot x + A_2 \cdot x^2$ $A_0 = -124,64; A_1 = 3,8;$ $A_2 = -3,8E-02$	R = 0,994
<p>Трогодерма черная</p>  <p>Средняя толщина жвалы 0,07 мм</p>	1,26	1	$y = A_0 + A_1 \cdot x^{1,5}$ $A_0 = -181,93; A_1 = 0,325$	R = 0,992
		2	$y = \frac{1}{A_0 + A_1 \cdot EXP(-x)}$ $A_0 = 1,5E-02; A_1 = -7,7 E-04$	R = 0,995
		3	$y = A_0 + A_1 \cdot x^{1,5}$ $A_0 = 88,43; A_1 = -0,117$	R = 0,993

Таблица 3.8 – Результаты статистической обработки данных, полученных при биометрическом анализе жвал амбарных вредителей

Двойное отношение линейных размеров $W$	Повторяемость уравнения аппроксимирующей кривой участка жвалы		
	функция	повторность	
Среднее значение	1,29	Полиномиальная	29
Коэффициент вариации, %	1,49	Степенная	2
Абсолютная ошибка	0,01	Логарифмическая	1
Относительная ошибка, %	0,45	Экспоненциальная	1

Как видно из таблицы 3.8, в большинстве случаев кривые, описывающие участки поверхности жвал, аппроксимируются полиномиальной функцией (29 из 33-х случаев), причем максимальная степень полинома 3 (таблица 3.7 – Березковый зерноед, участок 2 и 3).

Из этого следует, что в данном конкретном случае при моделировании шипов молотильно-сепарирующего устройства для кукурузы на основании данных о кривых, описывающих участки поверхности рабочих органов биологических прототипов, целесообразно применять квадратичные и кубические кривые Безье, задаваемые полиномом Бернштейна, что позволит построить 3D-модели шипов.

Для перевода размеров жвал в применимые на практике размеры рабочих органов МСУ необходимы масштабные преобразования. Для этого целесообразно применение методов геометрического подобия.

Геометрическое подобие систем (машин, рабочих органов) соблюдается, если отношение всех сходственных размеров сравниваемых систем есть величина постоянная [254-257]:

$$\frac{l_1'}{l_1''} = \frac{l_2'}{l_2''} = \frac{l_3'}{l_3''} = k_l, \quad (3.37)$$

где  $l_1', l_2', l_3'$  – размеры, характеризующие первую систему;

$l_1'', l_2'', l_3''$  – размеры, характеризующие вторую систему;

$k_l$  – масштабный множитель линейного преобразования, сохраняющий постоянное значение для двух подобных систем.

Общая математическая зависимость между факторами записывается как неопределённая целевая функция [254-257]:

$$y = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_k), \quad (3.38)$$

где  $y$  – величина, с помощью которой оценивается объект исследования;

$x_1, x_2, \dots, x_k$  – независимые факторы;

$k$  – число факторов,  $k = 1, 2, \dots, n$ .

Согласно  $\pi$ -теореме, общая математическая зависимость (3.38) может быть представлена в виде зависимости между составленными из них критериями подобия [254-257]:

$$\pi_1 = F(\pi_2, \pi_3, \dots, \pi_{n-m}), \quad (3.39)$$

где  $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{n-m}$  – критерий подобия;

$m$  – число физических величин, имеющих основные размерности.

Критерии подобия одинаковы для всех подобных между собой явлений и в общем виде определяются выражениями [255]:

$$\pi_1 = \frac{y}{x_1^{a_1} x_2^{a_2} \dots x_m^{a_m}}; \dots; \pi_{n-m} = \frac{x_n}{x_1^{b_1} x_2^{b_2} \dots x_m^{b_m}}, \quad (3.40)$$

где  $a_1, a_2, \dots, a_m; b_1, b_2, \dots, b_m$  – некоторые постоянные числа, определяемые при решении уравнений, составленных с помощью приравнивания друг к другу размерностей числителей и знаменателей каждого критерия.

Средний радиус кривизны верхнего участка жвалы амбарного вредителя  $r$  характеризуется площадью его рабочей поверхности  $S$ , толщиной основания данного участка  $R$  и развиваемым усилием для захвата зерна  $P$  (количество факторов  $n = 4$ ).

Из вышеизложенного следует:

$$r = \varphi(S, R, P). \quad (3.41)$$

В качестве основных выбраны две величины  $P$  и  $R$  (т. е. их количество  $m = 2$ ). Следовательно, число возможных критериев подобия  $n-m=2$ :

$$\pi_1 = \frac{r}{P^{a_1} R^{a_2}}; \quad \pi_2 = \frac{S}{P^{b_1} R^{b_2}}. \quad (3.42)$$

Уравнение размерности для  $\pi_1$  примет вид:

$$L = [MLT^{-2}]^{a_1} [L]^{a_2}, \quad (3.43)$$

где  $L$  – обозначение длины в системе СИ;

$M$  – обозначение массы в системе СИ;

$T$  – обозначение времени в системе СИ.

Уравнение размерности для  $\pi_2$  примет вид:

$$L^2 = [MLT^{-2}]^{b_1} [L]^{b_2}. \quad (3.44)$$

Приравняем показатели степени размерностей основных размерных величин:

- для длины  $l^2 = b_1 + b_2$ ;
- для массы  $0 = b_1$ ;
- для времени  $0 = b_1$ .

Следовательно,  $b_1 = 0$ ;  $b_2 = 1$ , тогда:

$$\pi_1 = \frac{r}{R}; \quad \pi_2 = \frac{S}{R}. \quad (3.45)$$

Приведём соотношение (3.42) к виду (3.39):

$$\frac{r}{R} = F\left(\frac{S}{R}\right), \quad (3.46)$$

отсюда:

$$r = F(S). \quad (3.47)$$

Зная площадь рабочей поверхности исполнительного органа биологического прототипа  $S$  и площадь поверхности зерна в початке, подлежащей захвату  $S_1$ , масштабный множитель линейного преобразования  $k_l$  определится из выражения:

$$k_{l(s)} = \frac{S_1}{S}. \quad (3.48)$$

Для определения масштабного множителя линейного преобразования были проведены измерения площадей рабочих поверхностей исполнительных органов биологических прототипов  $S$  и площадей поверхности зерна в початке, подлежащей захвату  $S_1$ .

В качестве допущения принято то, что максимально возможная  $S_1$  составляет от 25 до 20 процентов от свободно выступающей с участка смежных зёрен площади верхней поверхности зерна, в необмолоченном початке с зерном условного эквивалентного диаметра.

Площадь  $S$  рассчитана на основании средней толщины жвалы каждого амбарного вредителя (таблица 3.7).

Результаты расчёта масштабного множителя линейного преобразования представлены в таблице 3.9.



Таблица 3.9 – Результаты измерений параметров  $S$  и  $S_l$  масштабного множителя линейного преобразования

Амбарный вредитель	Площадь рабочей поверхности жвалы $S$ , мм <sup>2</sup>	Подвид кукурузы	Среднее значение площади поверхности зерна в початке, подлежащей захвату $S_l$ , мм <sup>2</sup>
Четырехпятнистый грибоед	0,0157	Сахарная	11,4...9,12
Березковый зерноед	0,0168	Восковидная	13,1...10,5
Гороховая зерновка	0,0298	Зубовидная	9,60...7,70
Жук Кузья	0,0420	Кремнистая	15,70...12,60
Зерновой точильщик	0,0250	Лопаящаяся	6,12...4,90
Претворяшка злодей	0,0237	Плётчатая	7,50...6,00
Суринамский мукоед	0,0026	-	-
Хрущак большой мучной	0,1716	-	-
Хрущак большой темный	0,1975	-	-
Хрущак малый булавоусый	0,0105	-	-
Трогодерма черная	0,0098	-	-
Среднее значение	0,0495	Среднее значение	10,57...8,47
Масштабный множитель линейного преобразования $k_{l(s)} = \frac{\text{от } 10,57 \text{ до } 8,47}{0,0495} = 213,54...171,2$			

Определив биологический прототип рабочего органа машины и опираясь на принцип двойного соотношения линейных размеров, можно создать 3D-модель шипа МСУ. Масштабирование данной модели позволяет провести анализ ее эффективности.

Эффективность шипов МСУ тем выше, чем больше площадь контакта зерна и шипа, поскольку в данном случае давление распределяется по максимальной площади контакта.

Двойное соотношение линейных размеров 1,29 (таблица 3.8) позволяет при помощи квадратичной кривой Безье построить контур моделируемого шипа, вращение которого создает искомую 3D-модель (рисунок 3.25).

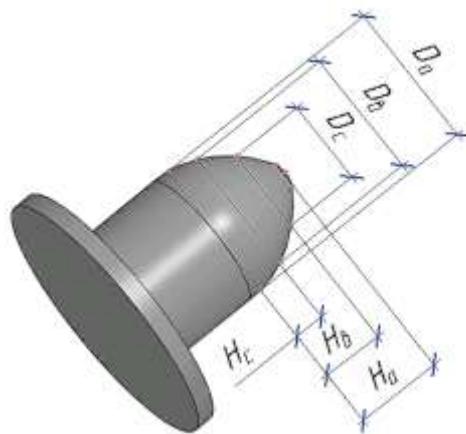
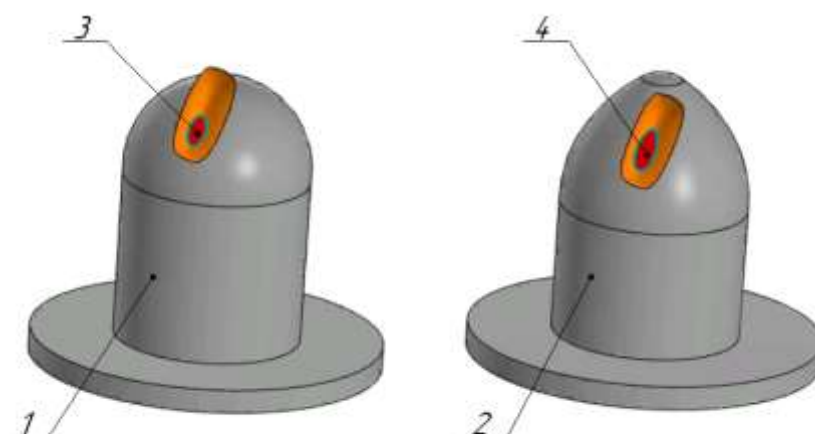


Рисунок 3.25 – 3D-модель фасонного шипа МСУ с пропорциями по вурфу

В соответствии с масштабным множителем линейного преобразования для полученного среднего значения вурфа  $W=1,29$  базовый размер  $D_a$  находится в интервале  $2,0 \dots 2,5 d_{зк}$  или  $14 \dots 25$  мм.

Создав 3D-модели шипа бионически обоснованной фасонной формы и контактируемой с шипом защитной оболочки зерна кукурузы, по методике Г. Герца можно в среде компьютерного 3D-моделирования симитировать контактное сжатие и получить физическую модель площадки контакта с размерами приближенными к реальным. Сравнение формы и размера площадок контакта, полученных при сжатии модели оболочки зерна с наиболее эффективными существующими, а также смоделированным шипом, представлено на рисунке 3.26.



- 1 – шип с круглой (сферической) рабочей поверхностью;
- 2 – шип с бионически обоснованной фасонной рабочей поверхностью;
- 3, 4, – смоделированные площадки контакта

Рисунок 3.26 – Модель взаимодействия шипов с защитной плодовой оболочкой зерна кукурузы

Полное совпадение средних значений двойных отношений линейных размеров зерна основных подвидов кукурузы и жвал амбарных вредителей указывает на правильность выбора биологического прототипа шипов МСУ.

Зерно и жвалы природой сконструированы по одному закону биосимметрии и поэтому жвалы оптимально адаптированы для эффективной работы с зерном кукурузы.

В результате масштабных преобразований и 3D-моделирования установлено, что размер площадки контакта полученной при сжатии модели защитной оболочки зерна кукурузы и нового фасонного шипа больше на 25...60% аналогичной площадки, полученной при контакте с шипами существующих конструкций.

Увеличение размера площадки контакта достигается за счет отклонения от эллиптической формы. Данное явление требует математического моделирования.

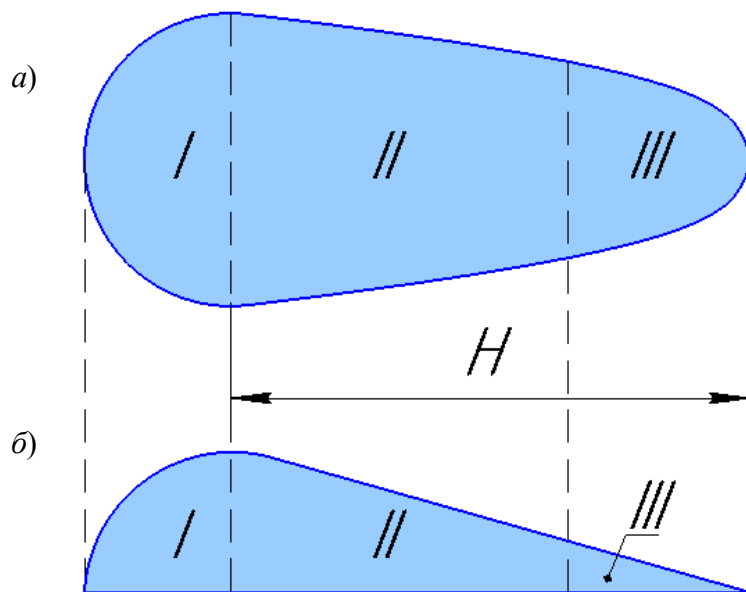
### **3.8 Математическое моделирование области контакта фасонного шипа МСУ и зерна кукурузы в процессе обмолота**

Чем больше область контакта, тем по большей поверхности распределена обмолачивающая сила, следовательно, тем меньше вероятность образования макро- и микроповреждений. Однако плоскостная оценка пятна контакта неполноценна, на что также указывает теория Г. Герца [122, 130-134, 258-260]. Здесь важна не только площадь контакта, но и глубина проникновения шипа в зерно. Известно, что, проникая в тело зерна на глубину 0,45 мм посредством удара, шип приводит зерно к границе прочностных свойств [157].

Если рассматривать процесс контакта зерна и шипа в трёхмерном пространстве, то видно, что поверхность контакта не является эллиптической. Поэтому, анализируя конструкции различных шипов, необходимо при равной, максимально допустимой глубине проникновения в тело зерна ( $[l_{об}] = 0,45$  мм)

сравнивать объёмы фигур, вдавленных внутрь зерновой оболочки совместно с анализом размеров области контакта.

На рисунке 3.27 представлены проекции области контакта зерна кукурузы и предложенного фасонного шипа на горизонтальную и фронтальную плоскости. При этом в области контакта можно выделить три участка различной формы и глубины проникновения в оболочку зерна кукурузы.



*a* – горизонтальная проекция; *б* – фронтальная проекция

Рисунок 3.27 – Схема области контакта нового (фасонного) шипа и защитной плодовой оболочки зерна кукурузы

Тело *I* эллипсоид (рисунок 3.27), который определяется известным уравнением [122, 209-213, 258, 261]:

$$\frac{x^2}{A^2} + \frac{y^2}{B^2} + \frac{z^2}{C^2} = 1, \quad (3.49)$$

где  $A, B, C$  – полуоси эллипсоида;

$x, y, z$  – соответствующие переменные.

Тело *II* совместно с телом *III* – эллиптический параболоид (рисунки 3.27 и 3.28), который определяется известным уравнением и условиями [122, 209-213, 258, 261]:

$$\frac{x^2}{2p} + \frac{y^2}{2q} = z; \quad 2p = \frac{A^2}{H}; \quad 2q = \frac{B^2}{H}; \quad z = H. \quad (3.50)$$

где  $p$  и  $q$  – фокальные параметры главных парабол эллиптического параболоида.

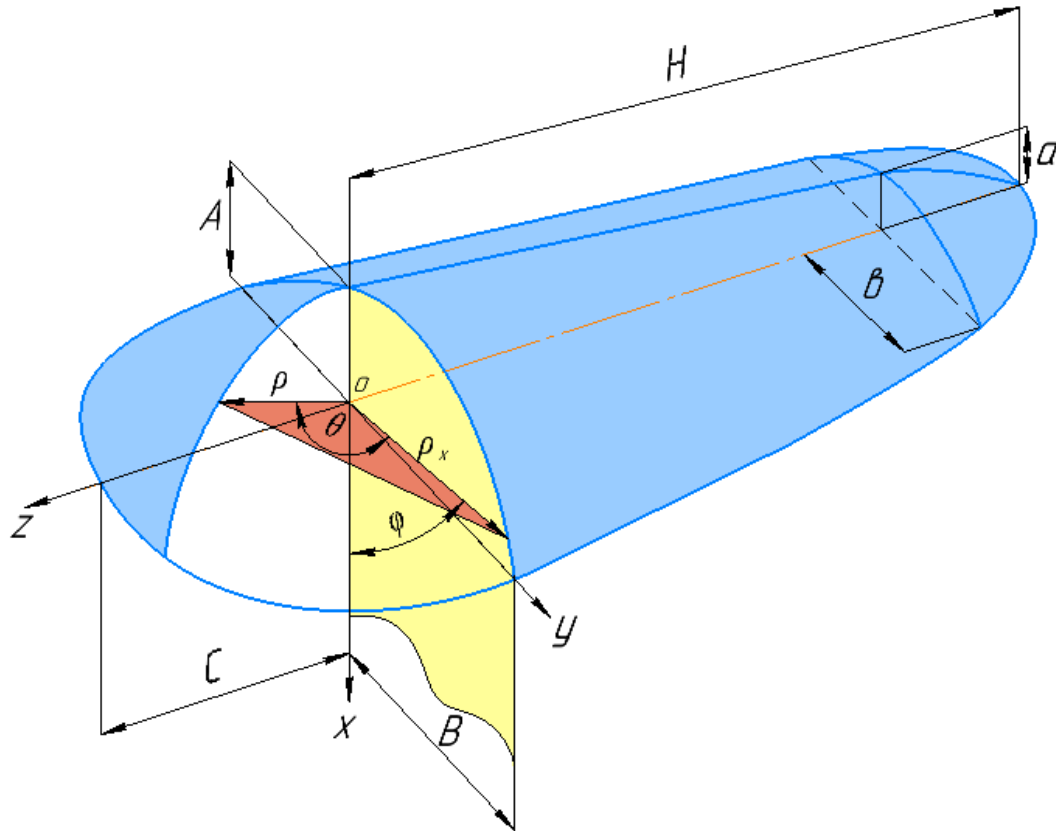


Рисунок 3.28 – Параметры пятна контакта

Объем эллипсоида  $V_l$  определяется тройным интегралом [209-213, 258, 261]:

$$V_l = \int_V dV = \iiint_V dx dy dz. \quad (3.51)$$

В результате замены определены пределы интегрирования. Связь между декартовыми и сферическими координатами описывается формулами [209-213, 258, 261]:

$$x = A \rho \cos \varphi \sin \theta; \quad y = B \rho \sin \varphi \sin \theta; \quad z = C \rho \cos \theta, \quad (3.52)$$

где  $\rho$  – радиус-вектор;

$\theta$  и  $\varphi$  – углы, характеризующие положение радиус-вектора  $\rho$ .

При переводе данных координат в сферическую систему координат рассчитаем якобиан [209-213, 258, 261]:

$$dx dy dz = d\rho d\varphi d\theta \cdot \Delta, \quad (3.53)$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} A \rho \cos \varphi \sin \theta & -A \rho \sin \varphi \sin \theta & A \rho \cos \varphi \cos \theta \\ B \sin \varphi \sin \theta & B \rho \cos \varphi \sin \theta & B \rho \sin \varphi \cos \theta \\ C \cos \theta & 0 & C \sin \theta \end{vmatrix} = ABC \rho^2 \sin \theta d\rho d\varphi d\theta. \quad (3.54)$$

При  $0 \leq \rho \leq 1$  (относительный параметр);  $0 \leq \varphi \leq \pi$ ;  $0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ . Получим:

$$\begin{aligned}
V_I &= \iiint_V ABC \rho^2 \sin\theta d\rho d\varphi d\theta = ABC \int_0^\pi d\varphi \int_0^1 d\rho \int_0^{\frac{\pi}{2}} \rho^2 \sin\theta d\theta = \\
&= ABC \int_0^\pi d\varphi \int_0^1 \rho^2 \left( -\cos\theta \Big|_0^{\frac{\pi}{2}} \right) d\rho = ABC \int_0^\pi d\varphi \int_0^1 \rho^2 \left( \cos 0 - \cos \frac{\pi}{2} \right) d\rho = \\
&= ABC \int_0^\pi d\varphi \int_0^1 \rho^2 d\rho = \frac{ABC}{3} \int_0^\pi \rho^3 d\varphi = \frac{ABC\pi}{3}.
\end{aligned} \tag{3.55}$$

Если сечение  $I$  в проекции  $a$  – круг  $B=C=R$ , то  $V = \frac{AR^2\pi}{3}$ , однако это частный случай. В большинстве случаев  $V_I = \frac{ABC\pi}{3}$

Применение фасонного шипа новой конструкции вторую часть половины эллипсоида изменяет до более растянутой формы эллиптического параболоида. Причём экстремального проникновения шипа в тело зерна на этом участке нет.

Объем эллиптического параболоида  $V_{II-III}$  – участок  $II$  и  $III$  (рисунок 3.27) определяется уравнением [209-213, 258, 261, 262]:

$$V_{II-III} = \frac{1}{2} \iiint_V dv = \frac{1}{2} \iiint_V dx dy dz, \tag{3.56}$$

где  $\frac{x^2}{A^2} + \frac{y^2}{B^2} = H$  – известное каноническое уравнение эллиптического параболоида.

Из канонического уравнения получим:

$$\begin{aligned}
y &= \sqrt{B^2 \left( H - \frac{x^2}{A^2} \right)} && \text{при} && 0 \leq x \leq A; \\
0 \leq y &\leq \sqrt{B^2 \left( H - \frac{x^2}{A^2} \right)} && \text{при} && 0 \leq z \leq H.
\end{aligned} \tag{3.57}$$

Сделаем замену, для облегчения вычислений:

$$-\sqrt{2pH} \leq x \leq \sqrt{2pH}; \quad -\sqrt{2q \left( H - \frac{x^2}{2p} \right)} \leq y \leq \sqrt{2q \left( H - \frac{x^2}{2p} \right)}; \quad \frac{x^2}{2p} + \frac{y^2}{2q} \leq z \leq H. \tag{3.58}$$

Иначе говоря,  $V_{II-III} = \frac{1}{2} V_{\text{эллипт. параб.}}$

Объем эллиптического параболоида вычисляется по известной методике [209-213, 258, 261, 262]:

$$\begin{aligned}
V_{\text{эллипт. параб}} &= \iiint_{\frac{x^2}{2p} + \frac{y^2}{2q} \leq z \leq H} 1 dx dy dz = \int_{-\sqrt{2pH}}^{\sqrt{2pH}} dx \int_{-\sqrt{2q\left(H-\frac{x^2}{2p}\right)}}^{\sqrt{2q\left(H-\frac{x^2}{2p}\right)}} dy \int_{\frac{x^2}{2p} + \frac{y^2}{2q}}^H 1 dz = \\
&= \int_{-\sqrt{2pH}}^{\sqrt{2pH}} dx \int_{-\sqrt{2q\left(H-\frac{x^2}{2p}\right)}}^{\sqrt{2q\left(H-\frac{x^2}{2p}\right)}} z \Big|_{\frac{x^2}{2p} + \frac{y^2}{2q}}^H dy = \int_{-\sqrt{2pH}}^{\sqrt{2pH}} dx \int_{-\sqrt{2q\left(H-\frac{x^2}{2p}\right)}}^{\sqrt{2q\left(H-\frac{x^2}{2p}\right)}} \left( H - \frac{x^2}{2p} + \frac{y^2}{2q} \right) dy = \\
&= 2 \int_{-\sqrt{2pH}}^{\sqrt{2pH}} \left[ \left( H - \frac{x^2}{2p} \right) y - \frac{1}{2q} \frac{y^3}{3} \right] \Big|_0^{\sqrt{2q\left(H-\frac{x^2}{2p}\right)}} dx = \\
&= 2 \int_{-\sqrt{2pH}}^{\sqrt{2pH}} \left[ \left( H - \frac{x^2}{2p} \right) \sqrt{2q\left(H-\frac{x^2}{2p}\right)} - \frac{1}{6q} \sqrt{2q\left(H-\frac{x^2}{2p}\right)}^3 \right] dx = \\
&= 2\sqrt{2q} \int_{-\sqrt{2pH}}^{\sqrt{2pH}} \left( \sqrt{H-\frac{x^2}{2p}} - \frac{1}{3} \sqrt{H-\frac{x^2}{2p}}^3 \right) dx = 2\sqrt{2q} \int_{-\sqrt{2pH}}^{\sqrt{2pH}} \frac{2}{3} \sqrt{H-\frac{x^2}{2p}}^3 dx = \\
&= \frac{4\sqrt{2q}}{3} \int_{-\sqrt{2pH}}^{\sqrt{2pH}} \sqrt{H-\frac{x^2}{2p}}^3 dx = \frac{2}{3p} \sqrt{\frac{q}{p}} \int_{-\sqrt{2pH}}^{\sqrt{2pH}} \sqrt{2pH-x^2}^3 dx = \\
&= \frac{1}{6p} \sqrt{\frac{q}{p}} \left( x\sqrt{2pH-x^2}^3 + 3pHx\sqrt{2pH-x^2} + 6p^2H^2 \arcsin \frac{x}{\sqrt{2pH}} \right) \Big|_{-\sqrt{2pH}}^{\sqrt{2pH}} = \\
&= \frac{1}{6p} \sqrt{\frac{q}{p}} \left( \left( \sqrt{2pH} \left( \sqrt{2pH} - \sqrt{2pH^2} \right)^3 + 3pH\sqrt{2pH} \sqrt{2pH} - \sqrt{2pH^2} + 6p^2H^2 \arcsin \frac{\sqrt{2pH}}{\sqrt{2pH}} \right) - \right. \\
&\quad \left. - \left[ \sqrt{2pH} \left( \sqrt{2pH} - (-\sqrt{2pH})^2 \right)^3 + 3pH(-\sqrt{2pH}) \sqrt{2pH} - (-\sqrt{2pH})^2 + 6p^2H^2 \arcsin \frac{-\sqrt{2pH}}{\sqrt{2pH}} \right] \right) = \\
&= \frac{1}{6p} \sqrt{\frac{q}{p}} \left[ 6p^2H^2 \arcsin 1 - 6p^2H^2 \arcsin(-1) \right] = \frac{1}{6p} \sqrt{\frac{q}{p}} 6p^2H^2 2 \arcsin 1 = \\
&= \sqrt{pq} H^2 2 \frac{\pi}{2} = \pi \sqrt{pq} H^2 \Rightarrow V_{\text{эллипт. параб.}} = \pi \sqrt{pq} H^2.
\end{aligned}$$

Окончательно уравнение примет вид:

$$V_{II-III} = \frac{1}{2} \pi \sqrt{pq} H^2 = \frac{\pi \sqrt{\frac{A^2}{2H} \cdot \frac{B^2}{2H}}}{2} H^2 = \frac{\pi ABH}{4}. \quad (3.59)$$

Искомый объем тела:

$$V = V_I + V_{II-III} = \frac{\pi ABC}{3} + \frac{\pi ABH}{4} = \frac{\pi AB(3H + 4C)}{12}. \quad (3.60)$$

Расчёт объёмов фигур, образованных при вдавливании внутрь оболочки зерна круглого и предложенного фасонного шипа деки МСУ, показывает их относительное равенство. Объём фигуры эллиптической формы  $V_K$ , полученной при вдавливании в зерно круглого шипа, составляет 0,942 мм<sup>3</sup>. Объём фигуры описанной выше формы  $V_\phi$ , полученной при вдавливании в зерно предложенного фасонного шипа, равен 0,936 мм<sup>3</sup>.

Твердотельное моделирование (рисунок 3.25 и 3.26) и расчёт площадей, ограниченных контуром внедрённого шипа в оболочку зерна показал: для круглого шипа  $S_K=3,12$  мм<sup>2</sup>, а для фасонного шипа  $S_\phi=5,17$  мм<sup>2</sup>. Разница в площадях составляет 65,7%.

Следовательно, при заданной равной глубине вдавливания  $[l_{об}] = 0,45$  мм предложенный фасонный шип контактирует с зерном по площади, которая может быть в 1,657 раза больше, чем та которую образует круглый шип, а, следовательно, обмолачивающее усилие распределяется по большей площади и вероятность образования макро- и микроповреждений зерна пропорционально снижается.

Из вышеизложенного следует, что повысить эффективность молотильных устройств для кукурузы можно путём применения шипов МСУ фасонной формы, поверхность которых моделируется посредством вращения кривой Безье, построенной по трем опорным точкам в соответствии с вурфом  $W = 1,29$ .

Применение предложенных фасонных шипов деки в аксиально-роторном МСУ позволяет максимально полно реализовать принцип поэтапного обмолота.

Вышеизложенная информация дает основание полагать, что моделирование процессов, протекающих во внешних тканях зерна кукурузы, в так называемой защитной оболочке зерна, находящейся под действием шипов МСУ целесообразно осуществлять посредством контактной теории Герца в условиях динамического контактного сжатия, удара.



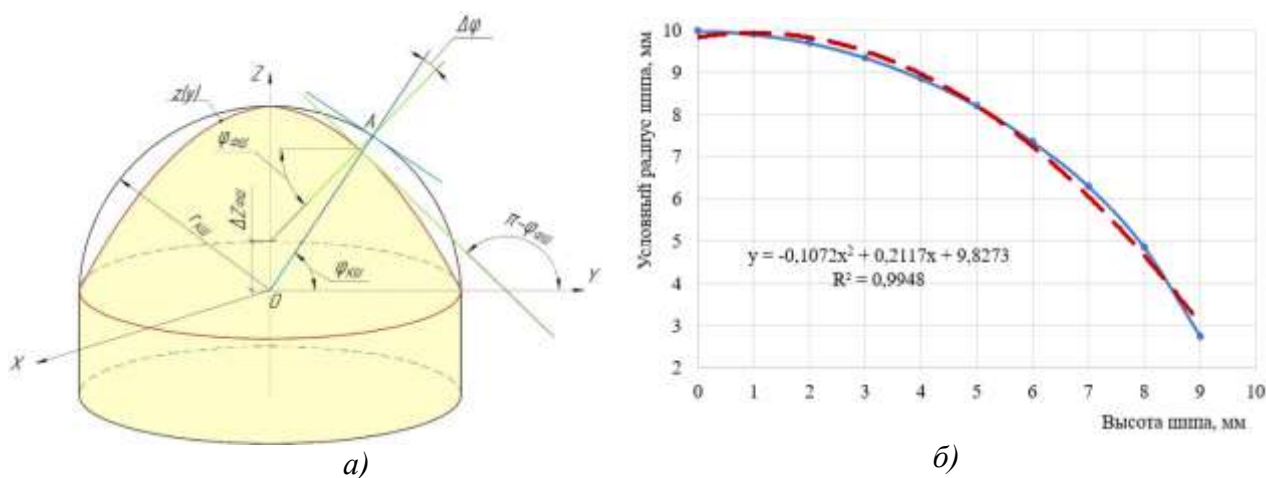
### 3.9 Аналитическое обоснование кривизны контура внешней поверхности эффективных шипов МСУ

Кривизна контура внешней поверхности шипов неразрывно связана с касательной составляющей силы удара по зерну.

Относительно наиболее распространенного круглого (сферического) шипа, предложенный фасонный шип в равных условиях удара будет более эффективно дифференцировать ударную силу, распределяя ее нормальную и касательную составляющую в более рациональной пропорции. Это распределение неразрывно связано с угловой разницей между нормальными, проведенными к касательным в точке контакта поверхности зерна и шипа (круглого и фасонного).

Для определения искомой угловой разницы необходимо осуществить математическое моделирование по следующему алгоритму:

- учитывая круговую симметрию шипов, рассматриваются плоские сечения и строится расчетная схема (3.29);
- находится уравнение касательной к границе сечения эффективного фасонного шипа;
- осуществляется поиск среднеинтегрального значения искомой угловой разницы.



а – схема шипа; б – аппроксимация профиля фасонного шипа

Рисунок 3.29 – Расчетная схема к определению угловой разницы между нормальными, проведенными к касательным в точке контакта поверхности шипа и зерна

Для упрощения математического обоснования введены некоторые допущения. **Допущение первое.** Сложная кривая, формирующая контур бионически обоснованного эффективного фасонного шипа, в некотором приближении и только на выделенном участке кривой может быть задана уравнением параболы [209-213, 258, 261, 262]:

$$z = ay^2 + by + c. \quad (3.61)$$

Уравнение касательной в общем виде записывается известным выражением [209-213, 258, 261, 262]:

$$z - z_0 = z'(y_0)(y - y_0), \quad (3.62)$$

где  $(y_0, z_0)$  – точка касания;

$z'(y_0)$  – производная функции в точке касания (угловой коэффициент).

Как видно из рисунка 3.29 для фасонного шипа нормаль к касательной наклонена относительно оси  $Y$  на угол:

$$\varphi_{\text{фш}} = \pi - \text{arctg } z'(y). \quad (3.63)$$

Тангенс угла наклона касательной – это угловой коэффициент касательной [209-213, 258, 261, 262]. В разных точках  $z(y)$  касательная наклонена разным углом, то есть:

$$\pi - \text{arctg } z'(y) = z'(y) \Rightarrow \varphi_{\text{фш}} = \pi - \text{arctg } z'(y). \quad (3.64)$$

Нормали, проходя через точку  $A$  (рисунок 3.29), не сходятся в начале системы координат в точке  $O$  и их расхождение составляет  $\Delta Z_{\text{фш}}$ . **Допущение второе.** Значением  $\Delta Z_{\text{фш}}$  можно пренебречь. **Допущение третье.** Площади сечения круглого и фасонного шипа близки по своим значениям.

Производная в общем виде от (3.61) имеет вид [209-213, 258, 261, 262]:

$$z'(y) = (ay^2 + by + c)' = 2ay + b. \quad (3.65)$$

Объединяем (3.63) и (3.65):

$$\varphi_{\text{фш}} = \pi - \text{arctg}(2ay + b). \quad (3.66)$$

Из рисунка 3.29 видно, что для координаты  $y$  некоторой точки  $A$ :

$$y = r_{кш} \cdot \cos \varphi_{кш} \Rightarrow \cos \varphi_{кш} = \frac{y}{r_{кш}} \Rightarrow \varphi_{кш} = \arccos \frac{y}{r_{кш}}, \quad (3.67)$$

где  $r_{кш}$  - радиус круглого шипа.

Из третьего допущения равенство площади сечения круглого и фасонного шипа выражается формулой:

$$S_{кш} = S_{фш} = S. \quad (3.68)$$

Площадь круга выражается известной формулой [209-213, 258, 261, 262]:

$$S_K = \pi r_K^2. \quad (3.69)$$

В общем виде площадь половины сечения фасонного шипа, ограниченная осью  $Z$  и  $Y$  выражается формулой [209-213, 258, 261, 262]:

$$S_{фш} = \int_0^l z(y) dy, \quad (3.70)$$

где  $l$  – предел интегрирования, ( $l \geq d_{зк} \approx 7 \dots 10$  мм, здесь  $d_{зк}$  условный диаметр зерна кукурузы определяемый по формуле (3.36)).

На основании уравнения параболы (3.70) примет вид [209-213, 261, 262]:

$$S_{фш} = \int_0^l (ay^2 + by + c) dy = \frac{al^3}{3} + \frac{bl^2}{2} + cl. \quad (3.71)$$

Для эмпирически подобранных значений при аппроксимации (рисунок 3.29, б) бионически обоснованного профиля фасонного шипа  $a = -0,1072$ ;  $b = 0,2117$ ;  $c = 9,8273$  можно найти значение  $S_{фш}$ .

Зная числовое значение  $S_{фш}$  на основании (3.68), и понимая, что значение получено для четверти профиля, можно найти рациональное значение  $r_{кш}$  из известного выражения (3.69) [209-213, 258, 261, 262]:

$$r_{кш} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{фш}}{\pi}} \text{ мм.} \quad (3.72)$$

Расчет  $r_{кш}$  для области средних значений интервала  $d_{зк} \approx 7 \dots 10$  мм представлен в таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Расчет  $r_{КШ}$  для области средних значений интервала  $d_{ЗК}$

$l \geq d_{ЗК}$ мм	$\frac{al^3}{3}$ , мм <sup>2</sup>	$\frac{bl^2}{2}$ , мм <sup>2</sup>	$cl$ , мм <sup>2</sup>	$S_{ФШ}$ , мм <sup>2</sup>	$r_{КШ}$ , мм
8,20	-19,70	7,12	80,58	68,00	9,31
8,30	-20,43	7,29	81,57	68,43	9,34
8,40	-21,18	7,47	82,55	68,84	9,36
8,50	-21,94	7,65	83,53	69,23	9,39
8,60	-22,73	7,83	84,51	69,62	9,42
8,70	-23,53	8,01	85,50	69,98	9,44
8,80	-24,35	8,20	86,48	70,33	9,47

Для дальнейшего математического исследования следует записать выражение:

$$\Delta\varphi(y) = \varphi_{ФШ} - \varphi_{КШ} = \pi - \operatorname{arctg}(2ay + b) - \arccos \frac{y}{r_{КШ}}. \quad (3.73)$$

Для получения среднеинтегрального значения запишем:

$$\Delta\varphi = \frac{1}{l} \int_0^l \Delta\varphi(y) dy, \quad (3.74)$$

$$\Delta\varphi = \frac{1}{l} \int_0^l \left( \pi - \operatorname{arctg}(2ay + b) - \arccos \frac{y}{r_{КШ}} \right) dy. \quad (3.75)$$

Для удобства решения, осуществлено разделение (2.75) на три интеграла:

$$J_1 = \frac{1}{l} \int_0^l \pi dy = \frac{1}{l} \pi y \Big|_0^l = \pi. \quad (3.76)$$

$$J_2 = \frac{1}{l} \int_0^l (\operatorname{arctg}(2ay + b)) dy. \quad (3.77)$$

Введем замену переменных:

$$\begin{cases} y = l; \\ t = 2al + b; \\ dt = 2ady; \\ dy = \frac{dt}{2a}. \end{cases} \quad (3.78)$$

Тогда:

$$\begin{aligned}
J_2 &= \frac{1}{l} \int_0^{2al+b} \arctgt \frac{dt}{2a} = \frac{1}{2al} \int_0^{2al+b} \arctgt dt = \left( \begin{array}{l} U = \arctgt; \\ dU = \frac{dt}{t^2+1}; \\ V = t; \\ dV = dt. \end{array} \right) = \\
&= \left( \arctgt \Big|_0^{2al+b} - \int_0^{2al+b} \frac{tdt}{t^2+1} \right) \frac{1}{2al} = \frac{1}{2al} (2al+b) \cdot \arctg(2al+b) - \\
&-\frac{1}{2} \ln(t^2+1) \Big|_0^{2al+b} = \frac{(2al+b) \arctg(2al+b)}{2al} - \frac{\ln \sqrt{(2al+b)^2+1}}{2al};
\end{aligned} \tag{3.79}$$

$$\begin{aligned}
J_3 &= \frac{1}{l} \int_0^l \left( \arccos \frac{y}{r_{KШ}} \right) dy = \left( \begin{array}{l} t = \frac{y}{r_{KШ}}; \quad dt = \frac{dy}{r_{KШ}}; \\ dy = r_{KШ} dy; \quad y = l; \quad t = \frac{l}{r_{KШ}} \end{array} \right) = \\
&= \frac{r_{KШ}}{l} \int_0^{\frac{l}{r_{KШ}}} \arccos t dt = \left( \begin{array}{l} U = \arccos t; \quad dU = -\frac{dt}{\sqrt{1-t^2}} \\ dt = dV; \quad V = t \end{array} \right) = \\
&= t \arccos t \Big|_0^{\frac{l}{r_{KШ}}} + \int_0^{\frac{l}{r_{KШ}}} \frac{dt}{\sqrt{1-t^2}} = \frac{l}{r_{KШ}} \arccos \frac{l}{r_{KШ}} + \\
&+ \left( -\frac{1}{2} \int_0^{\frac{l}{r_{KШ}}} \frac{d(1-t^2)}{(1-t^2)^{\frac{1}{2}}} \right) = \frac{l}{r_{KШ}} \arccos \frac{l}{r_{KШ}} - \frac{1}{4} \sqrt{1-t^2} \Big|_0^{\frac{l}{r_{KШ}}} = \\
&= \frac{l}{r_{KШ}} \arccos \frac{l}{r_{KШ}} - \frac{l}{r_{KШ}} \cdot \frac{\sqrt{1-\left(\frac{l}{r_{KШ}}\right)^2}}{4}
\end{aligned} \tag{3.80}$$

Расчет  $\Delta\phi$  для рассчитанных значений  $r_{KШ}$  и заданных значений  $l$  приведен в таблице 3.11

Таблица 3.11 - \*Расчет  $\Delta\varphi$  для рассчитанных значений  $r_{КШ}$  и заданных значений  $l$

$l \geq d_{зк}$ мм	$J_1$ , рад	$J_2$ , рад	$J_3$ , рад	$\Delta\varphi$ , рад	$\Delta\varphi = \left  \frac{\Delta\varphi \cdot 180}{\pi} \right $ , град
8,20	3,14	-0,53	0,33	-0,20	11,44
8,30	3,14	-0,54	0,32	-0,22	12,27
8,40	3,14	-0,54	0,31	-0,23	13,14
8,50	3,14	-0,55	0,30	-0,25	14,04
8,60	3,14	-0,55	0,29	-0,26	14,99
8,70	3,14	-0,56	0,28	-0,28	15,99
8,80	3,14	-0,56	0,27	-0,29	17,06
Среднее значение				-0,25	14,30
*В силу периодичности функции составляющая $J_1$ показывает только конкретную грань профиля и в расчете $\Delta\varphi$ не учитывается.					

В общем виде среднеинтегральная угловая разница рабочих поверхностей выражается математической моделью:

$$\Delta\varphi = \frac{1}{l} \int_0^l \left( \pi - \operatorname{arctg}(2ay + b) - \arccos \frac{y}{\sqrt{\frac{4 \cdot S_{\Phi III}}{\pi}}} \right) dy. \quad (3.81)$$

С учетом того, что  $l \geq d_{зк}$ :

$$\Delta\varphi = \frac{1}{d_{зк}} \int_0^{d_{зк}} \left( \pi - \operatorname{arctg}(2ay + b) - \arccos \frac{y}{\sqrt{\frac{4 \cdot \left( \frac{ad_{зк}^3}{3} + \frac{bd_{зк}^2}{2} + cd_{зк} \right)}{\pi}}} \right) dy. \quad (3.82)$$

Искомое значение угловой разницы между нормальными, проведёнными к касательным в точке контакта поверхности зерна кукурузы с рабочей поверхностью круглого и фасонного шипа, составляет  $\Delta\varphi = 14,3^\circ$ . Следовательно, в равных условиях косоугольного удара о круглый и фасонный шип модуль и направление равнодействующей силы удара будет изменён в рациональную сторону пропорционально косинусу среднеинтегрального значения  $\Delta\varphi$ .

### **3.10 Исходные допущения для разработки математических моделей производительности МСУ и затрат мощности на поэтапный обмолот**

Разработка математических моделей для определения производительности МСУ и затраты мощности на поэтапный обмолот имеет прикладное значение, поскольку данные модели создаются для конкретного устройства, обладающего определенными конструктивно-технологическими характеристиками.

Сложность процессов, протекающих в рабочем зазоре СРД при поэтапном обмолоте, требует установления ряда исходных допущений.

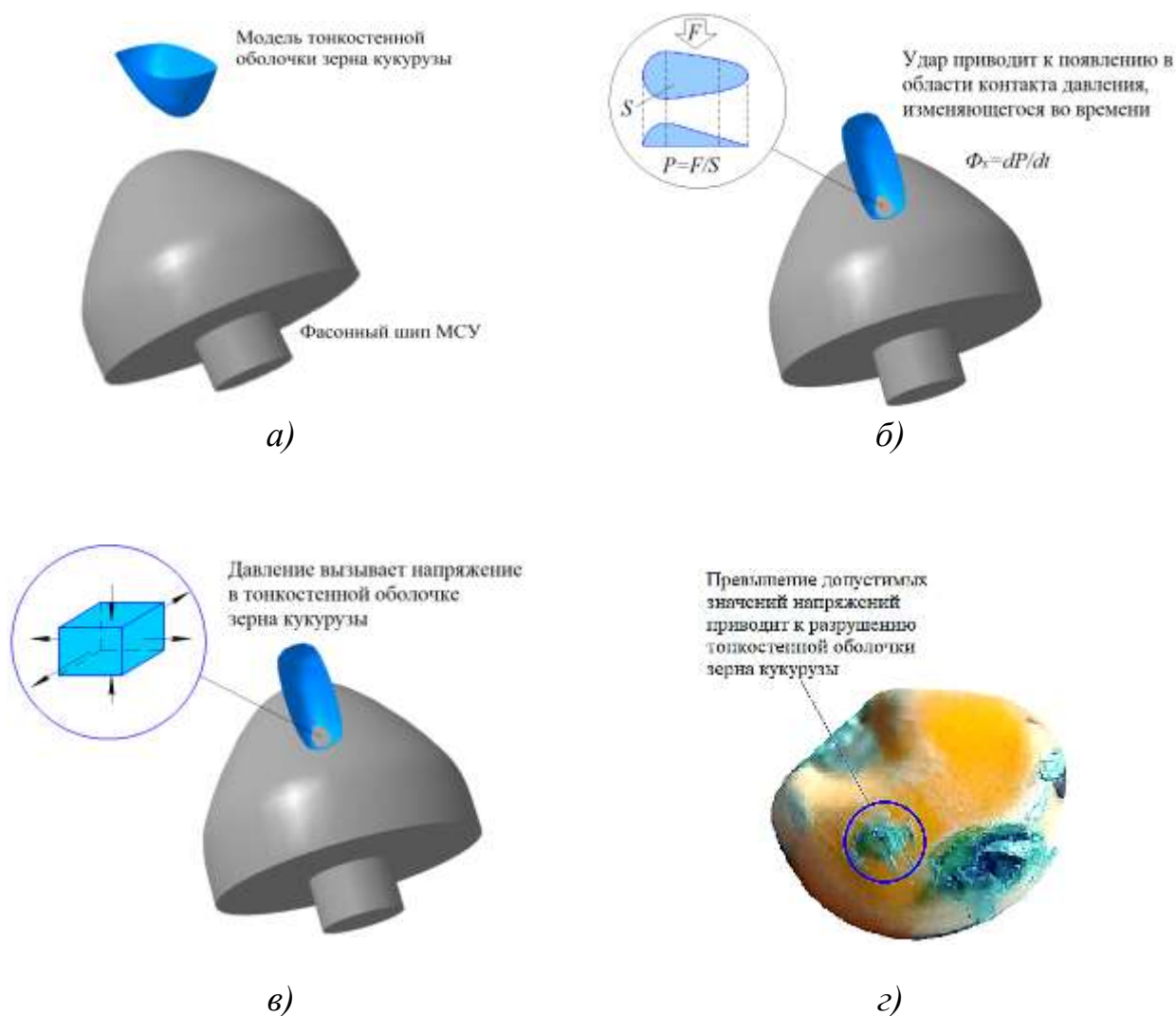
1. В процессе обмолота кукурузы деформируется участок защитной плодовой оболочки зерна, материал которой можно считать изотропным, поскольку он выполнен из одинаковых молекул, равнозначно проявляющих свои прочностные свойства. Кроме того, материал оболочки является вязкоупругим и может характеризоваться реологическим уравнением Максвелла [157, 263-268].

2. При ударе зерна о шип закономерности динамического формирования пятна контакта в защитной плодовой оболочке характеризуются основными положениями контактной проблемы Герца [31, 38, 116, 130-134].

3. В процессе динамического контактного сжатия зерна и фасонного шипа деформируются только материалы зерна. Область деформации (площадка контакта) представляет собой объемную фигуру, состоящую из части эллипсоида, соединённой с частью эллиптического параболоида (рисунки 3.26–3.28).

4. Явления при ударе плодовой оболочки зерна кукурузы о поверхность фасонного шипа МСУ можно рассмотреть, как:

- сближение тел (рисунок 3.30, *а*);
- удар, вызывающий переменное давление (рисунок 3.30, *б*);
- напряжение защитной плодовой оболочки зерна (рисунок 3.30, *в*) в области контакта;
- в случае превышения максимально допустимого значения напряжения локальное разрушение оболочки (рисунок 3.30, *г*).



а – сближение (здесь зерно представлено в виде модели оболочки);  
 б – удар и формирование области контакта; в – визуализация напряжения материала оболочки зерна, находящейся под ударным воздействием;  
 г – визуализация негативного результата взаимодействия  
 Рисунок 3.30 – Этапы взаимодействия плодовой оболочки зерна кукурузы с фасонным шипом МСУ

Локальное разрушение оболочки допустить нельзя. Для этого необходимо определить допустимые границы силового воздействия [38]. Существующими исследованиями установлены следующие максимально допустимые значения силы  $F_y$  воздействия рабочими органами МСУ на зерно с влажностью 11...20%:

- не более 680 Н (по данным М.Ф. Рожковского) [157];
- не более 650 Н (по данным И.А. Петуниной) [28];
- не более 602 Н (по данным Н.А. Бобрикова) [269];
- не более 460 Н (по данным В.С. Курасова и К.В. Шатилов) [13, 41];
- не более 300 Н (по данным Е.В. Труфляка и В.И. Корчагина) [15,117].



Эффективным процесс обмолота может быть лишь в том случае, если локальные разрушения оболочки эндосперма и зародыша будут исключены. Следовательно, целесообразно ввести следующее допущение.

5. Допустимое значение силы воздействия рабочими органами МСУ на зерно находится в интервале  $F_y = 300 \dots 680$  Н.

Учитывая вышеописанные допущения для решения прикладных задач в теории обмолота семенной кукурузы, предлагается логический метод (рисунок 3.31), в соответствии с которым развитие теории обмолота условно можно представить как расширение системы знаний с одновременным ее углублением в области силового фактора взаимодействия рабочих органов МСУ с зерном кукурузы, представленным в виде тонкостенной оболочки.

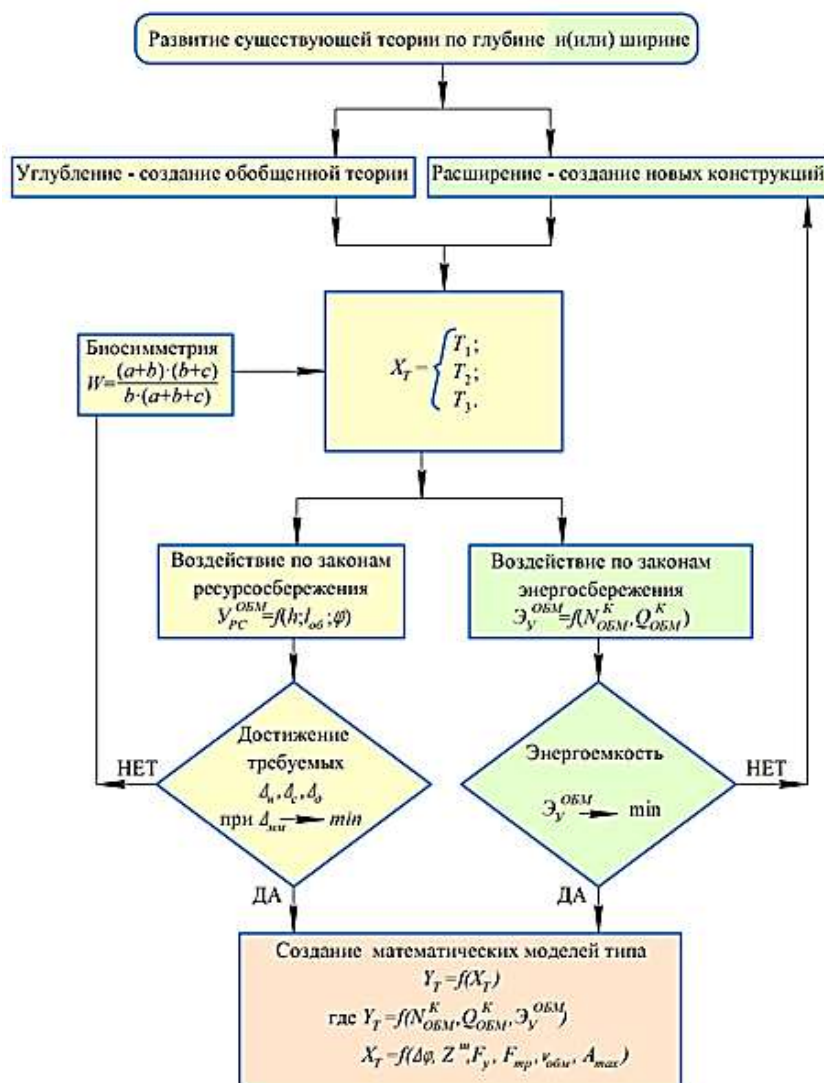


Рисунок 3.31 – Логический метод разработки математических моделей производительности МСУ и затрат мощности на поэтапный обмолот

Логика метода заключается в следующем. Во взаимосвязи рассматривается три теоретических направления:

- контактная проблема Герца ( $T_1$ );
- теория удара ( $T_2$ );
- теория тонких оболочек ( $T_3$ ).

Синтез данных теоретических направлений позволяет разработать МСУ с рациональной формой фасонных шипов, обусловленной требуемым значением  $\Delta\varphi$ , подобрать требуемое количество данных шипов  $Z^u$ , действующих с рациональной силой удара  $F_y$  и трения  $F_{mp}$ , а также рациональной скоростью  $v_{обм}$  и работы  $A_{max}$  по выделению зерна из початка без повреждений.

Если вышесказанные факторы выбраны правильно, то достигаются требуемые минимальные показатели: недомолота  $\Delta_n$ , схода свободным зерном  $\Delta_c$ , дробления  $\Delta_d$ , макро- и микроповреждений зерна  $\Delta_{мм}$ , что свидетельствует о воздействии на початки в соответствии с НУ по выражениям (3.17) и (3.18). Если показатели качества не соответствуют требованиям, осуществляется корректировка формы рабочих органов по  $\Delta\varphi$  в соответствии с биосимметрией. Параллельно изучаются условия рационального движения початков в МСУ по законам минимизации энергоемкости процесса  $\Phi_2$ . Если энергоемкость не стремится к минимуму, то осуществляется корректировка общей конструкции МСУ.

Существующая теория [12-22, 27-32, 38-42, 51-56, 63, 64, 67-78, 116, 126, 148] рассматривает обмолот только как процесс разрушения крепления зерна к стержню посредством нормальной  $S_n$  и касательной  $S_\tau$  составляющей ударного импульса, исходящего от движущегося рабочего органа МСУ.

Это безусловно важная, но далеко не единственная научная проблема, требующая решения. Для исключения повреждений зерна необходимо знать, что происходит в области контакта (рисунок 3.32) и на основании этого ввести дополнительные допущения и ограничения.

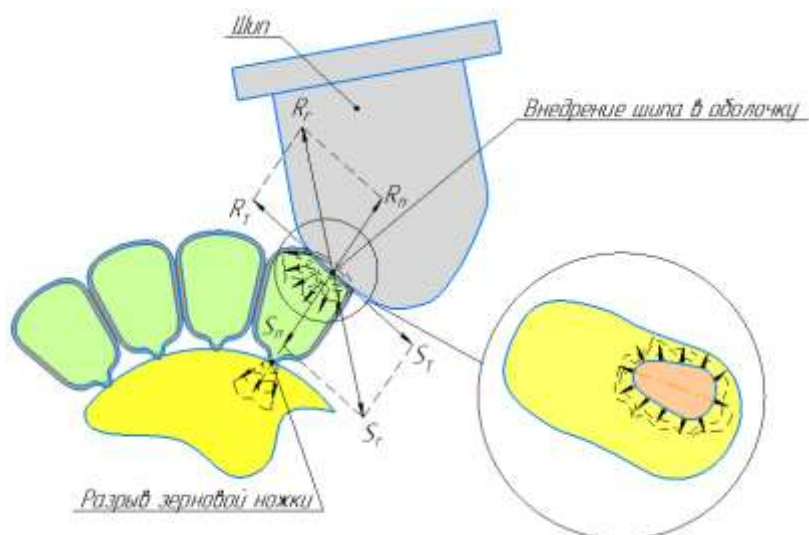
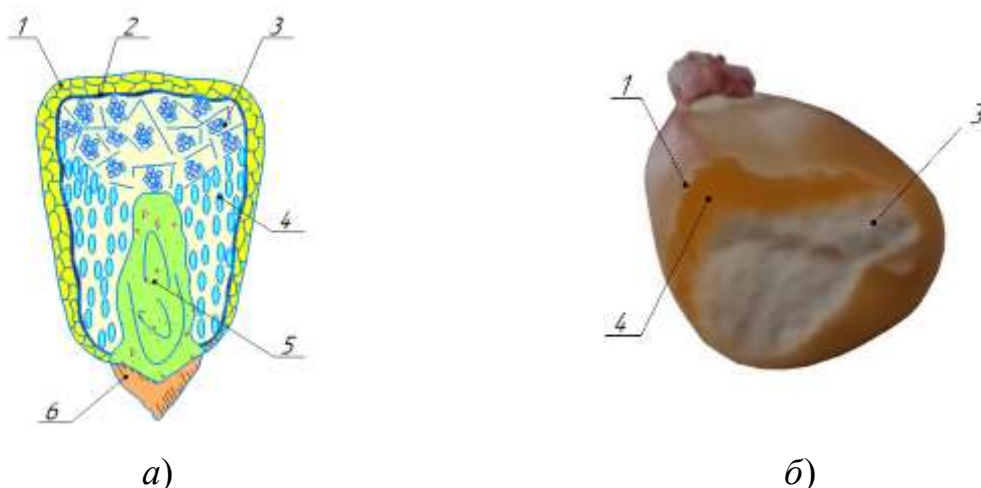


Рисунок 3.32 – Графическая интерпретация продольной и поперечной деформации защитной плодовой оболочки в зоне контакта с фасонным шипом

В процессе удара початка о шипы МСУ происходит локальная объемная деформация защитной оболочки зёрен. При критических значениях данной деформации образуются макро- и микроповреждения зерна, поэтому важно знать, как в трехмерном пространстве в области деформации оболочки распределяются напряжения, давление и колебания, а также как на механическое возмущение реагируют ткани внутри самой оболочки.

Для описания ударных явлений была определена опорная упрощенная структура строения зерна кукурузы как ударяемого объекта (рисунок. 3.33).

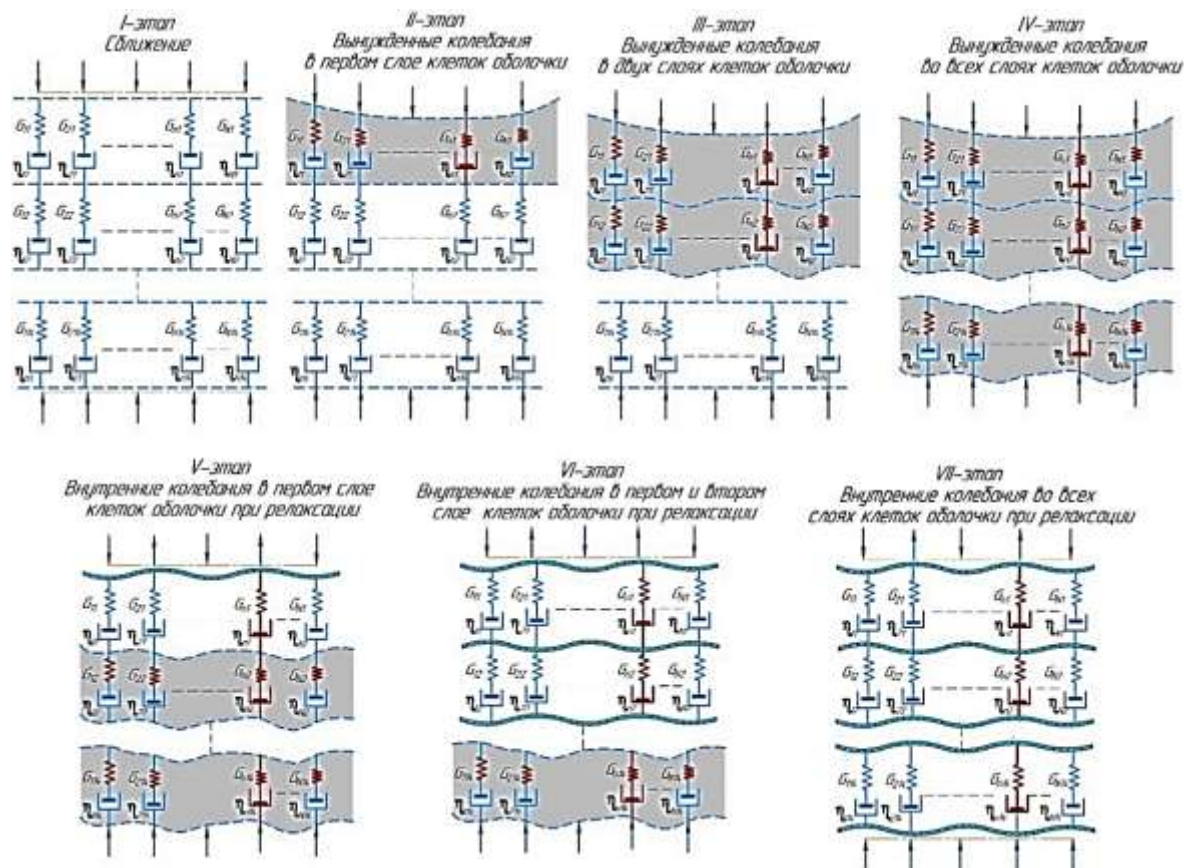


*a* – схема; *б* – фото; 1 и 2 – плодовая и семенная оболочки, соответственно; 3 и 4 – мучнистый и стекловидный эндосперм, соответственно; 5 – зародыш; 6 – основание

Рисунок 3.33 – Базовая структура строения зерна кукурузы для изучения волновых явлений при ударе

В результате представления каждого слоя клеток защитной оболочки зерна как упруговязкого тела Максвелла предложена модель распространения ударных волн в оболочке (рисунок 3.34).

Модель визуализирует упругие и пластические деформации тканей в клетках оболочки и формирование волнового фронта.

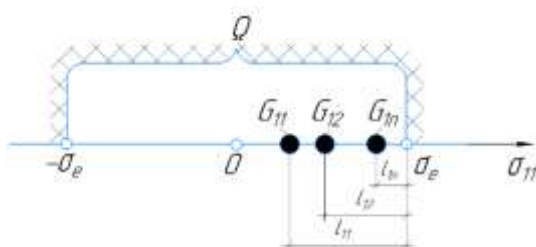


$G_{11} \dots G_{N14}$  и  $\eta_{11} \dots \eta_{N14}$  – модули упругости и вязкость элементов в слоях клеток плодовой оболочки, соответственно

Рисунок 3.34 – Этапы распространения ударных волн в упруговязкой оболочке зерна кукурузы

Поскольку поверхность шипов МСУ фасонной формы, то деформация оболочки в разных точках области контакта разная. Возникает сложное напряженное состояние [270-276]. В одних точках упругая и пластическая деформация достигает экстремума, а в других она значительно меньше. Кроме того, ударная волна (вынужденное колебание) ударным фронтом проходит последовательно, через каждый слой клеток оболочки (рисунок 3.34, этап II–IV) и уходит через ткани эндосперма к геометрическому центру зерна, вибрации которого предаются основанию зерна и всем тканям стержня початка. Также

последовательно происходит релаксация упругих тканей оболочки (рисунок 2.34, этап *V–VII*). При этом пластичные ткани остаются деформированными, а упругие возвращаются в первоначальное положение. Кроме того, даже в пределах одного слоя клеток оболочки релаксация упругих тканей в различных точках поверхности контакта по-разному растянута во времени, что связано с разной степенью приближения к границе упругости (рисунок 3.35).



$Q$  – граница упругости;  $\pm\sigma_e$ , – координаты границы упругости на оси напряжений;  
 $G_{11}$ ,  $G_{12}$ ,  $G_{1n}$  – состояние разных точек упругих тканей оболочки, соответствующее  
 $II$  – этапу распространения ударных волн в упруговязкой оболочке зерна кукурузы  
(рисунок. 3.34);  $l_{11} \dots l_{1n}$  – приближение к границе упругости

Рисунок 3.35 – Граница упругости материала оболочки зерна кукурузы в виде одноосного напряженного состояния

В результате в оболочке генерируются собственные колебания и если в этот момент по зерну ударить еще раз, например, лопастью ротора по свободному зерну, то возникает вероятность резонансных явлений, способствующих разрушению оболочки зерна. Это указывает на необходимость скорейшей эвакуации обмолоченного зерна из зоны активного действия рабочих органов МСУ.

Ударная волна не локализуется только в оболочке, она в виде объемного поля (рисунок 3.36) проходит мучнистый и стекловидный эндосперм (рисунок 3.33), достигая геометрического центра зерна (рисунок 3.37), а затем через основания зерна проникает в ткани стержня початка (рисунок 3.38).

Геометрический центр зерна, как и оболочка, колеблется в пространстве значительно дольше, чем длился сам удар, и эти колебания могут резонировать с колебаниями стержня. В результате зерно будет отделяться более эффективно. Явление перспективно и требует отдельного изучения. Ударная волна, проникнув в стержень початка, распространяется вдоль его твердых тканей и

может разрывать связь стержня с зернами на значительном удалении от ударяемого зерна.



Рисунок 3.36 – Распространение ударной волны в теле зерна

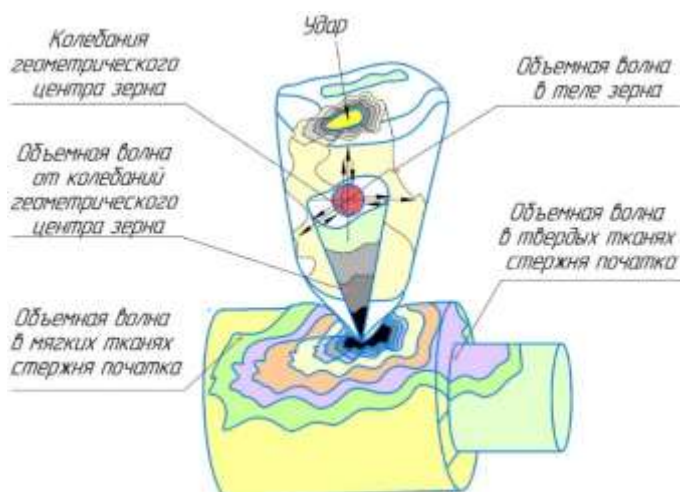


Рисунок 3.37 – Вибрация геометрического центра зерна под действием ударной волны, переходящей в ткани стержня початка



Рисунок 3.38 – Структура поперечного сечения початка кукурузы

Следовательно, необходимо определить такие условия удара, при которых волновые явления в тканях зерна и тканях стержня способствовали обмолоту, но

не разрушали ткани оболочки, эндосперм и зародыш зерна. Эти условия характеризуются закономерностями смещения геометрического центра зерна от положения равновесия, как частицы упруговязкой среды.

Геометрический центр зерна под действием продольной и поперечной ударной волны совершает вынужденные затухающие пространственные колебания (рисунок 3.39).

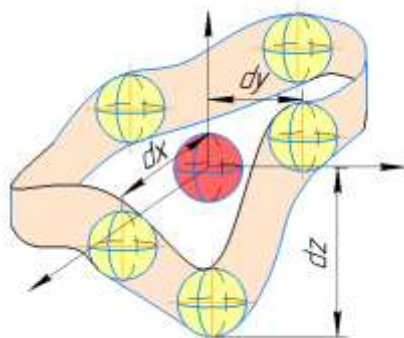


Рисунок 3.39 – Пространственные вынужденные колебания геометрического центра зерна

Перемещения  $dx$ ,  $dy$ , вызванные поперечной ударной волной, приводят к смещению смежных зерен, находящихся в плотном контакте с ударяемым зерном. Перемещения  $dz$  вызваны продольной ударной волной и способствуют разрыву связи зерна со стержнем, а также приводят к вибрациям плотных тканей стержня и отделению зерен на значительном удалении от ударяемого зерна.

Очевидно, что описанные выше явления неразрывно связаны не только со строением зерна, но и со значением ударного импульса, вызванного действием рабочего органа. Следовательно, целесообразно ввести следующее дополнительное допущение.

6. Ударный импульс может так действовать на оболочку, что в ней не будут оставаться остаточные деформаций, но при этом геометрический центр зерна под действием ударной волны будет осуществлять продольные и поперечные колебания в пределах, способствующих разрушению связи зерна со стержнем.

Вышеописанные допущения реализуются в виде математических моделей, производительности МСУ и затрат мощности на поэтапный обмолот, учитывающих связь скорости перемещения початка в молотильной камере и силы удара зерна о фасонный шип.

### 3.11 Теоретическое исследование энергоёмкости процесса поэтапного обмолота початков семенной кукурузы

Комплект технических средств для поэтапного обмолота початков кукурузы (рисунок 3.16 и 3.17) — это ПТЛ, поскольку состоит из нескольких механизмов, расставленных в строго определённой последовательности, объединённых по месту времени и назначению. Энергоёмкость поэтапного обмолота в предложенном комплекте характеризуется выражениями (1.1) и (3.15). Исходя из этого, теоретическое дополнение должно отражаться в выражениях по определению производительности ПТЛ и мощности, расходуемой на обмолот.

Производительность предложенного аксиально-роторного МСУ ограничивается пропускной способностью СРД в зоне основного обмолота. При этом должен обеспечиваться принцип согласованности механизмов линии в виде условий [70, 71, 116, 120, 121]:

$$Q_{СОЗ} \leq Q_{МСУ} \text{ при } \begin{cases} Q_{НЭО} \leq Q_{ОЭО} \\ Q_{ОЭО} = Q_{ДОМ} \end{cases}, \quad (3.83)$$

где  $Q_{СОЗ}$  — производительность комплекта оборудования в зоне первичного этапа обмолота, т/ч;

$Q_{МСУ}$  — производительность аксиально-роторного МСУ, т/ч;

$Q_{НЭО}$  — производительность СРД в зоне начального этапа обмолота, т/ч;

$Q_{ОЭО}$  — производительность СРД в зоне основного этапа обмолота, т/ч;

$Q_{ДОМ}$  — производительность СРД в зоне домолота, т/ч.

Поскольку процесс поэтапного обмолота початков кукурузы предполагает однослойное движение початков в молотильной камере, то в общей форме производительность СРД в любой зоне обмолота МСУ может быть представлена следующим опорным выражением [38, 42, 64, 116, 126, 277-285]:

$$Q_{ОЭО} = 3600 \cdot \pi \cdot (R_o^2 - R_p^2) \cdot v_{ОП} \cdot \theta_{КО} \cdot \gamma_{ПК} \cdot k_{\gamma_{СРД}}, \quad (3.84)$$

где  $R_o$  — радиус внутренней поверхности деки, м;



$R_p$  – радиус основного цилиндра ротора, на котором по винтовой линии закреплена лопасть, м;

$v_{оп}$  – скорость перемещения початков относительно оси ротора, м/с;

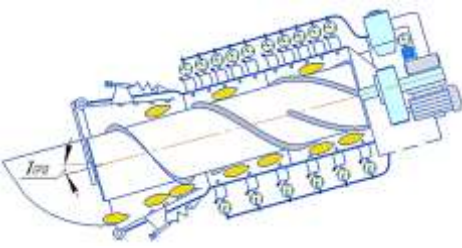
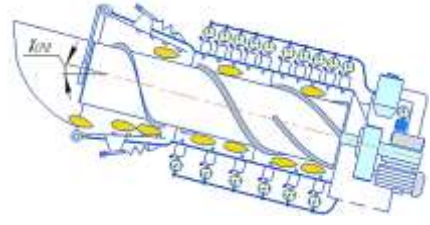
$\theta_{КО}$  – коэффициент заполнения камеры обмолота;

$\gamma_{ПК}$  – объемный вес насыпи початка кукурузы т/м<sup>3</sup> (**Приложение Г**);

$k_{\gamma_{срд}}$  – эмпирический коэффициент, учитывающий угол наклона СРД в аксиально-роторном МСУ относительно горизонта  $\gamma_{срд}$ , подобно винтовой транспортирующей машине [277 - 285].

В соответствии с исследованиями Александрова М.П., Додонова В.П. Моргачева В.Л. и др. по винтовым транспортирующим машинам [277, 285, 286], эмпирический коэффициент  $k_{\gamma_{срд}}$  предлагается выбирать по таблице 3.12.

Таблица 3.12 – \*Значения эмпирического коэффициента  $k_{\gamma_{срд}}$

Схема №1	Показатель	Угол наклона				
		$\gamma_{срд}$	0°	5°	10°	15°
	$\gamma_{срд}$	0°	5°	10°	15°	20°
	$k_{\gamma_{срд}}$	1,0	0,9	0,8	0,7	0,65
Схема №2	Показатель	Угол наклона				
		$\gamma_{срд}$	0°	5°	10°	15°
	$\gamma_{срд}$	0°	5°	10°	15°	20°
	$k_{\gamma_{срд}}$	1,0	1,1	1,2	1,3	1,35

\*В данных рамках исследований использовалась схема №2

**Дополнение №1** в выражение (3.84). Площадь поперечного сечения рабочего зазора СРД частично заполнена фасонными шипами прижатые пневмоподушками. Здесь целесообразно ввести понятие удельное количество фасонных шипов, то есть количество шипов, распределённых по длине

окружности внутренней поверхности деки в поперечном сечении рабочего зазора СРД:

$$z_{\PhiШ}^y = \frac{2 \cdot \pi \cdot R_d}{t_{\PhiШ}}, \quad (3.85)$$

где  $z_{\PhiШ}^y$  – удельное количество фасонных шипов, шт.;

$t_{\PhiШ}$  – диаметральный шаг расстановки шипов на деке, м.

Согласно (3.71) площадь поперечного сечения одного фасонного шипа

$$S_{\PhiШ}^{\Pi} = 2 \cdot \left( \frac{ad_{зк}^3}{3} + \frac{bd_{зк}^2}{2} + cd_{зк} \right). \quad (3.86)$$

Тогда, площадь поперечного сечения СРД, заполненная шипами равна:

$$S_{СРД}^{\PhiШ} = \frac{4 \cdot \pi \cdot R_d}{t_{\PhiШ}} \cdot \left( \frac{ad_{зк}^3}{3} + \frac{bd_{зк}^2}{2} + cd_{зк} \right). \quad (3.87)$$

Исходя из этого (3.84) примет вид

$$Q_{оэо} = 3600 \cdot \left( \pi \cdot (R_d^2 - R_p^2) - S_{СРД}^{\PhiШ} \right) \cdot v_{оп} \cdot \theta_{ко} \cdot \gamma_{пк} \cdot k_{\gamma_{срд}}. \quad (3.88)$$

**Дополнение №2** в выражение (3.84). Согласно теории И.Ф. Василенко [287] и теории И.Н. Гурова [38] теоретическая скорость обмолота определяется моделью:

$$v_{обм} = \frac{1}{(1 - k_e) \cdot \cos \Theta} \sqrt{\frac{2 \cdot A_{\max}}{m}}, \quad (3.89)$$

где  $v_{обм}$  – скорость обмолота, м/с;

$k_e$  – коэффициент восстановления зерна (**Приложение Г**);

$\Theta$  – угол между направлением удара и осью зерна, град;

$A_{\max}$  – работа выделения зерна, Дж;

$m$  – массовая характеристика зерна, Нс<sup>2</sup>/м.

По своей физической сути скорость обмолота наиболее прочно удерживаемых зерен в початке  $v_{обм}$  – это скорость удара зерна о фасонный шип при движении початка с окружной скоростью ротора. При этом осевая скорость перемещения початков в рабочем зазоре СРД будет отличаться от

$v_{ОБМ}$  и зависимость от угла наклона винта относительно продольной оси ротора  $\psi$  и проскальзывания початка по ротору от действия шипов деки.

Конструкция бионически обоснованных фасонных шипов обеспечивает условие, при котором  $\Theta$  будет не менее  $\Delta\varphi$ , причем удар осуществляется по початку в целом тогда (3.89) примет вид:

$$v_{ОБМ} = \frac{1}{(1 - k_{\epsilon}) \cdot \cos \Delta\varphi} \sqrt{\frac{2 \cdot A_{\max}}{m_{II}}}, \quad (3.90)$$

где  $\Delta\varphi$  – среднеинтегральная угловая разница (таблица 3.11), град;

$m_{II}$  – массовая характеристика системы ротор-початок приведенная к точке соударения, Нс<sup>2</sup>/м (определяется на основании исследований Курасова В.С [116]).

Работа выделения зерна определяема на основании НУ силового воздействия при поэтапном обмолоте с учетом особенностей естественной системы защиты зерна в початке кукурузы. Дополнительно к этому вводятся следующие пояснения:

- початок кукурузы – это тело цилиндрической формы, совершающее малые несвободные перемещения во время удара о шип;
- зерно в початке – это объемное тело, закрепленное в упругий слой поверхности стержня, обладающий постоянной жесткостью;
- початок и зерно при ударе о фасонный шип совершают разнонаправленные вращательно-колебательные движения;
- при ударе о шип зерно погружается в упругий слой действием нормальной составляющей ударного импульса;
- колебания стержня початка и зерна происходят в противофазе;
- удар зерна о фасонный шип действует в нормальном и тангенциальном направлении;
- направление удара соответствует ранее установленному среднеинтегральному значению  $\Delta\varphi$ .

Следовательно,

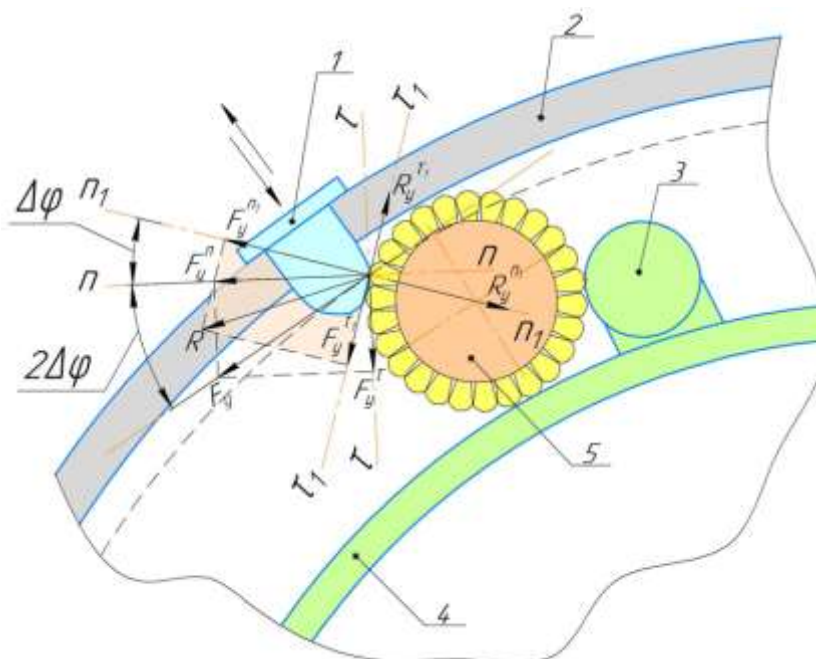
$$A_{\max} = A_{\text{шн}} + A_{\text{шт}}, \quad (3.91)$$

где  $A_{\text{шн}}$  – работа нормальной составляющей силы удара по погружению зерна в тело стержня на  $[h]$ , деформации оболочки зерна на  $[l_{об}]$  и созданию нормально направленной ударной волны, вызывающей колебания стержня початка и закрепленного на нем зерна, Дж;

$A_{\text{шт}}$  – работа тангенциальной составляющей силы удара по отклонению единичного зерна в участке смежных зерен на угол  $[\varphi]$  и созданию касательно направленной ударной волны, вызывающей колебания стержня початка и закрепленного на нем зерна, Дж.

Початок, перемещаясь навивкой ротора в рабочем зазоре СРД ударяется о фасонные шипы (рисунок 3.40), происходит динамическое контактное сжатие, при этом скорость удара такова, что шип еще только начинает перемещаться, вдавливаясь в пневмоподушку, а в початке и зерне уже возникает ряд обмолачивающих деформаций (рисунок 3.10):

- прогиб оболочки зерна  $l_{об}$  в момент удара конкретного зерна о шип;
- вдавливание контактирующего зерна в тело стержня на величину  $h$ ;
- отклонение оси контактирующего зерна от своего нормального положения на угол  $\varphi$ .



1 – подвижный фасонный шип деки; 2- фрагмент деки; 3 – прутковая навивка ротора;  
4 – фрагмент цилиндра ротора; 5 – початок

Рисунок 3.40 – К определению направления действующих сил в рабочем зазоре СРД при соударении початка о подвижные фасонные шипы деки

Следовательно,

$$A_{\max} = F_y^{n1} \cdot [h] + F_y^{n1} \cdot [l_{об}] + F_y^{\tau1} \cdot l_3 \cdot \operatorname{tg}[\varphi] + A_{кнз} \quad (3.92)$$

где  $F_y^{n1}, F_y^{\tau1}$  – нормальная и касательная составляющая силы удара зерном в

початке о шип, Н;

$l_3$  – высота зерна по таблице 2.1;

$A_{кнз}$  – работа, расходуемая на колебание початка и зерна, закрепленного к стержню Дж.

Тогда,

$$v_{ОБМ} = \frac{1}{(1-k_6) \cdot \cos \Delta\varphi} \sqrt{\frac{2 \cdot (F_y^{n1} \cdot [h] + F_y^{n1} \cdot [l_{об}] + F_y^{\tau1} \cdot l_3 \cdot \operatorname{tg}[\varphi] + A_{кнз})}{m_{\Pi}}} \quad (3.93)$$

Исходя из этого,

$$\begin{aligned} v_{ОП} &= \xi_{\Pi} \cdot \cos \psi \cdot v_{ОБМ} = \\ &= \frac{\xi_{\Pi} \cdot \cos \psi}{(1-k_6) \cdot \cos \Delta\varphi} \sqrt{\frac{2 \cdot \zeta \cdot (F_y^{n1} \cdot [h] + F_y^{n1} \cdot [l_{об}] + F_y^{\tau1} \cdot l_3 \cdot \operatorname{tg}[\varphi] + A_{кнз})}{m_{\Pi}}} \end{aligned} \quad (3.94)$$

где  $\xi_{\Pi}$  – эмпирический коэффициент проскальзывания початка вдоль винтовой лопасти ротора;

$\psi$  – угол подъема винтовой лопасти ротора, град;

$\zeta$  – поправка на среднеинтегральное значение допустимых перемещений.

**Дополнение №3** в выражение (3.84). Заполнение камеры обмолота початками, выраженное в виде  $\theta_{КО}$ , зависит от захватывающей способности ротора в зоне начального обмолота и ограничено условием отдельного поштучного перемещения початков в рабочем зазоре СРД. Захватывающая способность ротора при аксиальной подаче початков характеризуется временем, затраченным на захват. Сам захват можно описать как элементарную операцию со случайной длительностью подчиненной экспоненциальному закону распределения. Предположение об экспоненциальном распределении длительности захвата связано с разнообразием размерно-массовых характеристик початков. Тогда, коэффициент заполнения камеры обмолота предлагается определять из математической модели:

$$\theta_{KO} = \frac{V_{KK}}{V_{Lp(III)}} \cdot (1 - e^{-n_{pom}}), \quad (3.95)$$

где  $V_{KK}$  – объем клиновой камеры в начале нижней полудеки для входа початков в зону захвата ротором (рисунок 3.15), м<sup>3</sup>;

$V_{Lp(III)}$  – свободный объем камеры основного обмолота, м<sup>3</sup>;

$n_{pom}$  – частота вращения ротора, с<sup>-1</sup>.

Исходя из этого (3.88) примет вид:

$$Q_{OZO} = 3600 \cdot (\pi \cdot (R_o^2 - R_p^2) - S_{CPD}^{\Phi III}) \times$$

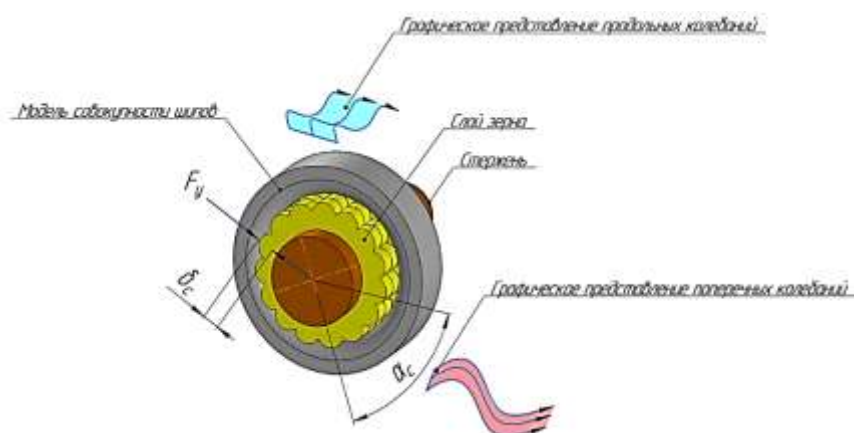
$$\times \frac{\xi_{II} \cdot \cos \psi}{(1 - k_g) \cdot \cos \Delta \varphi} \sqrt{\frac{2 \cdot \zeta \cdot (F_y^{n1} \cdot [h] + F_y^{n1} \cdot [l_{об}] + F_y^{\tau 1} \cdot l_z \cdot tg[\varphi] + A_{кнз})}{m_{II}}} \times \quad (3.96)$$

$$\times \frac{V_{KK}}{V_{Lp(III)}} \cdot (1 - e^{-n_{pom}}) \cdot \gamma_{ПК} \cdot k_{\gamma_{CPD}}.$$

Математическое описание колебательных процессов в початке кукурузы требует введения следующего ряда упрощений и допущений:

- закономерности колебания початка и зерна, прикрепленного к нему, характеризуются затраченной механической работой;
- колебания являются затухающими;
- початок находится под многократным ударным воздействием;
- початок и зерно колеблются без достижения резонанса;
- продольные и поперечные деформации распространяются в перпендикулярных плоскостях;
- максимально возможный диапазон области распространения деформации в поперечном сечении початка составляя  $-\pi/2 \dots \pi/2$ ;
- продолжительность единичного локального воздействия не превышает времени удара ( $0 \dots T_{y\delta}$ );
- амплитуда колебаний определима из конструктивных особенностей МСУ, а также НУ дифференцирования силового воздействия в рамках естественной защиты зерна в початке от чрезмерных механических повреждений;

- реальное взаимодействие початка и шипов в МСУ можно описать упрощенной моделью действия совокупности шипов на стержень початка через прокладку из зерна (рисунок 3.41).



$\delta_c$  – деформация початка;  $\alpha_c$  – область распространения деформации

Рисунок 3.41 – Модель взаимодействия МСУ и початка, вызывающего продольные и поперечные колебания

В соответствии с ранее описанными допущениями  $\delta_c$  выражается как сумма радиальных деформации при вдавливании зерна в стержень  $\delta_{c1}$  ( $0 \dots [h]$ ) и поперечных деформации  $\delta_{c2}$  в области контакта (поперечное распространение объемной волны, представленной на рисунках 3.32 и 3.36):

$$\delta_c = \delta_{c1} + \delta_{c2}. \quad (3.97)$$

Наложение деформаций графически интерпретируется рисунком 3.42.

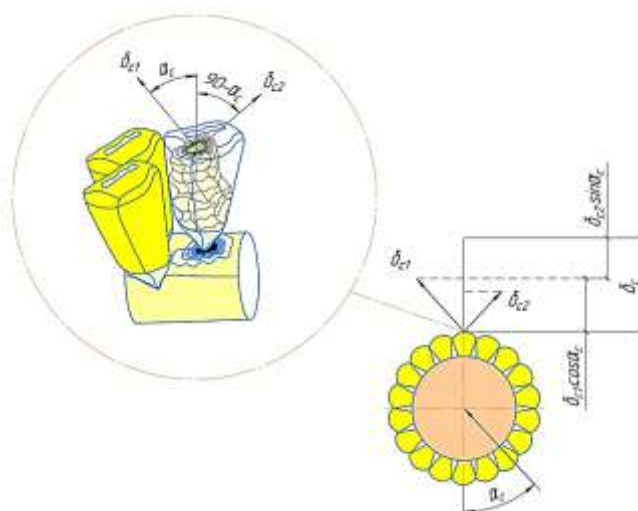


Рисунок 3.42 – Графическая интерпретация наложения деформаций, вызывающих колебания початка

Частота ударов по початку  $f_y$  выражается формулой:

$$f_y = n_{\text{ром}} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot R_d}{t_{\text{фш}}} \quad (3.98)$$

Тогда, деформация в пределах  $\alpha_c$ :

$$\delta_c = e^{-pt} (\Delta_{\text{кк}} \cdot \sin(2\pi f_y t) \cdot \cos \alpha_c + \Delta_{\text{кз}} \cdot v_1 \cdot \cos(2\pi f_y t) \cdot \sin \alpha_c), \quad (3.99)$$

где  $\Delta_{\text{кк}}$  – амплитуда колебаний початка;

$\Delta_{\text{кз}}$  – амплитуда колебаний зерна;

$t$  – координата времени;

$p$  – коэффициент затухания, который зависит от свойств материала и его массы;

$v_1$  – коэффициент Пуассона защитной плодовой оболочки зерна.

Дальнейшей перспективой углубления данного прикладного момента является определение условий, когда частота собственных и вынужденных колебаний початка войдут в резонанс, что достижимо посредством подбора частоты вращения ротора и количества шипов.

Работа, расходуемая на колебание початка:

$$A_{\text{кк}} = F_y^n \cdot \delta_c = \int_t \int_{\alpha_c} F_y \cdot \cos \varphi' \cdot \delta_c \, dt d\alpha_c \quad (3.100)$$

где  $\varphi'$  - угловое отклонение от условий прямого центрального удара.

Первый этап решения (3.100) имеет вид:

$$\begin{aligned} A_{\text{кк}} &= \int_t \int_{\alpha_c} \left( F_y \cdot \cos \varphi' \cdot \left( e^{-pt} \cdot (\Delta_{\text{кк}} \cdot \sin(2\pi f_y t) \cdot \cos \alpha_c + \Delta_{\text{кк}} \cdot v_1 \cdot \cos(2\pi f_y t) \cdot \sin \alpha_c) \right) \right) dt d\alpha_c = \\ &= F_y \cdot \cos \varphi' \cdot \Delta_{\text{кк}} \int_0^{T_{\text{уд}}} e^{-pt} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \left( \sin(2\pi f_y t) \cdot \cos \alpha_c + v_1 \cdot \cos(2\pi f_y t) \cdot \sin \alpha_c \right) dt d\alpha_c = \\ &= 2F_y \cdot \cos \varphi' \cdot \Delta_{\text{кк}} \int_0^{T_{\text{уд}}} e^{-pt} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left( \sin(2\pi f_y t) \cdot \cos \alpha_c + v_1 \cdot \cos(2\pi f_y t) \cdot \sin \alpha_c \right) dt d\alpha_c = \quad (3.101) \\ &= 2F_y \cdot \cos \varphi' \cdot \Delta_{\text{кк}} \int_0^{T_{\text{уд}}} e^{-pt} \cdot \sin \alpha_c \cdot \sin(2\pi f_y t) - v_1 \cdot \cos \alpha_c \cdot \cos(2\pi f_y t) \Bigg|_0^{\frac{\pi}{2}} dt = \\ &= 2F_y \cdot \cos \varphi' \cdot \Delta_{\text{кк}} \int_0^{T_{\text{уд}}} e^{-pt} \cdot \left( \sin(2\pi f_y t) + v_1 \cdot \cos(2\pi f_y t) \right) dt. \end{aligned}$$

где  $T_{\text{уд}}$  – время удара, принимаем 0,0019...0,0035 с [157].



Тогда, второй этап решения (3.100) имеет вид:

$$A_{kc} = 2F_y \cdot \cos \varphi' \cdot \Delta_{kc} \cdot (J_1 + J_2 \nu_1) \Rightarrow \quad (3.102)$$

$$\begin{aligned}
 J_1 &= \int_0^{T_{y0}} e^{-pt} \cdot \sin(2\pi ft) dt = \left( \begin{array}{l} u = e^{-pt}, \quad du = -pe^{-pt} dt \\ dv = \sin(2\pi ft) dt \\ v = -\frac{1}{2\pi f} \cdot \cos(2\pi ft) \end{array} \right) = \\
 &= \frac{e^{-pt}}{2\pi f} \cdot \cos(2\pi ft) \Big|_0^{T_{y0}} - \frac{p}{2\pi f} \int_0^{T_{y0}} e^{-pt} \cdot \cos(2\pi ft) dt = \left( \begin{array}{l} u = e^{-pt}, \quad du = -pe^{-pt} dt \\ dv = \cos(2\pi ft) dt \\ v = \frac{1}{2\pi f} \cdot \sin(2\pi ft) \end{array} \right) = \\
 &= \frac{e^{-pT_{y0}} \cdot (1 - \cos(2\pi fT_{y0}))}{2\pi f} + \frac{p^2 e^{-pt}}{4\pi^2 f^2} \cdot \sin(2\pi ft) \Big|_0^{T_{y0}} - \frac{p^2}{4\pi^2 f^2} \int_0^{T_{y0}} e^{-pt} \cdot \sin(2\pi ft) dt \Rightarrow \\
 \Rightarrow J_1 &= \frac{e^{-pT_{y0}} \cdot (2\pi f \cdot (1 - \cos(2\pi fT_{y0})) + p \sin(2\pi fT_{y0}))}{4\pi^2 f^2 + p^2} \\
 J_2 &= \int_0^{T_{y0}} e^{-pt} \cdot \cos(2\pi ft) dt = \left( \begin{array}{l} u = e^{-pt}, \quad du = -pe^{-pt} dt \\ dv = \cos(2\pi ft) dt \\ v = \frac{1}{2\pi f} \sin(2\pi ft) \end{array} \right) = \\
 &= \frac{pe^{-pt}}{2\pi f} \cdot \sin(2\pi ft) \Big|_0^{T_{y0}} + \frac{p}{2\pi f} \int_0^{T_{y0}} e^{-pt} \cdot \sin(2\pi ft) dt = \left( \begin{array}{l} u = e^{-pt}, \quad du = -pe^{-pt} dt \\ dv = \sin(2\pi ft) dt \\ v = -\frac{1}{2\pi f} \cdot \cos(2\pi ft) \end{array} \right) = \\
 &= \frac{e^{-pT_{y0}} \cdot \sin(2\pi fT_{y0})}{2\pi f} + \frac{pe^{-pt}}{4\pi^2 f^2} \cdot \cos(2\pi ft) \Big|_0^{T_{y0}} - \frac{p^2}{4\pi^2 f^2} \int_0^{T_{y0}} e^{-pt} \cdot \cos(2\pi ft) dt \Rightarrow \\
 \Rightarrow J_2 &= \frac{e^{-pT_{y0}} \cdot (2\pi f \cdot \sin(2\pi fT_{y0}) + p \cdot \cos(2\pi fT_{y0}))}{4\pi^2 f^2 + p^2}
 \end{aligned}$$

Исходя из этого получена математическая модель работы, расходуемой на колебание початка (системы стержень-зерно):

$$A_{кк} = 2F_y \cdot \cos \varphi' \cdot \Delta_{кк} \cdot \left( \frac{e^{-pT_{y\delta}} \cdot (2\pi f \cdot (1 - \cos(2\pi fT_{y\delta})) + p \sin(2\pi fT_{y\delta}))}{4\pi^2 f^2 + p^2} + \frac{e^{-pT_{y\delta}} \cdot (2\pi f \cdot \sin(2\pi fT_{y\delta}) + p \cdot \cos(2\pi fT_{y\delta}))}{4\pi^2 f^2 + p^2} \cdot v_1 \right) = 2F_y \cdot \cos \varphi' \cdot \Delta_{кк} \cdot e^{-pT_{y\delta}} \times \frac{2\pi f \cdot (1 - \cos(2\pi fT_{y\delta})) + p \sin(2\pi fT_{y\delta}) + v_1 \cdot 2\pi f \cdot \sin(2\pi fT_{y\delta}) + v_1 \cdot p \cdot \cos(2\pi fT_{y\delta})}{4\pi^2 f^2 + p^2} \quad (3.102)$$

Представив часть полученного соотношения теоретико-эмпирическими коэффициентом  $B_{кк}$ , выражение (3.102) можно записать в виде:

$$A_{кк} = 2F_y^{n1} \cdot e^{-pT_{y\delta}} \Delta_{кк} \cdot B_{кк} \quad (3.103)$$

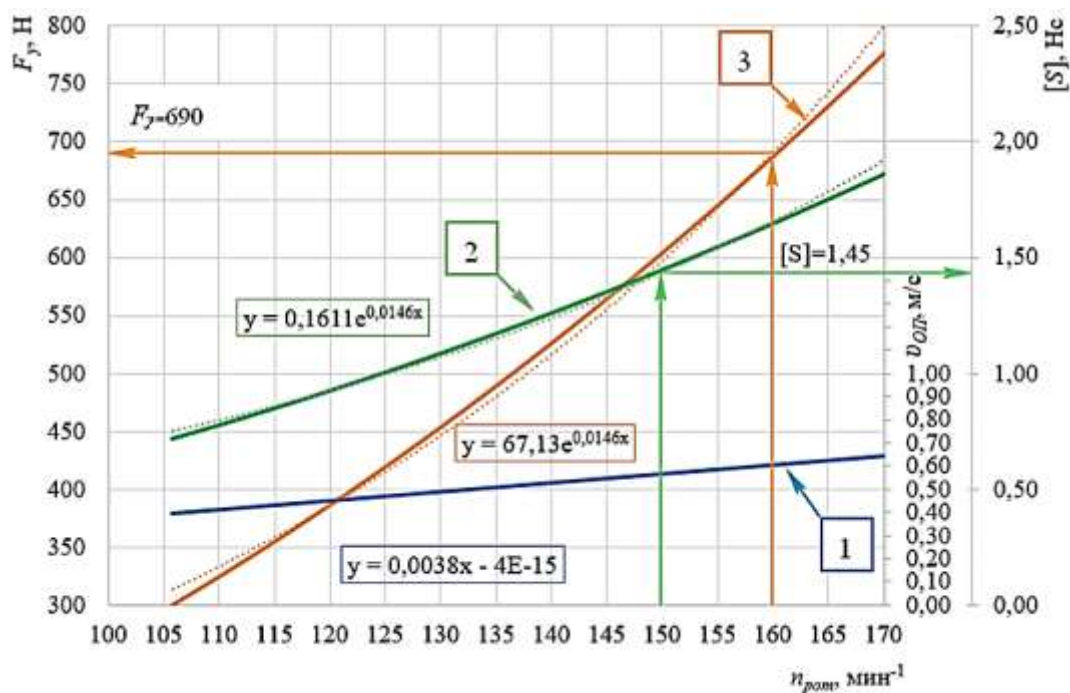
Выполняя аналогичные математические исчисления для зерна получена, математическая модель работы, расходуемой на колебание зерна  $A_{кз}$  закрепленного к стержню початка, с учетом сдвиг фаз  $\theta$  между колебаниями зерна и початка:

$$A_{кз} = 2F_y \cdot \cos \varphi' \cdot \Delta_{кз} \cdot e^{-pT_{y\delta}} \times \frac{2\pi f \cdot (1 - \cos(2\pi fT_{y\delta} + \theta)) + p \cdot \sin(2\pi fT_{y\delta}) + v_1 \cdot 2\pi f \cdot \sin(2\pi fT_{y\delta}) + v_1 \cdot p \cdot \cos(2\pi fT_{y\delta})}{4\pi^2 f^2 + p^2} \quad (3.104)$$

$$A_{кз} = 2F_y^{n1} \cdot e^{-pT_{y\delta}} \Delta_{кз} \cdot B_{кз}$$

$$A_{ккз} = A_{кк} + A_{кз} = 2F_y^{n1} \cdot e^{-pT_{y\delta}} \cdot (\Delta_{кк} \cdot B_{кк} + \Delta_{кз} \cdot B_{кз}) \quad (3.105)$$

Коэффициенты  $B_{кк}$  и  $B_{кз}$  требуют экспериментального исследования уточнения и дополнения, однако из (3.102 и 3.104) на основании аналитических исследований определимы их приближенные численные значения  $B_{кк} \approx 0,018 \dots 0,023$ ,  $B_{кз} \approx 0,002 \dots 0,003$ . При расчете  $A_{ккз}$  продолжительность удара  $T_{y\delta} = 0,0019 \dots 0,0035$  с,  $p = 40 \dots 55$  и время релаксации оболочки зерна кукурузы  $\tau \approx 10T_{y\delta}$  принято на основании исследований М.Ф. Рожковского и В.Н. Гончарова [157, 288]. В результате установлено, что при  $\Delta_{кк} = 3 \dots 10$  мм и  $\Delta_{кз} = 0,45$  мм работа на колебания не превышает 10% от работы на деформацию початка. Зная, что  $A_{ккз} = 0,1 \dots 0,3$  Дж, на основании (3.94) рассчитана  $v_{обм}$  и  $v_{оп}$  в условиях  $F_y = 300 \dots 800$  Н (рисунок 3.43).



— — теоретическая зависимость; ..... — аппроксимационная кривая;  
 1 — скорость осевого перемещения початков в секции основного обмолота;  
 2 — ударный импульс; 3 — ударное силовое воздействие шипами по защитной плодовой оболочке зерна кукурузы

Рисунок 3.43 – Зависимость скорости осевого перемещения початков и величины ударного силового воздействия шипами по защитной плодовой оболочке зерна от частоты вращения ротора

Из зависимости 3.43 видно, что при частоте 160 мин<sup>-1</sup> ударное силовое воздействие со стороны шипов деки на защитную плодовую оболочку достигает границы допустимых значений, при этом скорость осевого перемещения не превышает 0,64 м/с.

На основании (3.96) произведен расчет и определена зависимость теоретической производительности МСУ в зоне основного обмолота от частоты вращения ротора. Для расчета приняты следующие параметры:  $R_d = 0,21$  м,  $R_p = 0,16$  м;  $S_{срд}^{ФШ} = 0,0035$  м<sup>2</sup>;  $\zeta_{П} = 0,8$ ;  $\psi = 60...75$  град;  $k_v = 0,3$ ;  $\Delta\varphi = 14$  град;  $\zeta = 0,9$ ;  $F_y^{n1} = 300...500$  Н;  $F_y^{\tau1} = 150...300$  Н;  $[h] = 3$  мм;  $[l_{об}] = 0,45$  мм;  $[\varphi] = 12$  град;  $A_{кнз} = 0,1...0,3$  Дж;  $m_{П} = 0,8$  Нс<sup>2</sup>/м;  $V_{КК} = 0,00213$  м<sup>3</sup>;  $V_{Lp(ш)} = 0,0382$  м<sup>3</sup>;  $\gamma_{ПК} = 0,45$  т/м<sup>3</sup>;  $k_{срд} = 1,3$ .

Графическая интерпретация зависимости производительности МСУ в зоне основного обмолота от частоты вращения ротора представлена на рисунке 3.44.

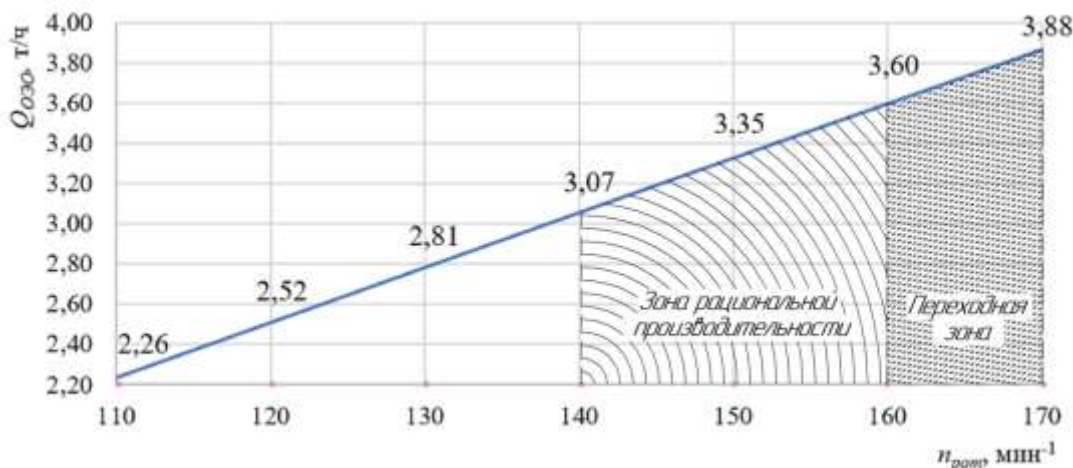


Рисунок 3.44 – Зависимость теоретической производительности МСУ в зоне основного обмолота от частоты вращения ротора

Мощность, расходуемая на привод ротора аксиально-роторного МСУ, может быть представлена следующей опорной математической моделью [11, 28, 38, 64, 71, 76, 116, 283, 287]:

$$N_{\text{ОБЩ}} = K_{\text{И}} \frac{N_{\text{Х-Х}} + N_{\text{ОБМ}}}{\eta_{\text{МП}}}, \quad (3.106)$$

где  $N_{\text{ОБЩ}}$  – мощность, расходуемая на привод ротора аксиально-роторного МСУ, кВт;

$K_{\text{И}}$  – коэффициент преодоления инерции при пуске;

$N_{\text{Х-Х}}$  – мощность, расходуемая на холостой ход, кВт;

$N_{\text{ОБМ}}$  – мощность, расходуемая на обмолот, кВт;

$\eta$  – КПД механизма привода.

Мощность, расходуемая на холостой ход, можно определить на основании общеизвестной формулы [116]:

$$N_{\text{Х-Х}} = \frac{0,3 \cdot 10^{-3} \cdot \omega_p + 0,68 \cdot 10^{-6} \cdot \omega_p^3}{102}, \quad (3.107)$$

где  $\omega_p$  – угловая скорость ротора,  $\text{с}^{-1}$ .

В.С. Курасов предлагает мощность, потребную на обмолот определять из обобщённого выражения [116]:

$$N_{\text{ОБМ}} = N_{\text{тр}} + N_{\text{деф}}, \quad (3.108)$$

где  $N_{\text{тр}}$  – мощность, расходуемая на создание обмолочивающих сил трения в рабочей камере СРД, кВт;

$N_{деф}$  – мощность, расходуемая на обмолачивающую деформацию всех початков в рабочей камере СРД, кВт.

В соответствии с функциональной зависимостью (3.14), для комплекта технических средств поэтапного обмолота початков кукурузы:

$$N_{ОБМ} = N_{Э12} + N_{мпЭ2} + N_{мпЭ3} + N_{мпЭ4} + N_{дефЭ}, \quad (3.109)$$

где  $N_{Э12}$  – мощность, затраченная на привод ОДЗА, кВт;

$N_{мпЭ2}$  – мощность, расходуемая на преодоление обмолачивающих сил трения в рабочей камере СРД на начальном этапе обмолота, кВт;

$N_{мпЭ3}$  – мощность, расходуемая на преодоление обмолачивающих сил трения в рабочей камере СРД на основном этапе обмолота, кВт;

$N_{мпЭ4}$  – мощность, расходуемая на преодоление обмолачивающих сил трения в рабочей камере СРД на этапе домолота, кВт;

$N_{дефЭ}$  – мощность, расходуемая на необходимую для обмолота деформацию початка посредством ударного воздействия в рабочей камере СРД, кВт.

Мощность, затраченная на вибрацию ОДЗА, определяется с учетом обеспечения требуемого значения вынуждающей силы вибропривода:

$$N_{Э12} = 10^{-3} \cdot \frac{F_{ВВ} \cdot v_{ОДЗА}}{\eta}, \quad (3.110)$$

где  $F_{ВВ} = m_{\Sigma} \cdot e_{\delta} \cdot \omega_{\delta}^2$  – необходимая для стабильной вибрации ОДЗА вынуждающая сила вибропривода, Н;

$m_{\Sigma}$  – масса дебаланса, кг;

$e_{\delta}$  – расстояние от центра вращения до центра масс дебаланса, м;

$\omega_{\delta}$  – угловая скорость вращения дебаланса, с<sup>-1</sup>;

$v_{ОДЗА}$  – окружная скорость приводного механизма ОДЗА, м/с;

$\eta$  – КПД привода,  $\eta=0,9 \dots 0,95$  [282-286].

Мощность, расходуемая на преодоление обмолачивающих сил трения в рабочей камере СРД на начальном этапе обмолота, выражается формулой:

$$N_{мпЭ2} = 10^{-3} \cdot Z_{ПВД} \cdot F_{ПВД}^T \cdot f_{\delta} \cdot v_{ОП}, \quad (3.111)$$

где  $Z_{пуд}$  – количество подвижных подпружиненных участков деки с шипами на начальном этапе обмолота, штук;

$F_{пуд}^T$  – нормальная составляющая сосредоточенной силы прижатия единичного початка со стороны подвижных подпружиненных участков деки с шипами, Н;

$f_{\partial з}$  – коэффициент трения скольжения зерна кукурузы по стали (таблица 2.7).

Мощность, расходуемая на преодоление обмолачивающих сил трения в рабочей камере СРД на основном этапе обмолота, выражается формулой:

$$N_{мпЭ3} = 10^{-3} \cdot Z_{осн}^{зи} \cdot F_{IIIб}^T \cdot \left( \frac{f_{\partial з} + f_{\partial с}}{2} \right) \cdot v_{оп}, \quad (3.112)$$

где  $Z_{осн}^{зи}$  – количество одновременно задействованных независимых фасонных шипов пневматических подушек деки в зоне основного обмолота, штук;

$F_{IIIб}^T$  – сила прижатия единичного початка одним независимым фасонным шипом пневмоподушки в зоне основного обмолота, Н;

$f_{\partial с}$  – коэффициент трения скольжения стержня початка кукурузы по стали (таблица 2.8).

Мощность, расходуемая на преодоление обмолачивающих сил трения в рабочей камере СРД на этапе домолота, выражается формулой:

$$N_{мпЭ4} = 10^{-3} \cdot Z_{дом}^{зи} \cdot F_{IIIм}^T \cdot f_{\partial с} \cdot v_{оп}, \quad (3.113)$$

где  $Z_{дом}^{зи}$  – количество одновременно задействованных независимых фасонных шипов пневматических подушек деки в зоне домолота, штук;

$F_{IIIм}^T$  – сила прижатия единичного початка одним независимым фасонным шипом пневмоподушки в зоне домолота, Н.

Мощность, расходуемая на необходимую для обмолота деформацию початка посредством ударного воздействия в рабочей камере СРД.

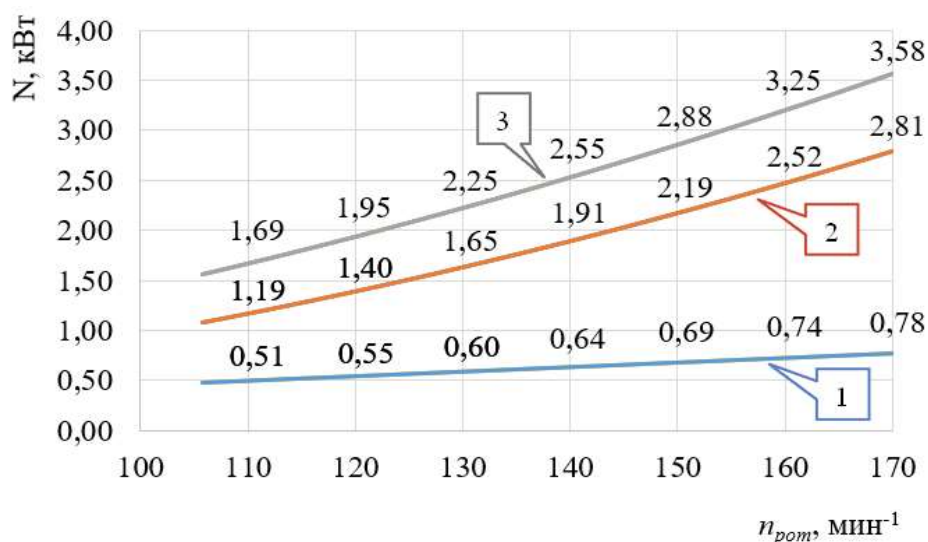
$$N_{дефЭ} = 10^{-3} \cdot Z_{э} \cdot \frac{(F_y^{n_1} \cdot [l_{об}] + F_y^{n_1} \cdot [h] + F_y^{\tau_1} \cdot l_3 \cdot tg[\varphi])}{T_{y\partial}}, \quad (3.114)$$

где  $Z_{э}$  – количество этапов обмолота, осуществляемых в МСУ, шт.

$F_y^{n_1}$  – нормальная составляющая силы удара поверхности шипа и зерна, в проекции системы координат, смещенной в точке контакта на  $\Delta\varphi$ , Н;

$F_y^{\tau_1}$  – тангенциальная составляющая силы удара поверхности шипа и зерна, в проекции системы координат, смещенной в точке контакта на  $\Delta\varphi$ , Н.

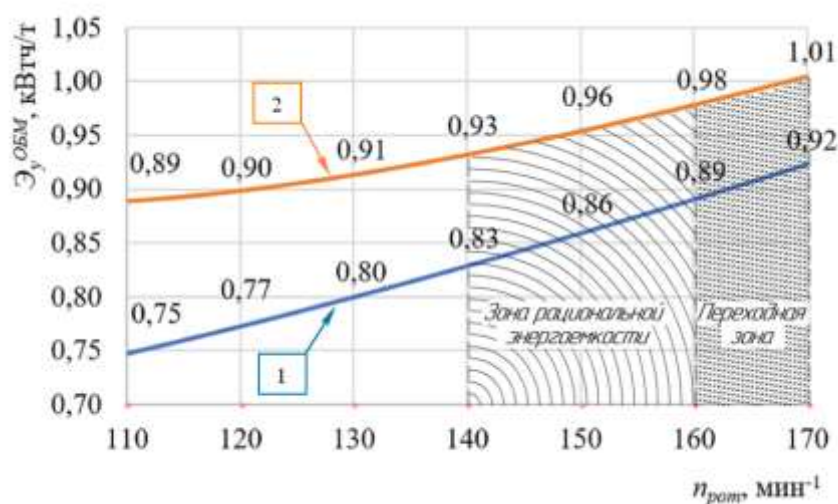
На основании (3.109) осуществлён расчет и определена зависимость затрат мощности на обмолот от частоты вращения ротора. Для расчета приняты следующие параметры:  $F_{\text{вс}} = 100$  Н;  $v_{\text{ОДЗА}} = 1 \dots 3$  м/с;  $\eta = 0,92$ ;  $F_{\text{ПВД}}^T = F_{\text{ШПб}}^T = F_{\text{ШПМ}}^T = 50 \dots 62$  Н;  $v_{\text{ОП}} = 0,40 \dots 0,64$  м/с;  $Z_{\text{ПВД}} = 1 \dots 4$  шт;  $Z_{\text{осн}}^{\text{шп}} = 24 \dots 40$  шт;  $Z_{\text{дом}}^{\text{шп}} = 14 \dots 28$  шт;  $Z_{\text{Э}} = 3$ . Графическая интерпретация зависимости затрат мощности на обмолот от частоты вращения ротора представлена на рисунке 3.45.



- 1 – мощность, расходуемая на создание обмолачивающих сил трения в рабочей камере СРД;
- 2 – мощность, расходуемая на обмолачивающую деформацию в рабочей камере СРД;
- 3 – полная мощность, расходуемая на обмолот

Рисунок 3.45 – Теоретическая зависимость затрат мощности на обмолот початков кукурузы от частоты вращения ротора

В соответствии с (1.1) и (3.15) на основании данных для построения теоретических зависимостей (рисунок 2.43 и 3.45) определена полная функция энергоёмкости процесса с учетом и без учета первичного этапа обмолота, графическая интерпретация которой приведена на рисунке 3.46.



1 – без учета первичного этапа обмолота; 2 – с учетом первичного этапа обмолота  
 Рисунок 3.46 - Теоретическая зависимость полной функции энергоёмкости процесса поэтапного обмолота от частоты вращения ротора

Поэтапный обмолот початков семенной кукурузы в предложенном комплексе технических средств, обеспечивающем дифференцированное силовое воздействие на зерно, математически моделируется и теоретически определяется в значениях факторов:

- допустимой силы удара зерном в початке о шип в интервале  $F_y = 300 \dots 700$  Н [13, 27-31, 38, 63, 116, 122, 164];

- фактической скорости ударного взаимодействия зерна и шипа  $v_{ОБМ} = 2,0 \dots 3,2$  м/с;

- скорости осевого перемещения початков в рабочем зазоре СРД  $v_{ОП} = 0,39 \dots 0,64$  м/с.

Вышеперечисленные значения факторов достигаются в интервале частот вращения ротора  $n_{рот} = 100 \dots 170$  мин<sup>-1</sup>.

В результате математически моделируются и теоретически определяются следующие значимые технологические параметры:

- рациональная частота вращения ротора  $n_{рот} = 140 \dots 170$  мин<sup>-1</sup>.
- рациональная производительность комплекса технических средств в интервале 3,07...3,88 т/ч;



– затраты мощности на обмолот при рациональной производительности  
 $N_{обм} = 2,55 \dots 3,58$  кВт;

– интервал рациональной энергоёмкости процесса поэтапного обмолота в МСУ  $\mathcal{E}_y^{ОБМ} = 0,83 \dots 0,92$  кВтч/т.

### **3.12 Перспективы дальнейших теоретических исследований процесса поэтапного обмолота початков кукурузы**

Дальнейшее развитие бионических методологий и подходов, а также их более глубокое интегрирование в область создания эффективных сельскохозяйственных машин позволит повысить уровень ресурсосбережения и энергоэффективности ряда технологий обработки урожая семенной кукурузы.

Развитие теоретических исследований процесса поэтапного обмолота початков кукурузы в вышеописанной интерпретации позволит на основании контактной проблемы Г. Герца описать множество наиболее вероятных вариантов площадок контакта основных рабочих органов молотильных устройств с поверхностью защитной плодовой оболочки зерна. В результате будет сформирована база данных по оптимизации размеров, формы и кривизны рабочей поверхности не только элементов деки, но и лопастей роторов, что будет способствовать созданию более совершенных СРД в стационарных условиях обмолота и в самоходных селекционных зерноуборочных комбайнах.

Дальнейший синтез контактной проблемы Г. Герца, волновой теории удара и теории тонких оболочек позволит создать установившуюся обобщённую систему научных знаний, основанную не только на внешних физических проявлениях систем обмолачивающих сил, но и на явлениях, протекающих на микроуровнях в тканях зерна подверженного воздействию данной системы сил.

Развитие исследований в направлении интерпретации процесса поэтапного обмолота как соединения внешних физических воздействий рабочими органами машин и внутренних реакций в живых тканях зерна кукурузы открывает перспективу углубленной оптимизации взаимодействия сложной системы:

рабочий орган технического объекта (сельскохозяйственной машины) → зерно (живой организм).

### **3.13 Выводы**

На основании обобщения вышеприведенной информации сделаны следующие выводы.

1. В технологии обработки початков семенной кукурузы при стационарной механизации переход от конвейерных погрузочно-перегрузочных и транспортных работ к перемещению початков и зерна в защитных контейнерах позволяет значительно снизить количество макро- и микроповреждений зерна, и как следствие сохранить природный потенциал урожайности семенного материала. Данный естественный потенциал можно считать ресурсом, требующим сбережения.

2. Во взаимосвязи механизированных процессов обработки початков семенной кукурузы функционирование комплекта оборудования для выполнения процесса поэтапного обмолота оказывает ключевое влияние на общее ресурсосбережение в контексте минимизации макро- и микроповреждений зерна.

3. В применяемой технологии обмолот является одним из основных процессов и являет собой переход от стадии обработки початков к стадии обработки обмолоченного зерна.

4. Организация процесса поэтапного обмолота початков кукурузы с забором из защитных контейнеров позволяет повысить организационно-технологическую эффективность процесса, выраженную критерием расстояния к цели в 2,5 раза. Данный показатель достигается за счет исключения из процесса операций с непрогнозируемыми эффектами, уменьшения количества машин согласуемых по производительности и минимизации макро- и микроповреждений зерна.

5. В комплекте оборудования для обмолота эффективное дифференцирование обмолачивающих сил удара и трения возможно при воздействии на початки, расположенные в рациональном пространственном положении относительно рабочих органов, что достигается применением ОДЗА, подающим початки из защитного контейнера в СРД параллельно оси ротора и при этом формирующим малые локальные участки разрушения целостности структуры в рядах зерен, (освобождение от зерна до 3% внешней поверхности початков). Совокупное воздействие на початки системы: защитный контейнер → ОДЗА → загрузочный лоток МСУ, является первичным этапом обмолота.

6. В рабочем зазоре СРД аксиально-роторного МСУ реализуется еще три этапа обмолота:

- начальный этап обмолота (увеличение количества и размера малых локальных участков разрушения целостности структуры в рядах зерен, освобождение от зерна до 15% внешней поверхности початков);

- основной этап обмолота (отделение от стержней початков до 90% всего зерна);

- этап домолота (отделение от стержней початков до 90% зерна, оставшегося после основного этапа обмолота).

7. Эффективное выполнение этапов обмолота в МСУ требует применения пневмоадаптивной деки с эффективными независимыми шипами фасонной формы. При этом, в соответствии с предложенным методом бионического обоснования, кривизна профиля фасонного шипа в двойном отношении линейных размеров составляет вурф равный 1,29. Для такого параметра базовый размер  $D_a$  находится в интервале (2,0...2,5)  $d_{зк}$  или 14...25 мм.

8. Для эффективного фасонного шипа угловая разница между нормальными, проведенными к касательным в точке контакта поверхности зерна кукурузы с рабочей поверхностью круглого и фасонного шипа, составляет  $\Delta\varphi=14,3^\circ$ . Исходя из этого, в равных условиях косоугольного удара о круглый и фасонный шип модуль и направление равнодействующей силы удара будет изменен в рациональную сторону пропорционально косинусу среднеинтегрального значения  $\Delta\varphi$ .

9. Шипы предложенной конструкции являясь рабочим элементом пневмоадаптивной деки аксиально-роторного МСУ, входящего в комплект поэтапного обмолота початков семенной кукурузы позволяют в пределах частоты вращения ротора  $100 \dots 170 \text{ мин}^{-1}$  обеспечить максимально допустимую силу удара по зерну не более  $300 \dots 700 \text{ Н}$ , что минимизирует макро- и микроповреждения зерна. При этом рациональная производительность комплекта технических средств находится в интервале  $3,07 \dots 3,88 \text{ т/ч}$ , затраты мощности на обмолот составляют  $2,55 \dots 3,58 \text{ кВт}$ , а энергоемкость процесса поэтапного обмолота не превышает  $0,83 \dots 0,92 \text{ кВтч/т}$ .

10. Развитие вышеописанного направления исследования способствует оптимизации технологии обработки початков семенной кукурузы на основе теории создания технических средств поэтапного обмолота.

## **ГЛАВА 4. ПРОГРАММА И МЕТОДОЛОГИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Экспериментальные исследования объединенного в технологическую линию комплекта, разработанных технических средств для осуществления поэтапного обмолота початков семенной кукурузы, направлены на практическое подтверждение теоретических результатов, их адекватности и оптимизацию конструктивно-технологических параметров аксиально-роторного МСУ, обеспечивающего минимум макро- и микроповреждений семенного зерна кукурузы при обмолоте.

В настоящее время интенсивно эволюционирует система экспериментальных данных по изучаемой тематике, которую основали и развили следующие ученые: В.П. Горячкин, Э.В. Жалнин, И.Н. Гуров, В.С. Курасов, И.А. Петунина, В.А. Сафонов, М.Н. Московский, И.Н. Кленин, Н.В. Алдошин, В.Е. Бердышев, В.С. Кравченко, И.В. Бумбар, Н.В. Брагинец, Н.В. Бышов, А.И. Ряднов, А.И. Купреенко, В.В. Никитин, Ю.А. Шекихачев, Е.В. Труфляк А.А. Золотов, К.В. Шатилов, Т.К. Тоганбаев, В.И. Корчагин, Ло-Эр-Чжень, Н.В. Сережина, Г.И. Креймерман, А.А. Золотов, В.М. Погосян, Е.Е. Самурганов, А.З. Цримов, Л.М. Хажметов., Кликович Рышард, Н.В. Калашникова, К.А. Степанов, Н.А. Бобриков, А.И. Грек [11-16, 19-22, 27-32, 38-42, 51, 53-56, 57-59, 67-78, 66-70, 116, 117, 126, 180, 189, 269, 287] и др. Методы проведения экспериментов, описанные вышеперечисленными учеными, использованы в данной работе.

### **4.1 Программа экспериментальных исследований**

Экспериментальные исследования проводились последовательно в соответствии с разработанной программой.

В укрупненной форме данная программа выражается следующими этапами.

Этап 1. Разработка и изготовление экспериментального комплекта технических средств для ориентирования в пространстве и поэтапного обмолота

початков семенной кукурузы. В комплект входит защитный бункер с откидным лотком и изменяющимся по высоте выгрузным окном, ОДЗА и аксиально-роторное МСУ с несколькими вариантами участков пневмоадаптивной деки:

- дека с подпружиненными шипованными участками;
- дека с продольными пневмоподушками;
- дека с поперечными пневмоподушками.

Этап 2. Подбор и расстановка комплекта контрольно-измерительного и регистрирующего оборудования.

Этап 3. Проведение лабораторных поисковых однофакторных экспериментов с последующим анализом и статистической обработкой результатов:

- определение рациональной толщины резиновой подошвы пневмоподушек аксиально-роторного МСУ с пневмоадаптивной декой;
- определение рациональных значений факторов подачи початков на обмолот и частоты вращения ротора, а также их корректировки по качественным показателям обмолота;
- изучение количества просыпавшегося обмолоченного зерна через прорези деки на каждом этапе обмолота;
- определение рационального количества шипов СРД.

Этап 4. Проведение лабораторных многофакторных экспериментов с последующим анализом и статистической обработкой результатов:

- определение оптимального с позиции минимизации энергоемкости процесса поэтапного обмолота сочетания наиболее значимых факторов: подачи початков на обмолот, частоты вращения ротора и количества шипов в секции основного обмолота;
- определение оптимального с позиции минимизации макро- и микроповреждений обмолоченного зерна сочетания наиболее значимых факторов: предварительного натяжения пружин в участках деки на начальном этапе обмолота, избыточного давления в пневмоподушках деки на этапах основного обмолота и домолота, а также угла наклона СРД относительно горизонта.

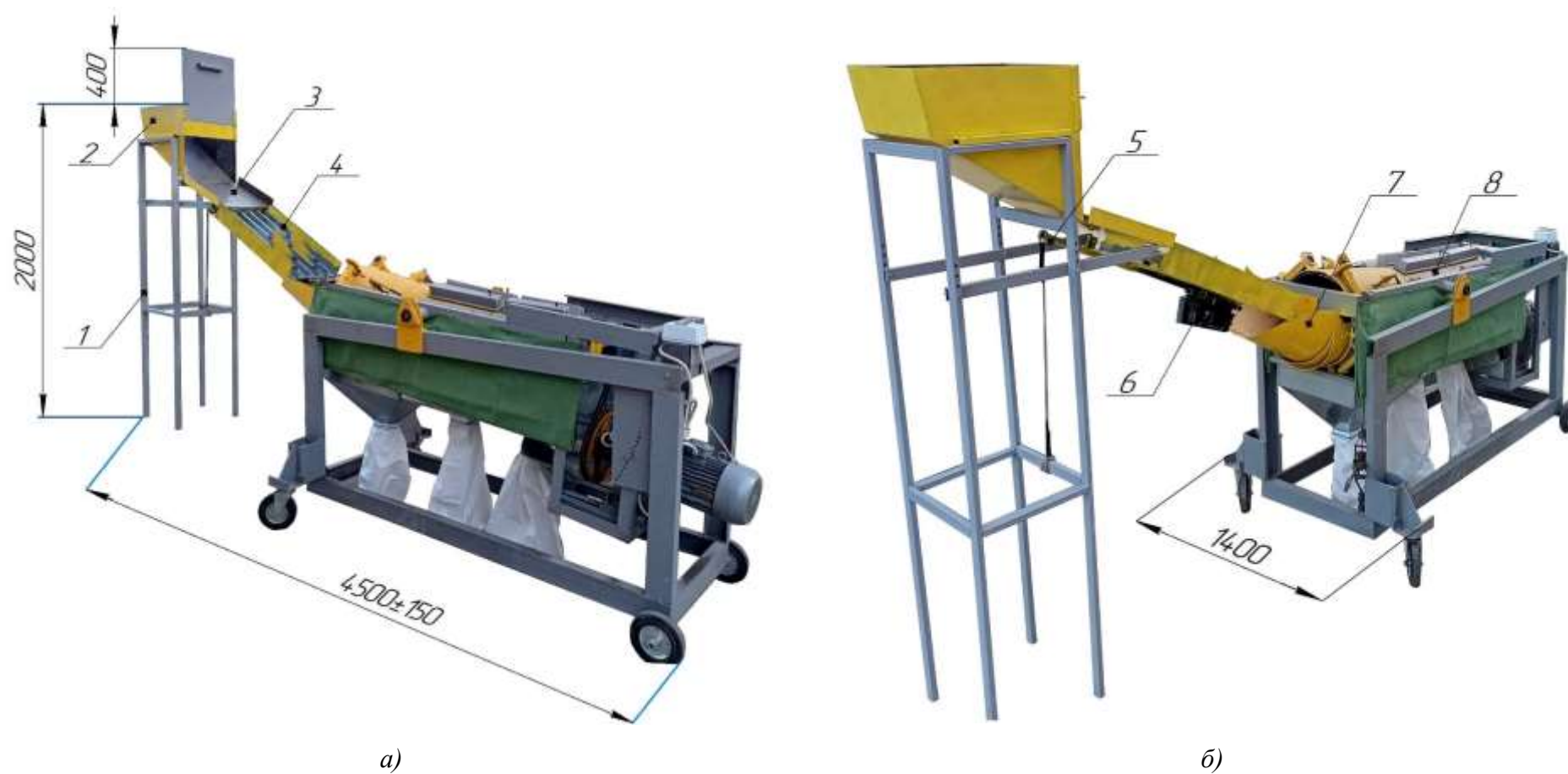
Этап 5. Проверка в условиях сертифицированной семенной лаборатории показателя всхожести зерна, обмолоченного в экспериментальном комплекте технических средств поэтапного обмолота початков семенной кукурузы на оптимальных режимах работы СОЗ и МСУ.

#### **4.2 Описание экспериментального оборудования**

Для проведения экспериментальных исследований был разработан комплект технических средств для ориентирования в пространстве и поэтапного обмолота початков семенной кукурузы (рисунок 4.1–4.3). Конструктивные особенности машин и оборудования входящего в комплект описаны в источниках [118, 119, 122-124, 127-129, 144, 145, 148-150, 162, 186, 202-204, 226-235, 238-238, 252, 258, 260, 289-296].

Измерительное оборудование выбиралось из перечня Государственного реестра средств измерений (ГРСИ). Непосредственно перед проведением экспериментальных исследований все средства измерений прошли поверку в государственном региональном центре стандартизации, метрологии и испытаний в Белгородской области (ФБУ «Белгородский ЦСМ»).

Планирование, реализация и обработка результатов экспериментальных исследований осуществлялось в соответствии общепринятыми методиками [163-165, 296-304], методиками описанными в работах [14-16, 28, 31, 32, 38, 41, 42, 56, 68, 75, 76, 114, 116, 117, 120, 125, 157, 221, 287, 305] и специально разработанными методиками для данного исследования. Исследование лабораторной всхожести обмолоченного зерна кукурузы осуществлялось в соответствии с ГОСТ 12038–84 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести» и методиками, описанными в источниках [306-308].



*а*) – вид сбоку; *б*) – вид спереди; 1 – платформа; 2 – защитный бункер с выгрузным окном, перекрываемым заслонкой; 3 – откидной лоток защитного бункера; 4 – ОДЗА; 5 – механизм изменения наклона ОДЗА; 6 – вибрационный привод ОДЗА; 7 – загрузочная горловина МСУ; 8 – аксиально-роторное МСУ с пневмоадаптивной декой

Рисунок 4.1 - Комплект технических средств для поэтапного обмолота початков семенной кукурузы





*a)*



*б)*



*в)*



*г)*



*д)*



*е)*

*a* – вид спереди без загрузочной горловины; *б* – вид сбоку в комплектации продольными пневматическими подушками; *в* – вид снизу в комплектации продольными пневматическими подушками; *г* – вид сзади; *д* – вид сбоку в комплектации продольными и поперечными пневматическими подушками; *е* – вид снизу в комплектации поперечными пневматическими подушками

Рисунок 4.2 – Экспериментальное аксиально-роторное МСУ с пневмоадаптивной декой



*a* – расположение зон обмолота; *б* – устройство предварительного натяжения пружин элементов деки в зоне начального обмолота; *в* – расположение подпружиненных элементов деки в зоне начального обмолота; *г* – шипы прижатые поперечной пневмоподушкой; *д* – дополнительный комплект сменных шкивов, применяемых для изменения частоты вращения ротора

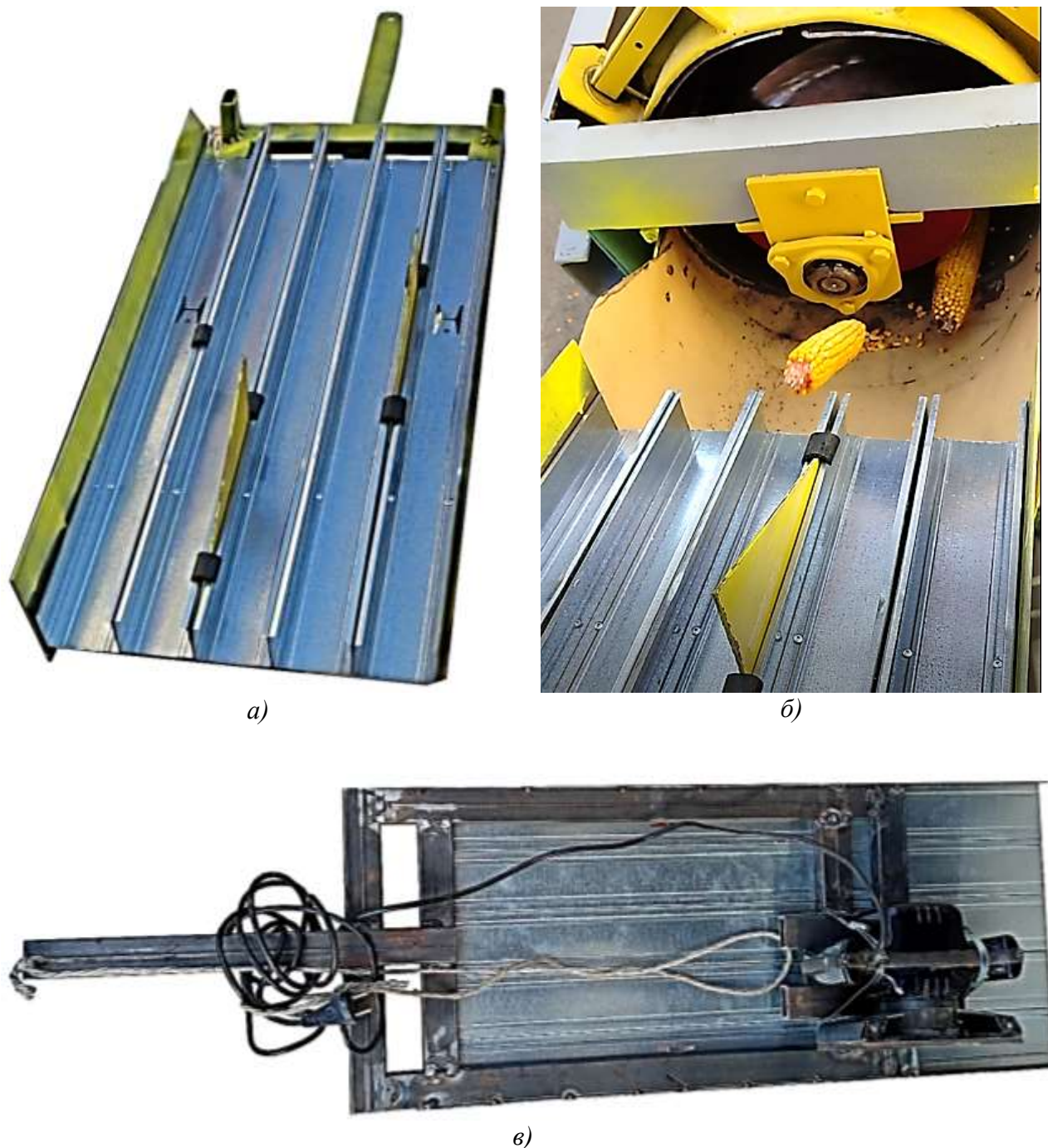
Рисунок 4.3 – Элементы конструкции экспериментального аксиально-роторного МСУ с пневмоадаптивной декой

Варианты нижней деки с продольными и поперечными пневматическими подушками представлены на рисунке 4.4.



*a* – участок деки с продольными пневмоподушками;  
*б* – участок деки с поперечными пневмоподушками;  
*в* – продольная пневмоподушка с шипами в разобранном состоянии;  
*г* – шипованная поверхность участка деки с поперечными пневмоподушками;  
*д* – дека с поперечными пневмоподушками, установленная в нижней части МСУ  
Рисунок 4.4 – Изучаемые варианты конструкции пневмоадаптивной деки МСУ

Конструктивные особенности предложенного ОДЗА представлены на рисунке 4.5.



*а* – вид сверху; *б* – сход початков с ОДЗА параллельно оси ротора МСУ;  
*в* – расположение вибрационного привода ОДЗА

Рисунок 4.5 - Конструктивные особенности предложенного ОДЗА

Основные технические характеристики комплекта оборудования для выполнения процесса поэтапного обмолота початков семенной кукурузы представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Основные технические характеристики экспериментального комплекта оборудования для выполнения процесса поэтапного обмолота початков семенной кукурузы

Показатель	Значение
Первичный этап обмолота	
Объем защитного контейнера для по початков кукурузы, м <sup>3</sup>	0,22
Размер откидного лотка защитного контейнера Д × Ш, м	0,60 × 0,45
Размер пятиканального рабочего органа ОДЗА, Д × Ш, м	1,0 × 0,45
Ширина одного канала ОДЗА, м	0,08
Высота бортов одного канала ОДЗА, м	0,06
Высота боковых бортов ОДЗА, м	0,15
Количество разворотных выступов (мысов), штук	2...4
Амплитуда колебаний рабочего органа ОДЗА, мм	не более 10
Частота колебаний рабочего органа ОДЗА, Гц	25
Начальный, основной этап обмолота и домолот	
Конструктивная длина части деки в зоне начального этапа обмолота $L_{d(I)}$ , мм	470
Конструктивная длина части деки в зоне основного этапа обмолота $L_{d(II)}$ , мм	650
Конструктивная длина части деки в зоне этапа домолота $L_{d(III)}$ , мм	300
Общая конструктивная длина деки с учетом креплений $L_{d(кр)}$ , мм	1420
Длина части основного цилиндра ротора, укомплектованного плоской (ленточной) шнековой навивкой, расположенной в зоне начального этапа обмолота $L_{p(I)}$ , мм	420
Длина части основного цилиндра ротора, укомплектованного двухзаходной винтовой лопастью фасонного поперечного сечения, расположенной в зоне основного этапа обмолота $L_{p(II)}$ , мм	700
Длина части основного цилиндра ротора, укомплектованного многозаходной винтовой лопастью фасонного поперечного сечения, расположенной в зоне домолота $L_{p(IV)}$ , мм	300
Общая длина основного цилиндра ротора $L_{p(общ)}$ , мм	1420
Количество устанавливаемых продольных пневмоподушек в верхней части деки $N_{np}$ , шт.	8
Количество устанавливаемых поперечных пневмоподушек в нижней части деки $N_{nn}$ , шт.	7
Количество шипов под одной продольной пневмоподушкой $n_{шпр}$ , шт.	8...16
Количество шипов под одной поперечной пневмоподушкой $n_{шпр}$ , шт.	12...23
Количество шипов на одном подпружиненном участке деки в зоне начального этап обмолота, $n_{шпу}$ , шт.	10...20
Количество подпружиненных участков деки $N_{ш}$ , шт.	4
Жесткость $k_{np}$ , Н/мм и диапазон предварительного натяжения пружин растяжения, мм (ГОСТ 18794–80), установленных на участках деки в зоне начального этапа обмолота	3,67 0...30
Зазор между основным цилиндром ротора и шипами деки в зоне начального этапа обмолота, $h_{(II)}$ , мм	80...45
Диаметр основного цилиндра ротора, мм	320

Продолжение таблицы 4.1

Показатель	Значение
Зазор между основным цилиндром ротора и шипами деки в зоне основного этапа обмолота, $h_{(III)}$ , мм	45...30
Зазор между основным цилиндром ротора и шипами деки в зоне домолота, $h_{(IV)}$ , мм	30...17
Варианты дискретной установки частоты вращения ротора $n_{рот}$ , мин <sup>-1</sup>	90, 110, 130, 150, 170, 190
Угол наклона СРД относительно горизонта $\gamma_{СРД}$ , °	0...17
Наименьшая и наибольшая ширина прорезей в деке для отвода обмолоченного зерна, мм	низ 17, верх 22

### 4.3 Методология проведения лабораторных экспериментов

#### 4.3.1 Методика проведения поисковых однофакторных экспериментов

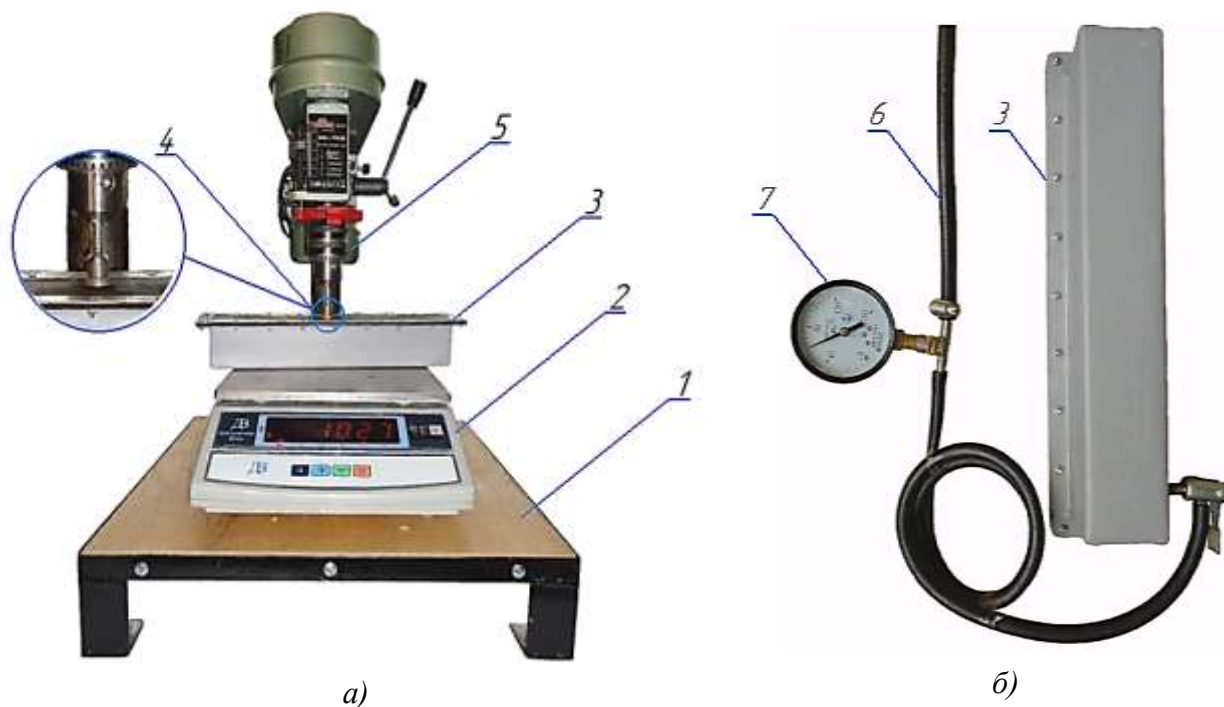
Поисковые однофакторные эксперименты проводились для установления области поиска рациональных значений факторов частоты вращения ротора и подачи початков на обмолот разрабатываемым МСУ с пневмоадаптивной декой. Все конструктивные и технологические параметры, заложенные в нижеописанную методику, являлись поисковыми и определялись на основании существующих, а также предложенных в данной работе теоретических и аналитических исследований. В поисковом исследовании результат макро- и микроповреждений зерна не учитывался, поскольку данные эксперименты направлены только на сужение области поиска базовых значений действующих факторов.

##### 4.3.1.1 Методика экспериментального обоснования толщины резиновой подошвы пневмоподушек аксиально-роторного молотильно-сепарирующего устройства с пневмоадаптивной декой

Исследование проводилось с целью установления рациональных значений толщины резиновой подошвы пневмоподушек аксиально-роторного МСУ с пневмоадаптивной декой и избыточного давления в пневмоподушке, обеспечивающих ход фасонных шипов деки не менее 10 мм, и силу прижатия

шипа к зерну не более 62 Н (усилие разрушающее защитную оболочку зерна при нагружении предложенным фасонным шипом [309, 310]).

Для этого была создана и применена специальная экспериментальная установка (рисунок 4.6) [309].



*a* – общий вид установки; *б* – изменение давления в пневмоподушке;  
1 – стол; 2 – весы; 3 – пневмоподушка; 4 – шип; 5 – штатив сверлильного станка;  
6 – шланг компрессора; 7 – манометр ДМ 05063

Рисунок 4.6 – Установка для определения интервала рациональных значений резиновой подошвы в пневмоподушках предложенного МСУ

Исследование проводилось по следующей методике. Изготавливались пневмоподушки с толщиной резиновой подошвы 2, 3 и 4 мм. Резиновые подошвы были заготовлены из бутилкаучука. В данных пневмоподушках создавалось избыточное давление 0,4, 0,5 и 0,6 атмосфер, которое контролировалось манометром ДМ 05063 (**Приложение К**).

Эксперимент заключался в том, чтобы при различной толщине резиновой подошвы и давления внутри пневмоподушки отследить, как изменяется сила, необходимая для вдавливания опорной пятки шипа и установить рациональные значения толщины подошвы и давления в пневмоподушке. Для этого пневмоподушки укладывались на весы резиновой подошвой вверх. В патрон сверлильного станка зажимался фасонный шип и посредством механизма подачи

станка вдавливался опорной пяткой в подошву подушки на глубину до 10 мм. Штатив сверлильного станка снабжен механизмом, позволяющим осуществлять вертикальные перемещения патрона с их измерением через каждые 0,5 мм. Изменение силы, необходимой для вдавливания опорной поверхности шипа в резиновую подошву пневмоподушки, фиксировалось весами дискретно через каждый миллиметр вдавливания. Весь диапазон измерений изучался с пятикратной повторностью.

Полученные данные регистрировались в журнале наблюдений и статистически обрабатывались. Результаты исследований оформлялись в виде таблицы экспериментальных данных, по которым строились соответствующие графические зависимости и осуществлялась их аппроксимация.

#### **4.3.1.2 Методика экспериментального определения рациональных значений факторов подачи початков на обмолот и частоты вращения ротора, а также их корректировки по качественным показателям обмолота**

Исследование проводилось с целью определения диапазонов рациональных значений факторов подачи початков на обмолот и частоты вращения ротора, обеспечивающих регламентированные значения показателей недомолота, схода свободным зерном и его дробления.

Для этого была применена методика экспериментов, предполагающая фиксацию ряда факторов на базовом рациональном уровне, установленном в результате анализа существующей информации и теоретических данных:

- молотильная камера посредством сертифицированного лазерного угломера Leica DISTO (**Приложение Л**) устанавливалась под углом к горизонту  $12^\circ$  [148], выгрузным окном вниз (первое поисковое положение молотильной камеры МСУ);

- на шипованные участки деки в зоне первичного этапа обмолота устанавливались пружины жесткостью 3,67 Н/мм с предварительным натяжением 10 мм, на каждый участок было установлено по 15 шипов [226];



- на верхнюю часть деки в зонах основного обмолота и домолота устанавливалось 8 продольных пневмоподушек, каждая из которых своей резиновой подошвой прижимала по 11 шипов;
- на нижнюю часть деки в зонах основного обмолота и домолота устанавливалось 7 поперечных пневмоподушек, каждая из которых своей резиновой подошвой прижимала по 23 шипа;
- в пневмоподушки компрессором (**Приложение К**) накачивалось избыточное давление 0,4 атмосферы, при этом толщина резиновой подошвы была 3 мм ;
- посредством шкивов клиноременной передачи устанавливалась частота вращения ротора в интервале 90...190 мин<sup>-1</sup>, с шагом  $\Delta_1 = 20$  мин<sup>-1</sup>, контрольные измерения частоты вращения ротора проводились при помощи сертифицированного тахометра ТЧ-10Р (**Приложение М**);
- при помощи весов (**Приложение Н**) формировались группы навесок початков, поочередно укладываемых в защитный контейнер, из которого посредством ОДЗА навески подавались в МСУ;
- осуществлялась подача початков на обмолот с интенсивностью 0,4...1,4 кг/с при шаге  $\Delta_2 = 0,2$  кг/с до появления первых кратковременных остановок ротора (достижения предела пропускной способности);
- осуществлялся замер массы обмолоченного материала, прошедшего через молотильное устройство;
- проводилась статистическая обработка полученных результатов (по методике, описанной в пункте 2.2.1.1) и осуществлялось построение соответствующих графических зависимостей (диаграмм);
- посредством графоаналитического анализа полученных зависимостей устанавливались области нахождения интервалов рациональных значений действующих факторов. Полученные области корректировались в два этапа. Этап первый состоял в экспериментальном поиске режимов работы МСУ, обеспечивающих минимальное количество зерна, оставшегося на початках после обмолота (показатель недомолота) и свободно сошедшего с обмолоченными

стержнями початков в выгрузное окно (сход свободным зерном). Этап второй состоял в экспериментальном поиске режимов работы МСУ, при которых обеспечивалось минимальное дробление зерна при обмолоте.

При первом этапе корректировки интервалов рациональных значений действующих факторов выполнялось следующее:

- при помощи весов определялась масса обмолоченных зерен, прошедших в накопительный бункер молотильного устройства в каждом опыте, проведенном на режимах, обеспечивающих рациональную производительность;
- осуществлялся ручной домолот початков, выгруженных из молотилки в рациональном режиме обмолота, с их последующим взвешиванием;
- осуществлялся сбор зерен, свободно сошедших с обмолоченными початками в рациональном режиме обмолота, с их последующим взвешиванием;
- проводилось сравнение массы зерен в бункере с массой недомолоченного (данный показатель должен быть не более 1,5 %), свободно сошедшего зерна (данный показатель должен быть не более 1,0 %).

При втором этапе корректировки интервалов рациональных значений действующих факторов обмолоченное зерно, полученное в результате каждого опыта, из накопительного секционного бункера ссыпалось в отдельные мешки, из которых по стандартной методике ГОСТ 13586.3–83 «Зерно. Правила приемки и методы отбора проб» согласно пункту 2.5.5 «Отбор точечных проб из мешков» отбирались 400-граммовые пробы, которые разделялись на целое и дробленое зерно. Целое и дробленое зерно взвешивалось, что позволяло получить его процентное соотношение в каждом опыте (данный показатель должен быть не более 1,5 %).

Для всех экспериментов проводилась статистическая обработка полученных результатов (по методике, описанной в пункте 2.2.1.1) и осуществлялось построение соответствующих графических зависимостей или диаграмм.

### 4.3.1.3 Методика экспериментального определения количества просыпавшегося обмолоченного зерна через прорези деки в каждой зоне обмолота

Исследование проводилось с целью подтверждения концептуально-теоретического предположения о том, что в рациональных условиях работы предложенной технической системы после прохождения первичного этапа обмолота от початков будет отделено 2...5% зерна, начального этапа обмолота – до 15% зерна, основного этапа обмолота – до 90% зерна, домолота – до 97,5%, при этом недомолот составит не более 1,5%, а сход свободным зерном – не более 1%.

Следовательно, при условии, что зерно с первичного и начального этапа обмолота будет собираться в первой секции бункера МСУ (рисунок 4.2) прогноз распределения зерна по секциям бункера примет вид:

- 1-я секция – до 20% зерна;
- 2-я секция – до 70% зерна;
- 3-я секция – до 7,5% зерна;
- потери – до 2,5% зерна.

Исследование проводилось по следующей методике.

– угол установки молотильной камеры относительно горизонта, количество пневмоподушек и шипов в каждом этапе обмолота были установлены аналогично предыдущим поисковым опытам;

- устанавливалась частота вращения ротора  $170 \text{ мин}^{-1}$ ;
- настраивалась СОЗ на подачу 1,1 кг/с;
- в защитный контейнер загружались навески початков, которые посредством СОЗ подавались в МСУ, опыт проводился с пятикратной повторностью;
- после обмолота из секций бункера изымалось зерно, взвешивалось посредством весов (**приложение Н**), а затем рассчитывалось процентное

распределение зерна по секциям бункера. При этом общая масса зерна во всех секциях бункера принималась за 100 % (потери в расчет не принимались).

Полученные данные регистрировались в журнале наблюдений и статистически обрабатывались.

Результаты исследований оформлялись в виде таблицы экспериментальных данных, по которым строились соответствующие графические зависимости и осуществлялась их аппроксимация.

#### **4.3.1.4 Методика экспериментального определения рационального количества шипов в зоне основного обмолота**

Поисковое исследование проводилось с целью сужения области поиска рационального количества фасонных шипов в зоне основного этапа обмолота по энергетическим показателям процесса с последующей корректировкой результатов по показателю недомолота. Для этого применялся ваттметр сертифицированного измерительного комплекта К-505 (**приложение О**) и соответствующее весовое оборудование (**приложение Н**).

Исследование проводилось по следующей методике:

- привод ротора предложенного МСУ осуществлялся от асинхронного электродвигателя АИР100S2 с мощностью 4 кВт посредством приводной станции, состоящей из двухступенчатого цилиндрического редуктора и клиноременной передачи со сменными шкивами;
- шкивы приводной станции были подобраны так, чтобы обеспечивалась частота вращения ротора  $170 \text{ мин}^{-1}$ ;
- в электрическую цепь электродвигателя был подключен ваттметр сертифицированного измерительного комплекта К-505;
- посредством ваттметра измерялась мощность электродвигателя, потребная на холостой ход ротора;

– для каждого опыта загружался защитный контейнер объемом 0,22 м<sup>3</sup>, из которого масса початков с подачей 1,1 кг/с подавалась на обмолот посредством СОЗ, что обеспечивало продолжительность процесса обмолота, при которой формировался установившийся режим энергопотребления.

– в процессе обмолота посредством ваттметра измерялась полная мощность электродвигателя, потребная на привод ротора при максимально возможной нагрузке МСУ;

– рассчитывалась разница между показаниями ваттметра при полной нагрузке МСУ и при работе на холостом ходе;

– для определения рационального количества шипов в зоне основного обмолота обеспечивались следующие варианты их количественной установки:

1) максимальная комплектация шипами (4 продольных пневмоподушки в верхней части деки по 16 шипов каждая и 4 поперечных пневмоподушки нижней части деки по 23 шипа каждая), всего 156 шипов;

2) средняя комплектация шипами (4 продольных пневмоподушки в верхней части деки по 11 шипов каждая и 4 поперечных пневмоподушки в нижней части деки по 18 шипов каждая), всего 116 шипов;

3) минимальная комплектация шипами (4 продольных пневмоподушки в верхней части деки по 8 шипов каждая и 4 поперечных пневмоподушки в нижней части деки по 16 шипов каждая), всего 96 шипов;

4) верхняя часть деки минимальная комплектация (4 продольных пневмоподушки по 8 шипов каждая), нижняя часть деки максимальная комплектация (4 поперечных пневмоподушки по 23 шипа каждая), всего 124 шипа;

5) верхняя часть деки максимальная комплектация (4 продольных пневмоподушки по 16 шипов каждая), нижняя часть деки минимальная комплектация (4 поперечных пневмоподушки по 16 шипов каждая) всего 128 шипов;

6) верхняя часть деки средняя комплектация (4 продольных пневмоподушки по 11 шипов каждая), нижняя часть деки максимальная

комплектация (4 поперечных пневмоподушки по 23 шипа каждая), всего 136 шипов.

Эксперимент проводился с трехкратной повторностью. Полученные данные регистрировались в журнале наблюдений и статистически обрабатывались. Результаты исследований оформлялись в виде таблицы экспериментальных данных, по которым строились соответствующие графические зависимости и осуществлялась их аппроксимация.

Полученные результаты исследований корректировались по показателю недомолота, изучаемому по описанной ранее методике.

Все неучтенные в описании данного исследования конструктивно-технологические параметры МСУ оставались неизменными и соответствовали ранее определенным значениям.

#### **4.3.2 Методика проведения лабораторных многофакторных экспериментов**

Многофакторные эксперименты реализованы по следующей программе:

- выбор факторов эксперимента, установление их численно выражаемых уровней и кодировка;
- выбор критерия оптимизации;
- выбор плана многофакторного эксперимента, учитывающего в своей матрице число повторностей опыта и рандомизацию;
- проведение многофакторного эксперимента;
- расчет коэффициентов регрессии;
- проверка значимости коэффициентов регрессии по  $t$ -критерию Стьюдента;
- проверка адекватности модели по  $F$ -критерию Фишера (проверка пригодности уравнения регрессии для описания исследуемого процесса);
- решение уравнения регрессии;

- оформление результатов исследований в виде соответствующих таблиц и графических зависимостей;
- графоаналитический анализ полученных результатов.

Реализовано два лабораторных многофакторных эксперимента:

1) по определению оптимального с позиции минимальной энергоемкости процесса сочетания факторов: подачи початков на обмолот, частоты вращения ротора и количества шипов в зоне основного обмолота;

2) по определению оптимального с позиции минимального количества макро- и микроповреждений обмолоченного зерна сочетания факторов: предварительного натяжения пружин с жесткостью 3,67 Н/мм в участках деки на начальном этапе обмолота, избыточного давления в пневмоподушках деки на этапах основного обмолота и домолота, а также угла наклона СРД относительно горизонта.

Эксперименты реализованы в соответствии с общеизвестными методиками [163-165, 296-304].

Для первого многофакторного эксперимента в качестве критерия оптимизации  $Y_{opt1}$  принята энергоемкость процесса. В качестве второго критерия оптимизации  $Y_{opt2}$  принят процент макро- и микроповреждённого зерна.

Данный критерий оптимизации предложено изучать отдельно от показателя дробления зерна (масса дробленого зерна в расчете не учитывалась). В этом случае откликами первого многофакторного эксперимента, определяющими первый критерий оптимизации, являются: затраты мощности на обмолот  $Y_1$  и пропускная способность СРД  $Y_2$ , а второго – масса зерна с макро- и микроповреждениями  $Y_3$  и общая масса обмолоченного зерна  $Y_4$ .

Результаты первого многофакторного эксперимента фиксировались и оставались неизменными при изучении критерия макро- и микроповреждений.

Характеристика факторов многофакторных экспериментов представлена в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Характеристика факторов эксперимента

Фактор эксперимента	Код фактора	Границы области опыта	Базовый уровень фактора	Примечание
Первый многофакторный эксперимент				
Частота вращения ротора МСУ, мин <sup>-1</sup>	$X_1$	150 ... 170	160	Границы области опыта определены поисковыми экспериментами, базирующимися на результатах теоретических исследований. Базовый уровень фактора выбран на основании анализа распределения обмолоченного зерна по секциям зернового бункера МСУ
Подача початков в МСУ, кг/с	$X_2$	0,9 ... 1,1	1,0	Границы области опыта и базовый уровень фактора определены в результате поискового экспериментального изучения показателей качества обмолота
Количество фасонных шипов в зоне основного обмолота, шт	$X_3$	124 ... 136	128	Границы области опыта определены поисковыми экспериментами. Базовый уровень фактора выбран на основании экспериментально установленных энергетических показателей процесса и анализа конструктивных особенностей деки МСУ
Второй многофакторный эксперимент				
Предварительное натяжение пружин в участках деки на начальном этапе обмолота, мм	$X_4$	5 ... 15	10	Границы области опыта определены размерным рядом пружин по ГОСТ 18794–80. Базовый уровень фактора выбран в соответствии с поисковым экспериментом
Избыточное давление в пневмоподушках деки на этапах основного обмолота и домолота, Атм.	$X_5$	3,5 ... 4,5	4,0	Границы области опыта выбраны на основании инженерно-научного предположения, сформированного в результате проведенных ранее теоретико-экспериментальных исследований. Базовый уровень фактора определен в результате поискового эксперимента
Угол наклона СРД относительно горизонта, град	$X_6$	9 ... 15	12	Границы области опыта выбраны на основании инженерно-научного предположения, сформированного в результате проведенных ранее теоретико-экспериментальных исследований. Базовый уровень фактора выбран в соответствии с поисковым экспериментом



Продолжительность опытов многофакторного эксперимента в каждой строке матрицы выбиралась из условия формирования установившегося режима работы.

Второй многофакторный эксперимент базируется на результатах первого.

Анализ данных в таблице 4.2 дает основание считать, что для получения математических моделей эксперимента целесообразно реализовать два независимых трехуровневых плана Бокса-Бенкина.

Ввиду сложности изучаемого процесса сделан прогноз о значимости коэффициентов регрессии при факторах, находящихся во второй степени, поэтому к практической реализации принят план Бокса-Бенкина второго порядка.

Планируемые многофакторные эксперименты по плану Бокса-Бенкина второго порядка выражаются уравнениями регрессии [163-165, 296-304]:

$$Y_{opt1} = b_0 + b_1X_1 + b_2X_1^2 + b_3X_2 + b_4X_2^2 + b_5X_3 + b_6X_3^2 + b_7X_1X_2 + b_8X_1X_3 + b_9X_2X_3, \quad (4.1)$$

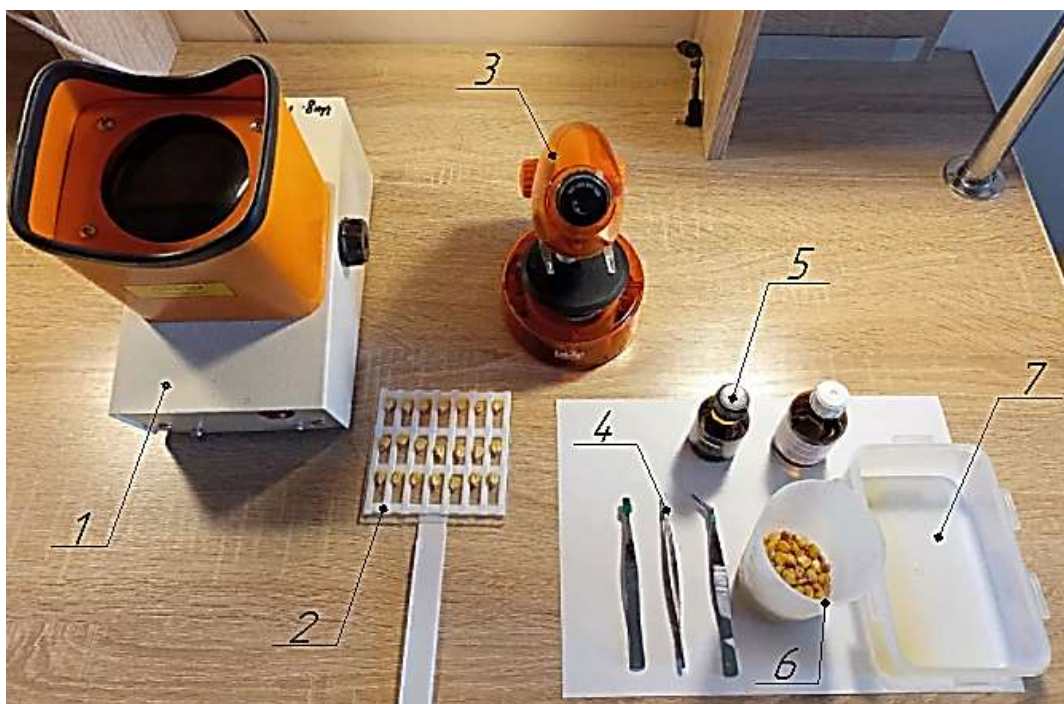
$$Y_{opt2} = b_0 + b_1X_4 + b_2X_4^2 + b_3X_5 + b_4X_5^2 + b_5X_6 + b_6X_6^2 + b_7X_4X_5 + b_8X_4X_6 + b_9X_5X_6, \quad (4.2)$$

где  $b_0 - b_9$  – коэффициенты регрессии.

Статистическая обработка результатов многофакторных экспериментов, расчет значений коэффициентов регрессии, проверка их значимости по  $t$ -критерию Стьюдента, расчет  $F$ -критерия Фишера с целью оценки адекватности уравнений регрессии для описания исследуемого процесса, а также построение поверхностей отклика и их сечений проводились с применением программы Statistica for Windows.

Для исключения влияния случайных явлений и неуправляемых факторов на результат эксперимента при реализации плана Бокса-Бенкина второго порядка применялась рандомизация по второму ряду в таблице случайных чисел.

Оценка количества макро- и микроповреждений зерна проводилась с применением комплекта специального лабораторного оборудования (рисунок 4.7).



1 – диафаноскоп (**Приложение П**); 2 – нестандартная (дополнительно изготовленная) ячеистая кассета для загрузки зерна кукурузы в диафаноскоп; 3 – микроскоп; 4 – набор пинцетов; 5 – йод для окрашивания повреждений в зерна; 6 – проба обмолоченного зерна; 7 – лоток для окрашивания повреждений зерна методом погружения в спиртовой раствор йода

Рисунок 4.7 – Комплект оборудования для исследования показателя макро- и микроповреждения обмолоченного зерна кукурузы

Продолжительность каждого опыта, прописанного в строках второго многофакторного эксперимента, выбиралась из условия формирования установившегося режима работы при обмолоте массы початков не менее 270 кг.

Обмолоченное зерно, полученное в результате каждого опыта, из накопительного секционного бункера ссыпалось в отдельные мешки, из которых по стандартной методике ГОСТ 13586.3–83 «Зерно. Правила приемки и методы отбора проб» согласно пункту 2.5.5 «Отбор точечных проб из мешков» отбирались 400 граммовые пробы для изучения количества макро- и микроповреждений обмолоченного зерна кукурузы.

Каждая проба раскладывалась в 1 слой в пределах рамки 500x500 мм, а затем метод деления квадрата (рисунок 4.8) за 15 выемок отбиралось по 100 зерен для окраски 5% спиртовым раствором йода и последующего осмотра в диафаноскопе.

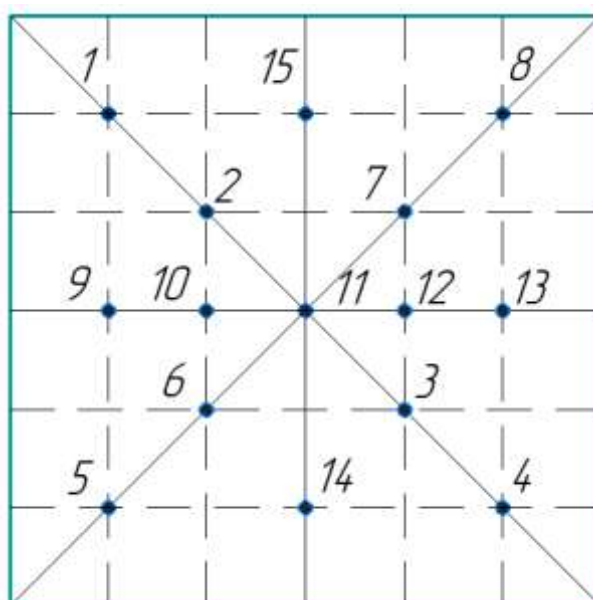


Рисунок 4.8 – Схема отбора зерен метод деления квадрата

Результаты исследований оформлялись в виде таблицы экспериментальных данных.

В многофакторном эксперименте измерение мощности, необходимой на обмолот, проводилось по методике, описанной в разделе 4.3.1.4.

#### **4.4 Методика определения показателя всхожести обмолоченного зерна**

Определение показателя всхожести зерна кукурузы, обмолоченного в экспериментальном комплекте технических средств, осуществлялось согласно ГОСТ 12038–84 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести», в условиях отдела семенного надзора и контроля № 7 «Перевальская лаборатория» Министерства сельского хозяйства и продовольствия ЛНР.

Початки семенной кукурузы, выращенные в условиях ООО «ЛУГАНЬПЛЕМСЕРВИС», были предоставлены на обмолот в предложенном экспериментальном комплекте оборудования на установленных ранее оптимальных режимах. Из общего объема обмолоченного зерна были отобраны четыре навески (пробы) по 1 кг обмолоченного зерна. Отбор проб осуществлялся согласно соответствующего акта отбора образцов в присутствии представителя ООО «ЛУГАНЬПЛЕМСЕРВИС» (приложение Р).

Образцы были переданы в лабораторию, где осуществлялся их анализ по следующей методике. Кукуруза проращивалась между слоями фильтровальной бумаги (ВФ) в рулонах (Р). Между двух полос увлажненной фильтровальной бумаги размером 100×1000 мм раскладывалась проба зерна кукурузы зародышем вниз. Полосы сворачивались в неплотный рулон и в вертикальном положении помещались в растильню с небольшим количеством воды на дне.

Семена проращивались при температуре 20...30 °С в течение 7 суток, затем оценивался результат проращивания и рассчитывалась всхожесть и энергия прорастания.

При расчете показателя всхожести были учтены нормально проросшие, набухшие, твердые, загнившие и ненормально проросшие семена.

При расчете показателя энергии прорастания были учтены только нормально проросшие и явно загнившие семена.

При анализе учитывалось допустимое отклонение результатов анализа отдельных проб от среднего для всего исследования.

Результаты анализа документально оформлялись по форме, утвержденной в руководстве по качеству лаборатории, осуществившей проверку всхожести и энергии прорастания зерна кукурузы, обмолоченного в экспериментальном комплекте технических средств (**приложение С**).

#### **4.5 Выводы**

1. С целью установления фактического уровня ресурсосбережения при реализации предложенных технологических и технических решений, выраженного через количество макро- и микроповреждений семенного зерна кукурузы, полученных при поэтапном обмолоте початков, а также для изучения энергоемкости процесса, разработан экспериментальный образец комплекта технических средств для поэтапного обмолота початков семенной кукурузы, выбрано контрольно-измерительное оборудование, определены методики

выполнения измерений и статистической обработки полученных результатов, в том числе с применением прикладных компьютерных программ.

2. Определены критерии, условия и методика оптимизации конструктивно-технологических параметров аксиально-роторного МСУ с пневмоадаптивной декой, обеспечивающего минимум макро- и микроповреждений семенного зерна кукурузы при обмолоте.

3. Предложено осуществить проверку уровня ресурсосбережения новых технологических и технических решений по показателю всхожести зерна, определяемого в условиях независимой сертифицированной производственной лаборатории.

## **ГЛАВА 5. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

### **5.1 Результаты проведения лабораторных экспериментов**

#### **5.1.1 Результаты проведения поисковых однофакторных экспериментов**

##### **5.1.1.1 Результаты экспериментального обоснования толщины резиновой подошвы пневмоподушек аксиально-роторного МСУ с пневмоадаптивной декой**

Ранее проведенные исследования модуля Юнга показали, что вдавливание цилиндрического индентора площадью  $1 \text{ мм}^2$  с усреднённым для исследуемых подвидов кукурузы усилием  $12 \text{ Н}$  приводит к границе прочностных свойств защитной плодовой оболочки зерна.

Объемное и математическое моделирование области контакта предложенного фасонного шипа МСУ и защитной плодовой оболочки зерна кукурузы в процессе обмолота показали размер площадки контакта в пределах  $5,17 \text{ мм}^2$ .

Исходя из вышесказанного следует, что максимальное усилие вдавливания шипа в подошву пневмоподушки должно быть не более  $62 \text{ Н}$ . Данное значение является поисковым ограничением, поскольку можно считать, что именно это усилие в виде реакции будет действовать на зерно при обмолоте.

Результаты экспериментального обоснования толщины резиновой подошвы пневмоподушек аксиально-роторного МСУ с пневмоадаптивной декой приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 - Результаты экспериментального обоснования толщины резиновой подошвы пневмоподушек аксиально-роторного МСУ с пневмоадаптивной декой \*

Толщина резины, мм	Давление, атм.	Сила, необходимая для вдавливания шипа на определенную глубину, Н									
		1 мм	2 мм	3 мм	4 мм	5 мм	6 мм	7 мм	8 мм	9 мм	10 мм
2	0,4	2,96	7,54	11,18	16,15	20,33	24,38	28,61	33,06	36,81	41,84
2	0,5	4,26	11,54	18,25	25,03	30,45	36,74	41,87	46,47	50,96	56,11
2	0,6	5,84	13,81	21,76	29,74	38,06	45,85	53,22	61,79	**	**
3	0,4	4,99	11,09	16,72	22,18	27,43	32,70	38,23	47,25	56,14	62,12
3	0,5	6,53	11,89	19,04	26,66	32,51	40,68	46,97	62,20	**	**
3	0,6	8,00	16,53	24,79	33,79	43,19	55,82	**	**	**	**
4	0,4	5,93	12,97	19,48	24,72	30,59	36,21	42,36	48,5	59,00	**
4	0,5	7,46	17,02	25,54	34,32	42,61	48,63	**	**	**	**
4	0,6	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***

\* Экспериментальные исследования проводились с участием инженера А.Е. Бурнукина.  
 \*\* Достигается критическое значение величины усилия вдавливания 62 Н.  
 \*\*\* При толщине резиновой подошвы 4 мм и давлении 0,6 атмосфер шипы перестают вдавливаться в пневмоподушку и дифференцирование обмолачивающих сил прекращается.

Из таблицы видно, что с точки зрения выполнения заданных ограничений и обеспечения максимального ресурса целесообразным является применение пневмоподушек с толщиной подошвы 3 мм и избыточным давлением 0,4 атмосферы. Для этих параметров целесообразно построить графическую зависимость и получить уравнение аппроксимации, описывающее закономерность изменения сопротивления вдавливания шипа в подошву пневмоподушки от глубины вдавливания (рисунок 5.1).

Данная закономерность, выраженная в виде изменения реакции, справедлива для контакта зерна и рабочей поверхности фасонного шипа.

Из рисунка 5.1 видно, что зависимость сопротивления вдавливанию шипа в резиновую подошву пневмоподушки от глубины его вдавливания несет линейный характер, о чем свидетельствует уравнение аппроксимации.



Рисунок 5.1 - Графическая зависимость сопротивления вдавливанию шипа в резиновую подошву пневмоподушки толщиной 3 мм от глубины его вдавливания, при условии внутреннего избыточного давления 0,4 атмосферы

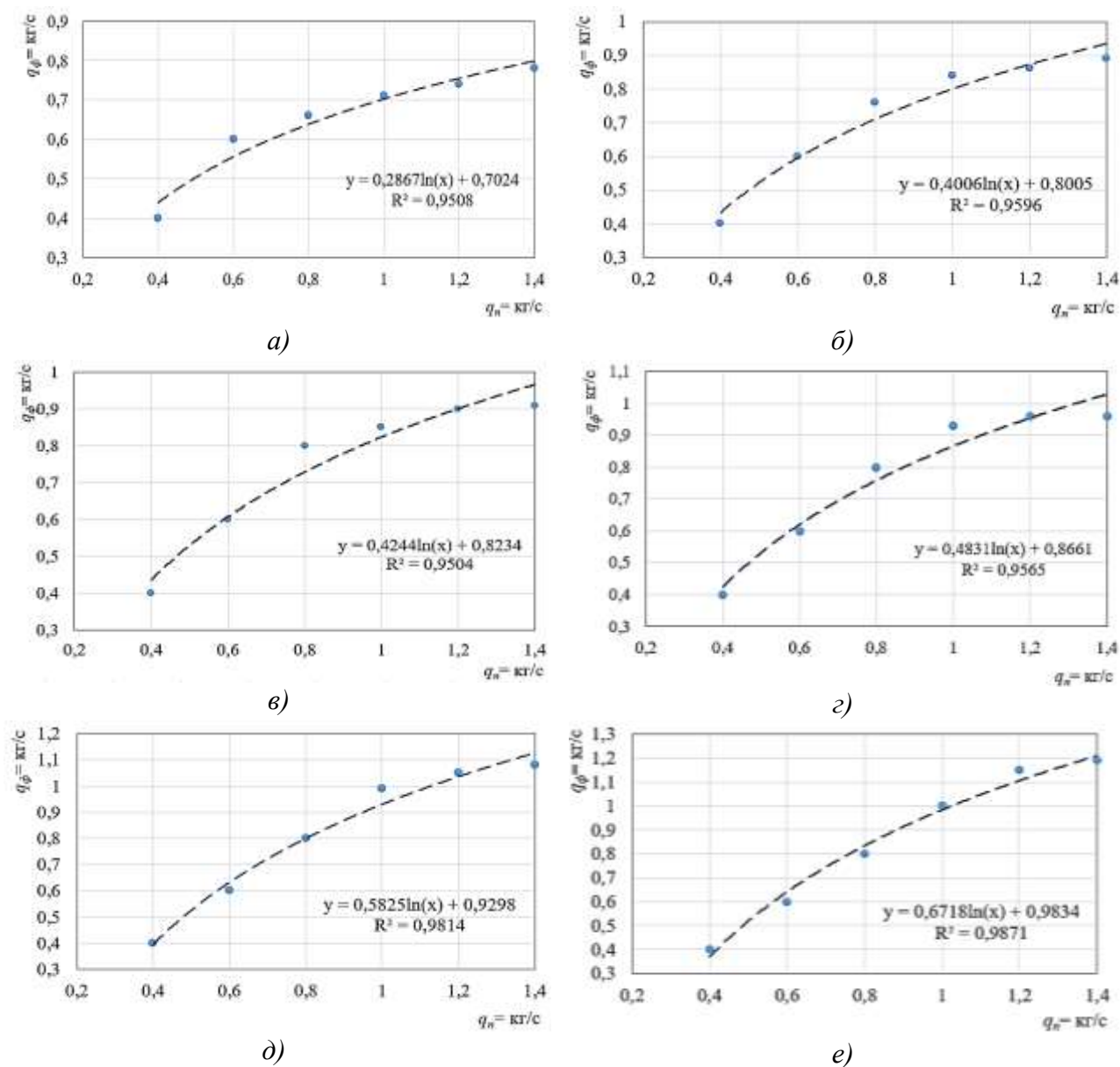
Пневматическая подушка с внутренним избыточным давлением 0,4 атмосферы (40 кПа) и толщиной подошвы 3 мм полностью удовлетворяет выдвинутым требованиям, поскольку позволяет осуществить ход шипа до 10 мм в рамках допустимого силового воздействия на зерно в процессе обмолота. Данные параметры пневмоподушки приняты в качестве опорных для проведения дальнейших поисковых лабораторных экспериментов.

### 5.1.1.2 Результаты экспериментального определения рациональных значений факторов подачи початков на обмолот и частоты вращения ротора, а также их корректировка по качественным показателям обмолота

В соответствии с разработанной методикой экспериментальный поиск диапазонов рациональных значений факторов подачи початков  $q_n$  на обмолот и частоты вращения ротора проводился по предельному значению массы  $q_{\phi}$ , которую разрабатываемое аксиально-роторное МСУ способно обработать за установленное время без кратковременных остановок ротора.



Полученные результаты поисковых экспериментальных исследований представлены в виде графических зависимостей (рисунок. 5.2).



$a - 90 \text{ мин}^{-1}$ ;  $b - 110 \text{ мин}^{-1}$ ;  $в - 130 \text{ мин}^{-1}$ ;  $г - 150 \text{ мин}^{-1}$ ;  $д - 170 \text{ мин}^{-1}$ ;  $e - 190 \text{ мин}^{-1}$

Рисунок. 5.2 - Результаты поисковых однофакторных экспериментов по определению области рациональных значений факторов подачи початков на обмолот и частоты вращения ротора

Графические зависимости (рисунок 5.2) показывают, что изменение производительности молотильного устройства при увеличении подаваемой на обмолот массы початков происходит согласно логарифмическому закону с достоверностью аппроксимации более 95%.

При частоте вращения ротора 170 и 190 мин<sup>-1</sup> и подаче более 1,2 кг/с наблюдались кратковременные остановки ротора (подклинивание ротора с проскальзыванием ремня). Это указывает на достижение предела пропускной способности изучаемого МСУ. При частоте вращения ротора 150, 170 и 190 мин<sup>-1</sup> и подаче менее 1,2 кг/с такой эффект не наблюдался.

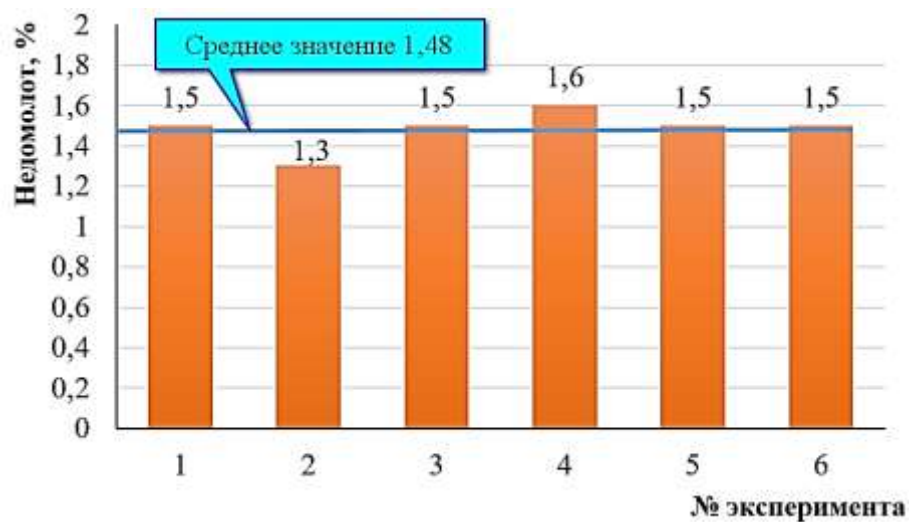
Анализ графических зависимостей показал, что область нахождения рациональных значений частоты вращения ротора ограничена интервалом 150...190 мин<sup>-1</sup>, при этом значение рациональной пропускной способности может находиться в пределах 0,8...1,1 кг/с.

На данных режимах пространство молотильной камеры равномерно заполнялось обмолачиваемыми початками кукурузы, шипы работали по всей поверхности пневмоадаптивной деки, воздействуя на зерно с рациональным усилием не превышающим 62 Н, початки не формировали уплотненных участков, зерно максимально быстро выводилось из камеры обмолота в накопительный бункер, а обмолоченные початки эффективно выгружались через выгрузное окно.

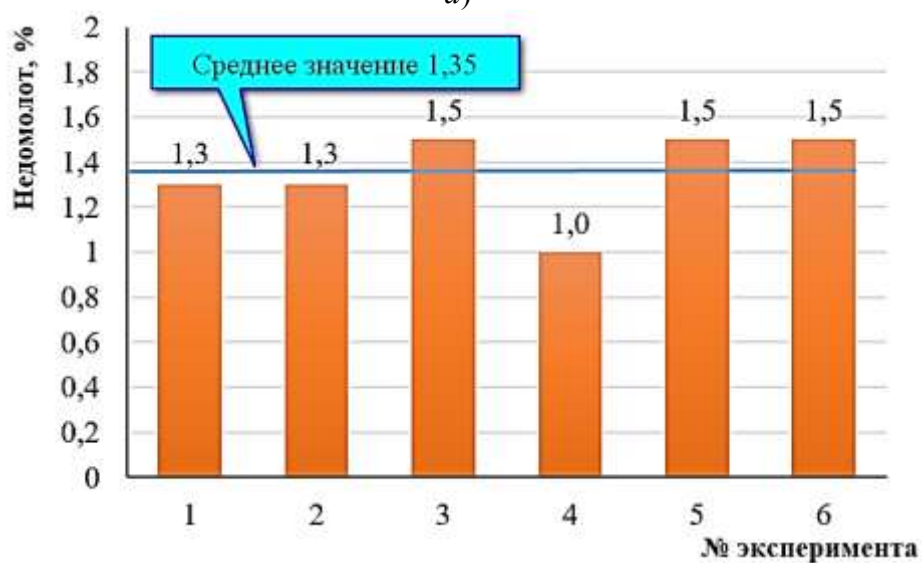
Кроме того, основная масса обмолоченных стержней не разрушалась продольно и не засоряла прорези рельефной деки.

Первый этап корректировки полученных интервалов варьирования факторов эксперимента осуществлялся по двум качественным показателям: первый - количество зерна, оставшегося на початках после обмолота (недомолот), второй - количество свободного зерна в обмолоченных стержнях (сход свободным зерном).

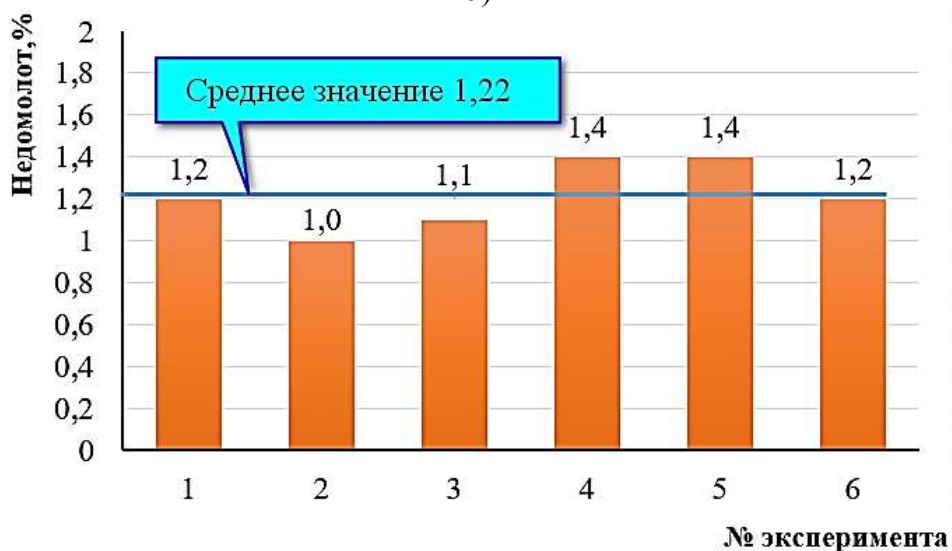
Поисковые исследования качественных показателей обмолота проводились при среднем значении рациональной подачи 1,0 кг/с. При этом устанавливалась частота вращения ротора 150, 170 и 190 мин<sup>-1</sup>. Результаты поискового экспериментального исследования показателя недомолота представлены в виде столбчатых диаграмм, каждый столбец которых построен по средним значениям эксперимента, проведенного с шестикратной повторностью (рисунок 5.3).



а)



б)



в)

а – 150 мин<sup>-1</sup>; б – 170 мин<sup>-1</sup>; в – 190 мин<sup>-1</sup>

Рисунок 5.3 – Результаты поискового экспериментального исследования показателя недомолота зерна в предложенном МСУ

В каждом опыте влажность зерна обмолачиваемых початков контролировалась портативным электронным влагомером WILE 55 и находилась в пределах 12...15%.

На всех изучаемых частотах вращения ротора количество зерна, оставшегося на початках после обмолота, не превышает допустимого значения 1,5%. Это обусловлено тем, что при данных частотах вращения в молотильной камере обеспечивается рациональный режим удара и трения, при котором эффективно разрушается связь зерна со стержнем початка.

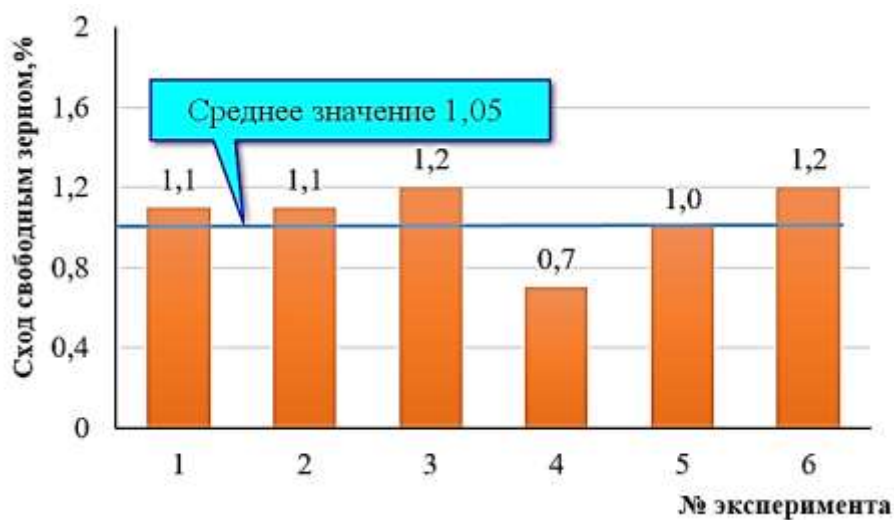
Кроме того, из анализа диаграмм видно, что снижать частоту вращения ниже  $150 \text{ мин}^{-1}$  нецелесообразно, поскольку при данной частоте достигается верхний предел значений изучаемого качественного показателя обмолота. Это указывает на то, что достигается граница совместного эффективного действия сил удара и трения. Данные обмолачивающие силы должны действовать одновременно, но в пределах НУ силового воздействия при поэтапном обмолоте с учетом особенностей естественной системы защиты зерна в початке кукурузы.

В связи с этим устанавливается первое экспериментальное ограничение. Нижний предел рациональной частоты вращения ротора изучаемого МСУ с отклонением в 5% составляет  $142...157 \text{ мин}^{-1}$ .

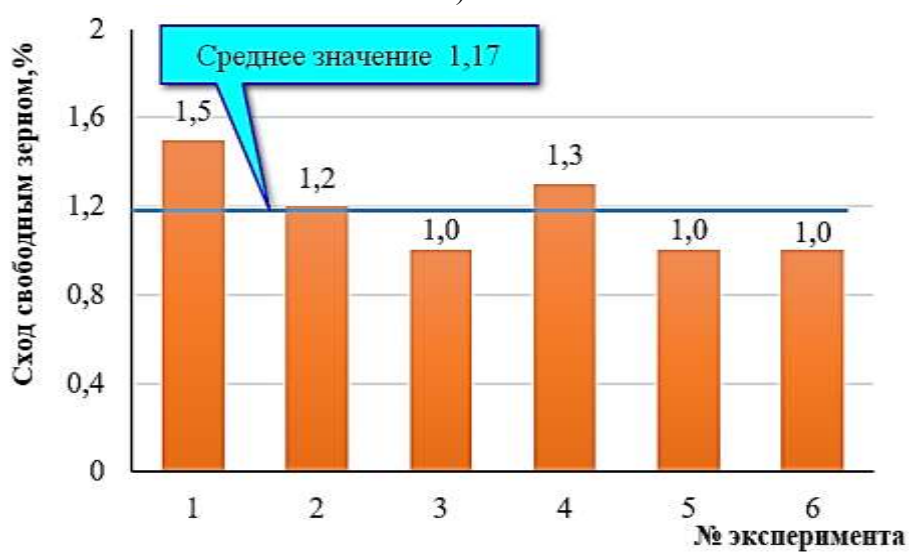
Количество свободного зерна в выгруженных из МСУ обмолоченных стержнях початков должно быть не более 1,0%. Данный показатель характеризует сепарационную способность деки МСУ и показывает, насколько рационально подобрана длина ротора.

Кроме того, сход свободным зерном показывает, насколько рационально выбрана частота вращения ротора, поскольку при чрезмерно больших оборотах часть зерна инерционными силами и воздушным потоком выбрасывается в выгрузное окно МСУ.

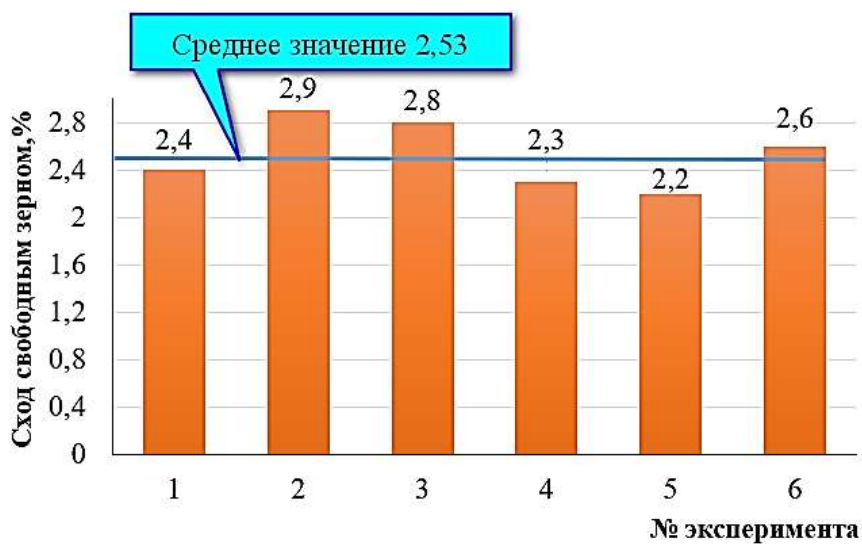
Результаты поискового экспериментального исследования схода свободным зерном получены в условиях предыдущего эксперимента и представлены в виде столбчатых диаграмм (рисунок 5.4).



а)



б)



в)

а – 150 мин<sup>-1</sup>; б – 170 мин<sup>-1</sup>; в – 190 мин<sup>-1</sup>

Рисунок. 5.4 – Результаты поискового экспериментального исследования показателя схода свободным зерном

Анализ диаграмм показывает, что при частоте вращения ротора  $190 \text{ мин}^{-1}$  количество свободного зерна в обмолоченных початках значительно превышает допустимое значение. Причина этого заключается в том, что при данной частоте вращения ротора зерно не успевает проходить в бункер молотильного устройства под действием силы собственного веса. В результате масса обмолоченных стержней и воздушный поток, создаваемый лопастями ротора МСУ, выталкивают свободное зерно в выгрузное окно.

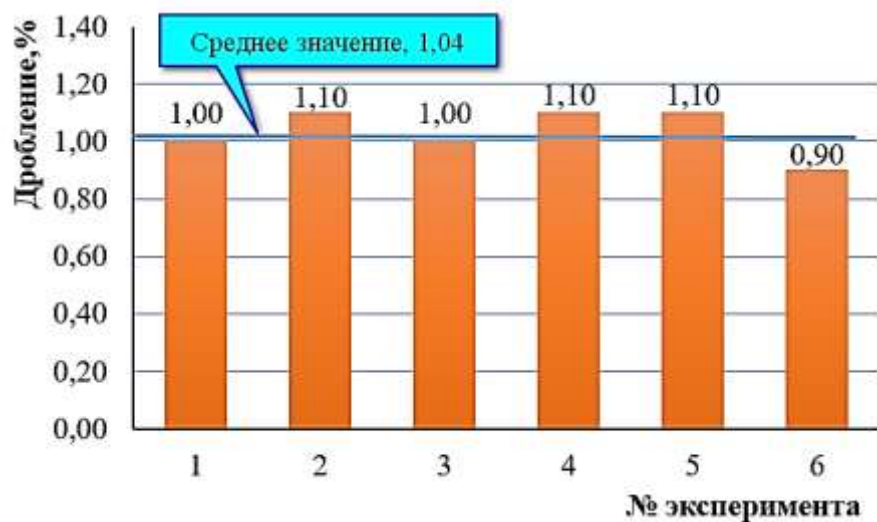
При частоте вращения ротора  $150$  и  $170 \text{ мин}^{-1}$  такой эффект не прослеживается и количество свободного зерна в обмолоченных початках составляет  $1,05 \dots 1,17\%$ . Следовательно, рациональный интервал частот вращения ротора сужается до этих пределов.

Второй этап корректировки интервалов варьирования действующих факторов осуществлялся посредством показателя дробления зерна, который должен быть не более  $1,5\%$ .

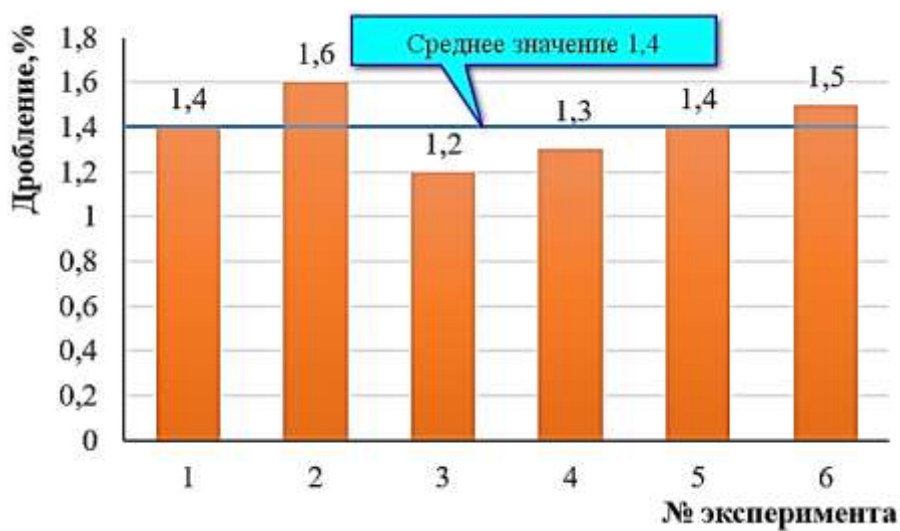
Результаты поискового экспериментального исследования показателя дробления зерна представлены в виде столбчатых диаграмм (рисунок 5.5).

Из диаграмм видно, что на нижней границе рационального интервала частоты вращения ротора  $150 \text{ мин}^{-1}$  показатель дробления зерна составляет  $1\%$ , а на верхней границе рационального интервала частоты вращения ротора  $170 \text{ мин}^{-1}$  – также не выходит за рамки допустимых значений и составляет  $1,4\%$ , что полностью соответствует требованиям, предъявляемым к обмолачивающей технике, применяемой для семенной кукурузы.

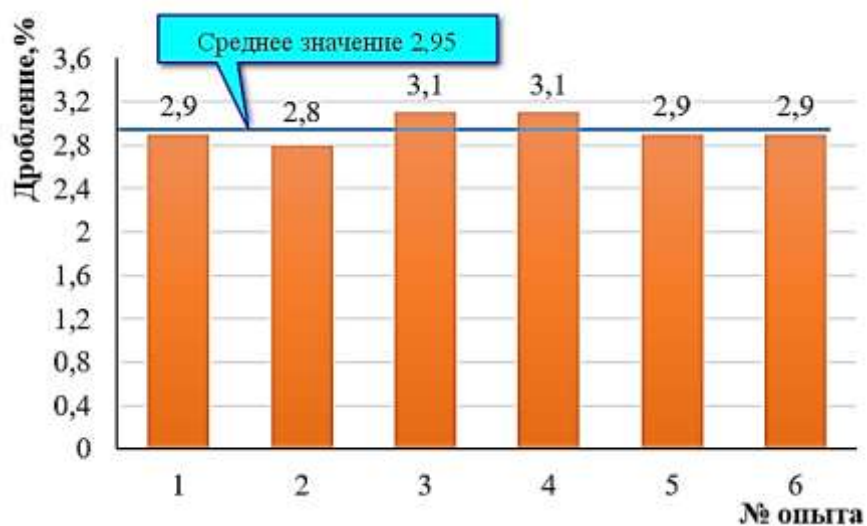
При частоте вращения ротора  $190 \text{ мин}^{-1}$  была обеспечена полная работоспособность молотилки, однако показатель дробления увеличился практически в два раза. Это объясняется тем, что сила удара рабочего органа по зерну в початке начинает превышать предельно допустимое значение. В результате преодолевается система естественной защиты зерна в початке от механических воздействий, и в зоне контакта с рабочим органом (шипом) происходит отделение части эндосперма от зерна.



а)



б)



в)

$a - 150 \text{ мин}^{-1}$ ;  $b - 170 \text{ мин}^{-1}$ ;  $v - 190 \text{ мин}^{-1}$

Рисунок. 5.5 – Результаты поискового экспериментального исследования показателя дробления зерна

Полученные результаты позволяют определить базовые значения действующих факторов при планировании и проведении последующих экспериментальных исследований, проводимых для оптимизации технологических и конструктивных параметров изучаемого МСУ, обеспечивающих не только высокую производительность и качественное отделение зерна от початков, но и минимизацию его макро- и микроповреждений. Результаты проведенных поисковых исследований подтверждают предположение о работоспособности экспериментального аксиально-роторного МСУ с пневмоадаптивной декой и указывают на целесообразность проведения дальнейших многофакторных исследований.

### **5.1.1.3 Результаты экспериментального определения количества просыпавшегося обмолоченного зерна через прорези деки в каждой зоне обмолота**

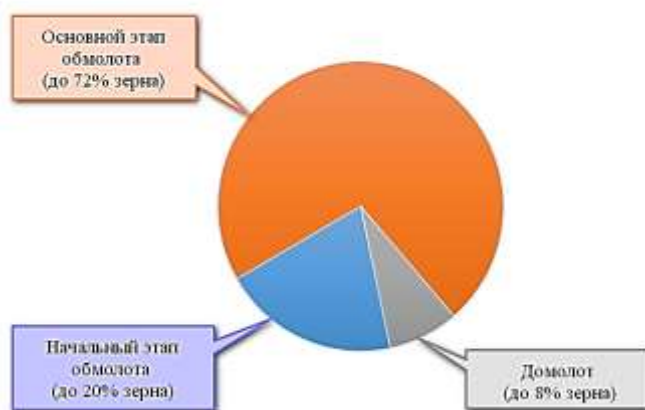
Результаты экспериментального определения количества просыпавшегося обмолоченного зерна через прорези деки в каждой зоне обмолота представлены в таблице 5.2 и в виде круговой диаграммы (рисунок 5.6), построенной по средним значениям эксперимента.

Таблица 5.2 – Результаты экспериментального исследования распределения обмолоченного зерна по секциям деки

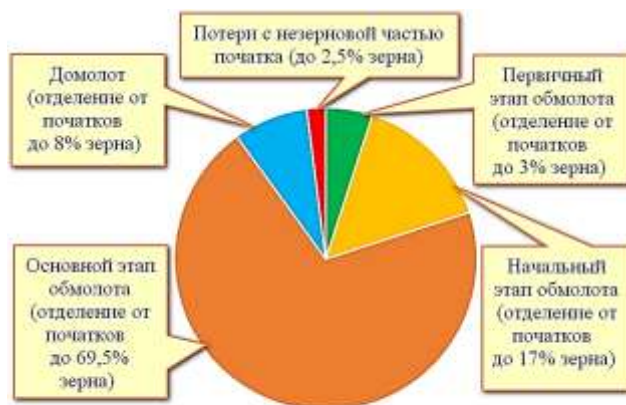
№ опыта	Масса зерна в секции I, кг	Масса зерна в секции II, кг	Масса зерна в секции III, кг	Общая масса зерна в бункере, кг	% от общей массы в секции I	% от общей массы в секции II	% от общей массы в секции III
1	6,56	23,48	2,75	32,79	20,01	71,61	8,39
2	6,75	23,12	2,84	32,71	20,64	70,68	8,68
3	6,75	25,32	2,70	34,77	19,41	72,82	7,77
4	6,87	24,80	2,69	34,36	19,99	72,18	7,83
5	6,54	24,18	2,57	33,29	19,65	72,63	7,72
Среднее значение	6,7	24,2	2,7	33,6	20,00	72,00	8,00



Для определения количества зерна, отделенного на первичном этапе, до входа в МСУ, в нижнюю часть приемной горловины устанавливалась вставка с прорезями для отвода зерна, отделившегося от початков при выходе из защитного бункера, перемещении по откидному лотку бункера, пересыпании на ОДЗА, движении в ручьях ОДЗА и пересыпании в горловину МСУ. В проведенном опыте среднестатистическое значение количества просыпавшегося зерна сквозь прорези в горловине МСУ находилось в интервале 2,6...3,8%. Среднее значение массы зерна в бункере составило 33,6 кг, остальная масса подаваемой навески ( $\approx 33\%$ ) ушла с незерновой частью, недомолотом, сходом свободным зерном, а также зерном, оставшимся внутри СРД разрабатываемого МСУ.



а)



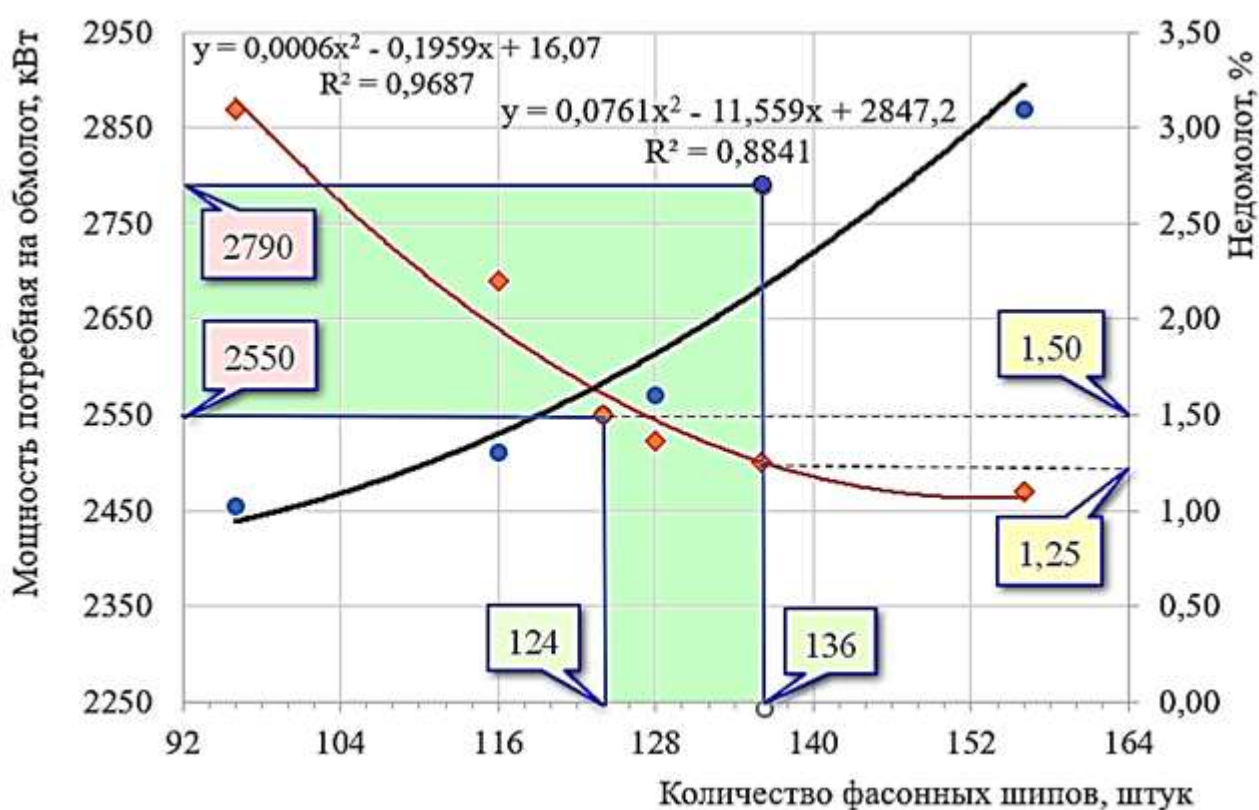
б)

а – по массе зерна в бункере; б – по массе зерна отделенного от початков  
 Рисунок 5.6 – Диаграмма распределения обмолоченного зерна по секциям зернового бункера МСУ, построенная по средним значениям поисковых экспериментов

Полученные экспериментальные данные в целом подтверждают концептуально-теоретическое предположение об описанной ранее закономерности распределения зерна по секциям бункера предложенного МСУ.

#### 5.1.1.4 Результаты экспериментального определения рационального количества шипов в зоне основного обмолота

Результаты экспериментального определения рационального количества шипов в зоне основного обмолота по компромиссу энергетических показателей процесса и недомолота зерна представлены на рисунке 5.7.



◆ - показатель недомолота; ● - затраты мощности на обмолот

Рисунок 5.7 - Результаты экспериментального определения рационального количества шипов в зоне основного обмолота при частоте вращения ротора 170 мин<sup>-1</sup>

Анализ представленных на рисунке 5.7 графических зависимостей позволяет сделать следующие выводы. Количество шипов 92...124 является

недостаточным для эффективного обмолота, 124...136 – рациональным, а 136 и выше энергетически нецелесообразным.

При рациональном количестве фасонных шипов в зоне основного этапа обмолота, находящегося в пределах 124...136 шт., при этом на обмолот расходуется 2550...2790 Вт, а показатель недомолота не превышает допустимые 1,5%.

Нижний и верхний предел интервала рациональных значений количества фасонных шипов в зоне основного этапа конструктивно обеспечивается следующим образом:

- верхняя часть деки минимальная комплектация (4 продольных пневмоподушки по 8 шипов каждая), нижняя часть деки максимальная комплектация (4 поперечных пневмоподушки по 23 шипа каждая), всего 124 шипа;

- верхняя часть деки средняя комплектация (4 продольных пневмоподушки по 11 шипов каждая), нижняя часть деки максимальная комплектация (4 поперечных пневмоподушки по 23 шипа каждая), всего 136 шипов.

В данном интервале рациональных значений количества шипов в зоне основного обмолота обеспечиваются условия, при которых подавляющее большинство шипов контактирует с озернённой поверхностью початков кукурузы, факторы трения и удара максимально качественно способствуют отделению зерна. Явление излома обмолоченных стержней при взаимодействии с излишними шипами (не контактирующими с зерном) минимизируется. Процесс протекает при рациональных затратах энергии. Полученный интервал рациональных значений количества фасонных шипов в зоне основного этапа обмолота целесообразно использовать при многофакторном эксперименте, базирующемся на результатах теоретических исследований и поисковых экспериментов. Следовательно, необходимо осуществление многофакторного экспериментального исследования, факторы которого и их базовые значения целесообразно выбрать на основании таблицы 5.3.

Таблица 5.3 – Сводная таблица условий и результатов однофакторных поисковых экспериментов

Показатель	Значение
Фиксированные значения факторов (установленные на основании анализа существующей информации, теоретических исследований и инженерной интуиции)	
Угол наклона СРД относительно горизонта, °	12
Жесткость пружин шипованных участков деки в зоне начального этапа обмолота, Н/мм	3,67
Предварительное натяжение пружин, мм	10
Количество шипов каждого из четырех участков деки в зоне начального этапа обмолота, штук	15
Количество продольных пневмоподушек на верхней части деки в зонах основного этапа обмолота и домолота	8
Количество поперечных пневмоподушек на нижней части деки в зонах основного этапа обмолота и домолота	7
Количество шипов, прижатых подошвой одной продольной пневмоподушки, штук	8...11
Количество шипов, прижатых подошвой одной поперечной пневмоподушки, штук	16...23
Ширина прорезей в деке для отвода обмолоченного зерна, мм	низ 17, верх 22
Диаметр основного цилиндра ротора, мм	320
Изменение зазора от входа в зону начального этапа обмолота к выходу из нее, мм	80...45
Изменение зазора от входа в зону основного этапа обмолота к выходу из нее, мм	45...30
Изменение зазора от входа в зону этапа домолота к выходу из нее, мм	30...17
Экспериментально полученные значения действующих факторов	
Рациональный интервал подачи початков на обмолот, кг/с	1,0...1,1
Рациональный интервал частоты вращения ротора, мин <sup>-1</sup>	150...170
Рациональное количество фасонных шипов в зоне основного этапа обмолота, штук	124...136
Избыточное давление в пневмоподушках деки, атмосфер	0,4...0,5
Толщина резиновой подошвы пневмоподушек, мм	3
Экспериментально полученные качественные показатели обмолота	
Недомолот, %	≤ 1,5
Сход свободным зерном, %	≤ 1,0
Показатель дробления зерна, %	≤ 1,5
Экспериментально полученные технологические и энергетические показатели процесса	
Производительность, т/ч	3,60...3,96
Затраты энергии на процесс обмолота, Вт	2550...2790
Затраты энергии на холостой ход ротора, Вт	до 390
Общие затраты энергии, Вт	2940...3180

Анализ таблицы 5.3 указывает на целесообразность многофакторного эксперимента, где в качестве факторов следует принять: подачу початков на

обмолот, частоту вращения ротора и количество шипов деки в зоне основного этапа обмолота. Получив оптимальное сочетание данных факторов, их целесообразно зафиксировать и при этом исследовать количество макро- и микроповреждений зерна в условиях изменения угла наклона МСУ относительно горизонта.

### 5.1.2 Результаты проведения лабораторных многофакторных экспериментов

Лабораторные многофакторные эксперименты проводились на уровнях факторов, представленных в таблицах 5.4 и 5.5.

Таблица 5.4 – Факторы и уровни первого многофакторного эксперимента

Фактор эксперимента	Код фактора	Границы области опыта	Шаг варьирования фактора	Верхний уровень фактора	Базовый уровень фактора	Нижний уровень фактора
Частота вращения ротора МСУ $n_{рот}, \text{мин}^{-1}$	$X_1$	150 – 170	10	170	160	150
Подача початков в МСУ, $q_{Э2}^n, \text{кг/с}$	$X_2$	0,9 – 1,1	0,1	1,1	1,0	0,9
Количество фасонных шипов в зоне основного этапа обмолота $Z_{осн}^ш, \text{шт.}$	$X_3$	124 – 136	6	136	130	124
Критерий оптимизации (энергоёмкость процесса обмолота) $Y_{opt1} = Y_1 / Y_2, \text{кВтч/т}$	Отклик $Y_1$ - мощность, потребная на обмолот, кВт				$Y_{opt1} \rightarrow \min$	
	Отклик $Y_2$ – производительность МСУ, т/ч					

Таблица 5.5 – Факторы и уровни второго многофакторного эксперимента

Фактор эксперимента	Код фактора	Границы области опыта	Шаг варьирования фактора	Верхний уровень фактора	Базовый уровень фактора	Нижний уровень фактора
Предварительное натяжение пружин в участках деки на начальном этапе обмолота $L_{нач}^{np}$ , мм	$X_4$	5...15	5	15	10	5
Избыточное давление в пневмоподушках деки на этапах основного обмолота и домолота $p_{nn}^{atm}$ , атм.	$X_5$	0,3...0,5	0,1	0,5	0,4	0,3
Угол наклона СРД относительно горизонта $\gamma_{СРД}$ , град.	$X_6$	9...15	3	15	12	9
Критерий оптимизации (показатель макро- и микроповреждений зерна) $Y_{opt2} = \frac{Y_3}{Y_4} \cdot 100, \%$	Отклик $Y_3$ – масса зерна с макро- и микроповреждениями, кг				$Y_{opt2} \rightarrow \min$	
	Отклик $Y_4$ – общая масса обмолоченного зерна, кг					

Выбранные факторы и их уровни позволяют реализовать план Бокса-Бенкина в соответствии с матрицами экспериментов, приведенных в таблицах 5.6 и 5.7.

Таблица 5.6 - Матрица лабораторного многофакторного эксперимента для  $Y_{optl} = Y_1 / Y_2$ , кВтч/т

№ точки плана	Рандомизация		X1	X2	X3	X1X2	X1X3	X2X3	X1 <sup>2</sup>	X2 <sup>2</sup>	X3 <sup>2</sup>	Факторы в опыте			Отклик					
												X1 мин <sup>-1</sup>	X2 кг/с	X3 штук	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>opt</sub>			
															кВт	т/ч	кВтч/т			
1	64	14	+	+	0	+	0	0	+	+	0	170	1,1	130	3,544	3,960	0,895			
2	40	9	-	-	0	+	0	0	+	+	0	150	0,9	130	2,663	3,240	0,822			
3	90	15	+	-	0	-	0	0	+	+	0	170	0,9	130	2,650	3,240	0,818			
4	40	10	-	+	0	-	0	0	+	+	0	150	1,1	130	3,362	3,960	0,849			
5	20	3	+	0	+	0	+	0	+	0	+	170	1,0	136	3,258	3,600	0,905			
6	26	5	-	0	-	0	+	0	+	0	+	150	1,0	124	2,995	3,600	0,832			
7	18	2	+	0	-	0	-	0	+	0	+	170	1,0	124	3,128	3,600	0,869			
8	31	6	-	0	+	0	-	0	+	0	+	150	1,0	136	2,876	3,600	0,799			
9	36	7	0	+	+	0	0	+	0	+	+	160	1,1	136	3,231	3,960	0,816			
10	44	11	0	-	-	0	0	+	0	+	+	160	0,9	124	2,576	3,240	0,795			
11	21	4	0	+	-	0	0	-	0	+	+	160	1,1	124	3,441	3,960	0,869			
12	46	12	0	-	+	0	0	-	0	+	+	160	0,9	136	2,637	3,240	0,814			
13	03	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	160	1,0	130	2,804	3,600	0,779			
14	60	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	160	1,0	130	2,754	3,600	0,765			
15	39	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	160	1,0	130	2,790	3,600	0,775			
Коэффициенты регрессии																				
Y <sub>optl</sub>	b <sub>0</sub> = 32,58622		b <sub>1</sub> = -0,20876		b <sub>2</sub> = 0,00050		b <sub>3</sub> = -2,40000		b <sub>4</sub> = 2,26250		b <sub>5</sub> = -0,21797		b <sub>6</sub> = 0,00077		b <sub>7</sub> = 0,01250		b <sub>8</sub> = 0,00029		b <sub>9</sub> = -0,03000	

Таблица 5.7 - Матрица лабораторного многофакторного эксперимента для  $Y_{opt2}, \%$

№ точки плана	Рандомизация		X4	X5	X6	X4X5	X4X6	X5X6	X4 <sup>2</sup>	X5 <sup>2</sup>	X6 <sup>2</sup>	Факторы в опыте			Отклик					
												X4 мм	X5 атм	X6 °	Y <sub>3</sub>	Y <sub>4</sub>	Y <sub>opt2</sub>			
															кг	кг	%			
1	64	14	+	+	0	+	0	0	+	+	0	15	0,5	12	10,15	39,00	26			
2	40	9	-	-	0	+	0	0	+	+	0	5	0,3	12	3,57	38,52	9			
3	90	15	+	-	0	-	0	0	+	+	0	15	0,3	12	9,18	38,25	24			
4	40	10	-	+	0	-	0	0	+	+	0	5	0,5	12	10,00	40,12	13			
5	20	3	+	0	+	0	+	0	+	0	+	15	0,4	15	8,72	39,64	22			
6	26	5	-	0	-	0	+	0	+	0	+	5	0,4	9	4,71	39,27	12			
7	18	2	+	0	-	0	-	0	+	0	+	15	0,4	9	10,13	40,52	25			
8	31	6	-	0	+	0	-	0	+	0	+	5	0,4	15	3,03	37,90	8			
9	36	7	0	+	+	0	0	+	0	+	+	10	0,5	15	5,91	39,42	15			
10	44	11	0	-	-	0	0	+	0	+	+	10	0,3	9	5,45	38,90	14			
11	21	4	0	+	-	0	0	-	0	+	+	10	0,5	9	39,86	39,70	16			
12	46	12	0	-	+	0	0	-	0	+	+	10	0,3	15	3,50	38,92	9			
13	03	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0,4	12	3,56	39,56	9			
14	60	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0,4	12	3,45	38,30	9			
15	39	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0,4	12	3,26	40,72	8			
Коэффициенты регрессии																				
Y <sub>opt2</sub>	b0 = 110,91667		b1 = -3,45833		b2 = 0,25167		b3 = -255,83333		b4 = 304,16667		b5 = -6,81944		b6 = 0,19907		b7 = -1,00000		b8 = 0,01667		b9 = 3,33333	



Наиболее характерные макро- и микроповреждения зерна, полученные в предложенном комплекте технических средств для поэтапного обмолота, представлены в таблице 5.8.

Таблица 5.8 - Наиболее характерные макро- и микроповреждения зерна, полученные в предложенном комплекте технических средств для поэтапного обмолота на базовых уровнях факторов

Наименование макро- и микроповреждения зерна	Процент от массы обмолоченного зерна	Визуализация
Открытые макротрещины, уходящие в глубь эндосперма	0,3	
Микроповреждение участка защитной плодовой оболочки зерна	7,8	
Макроповреждение участка защитной плодовой оболочки зерна	0,6	
Микроповреждение тканей зерна в области зародыша	0,2	
Макроповреждение тканей зерна в области зародыша	0,1	
Скрытые (внутренние) трещины, уходящие вглубь эндосперма	отсутствуют	-

Зерна с вышеперечисленными повреждениями отделялись от проб посредством визуального метода с использованием диафаноскопа. Графическое представление визуального метода исследования приведено на рисунке 5.8.



Рисунок 5.8 – Поврежденное зерно кукурузы в просвете диафаноскопа

В результате обработки массива экспериментальных данных в программе статистика Statistica 8.0 for Windows получены значения коэффициентов регрессии (**Приложение Т**), с помощью  $t_i$  - критерия Стьюдента определена их значимость, а также оценена адекватность модели (проверка пригодности уравнения регрессии для описания исследуемого процесса) по  $F$ -критерию Фишера [163-165, 296-304].

В результате получены уравнения регрессии, представленные в раскодированном виде:

$$Y_{opt1} = 32,59 - 0,21 \cdot n_{пот} + 0,001 \cdot n_{пот}^2 - 2,40 \cdot q_{Э2}^n + 2,26 \cdot (q_{Э2}^n)^2 - 0,22 \cdot Z_{осн}^u + 0,001 \cdot (Z_{осн}^u)^2 + 0,013 \cdot n_{пот} \cdot q_{Э2}^n + 0,001 \cdot n_{пот} \cdot Z_{осн}^u - 0,03 \cdot q_{Э2}^n \cdot Z_{осн}^u, \quad (5.1)$$

$$Y_{opt2} = 110,92 - 3,46 \cdot L_{нач}^{np} + 0,25 \cdot (L_{нач}^{np})^2 - 255,83 \cdot p_{ни}^{atm} + 304,17 \cdot (p_{ни}^{atm})^2 - 6,82 \cdot \gamma_{срд} + 0,20 \cdot \gamma_{срд}^2 - 1,00 \cdot L_{нач}^{np} \cdot p_{ни}^{atm} + 0,017 \cdot L_{нач}^{np} \cdot \gamma_{срд} + 3,34 \cdot p_{ни}^{atm} \cdot \gamma_{срд}. \quad (5.2)$$

Полученные уравнения регрессии позволяют не только рассчитать оптимальные значения действующих факторов, но и оценить влияние данных факторов на процесс поэтапного обмолота початков кукурузы.

Из уравнений регрессии видно, что на энергоемкость процесса наибольшее влияние оказывает подача початков в МСУ, а на показатель макро- и микроповреждений зерна - избыточное давление в пневмоподушках деки.

Для определения оптимальных значений действующих факторов в экспериментах рассчитаны частные производные от уравнений регрессии [163-165, 296-304], в результате получены математические системы:

$$\begin{cases} \frac{dY_{opt1}}{dn_{пот}} = -0,21 + 0,002 \cdot n_{пот} + 0,013 \cdot q_{Э2}^n + 0,001 \cdot Z_{осн}^u; \\ \frac{dY_{opt1}}{dq_{Э2}^n} = -2,40 + 4,52 \cdot q_{Э2}^n + 0,013 \cdot n_{пот} - 0,03 \cdot Z_{осн}^u; \\ \frac{dY_{opt1}}{dZ_{осн}^u} = -0,22 + 0,002 \cdot Z_{осн}^u + 0,001 \cdot n_{пот} - 0,03 \cdot q_{Э2}^n. \end{cases} \quad (5.3)$$

$$\begin{cases} \frac{dY_{opt2}}{dL_{нач}^{np}} = -3,46 + 0,50 \cdot L_{нач}^{np} - 1,0 \cdot p_{nn}^{atm} + 0,017 \cdot \gamma_{срд}; \\ \frac{dY_{opt2}}{dp_{nn}^{atm}} = -255,83 + 608,34 \cdot p_{nn}^{atm} - 1,0 \cdot L_{нач}^{np} + 3,34 \cdot \gamma_{срд}; \\ \frac{dY_{opt2}}{d\gamma_{срд}} = -6,82 + 0,4 \cdot \gamma_{срд} + 0,017 \cdot L_{нач}^{np} + 3,34 \cdot p_{nn}^{atm}. \end{cases} \quad (5.4)$$

Системы уравнений (4.3 и 4.4) формируют матрицы, решение которых осуществимо методом Крамера.

Для уравнения регрессии, определяющего энергоемкость процесса обмолота  $Y_{opt1}$ , кВтч/т:

$$\Delta_1 = \left| \begin{pmatrix} 0,002 & 0,013 & 0,001 \\ 0,013 & 4,52 & -0,030 \\ 0,001 & -0,030 & 0,002 \end{pmatrix} \right| = 5,23 \cdot 10^{-6},$$

$$\Delta X_1 = \left| \begin{pmatrix} -0,21 & 0,013 & 0,001 \\ -2,40 & 4,52 & -0,030 \\ -0,22 & -0,030 & 0,002 \end{pmatrix} \right| = -8,32 \cdot 10^{-4},$$

$$\Delta X_2 = \left| \begin{pmatrix} -0,21 & 0,002 & 0,001 \\ -2,40 & 0,013 & -0,030 \\ -0,22 & 0,001 & 0,002 \end{pmatrix} \right| = 4,99 \cdot 10^{-6},$$

$$\Delta X_3 = \left| \begin{pmatrix} -0,21 & 0,002 & 0,013 \\ -2,40 & 0,013 & 4,52 \\ -0,22 & 0,001 & -0,03 \end{pmatrix} \right| = -6,81 \cdot 10^{-4},$$

На основании решения матриц получены расчетные оптимальные значения факторов:

$$X_1 = \Delta X_1 / \Delta_1 = n_{пот} = \left| -8,32 \cdot 10^{-4} / 5,23 \cdot 10^{-6} \right| = 159 \text{ мин}^{-1},$$

$$X_2 = \Delta X_2 / \Delta_1 = q_{э2}^n = \left| 4,99 \cdot 10^{-6} / 5,23 \cdot 10^{-6} \right| = 0,954 \text{ кг/с},$$

$$X_3 = \Delta X_3 / \Delta_1 = Z_{осч}^u = \left| -6,81 \cdot 10^{-4} / 5,23 \cdot 10^{-6} \right| = 130 \text{ штук}.$$

Для уравнения регрессии, определяющего показатель макро- и микроповреждений зерна  $Y_{opt2}$ , %:

$$\Delta_2 = \left| \begin{pmatrix} 0,50 & -1,0 & 0,017 \\ -1,0 & 608,34 & 3,34 \\ 0,017 & 3,34 & 0,40 \end{pmatrix} \right| = 115,64,$$

$$\Delta X_4 = \left| \begin{pmatrix} -3,46 & -1,0 & 0,017 \\ -255,83 & 608,34 & 3,34 \\ -6,82 & 3,34 & 0,40 \end{pmatrix} \right| = -774,4,$$

$$\Delta X_5 = \left| \begin{pmatrix} -3,46 & 0,50 & 0,017 \\ -255,83 & -1,0 & 3,34 \\ -6,82 & 0,017 & 0,40 \end{pmatrix} \right| = 43,14,$$

$$\Delta X_6 = \left| \begin{pmatrix} -3,46 & 0,50 & -1,0 \\ -255,83 & -1,0 & 608,34 \\ -6,82 & 0,017 & 3,34 \end{pmatrix} \right| = -1622,15.$$

На основании решения матриц получены расчетные оптимальные значения факторов:

$$X_4 = \Delta X_4 / \Delta_2 = L_{нач}^{np} = |-774,4 / 115,64| = 7,0 \text{ мм},$$

$$X_5 = \Delta X_5 / \Delta_2 = p_{nn}^{atm} = |43,14 / 115,64| = 0,38 \text{ атм},$$

$$X_6 = \Delta X_6 / \Delta_2 = \gamma_{срд} = |-1622,15 / 115,64| = 14^\circ.$$

Зная оптимизированные значения действующих факторов проведенных экспериментов, можно рассчитать числовые значения критериев оптимизации:

$$Y_{opt1} = 32,59 - 0,21 \cdot 159 + 0,001 \cdot 159^2 - 2,40 \cdot 0,954 + 2,26 \cdot 0,954^2 - 0,22 \cdot 130 + \\ + 0,001 \cdot 130^2 + 0,013 \cdot 159 \cdot 0,954 + 0,001 \cdot 159 \cdot 130 - 0,030 \cdot 0,954 \cdot 130 = 0,65 \text{ кВтч/т,}$$

$$Y_{opt2} = 110,92 - 3,46 \cdot 7 + 0,25 \cdot 7^2 - 255,83 \cdot 0,38 + 304,17 \cdot 0,38^2 - 6,82 \cdot 14 + \\ + 0,20 \cdot 14^2 - 1,0 \cdot 7 \cdot 0,38 + 0,017 \cdot 7 \cdot 14 + 3,34 \cdot 0,38 \cdot 14 = 6,5\%.$$

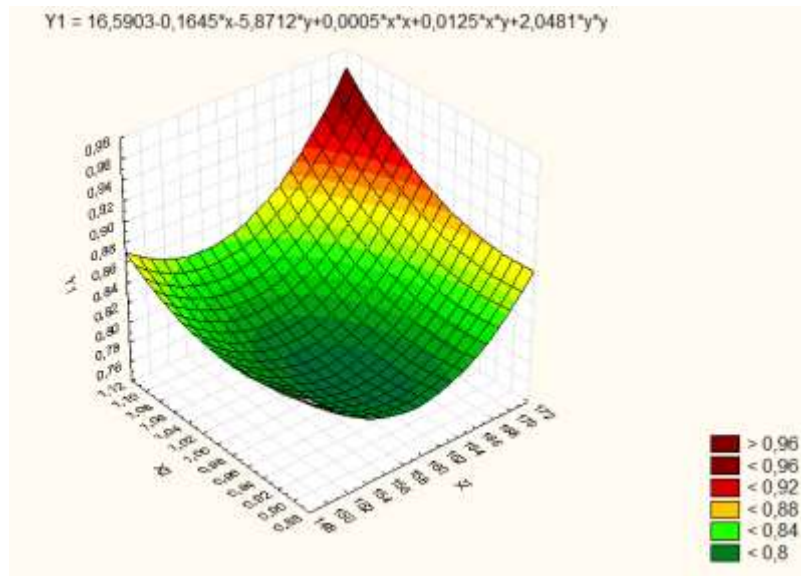
Результаты реализации многофакторных экспериментов сведены в таблицу 5.9.

Таблица 5.9 - Результаты реализации многофакторных экспериментов

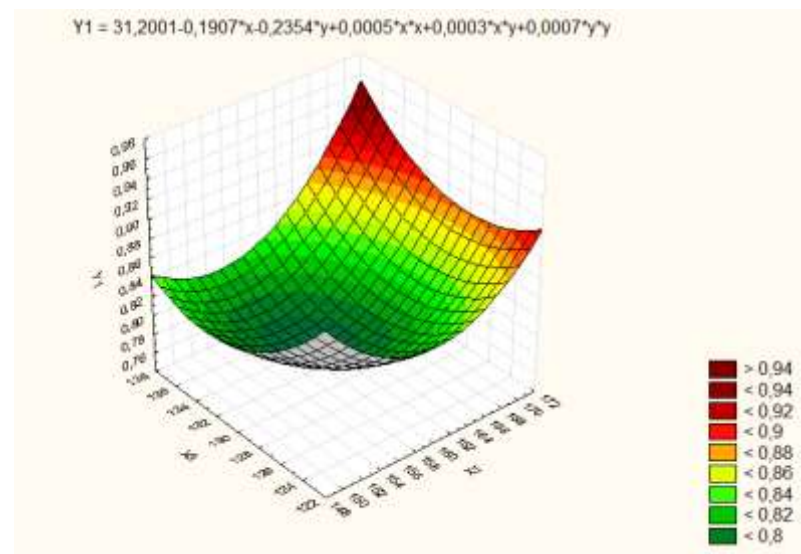
Наименование	Условное обозначение	Единица измерения	Значение
Частота вращения ротора МСУ	$n_{рот}$	мин <sup>-1</sup>	159
Подача початков ОДЗА	$q_{Э2}^n$	кг/с	0,954
Количество фасонных шипов в зоне основного этапа обмолота	$Z_{осн}^ш$	шт	130
Расчетный показатель энергоемкости процесса обмолота	$Y_{opt1}$	кВтч/т	0,65
Предварительное натяжение пружин в участках деки на начальном этапе обмолота	$L_{нач}^{пр}$	мм	7,12
Избыточное давление в пневмоподушках деки на этапах основного обмолота и домолота	$p_{пн}^{атм}$	атм	0,38
Угол наклона СРД относительно горизонта	$\gamma_{СРД}$	град	14
Расчетный показатель макро- и микроповреждений зерна	$Y_{opt2}$	%	6,5

На основании полученных данных при помощи программы Statistica 8.0 for Windows были построены поверхности отклика (рисунок 5.9 и 5.10) и их двумерные сечения (рисунок 5.11 и 5.12), графоаналитический анализ которых позволил выделить интервалы нахождения оптимальных значений действующих факторов.

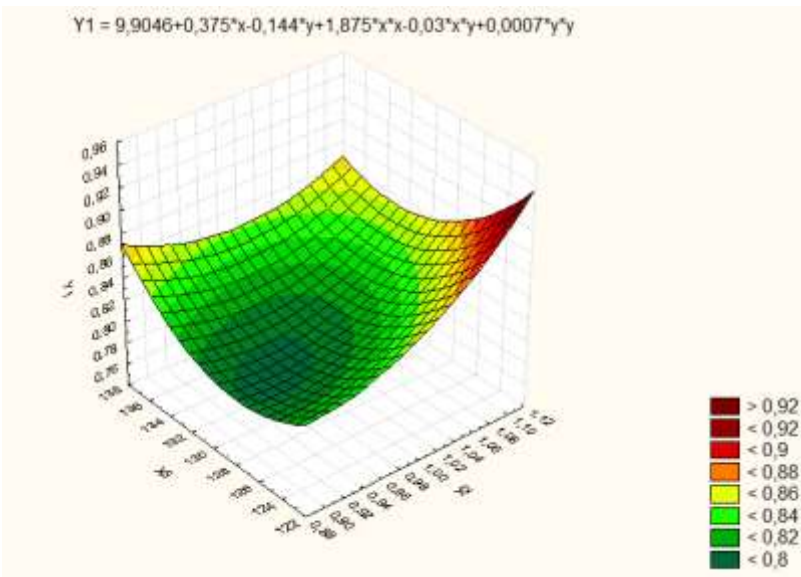
a)



б)

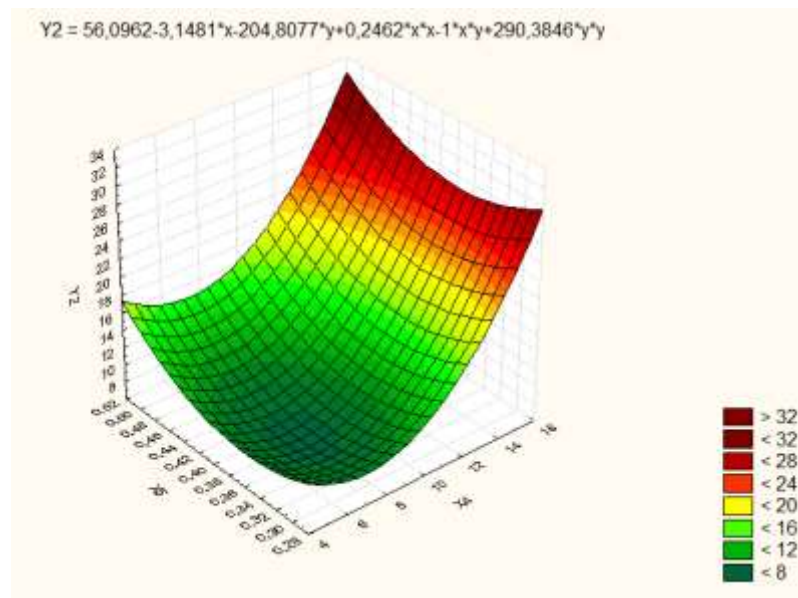


в)

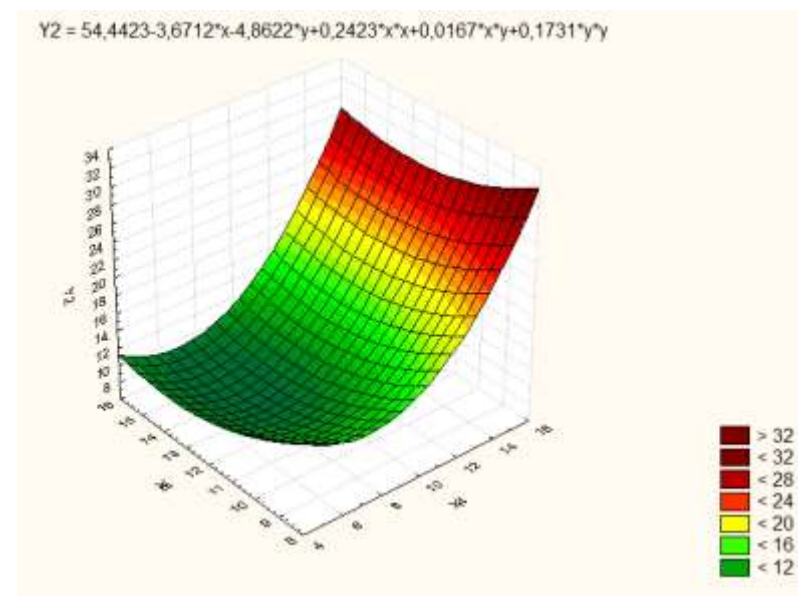


а – при фиксированном  $X_3$ ; б – при фиксированном  $X_2$ ; в – при фиксированном  $X_1$   
Рисунок 5.9 – Поверхность отклика  $Y_{opt1}$

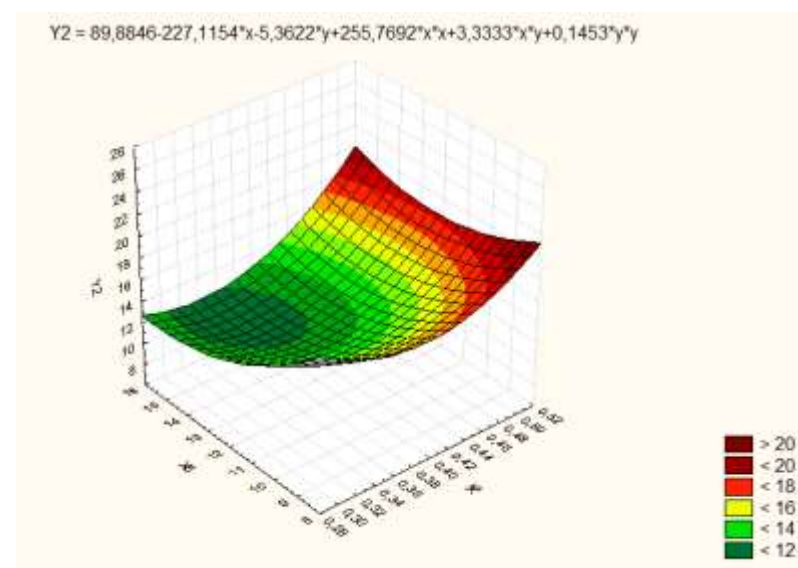
a)



б)



в)



a – при фиксированном  $X_6$ ; б – при фиксированном  $X_5$ ; в – при фиксированном  $X_4$   
Рисунок 5.10 – Поверхность отклика  $Y_{Opt2}$

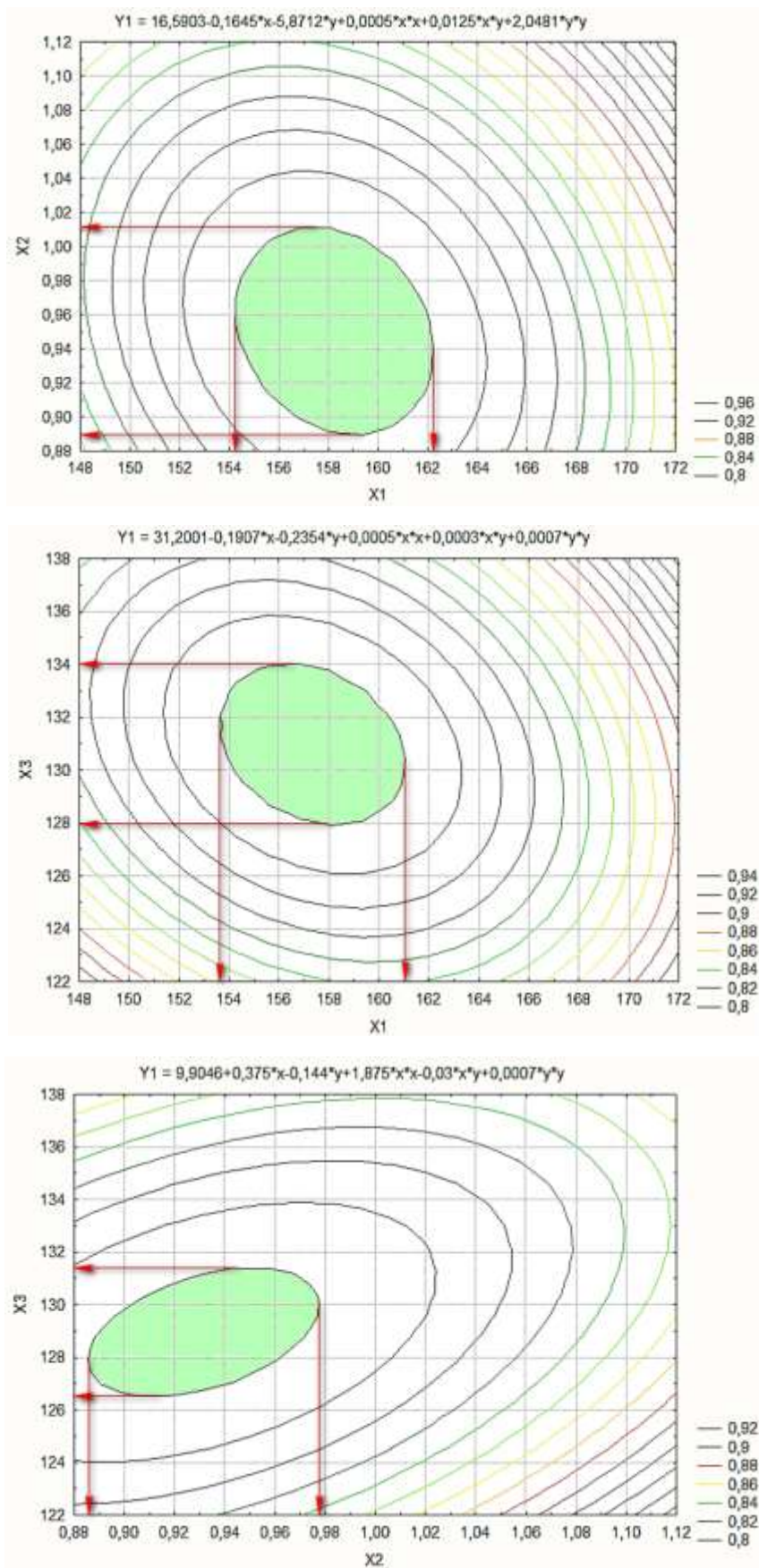


Рисунок 5.11 – К матрице лабораторного многофакторного эксперимента

для  $Y_{opt} = \frac{Y_1}{Y_2}$ , кВтч/т



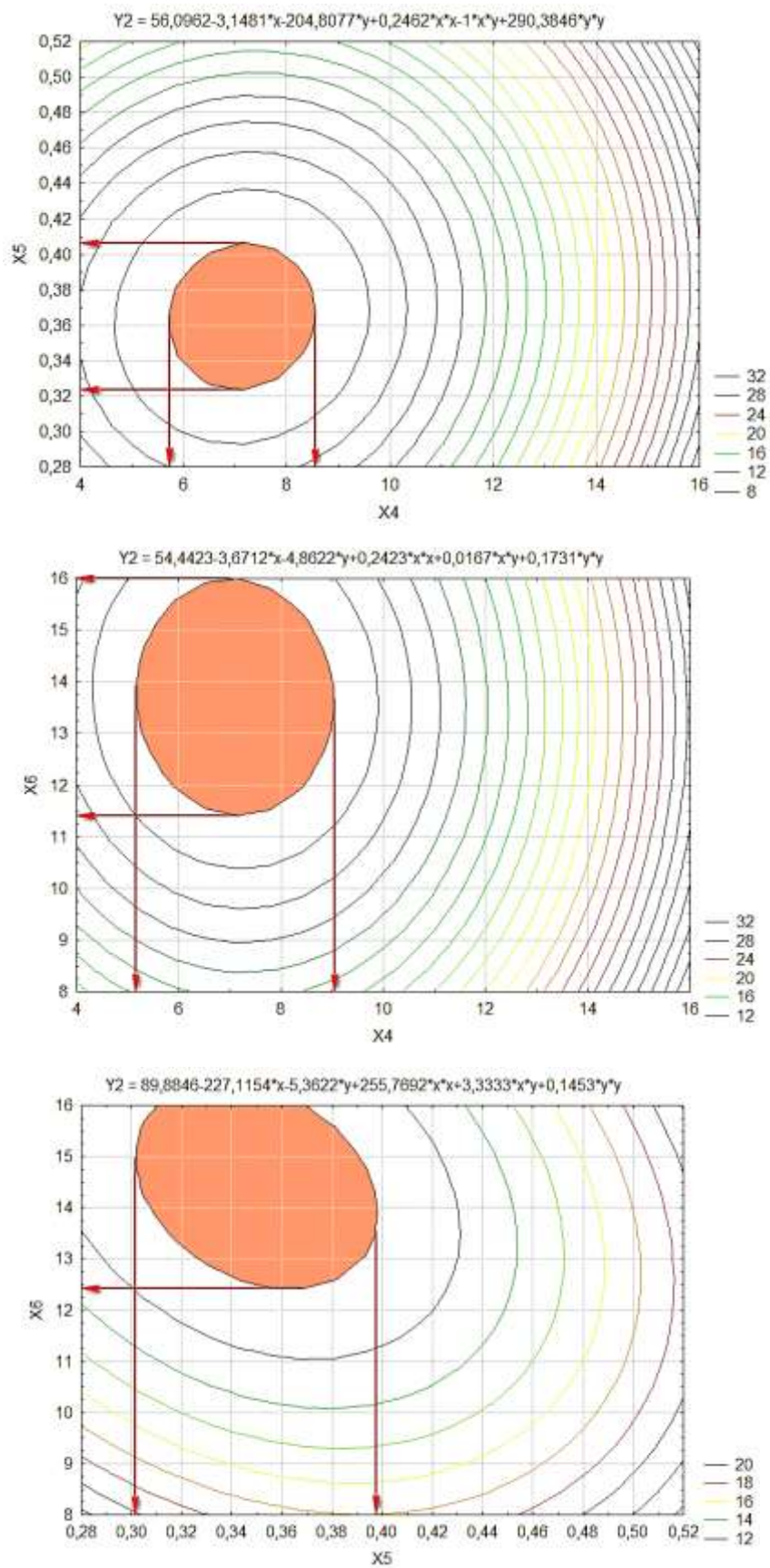


Рисунок 5.12 – К матрице лабораторного многофакторного эксперимента

$$\text{для } Y_{opt2} = \frac{Y_3}{Y_4} \cdot 100, \%$$

Результаты графоаналитического анализа сведены в таблицу 5.10.

Таблица 5.10 - Результаты графоаналитического анализа многофакторных экспериментов

Код фактора	Наименование фактора	Единица измерений	Сочетание факторов	Интервал значений
для $Y_{opt1} = \frac{Y_1}{Y_2}$ кВтч/т				
X1	Частота вращения ротора МСУ	мин <sup>-1</sup>	X1X2	X1 = 154...162 X2 = 0,89...1,01
X2	Подача початков ОДЗА	кг/с	X1X3	X1 = 154...161 X3 = 128...134
X3	Количество фасонных шипов в зоне основного этапа обмолота	штук	X2X3	X2 = 0,88...0,98 X3 = 126...132
для $Y_{opt2} = \frac{Y_3}{Y_4} \cdot 100, \%$				
X4	Предварительное натяжение пружин в участках деки на начальном этапе обмолота	мм	X4X5	X4 = 6,0...8,5 X5 = 0,32...0,41
X5	Избыточное давление в пневмоподушках деки на этапах основного обмолота и домолота	атм.	X4X6	X4 = 5,0...8,5 X6 = 11,5...16,0
X6	Угол наклона СРД относительно горизонта	°	X5X6	X5 = 0,3...0,4 X6 = 12,5...16,0

Оптимальные значения факторов, представленные в таблице 5.9 находятся в центре поверхности отклика и являются экстремумами функций. Данные оптимальные значения факторов можно варьировать, осуществлять точную настройку режимов работы комплекта оборудования без искажения показателей оптимальной эффективности. Это необходимо при обмолоте кукурузы различных подвидов: зубовидная, кремнистая, сахарная, лопающаяся, восковидная.

Интервалы варьирования оптимальных значений факторов для точной настройки предложенного комплекта оборудования на оптимальные режимы работы, целесообразные для обмолота кукурузы различных подвидов, представлены в таблице 5.11.

Таблица 5.11 - Интервалы варьирования оптимальных значений факторов для точной настройки предложенного комплекта оборудования на оптимальные режимы работы

Наименование	Условное обозначение	Единица измерения	Интервал оптимальных значений
Частота вращения ротора МСУ	$n_{рот}$	мин <sup>-1</sup>	154...162
Подача початков ОДЗА	$q_{Э2}^n$	кг/с	0,88...1,01
Количество фасонных шипов в зоне основного этапа обмолота	$Z_{осн}^{ш}$	шт	126...134
Предварительное натяжение пружин в участках деки на начальном этапе обмолота	$L_{нач}^{пр}$	мм	5,0...8,5
Избыточное давление в пневмоподушках деки на этапах основного обмолота и домолота	$p_{пн}^{атм}$	атм	0,32...0,41
Угол наклона СРД относительно горизонта	$\gamma_{СРД}$	град	11,5...16,0

Анализ результатов многофакторных экспериментов показал, что при сочетании факторов (таблица 5.11), находящихся в интервалах оптимальных значений достигается минимальная энергоемкость процесса обмолота, которая составляет 0,650...0,765 кВт/т, при этом количество макро- и микроповреждений зерна при обмолоте не превышает 9% от массы обмолоченного зерна по эксперименту с возможностью уменьшения до расчетного значения 6,5%, показатель дробления зерна – до 1,5%, недомолот – до 1,5%, а сход свободным зерном – до 1%.

Расхождение результатов теоретических и экспериментальных исследований по энергоемкости процесса поэтапного обмолота менее 10%.

Полученные значения показателей эффективности работы комплекта технических средств для поэтапного обмолота початков семенной кукурузы несут в себе практическую значимость, которую необходимо выразить в виде экономического эффекта.

## **5.2 Результаты производственных исследований новых технологических и технических решений, выраженных показателем всхожести и энергии прорастания семенного зерна, и расчет итогового уровня ресурсосбережения**

Результаты производственных исследований новых технических и технологических решений, выраженных показателем всхожести и энергии прорастания семенного зерна, обмолоченного в разработанном комплекте технических средств для поэтапного обмолота початков кукурузы, представлены в виде экспертного заключения отдела семенного надзора и контроля №7 «Перевальская лаборатория» Министерства сельского хозяйства и продовольствия ЛНР (**приложение С**).

В лаборатории, отобранные пробы обмолоченной кукурузы проращивались между слоями фильтровальной бумаги (ВФ) в рулонах (Р). Между двух полос увлажненной фильтровальной бумаги размером 100×1000 мм раскладывалась проба зерна кукурузы зародышем вниз.

Полосы сворачивались в неплотный рулон и в вертикальном положении помещались в растильню с небольшим количеством воды на дне. Семена проращивались при температуре 20...30 °С в течение 7 суток, затем оценивался результат и делалось заключение (**приложение С**).

Согласно данного заключения энергия прорастания обмолоченного, не инкрустированного зерна составляет 90%, а всхожесть – 92%, что указывает на качественное обеспечение целостности зародыша и тканей зерна вблизи его расположения, а это сохраняет весь потенциал урожайности кукурузы.

Полученные в результате оптимизации методом планирования и реализации многофакторного эксперимента данные по макро- и микроповреждению зерна в объеме 9% от обмолоченной партии, относятся к нарушению целостности защитной плодовой оболочки зерна и его эндосперма.

Единичные случаи повреждения зародыша присутствуют, однако их малое количество статистически определимого влияния на всхожесть не оказывает.

Результаты исследований подтверждают прогноз ресурсосбережения, в связи с этим сформирована графическая зависимость 5.13.

Перспективное прогнозирование показывает повышение уровня ресурсосбережения в послеуборочной обработке урожая семенной кукурузы на 30,1%.

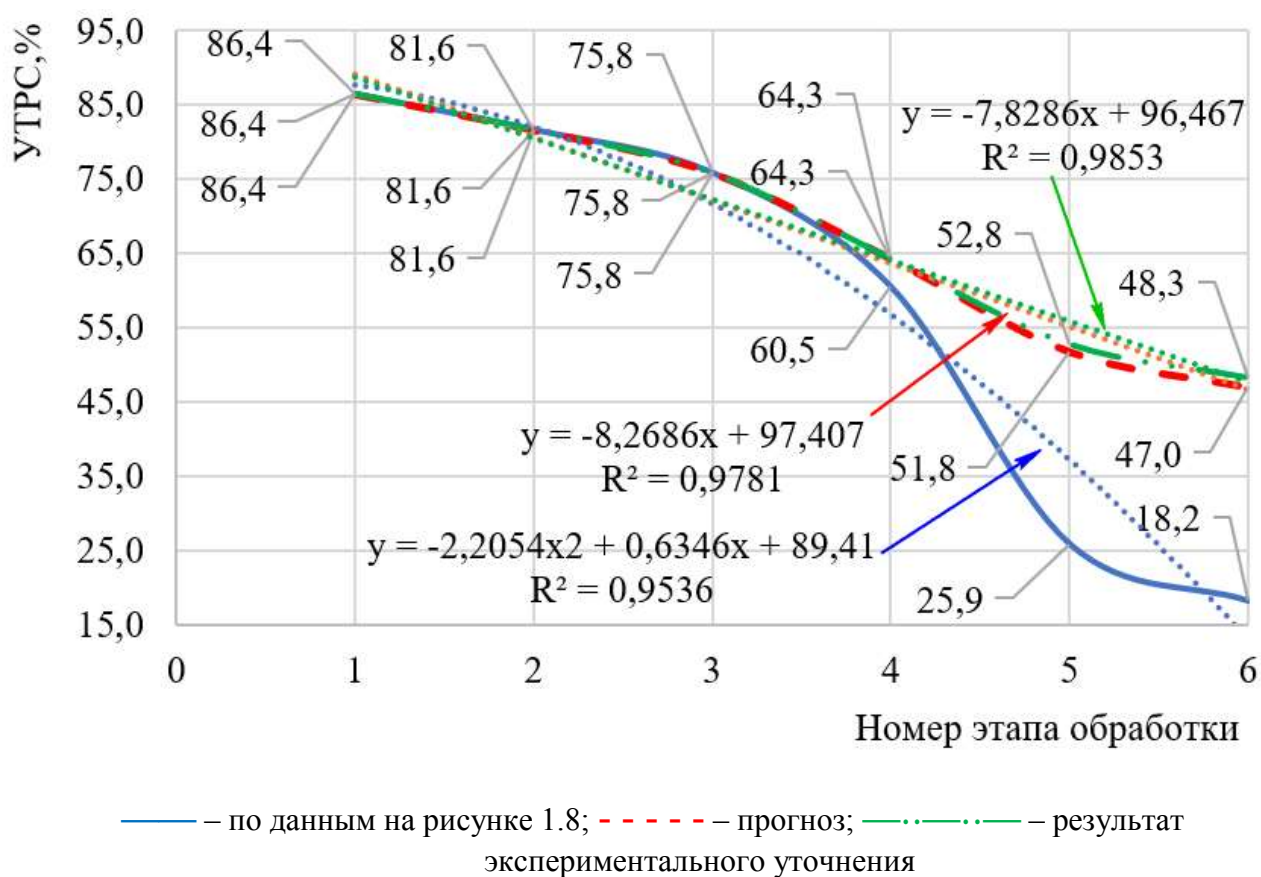


Рисунок 5.13 – Уровень ресурсосбережения в существующей технологии обработки початков и зерна семенной кукурузы, теоретически прогнозируемый и экспериментально уточненный

Расхождение прогнозируемого и экспериментально уточненного уровня ресурсосбережения в технологии, использующей комплект технических средств для поэтапного обмолота, не превышает 3,0%.

### 5.3 Выводы

Анализ полученных результатов дает основание заключить следующее:

1. Рациональные интервалы действующих факторов находятся в следующих поисковых областях:

- частота вращения ротора – 150...170 мин<sup>-1</sup>;
- подача початков на обмолот – 0,8...1,1 кг/с;
- толщина резины пневмоподушки – 3...4 мм, при давлении в пневмоподушке 0,4 атм.

2. Предложенный комплект технических средств для поэтапного обмолота початков кукурузы позволяет обеспечить экспериментально определяемую энергоемкость процесса обмолота 0,650...0,765 кВтч/т и показатель макро- и микроповреждений не более 9% от массы обмолоченного зерна, а также показатель дробления зерна – до 1,5%, недомолот – до 1,5%, а сход свободным зерном – до 1%. Обеспечение данных показателей эффективности достигается при следующих значениях действующих факторов:

- подача початков ОДЗА – 0,954 кг/с;
- частота вращения ротора МСУ – 159 мин<sup>-1</sup>;
- количество фасонных шипов деки в зоне начального этапа обмолота – 60 шт;
- количество фасонных шипов в зоне основного этапа обмолота – 130 шт;
- количество фасонных шипов в зоне домолота – 80 штук;
- жесткость пружин шипованных участков деки в зоне начального этапа обмолота – 3,67 Н/мм;
- предварительное натяжение пружин в участках деки на начальном этапе обмолота – 7,0 мм;
- избыточное давление в пневмоподушках деки на этапах основного обмолота и домолота – 0,4 атм.;
- угол наклона СРД относительно горизонта – 14°;

– изменение зазора от входа в зону начального этапа обмолота к выходу из нее – 80...45 мм;

– изменение зазора от входа в зону основного этапа обмолота к выходу из нее – 45...30 мм;

– изменение зазора от входа в зону этапа домолота к выходу из нее – 30...17 мм.

3. Обеспечение вышеперечисленных показателей достигается не только за счет рациональных и оптимальных значений действующих факторов, но и за счет следующих технологических принципов:

– зерно в початках кукурузы, подаваемых на обмолот, лишено макро- и микроповреждений, полученных при погрузочно-перегрузочных работах за счет применения защитных контейнеров;

– подача початков в ОДЗА осуществляется из защитного контейнера;

– система: контейнер → откидной лоток → ОДЗА → загрузочная горловина обеспечивает первичный этап обмолота, при котором 3 % зерна отделяется от початков;

– початки подаются в МСУ параллельно оси ротора, что обеспечивает их безударный захват и начальный обмолот в рациональном пространственном положении, в начальном этапе обмолота отделяется до 17% зерна;

– на этапах начального основного обмолота и домолота подвижные фасонные шипы обеспечивают полное дифференцирование обмолачивающих сил удара и трения в результате отделяется 69,5 и 8% зерна, соответственно;

– бионически обоснованная фасонная форма шипов минимизирует негативное влияние встречного удара зерна о шип за счет увеличения касательной составляющей ударного импульса и действия по увеличенной площадке контакта. В результате количество макро- и микроповреждений зерна минимизируется;

– этапность процесса обмолота в МСУ обеспечивает распределение обмолоченного зерна по секциям зернового бункера в пропорции 20/72/8%.

Масса зерна отделенного на первичном этапе обмолота собрана в первой секции зернового бункера.

4. Предложенный комплект технических средств для поэтапного обмолота початков кукурузы обеспечивает такую минимизацию макро– и микроповреждений, при котором энергия прорастания обмолоченного, не инкрустированного зерна составляет 90%, а всхожесть – 92%, что указывает на качественное обеспечение целостности зародыша и других тканей зерна, и как следствие сохраняет потенциал урожайности кукурузы.

5. Результаты экспериментов подтверждают расчетные значения, полученные на основании расширенной научной основы математического моделирования разработки и проектирования эффективных комплектов технических средств для поэтапного обмолота початков семенной кукурузы. Расхождение результатов теоретических и экспериментальных исследований составляет:

- по энергоемкости процесса обмолота – не более 10%;
- по прогнозу и результату экспериментального уточнения уровня ресурсосбережения – 3,0%.



## **ГЛАВА 6. ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ И КОМПЛЕКТА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПОЭТАПНОГО ОБМОЛОТА ПОЧАТКОВ СЕМЕННОЙ КУКУРУЗЫ**

### **6.1 Предложения производству по технологическим решениям обработки початков семенной кукурузы с минимальным макро- и микроповреждением зерна**

Предложения производству оформлены на примере Белгородской области, однако справедливы и для других регионов РФ, где возделывается кукуруза на зерно и осуществляется ее семеноводство.

Для обеспечения Белгородской области семенами кукурузы необходимо не менее 158 тыс. посевных единиц (ПЕ) или 3792 тонны высококачественного семенного материала (районированных гибридов 1-го поколения) [9, 98-105, 311-313]. Для эффективного производства такого количества ПЕ для Белгородской области необходима собственная система семеноводства, способная удовлетворить внутриобластные потребности в семенной кукурузе. Такая система должна быть укомплектована заводами по обработке урожая семенной кукурузы. Здесь крайне необходима реализация предложенных в третьей главе технологических решений.

При обработке початков семенной кукурузы гибридную чистоту партий можно обеспечить только при условии высокой культуры производства, компактности ПТЛ и эксплуатации контейнерной системы осуществления транспортных и погрузочно-перегрузочных операций в механизированных линиях. Сохранение потенциала урожайности требует комплекса мероприятий по минимизации макро- и микроповреждений зерна, в том числе, и реализации поэтапного обмолота в МТСО. Следовательно, с учетом незерновой части урожая завод по обработке семенной кукурузы для условий Белгородской

области должен эффективно обрабатывать массу початков не менее 5500 т в сезон.

Базовый вариант щадящего зерно машинного состава перерабатывающего завода предлагается сформировать на основании данных, приведенных в **приложении У**, сформированного с использованием источников [12-16, 19-22, 27-32, 38, 41, 42, 51, 53-56, 61-79, 95-97, 106-110, 116-119, 122, 123, 125-127, 129, 144, 145, 151-153, 188, 189, 217-220, 223, 236, 251, 269, 288, 289]. Из вариативного ряда (**приложение У**) производству предлагается реализовать объединение машин и оборудования по месту, времени и назначению, схематично обеспечить их взаимное пространственное расположение в единую систему ПТЛ и компоновать базовый вариант состава машин для конкретных условий производства. Для этого предлагается практическое применение метода экспертной процедуры установления приоритетов. Суть метода заключается в построении матрицы смежности, элементами которой являются коэффициенты преимуществ при попарном сравнении критериев [146, 147, 196-201, 314]. В матрице на пересечении строки и столбца проставляют коэффициенты преимуществ  $k_{ij}$  элемента  $i$ -й строки  $u_i$  в сравнении с элементом  $j$ -го столбца  $u_j$  (таблица 6.1).

Таблица 6.1 – Матрица попарного сравнения критериев

Критерии	$u_1$	$u_2$	...	$u_j$	$\sum k_i$	$P_i$	$\lambda_i$	Ранг
$u_1$	$k_{11}$	$k_{12}$	...	$k_{1j}$	$\sum k_1$	$P_1$	$\lambda_1$	
$u_2$	$k_{21}$	$k_{22}$	...	$k_{2j}$	$\sum k_2$	$P_2$	$\lambda_2$	
...	...	...	...	...	...	...	...	
$u_i$	$k_{i1}$	$k_{i2}$	...	$k_{ij}$	$\sum k_i$	$P_i$	$\lambda_i$	
$\sum$	-	-	-	-	-	$\sum P_i$	$\sum \lambda_i$	-

Точность оценок обеспечивает установление приоритетов по шкале коэффициентов [146, 147, 196-201]:

$$u_i \succ u_j \Rightarrow k_{ij} = 1,5; u_i \approx u_j \Rightarrow k_{ij} = 1,0; u_j \succ u_i \Rightarrow k_{ij} = 0,5. \quad (6.1)$$

Знак « $\succ$ » означает отношение преимущества, то есть, если критерий  $u_i$  важнее, чем  $u_j$ , то коэффициент принимают равным 1,5; при их одинаковой важности – 1,0; а при меньшей – 0,5. Коэффициенты значимости критериев  $\lambda_i$  определяют по известному отношению [146, 147, 196-201]:

$$\lambda_i = P_i / \sum P_i \quad \text{при} \quad \sum \lambda_i = 1, \quad (6.2)$$



Критерий	$u_1$	$u_2$	$u_3$	$u_4$	$\sum k_i$	$P_i$	$\lambda_i$	Ранг
$u_1$	1,0	1,5	1,5	1,0	5,0	18,00	0,33	1
$u_2$	0,5	1,0	0,5	1,5	3,5	13,25	0,24	3
$u_3$	0,5	0,5	1,0	0,5	2,5	8,75	0,16	4
$u_4$	1,0	1,0	1,0	1,0	4,0	15,00	0,27	2
$\Sigma$	-	-	-	-	-	55,00	1,000	-

Как видно из результатов экспертной оценки 1-й наивысший ранг принадлежит критерию максимальная стартовая влажность початков  $u_1$ , закладываемых на хранение.

Вторым по значимости является критерий  $u_4$  - процентное выражение потери зерна от его макро- и микроповреждений механическими и биологическими факторами. Остальные два критерия не несут первоочередной важности при выборе типа хранилища и учитываются в качестве дополняющей информации. Приведенный выше пример экспертной процедуры установления приоритетов позволил из 4-х вариантов вариативного ряда выбрать горизонтальное сетчатое хранилище, расположенное на площадке переработки или в ее непосредственной близости, конструктивно исполненное с системой принудительной вентиляции с боковым или центральным воздушным каналом (**приложение У п. 2**). Данный подход применим ко всему оборудованию и позволяет подобрать опорный комплект оборудования для технологической схемы осуществления ресурсосберегающей обработки початков и зерна семенной кукурузы в конкретных условиях хозяйствования.

Следовательно, системный метод реализации экспертной процедуры установления приоритетов, в совокупности с результатами исследований, проведенных в рамках данной работы, позволяет осуществлять обоснованный выбор машин и оборудования для осуществления обработки початков и зерна семенной кукурузы с минимальным количеством макро- и микроповреждений зерна и разработать проектную схему компоновки данного оборудования (рисунок 6.1).

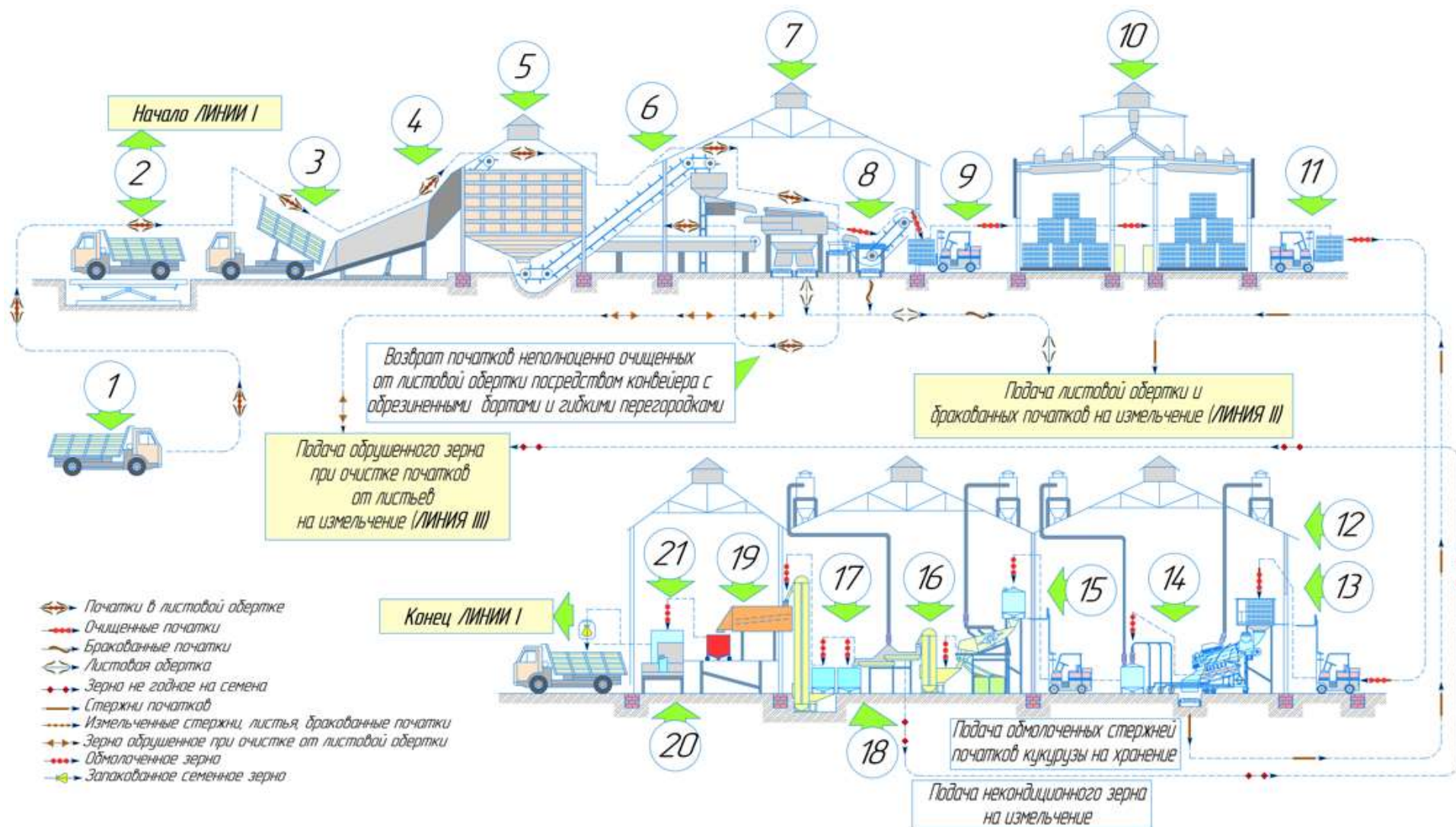


Рисунок 6.1 – Схема технологической линии и рекомендуемые мероприятия, минимизирующие макро- и микроповреждения зерна при послеуборочной обработке початков и зерна семенной кукурузы

Предложенные марки или типы оборудования (**Приложение У**) несут рекомендательный характер для комплекта оборудования в технологической схеме осуществления ресурсосберегающей обработки початков и зерна семенной кукурузы в конкретных условиях хозяйствования.

В технологической линии (рисунок 6.1) предложено реализовать следующий комплекс мероприятий по защите зерна от повреждений:

- 1, 2 – уборка, транспортировка и взвешивание початков в листовой обертке;
- 3 – разгрузка в приемник-дозатор с обрезиненными бортами;
- 4 и 6 – загрузка (разгрузка) сапетки ленточным конвейером с обрезиненными бортами и гибкими перегородками;
- 5 – кратковременное вентилируемое хранение початков в листовой обертке;
- 7 – двухстадийная очистка от листовой обертки;
- 8 – автоматизированная сортировка початков;
- 9 – щадящая загрузка вентилируемых защитных контейнеров;
- 10 – двухстадийная сушка початков в контейнерах;
- 11 – перемещение початков в сушилку и на обмолот в контейнерах;
- 12, 13 – щадящий забор початков из контейнеров и их поэтапный обмолот с разделением зерна на фракции из носка, середины и комля;
- 14 – пневмозагрузка трех групп передвижных контейнеров;
- 15 – аспирация с забором зерна из передвижных контейнеров;
- 16 – перегрузочная операция щадящей норией;
- 17 – очистка зерна с разделением на легковесную и кондиционную фракцию посредством рельефных полимерных решет;
- 18 – загрузка сменных контейнеров для легковесного и кондиционного зерна;
- 19 – щадящая инкрустация зерна;
- 20 – загрузка контейнеров для зерна готового к посеву;
- 21 – затаривание зерна в эластичный Big-bag.

Комплексная реализация защитных мероприятий позволяет минимизировать не только макро- и микроповреждения зерна, но и снизить количество безвозвратных потерь качественного семенного зерна в результате:

- несвоевременного вышелушивания из початков по причине грубого выполнения погрузочно-перегрузочных и транспортных работ;
- проникновения плесеней в ткани эндосперма через поврежденные участки плодовой зерновой оболочки;

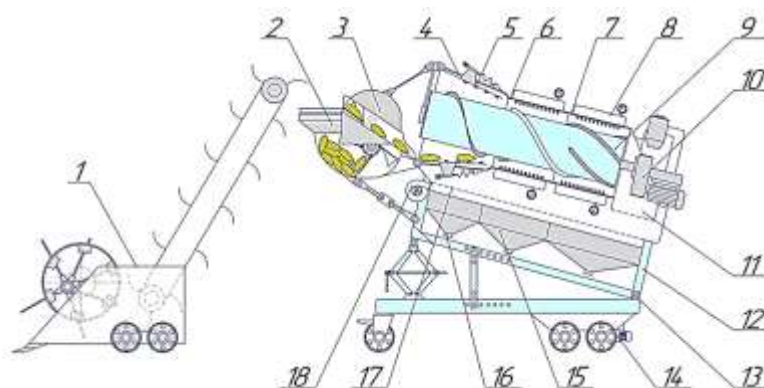
- потери с незерновой частью перерабатываемой массы початков;
- дробления зерна на части рабочими органами не способными к адаптивному изменению силового воздействия.

Кроме этого, контейнерный подход в совокупности с культурой производства обеспечивает гибридную чистоту обрабатываемых партий различных гибридов и ботанических подвидов.

## 6.2 Предложения производству по техническим решениям поэтапного обмолота початков семенной кукурузы

Для решения задачи минимизации макро- и микроповреждений зерна кукурузы при поэтапном обмолоте рекомендуется использовать несколько конструктивных вариантов комплектов технических средств.

Вариант 1. Комплект технических средств поэтапного обмолота с кулисным подборщиком початков, хранящихся на бетонированной площадке склада и элеваторным ОДЗА (рисунок 6.2);

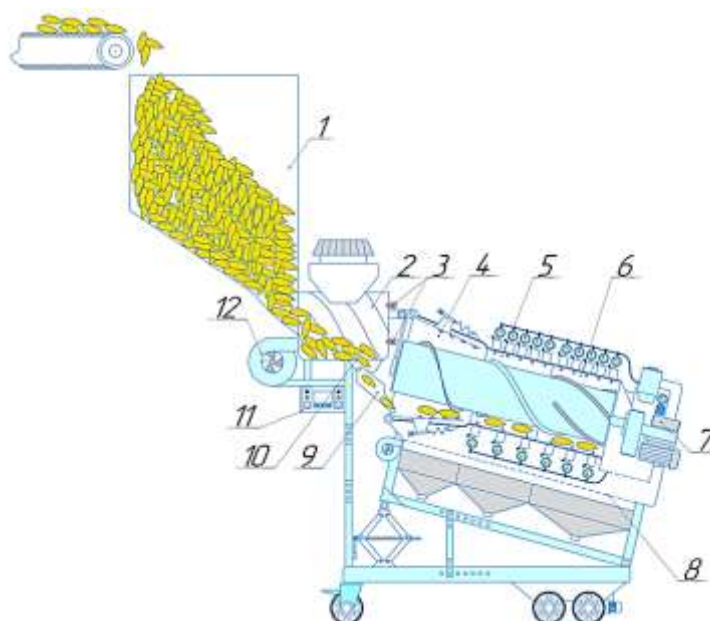


- 1 – погрузчик; 2 – приёмный бункер; 3 – элеваторный ОДЗА;  
 4 – приёмная часть деки; 5 – разрезной шипованный конус; 6, 7 – цилиндрическая основная и цилиндрическая домолачивающая части деки; 8 – пневматические подушки; 9 – ротор; 10 – привод ротора; 11 – выгрузная горловина для обмолоченных стержней; 12 – рама; 13 – механизм изменения угла камеры обмолота относительно горизонта; 14 – поворотная ходовая часть с электроприводом; 15 – бункер для зерна; 16 – горловина с заслонкой;  
 17 – сепарирующая часть с решетом; 18 – вентилятор

Рисунок 6.2. - Комплект технических средств поэтапного обмолота с кулисным подборщиком початков, хранящихся на бетонированной площадке склада и элеваторным ОДЗА

(Приложение Ф). МСУ – (RU 171115; RU207989; UA 30366; UA 18265; UA 86546); ОДЗА – (RU 180093; UA 85886)

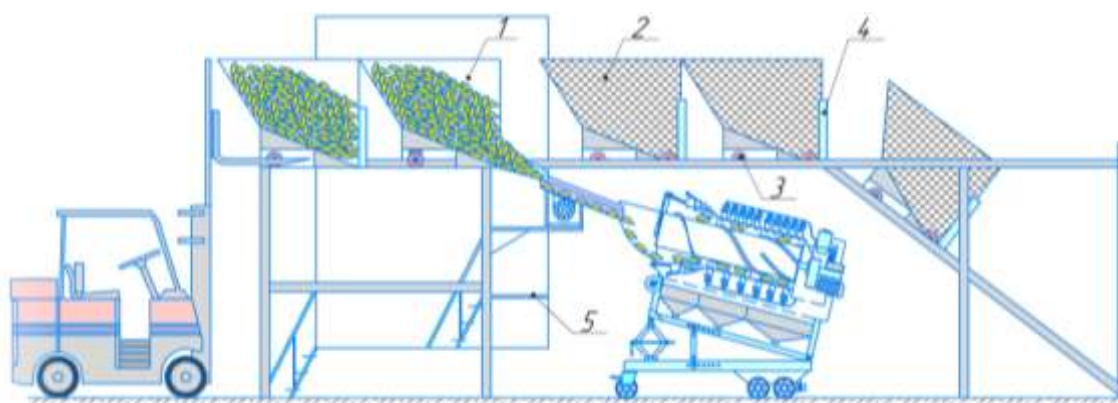
2. Вариант 2. Комплект технических средств поэтапного обмолота с забором початков из накопительного бункера посредством вихревого ОДЗА (рисунок 6.3);



1 – бункер-накопитель; 2 – вихревой ОДЗА; 3 – датчики уровня; 4 – камера начального нарушения целостности зерновой структуры початков; 5 – камера обмолота; 6 – камера домолота; 7 – компрессор; 8 – решето; 9 – пульт управления; 10 – вентилятор

Рисунок 6.3 – Комплект технических средств поэтапного обмолота с забором початков из накопительного бункера посредством вихревого ОДЗА (**Приложение Ф**). МСУ – (RU 171115; RU207989; UA 30366; UA 18265; UA 86546); ОДЗА – (RU 196681)

Вариант 3. Комплект технических средств поэтапного обмолота с забором початков из защитных вентилируемых контейнеров и лотковым ОДЗА (рисунок 6.4).



1 – защитный контейнер с початками; 2 – опорожненный защитный контейнер;  
3 – съемные колеса контейнера; 4 – откидной лоток контейнера в закрытом положении;  
5 – рабочее место оператора МТСО

Рисунок 6.4 – Комплект технических средств поэтапного обмолота с забором початков из защитных вентилируемых контейнеров и лотковым ОДЗА (**Приложение Ф**). МСУ – (RU 171115; RU207989; UA 30366; UA 18265; UA 86546)



Для всех схем общей является работа МСУ с пневмоадаптивной декой. Работает МСУ следующим образом. Элеваторный, вихревой или лотковый ОДЗА подает початки в зону начального обмолота параллельно оси ротора. Причем еще до начала входа початков в МСУ посредством действия рабочих органов ОДЗА начинает нарушаться зерновая структура початков, отделяется 2...5% зерна. Действие загрузочной системы и ОДЗА являет собой первичный этап обмолота. Зерно, отделенное от початков на первичном этапе обмолота, перемещается в первую секцию бункера МСУ. В зоне начального обмолота початки подхватываются пластинчатой навивкой ротора МСУ и совершают винтовое движение. В результате винтового движения в зоне начального обмолота початки кукурузы подают в клин, образованный разрезным шипованным конусом деки, взаимодействуют с фасонными шипами и частично обмолачиваются (отделяется до 20% зерна). Зерно выводят из камеры обмолота в первую секцию бункера через прорезы в деке. Поскольку каждый участок конуса подпружинен и выполнен с возможностью перемещения под действием обмолачиваемой массы в радиальном направлении в камере обмолота происходит увеличение зазора. С помощью увеличения зазора в камере обмолота зерно отделяют от стержня без повреждений. Отсутствие повреждений в приёмной части обусловлено ещё и тем, что натяжение пружин и диаметр оснований конуса, образованного подпружиненными участками, выполнены регулируемы. Натяжение пружин и диаметр оснований конуса регулируют в процессе настройки и непосредственно при обмолоте. Для полного обмолота початки кукурузы после приёмной зоны подают в зону основного обмолота, а затем в зону домолота. В данных зонах початкам кукурузы обеспечивают винтовое перемещение под действием прутковой навивки ротора. При этом происходит взаимодействие початков кукурузы с независимыми друг от друга подвижными фасонными шипами, прижатыми несколькими отдельными поперечными или продольными пневматическими подушками с гибким резиновым дном. В основной и домлачивающей зонах деки производят как полное отделение зерна от стержней, так и эффективное разделение зерностержневой смеси.

Путем применения независимых шипов, прижатых пневматическими подушками, исключают повреждение зерна при обмолоте, поскольку в процессе пуска-наладки и непосредственно при обмолоте изменением давления в подушках полностью регулируют силу воздействия фасонных шипов на зерно.

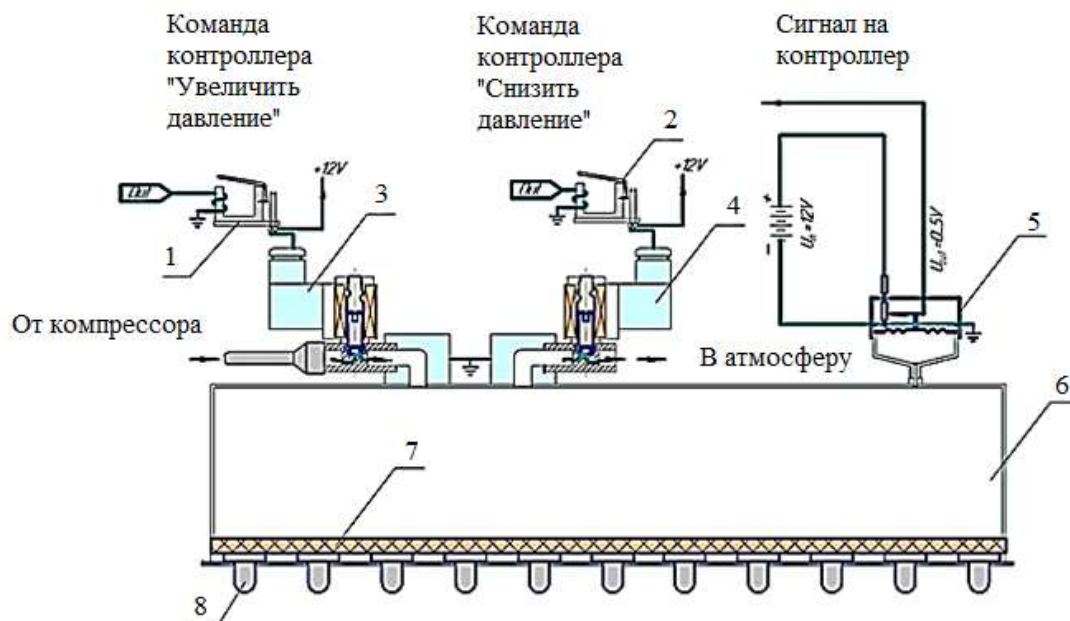
Ротор приводят в движение от электродвигателя. Обмолоченные стержни выводят через горловину. СРД выполнена на раме, которая оснащена механизмом изменения угла наклона относительно горизонта. Обмолоченное зерно накапливают в бункере, горловину которого перекрывают заслонкой. Отверстия решета, установленного в верхней части бункера, продувают посредством вентилятора для отделения от зерна лёгких примесей.

Эффективность управления величиной силового воздействия рабочих органов на зерно посредством изменения силы прижатия независимых друг от друга фасонных шипов деки к зерну, находящемуся в початках кукурузы, непосредственно в процессе обмолота возрастает, если реализовать возможность автоматизированного или цифрового управления давлением в пневмоподушках.

При этом каждая пневмоподушка должна рассматриваться как отдельный элемент. В данном случае МСУ необходимо оснастить аккумулятором, компрессором и программируемой системой автоматического контроля давления в подушках [234].

Процесс управления заключается в следующем. При обмолоте часть зерна повреждается, причём, чем более жёстко пневмоподушки прижимают шипы к зерну, тем больше повреждений. Изменением давления в пневмоподушках можно добиться снижения количества повреждений зерна. Кроме того, рекомендуется устанавливать не менее, чем по 8 пневмоподушек на цилиндрическую основную и домолачивающую части деки. В данном случае возникает возможность во всех подушках обеспечить разное давление, оптимальное для конкретного этапа обмолота. Для эффективности управления качеством обмолота (рисунок 6.5) в каждую пневмоподушку устанавливается датчик давления 5 с резистивным чувствительным элементом, и два электроклапана, один из которых 4 предназначен для спуска давления в

атмосферу, а второй 3 – для подачи воздуха от компрессора, с целью увеличения давления в подушке.



1, 2 – реле; 3 – впускной клапан; 4 – выпускной клапан; 5 – датчик давления с резистивным чувствительным элементом; 6 – пневмоподушка; 7 – гибкое дно пневмоподушки; 8 – шип

Рисунок 6.5 – Схема процесса регулирования давления в пневмоподушках деки МСУ

Положение мембраны датчика 5 зависит от значения давления в пневмоподушке и, как следствие, соответствует определённой силе прижатия фасонных шипов к початкам. Данное значение давления фиксируется как переменная величина в программе контроллера. Если оператор при помощи пульта управления задаёт значение давления в конкретной подушке меньше фактического, контроллер реагируя на положение мембраны даёт команду на переход электроклапана 4 в положение «Снизить давление» (давление сбрасывается в атмосферу). Если оператор задаёт значение давления в конкретной подушке больше фактического, контроллер включает компрессор, который осуществляет подкачку, при этом электроклапан 3 переходит положение «Увеличить давление». Для подкачки и спуска воздуха следует управлять двумя клапанами в каждой из 16 пневмоподушек, для этого предусмотрены 32 управляющих реле (рисунок 6.6).

Для данной системы управления с последующим подключением его к компьютеру рациональным является микроконтроллер ATmega 2560, который быстро и эффективно реализует заданный алгоритм регулировки давления в пневмоподушках. Так как, сигналы считываются в каждой пневмоподушке отдельно, то и регулировка давления может осуществляться адресно, то есть для каждой конкретной пневмоподушки.

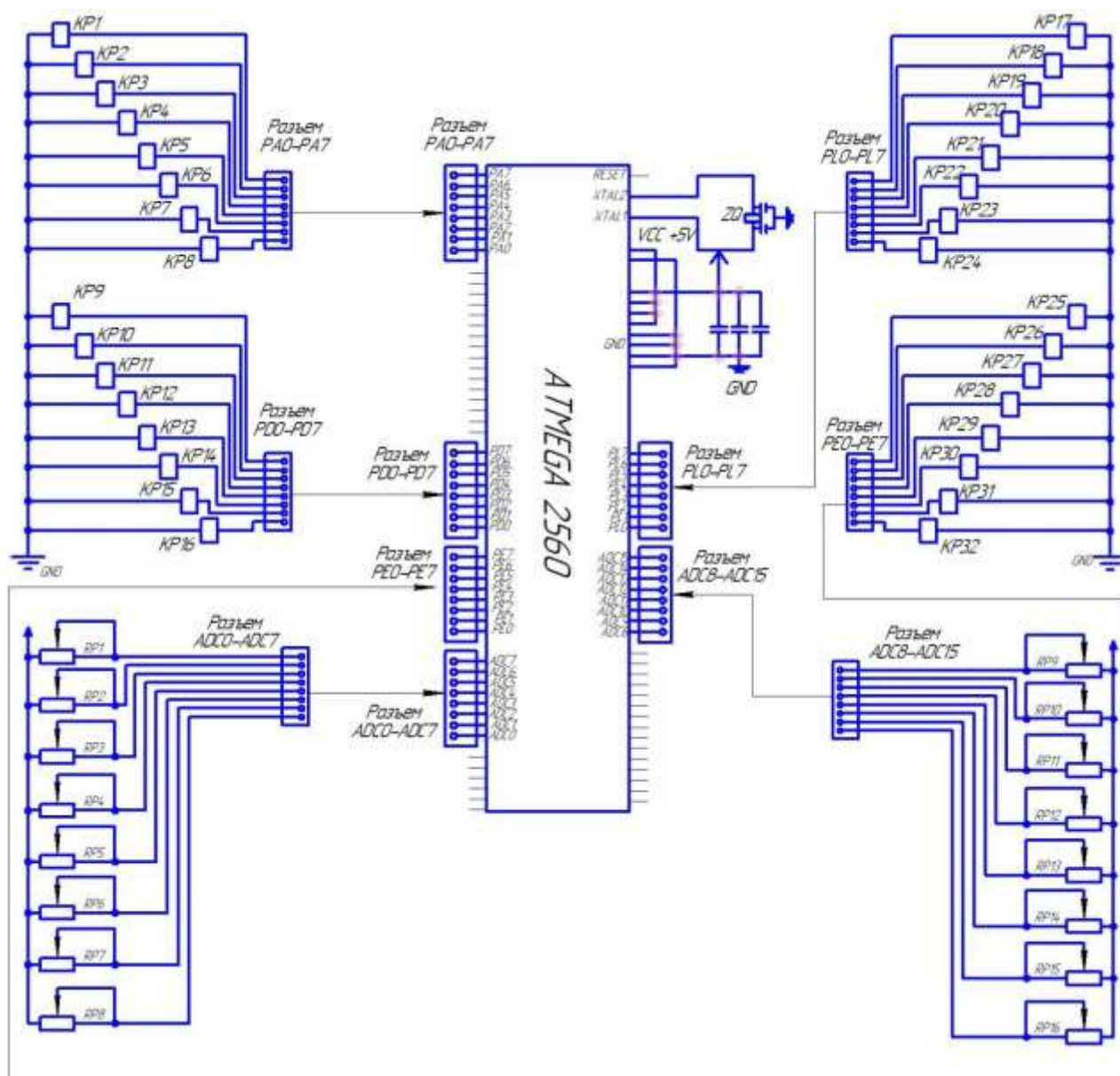


Рисунок 6.6 – Электрическая схема управления клапанами пневмоподушек МСУ

Давление в пневмоподушке, толщина резины её гибкого дна, глубина вдавливания пятки шипа в подушку и сила прижатия шипа к початку взаимосвязаны между собой (таблица 5.1).

Управление давлением в пневмоподушках посредством контроллера ATmega 2560 осуществляется по следующему алгоритму (рисунок 6.7).

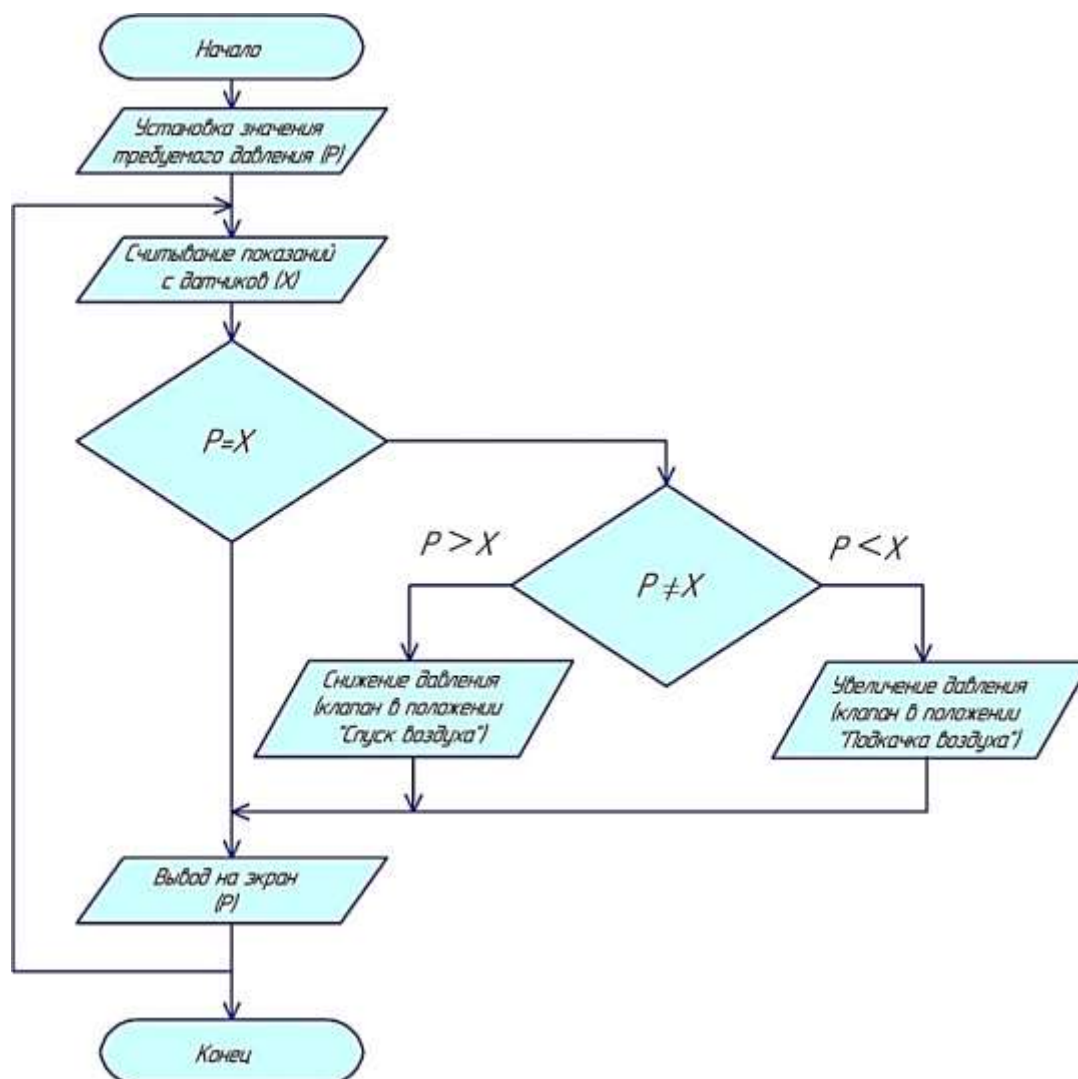
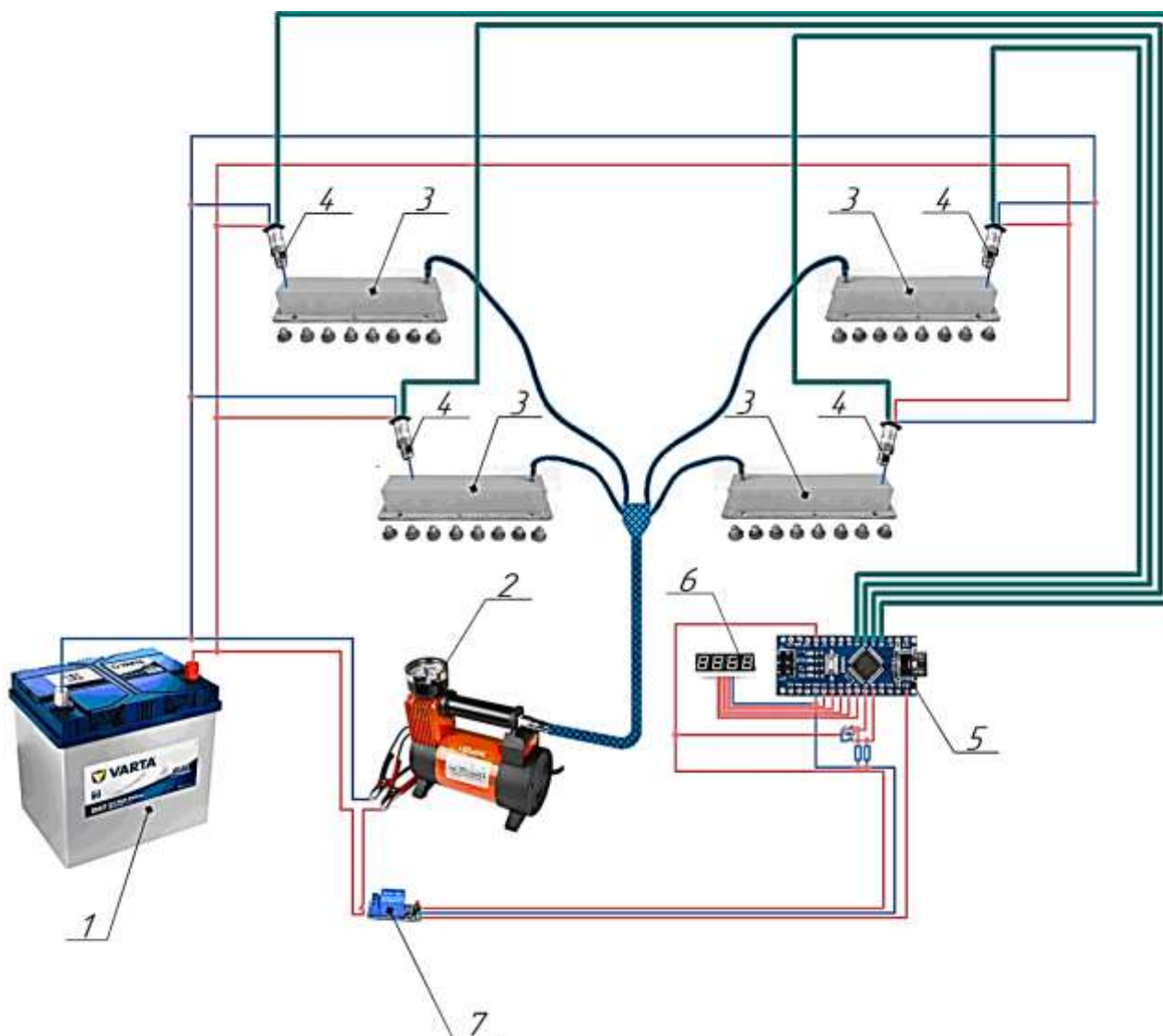


Рисунок 6.7 – Блок-схема процесса регулирования давления в пневмоподушках деки МСУ

Рекомендуемые конструктивно-технологические параметры системы поэтапного обмолота початков семенной кукурузы с минимальным количеством макро- и микроповреждений представлены в таблице 5.3.

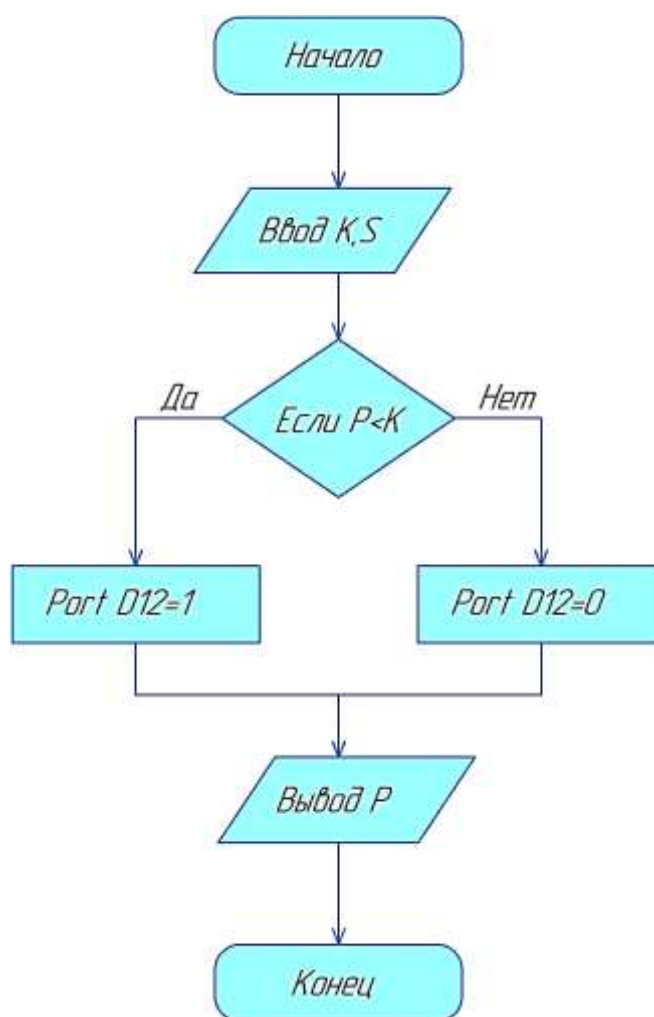
Для обеспечения в производстве принципа вариативности управления предлагается упрощенный способ контроля давления в пневмоподушках деки МСУ (рисунок 6.8), основанный на применении полнофункциональной отладочной платы Arduino Nano. Способ предполагает постоянное адресное поддержание давления в пневмоподушках посредством их автоматической подкачки в процессе эксплуатации.



1 – автомобильный аккумулятор 12V; 2 – автомобильный компрессор; 3 – пневмоподушка;  
 4 – датчик давления PIEZUS APZ - 2410-G-B-1000-E-10-A-721-F-00-ГП;  
 5 - плата Arduino Nano; 6 – семисегментный индикатор; 7 - реле

Рисунок 6.8 – Принципиальная электрическая схема системы контроля давления в пневмоподушках деки МСУ, основанная на применении полнофункциональной отладочной платы Arduino Nano

Контроль давления в пневмоподушках деки МСУ, основанный на применении полнофункциональной отладочной платы Arduino Nano осуществляется по следующему алгоритму (рисунок 6.9).



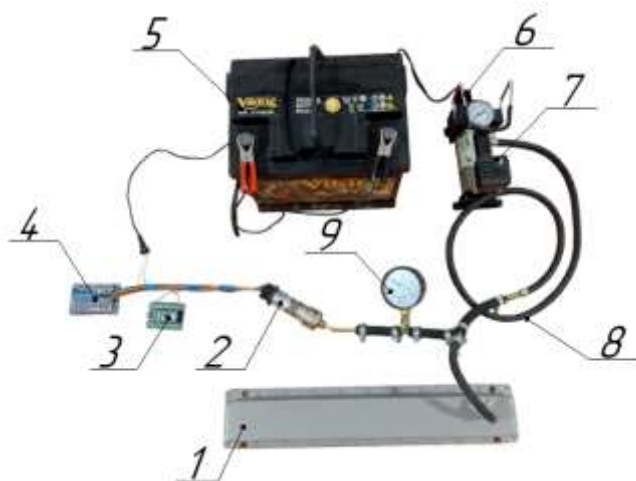
К и S – коды вводимых параметров (величины критического давления и его диапазона);  
Port D12 – выходной порт контроллера

Рисунок 6.9 – Блок-схема процесса контроля давления в пневмоподушках деки МСУ на основе применения полнофункциональной отладочной платы Arduino Nano [315]

Программный код для Arduino Nano, применяемый для управления системой контроля давления в пневмоподушках деки МСУ поэтапного обмолота, и его описание представлены в **приложении X**.

Устройство системы на примере одной пневматической подушки представлено на рисунке 6.10.

Предложенные конструктивно-технологические решения в системе поэтапного обмолота початков семенной кукурузы применимы не только в стационарной механизации, но и в области конструирования специальных селекционных и самоходных кукурузоуборочных комбайнов



1 – пневмоподушка;  
 2 – датчик давления PIEZUS;  
 3 – плата Arduino Nano;  
 4 – индикатор с кнопочным блоком для установки требуемого значения давления;  
 5 – аккумулятор 12V; 6 – реле компрессора;  
 7 – портативный компрессор;  
 8 – воздушная магистраль;  
 9 – манометр ДМ 05063

Рисунок 6.10 – Схема системы цифрового контроля давления на примере одной пневмоподушки деки

На основании вышеприведенной информации предлагается усовершенствованная принципиальная конструктивно-технологическая схема селекционного аксиально-роторного кукурузоуборочного комбайна с очистителем початков от листовой обёртки и элеваторным ОДЗА (рисунок 6.11).

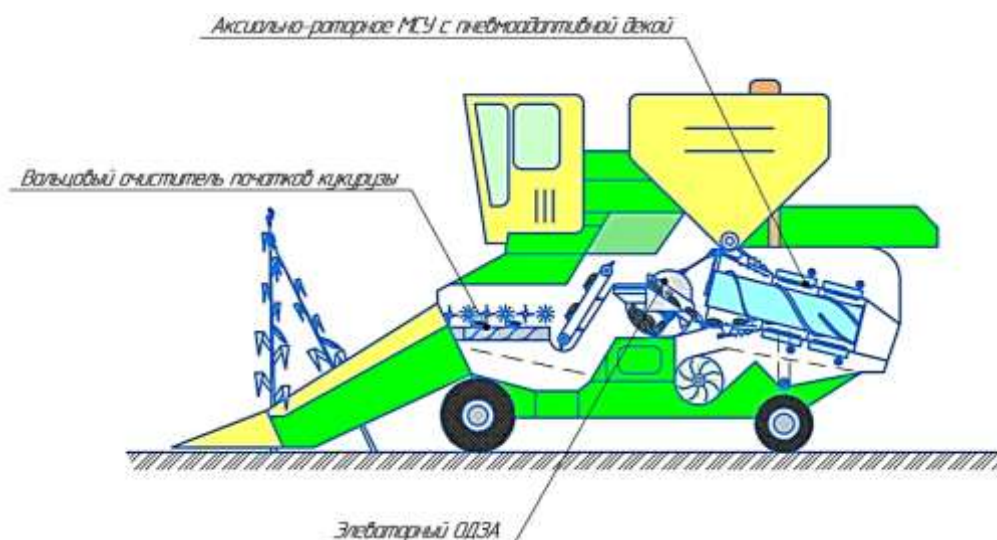


Рисунок 6.11 – Конструктивно-технологическая схема селекционного аксиально-роторного кукурузоуборочного комбайна с очистителем початков от листовой обёртки и элеваторным ОДЗА

Предложенный комбайн работает следующим образом. Комбайн жаткой ориентирует стебли в рядах и в рациональном положении отрывает от стеблей початки кукурузы. Затем початки системой транспортёров подаются в очиститель от листовой обёртки и далее в очищенном виде в накопительный бункер элеваторного ОДЗА, откуда параллельно оси ротора МСУ направляются на поэтапный обмолот. В таких условиях зазоры в молотильной камере и частоту



вращения ротора можно рационализировать и, как следствие, снизить повреждаемость зерна до требуемых пределов.

Из вышеизложенного можно заключить следующее.

1. В условиях заводской обработки початков семенной кукурузы осуществляется комплексная реализация защитных мероприятий, направленных на минимизацию макро- и микроповреждений зерна.

2. Поэтапный обмолот может быть реализован при подаче початков в МСУ с бетонированной площадки, из накопительного бункера и из защитного вентилируемого контейнера.

3. Пневмоадаптивная дека позволяет посредством систем цифрового управления автоматизировать процесс эффективного обмолота.

4. Конструктивно-технологические параметры технической системы поэтапного обмолота перспективны не только в стационаре, но и в условиях работы селекционных комбайнов.

### **6.3 Технико-экономический анализ комплекта технических средств для поэтапного обмолота початков семенной кукурузы**

Для технико-экономического анализа комплекта технических средств для поэтапного обмолота початков семенной кукурузы использовались общеизвестные методики, описанные в источниках [316-326].

В качестве объекта сравнения принята перспективная линия компании Serbia Product, которая для работы с одним модулем сушиллки укомплектована питателем-дозатором ДК-4.000 и двумя конвейерами ТГ.1.000, подающими початки в накопительный бункер МСУ марки MSH-25.

Предложенный комплект анализировался в трехканальном варианте с учетом стоимости 60 защитных контейнеров для загрузки одного модуля сушиллки и самоходного погрузчика малого класса.

Исходные данные для технико-экономической оценки представлены в таблице 6.3.

Таблица 6.3 - Исходные данные для технико-экономического анализа предложенных технических решений

Показатели по системе обмолота и сепарации	Символ	Единица измерения	Значения по вариантам	
			Serbia Product	МТСО (3 - канала)
Общая стоимость комплекта	$B$	млн. руб.	5,2	3,6
Производительность	$W_{см}$	т/ч	25	11
Потребляемая мощность	$N$	кВт	50,0	16,0
Обслуживающий персонал	-	чел	2	3
Масса обрабатываемых початков	$M_{П}$	т	5500	5500
Годовая фактическая загрузка техники	$T_3$	ч	220	500
Норма отчислений на ремонт и техническое обслуживание	$r_p$	%	12	12
Норма отчислений на амортизацию	$a$	%	14,2	14,2
Норма отчислений на страхование техники	$H_{стр}$	%	10	10
Норма отчислений на переоборудование техники для повышения качества продукции	$H_{пер}$	%	10	10
Коэффициент перевода оптовой цены в балансовую	-	-	1,1	1,1
Потери зерна		%	5	3

Экономическая эффективность от внедрения нового комплекта технических средств оценивается с помощью годового экономического эффекта и срока окупаемости капиталовложений (таблица 6.4).

Таблица 6.4 - Результаты технико-экономического анализа предложенных технических решений

Показатели	Расчетная формула* [316-326]	Значения по вариантам	
		Serbia Product	МТСО (3 - канала)
Совокупные затраты денежных средств на единицу наработки, руб./т	$I_{С.З} = I + I_{К.П}, \quad (6.4)$ <p>где <math>I</math> - прямые эксплуатационные затраты средств на единицу наработки;  <math>I_{К.П}</math> - затраты, учитывающие изменение количества и качества продукции.</p>	516,8	471,7
Прямые эксплуатационные затраты денежных средств на единицу наработки, руб./т	$I = З + Г + Э + Р + А + Ф + З_{стр} \quad (6.5)$ <p>где <math>З</math> - затраты на оплату труда, руб./т;  <math>Г</math> - затраты средств на смазочные материалы, руб./т;  <math>Э</math> - затраты на электроэнергию, руб./т;  <math>Р</math> - затраты средств на ремонт и техническое обслуживание, руб./т;  <math>А</math> - затраты на амортизацию, руб./т;  <math>Ф</math> - затраты средств на основные и вспомогательные материалы, руб./т;  <math>З_{стр}</math> - затраты на страхование техники, руб./т</p>	422,3	362,6
Затраты средств на оплату труда обслуживающего персонала, руб./т	$З = \frac{1}{W_{см}} \cdot L_z \cdot \tau_o \cdot K_3, \quad (6.6)$ <p>где <math>L_z</math> - число обслуживающего персонала, чел.;  <math>W_{см}</math> - производительность в единицах наработки, т/ч;  <math>\tau_o</math> - оплата труда обслуживающего персонала, <math>\tau_o = 400</math> руб./чел.-ч;  <math>K_3</math> - коэффициент начислений на зарплату при различных формах налогообложения <math>K_3 = 1,2</math>.</p>	38,4	130,9
Затраты средств на смазочные материалы (СМ), руб./т	$Г = q_T \cdot C_T \cdot K_{СМ.М}, \quad (6.7)$ <p>где <math>q_T</math> - удельный расход СМ, кг/т;  <math>C_T</math> - цена 1 кг СМ, руб./кг;  <math>K_{СМ.М}</math> - коэффициент стоимости СМ.</p>	20,0	20,0
Затраты средств на электроэнергию, руб./т	$Э = \frac{N \cdot C_э}{W_{см}}, \quad (6.8)$ <p>где <math>N</math> - потребляемая мощность, кВт;  <math>C_э</math> - стоимость 1 кВтч электроэнергии, <math>C_э = 5,8</math> руб/кВтч</p>	11,6	8,4
Затраты средств на ремонт и техническое обслуживание, руб./т	$Р = \frac{B \cdot r_p}{W_{см} \cdot T_3}, \quad (6.9)$ <p>где <math>B</math> - цена техники, руб.;  <math>r_p</math> - норма отчислений на ТР и ТО;  <math>T_3</math> - годовая загрузка техники, ч.</p>	113,5	78,5

Продолжение таблицы 6.4

Показатели	Формула	Значения по вариантам	
		Serbia Product	МТСО (3 - канала)
Затраты средств на амортизацию, руб./т	$A = \frac{B \cdot a}{W_{cm} \cdot T_3}, \quad (6.10)$ где $a$ - норма отчислений на амортизацию	134,3	92,9
Прочие прямые затраты средств на основные и вспомогательные материалы, руб./т	$\Phi = h_i \cdot \Pi_{mi}, \quad (6.11)$ где $h_i$ - удельный расход $i$ -го вида материала, кг/т или м/т или шт./т; $\Pi_{mi}$ - стоимость $i$ -го вида материала руб./т или руб./м или руб./шт.	10,0	10,0
Затраты на страхование техники, руб./т	$Z_{cnp} = \frac{B \cdot H_{cnp}}{T_3 \cdot W_{cm}} \quad (6.12)$	94,5	65,5
Удельные капиталовложения, руб./т	$K = \frac{B \cdot 1,1}{W_{cm} \cdot T_3} \quad (6.13)$	1040	750
Затраты средств, учитывающие изменение количества и качества продукции, руб./т	$I_{к.п} = \frac{B \cdot H_{nep}}{T_3 \cdot W_{cm}} \quad (6.14)$	94,5	65,5
Совокупные удельные затраты денежных средств, руб./т	$C = I_{C.3} + 0,2 \cdot K \quad (6.15)$	724,8	621,7
Дополнительный эффект от снижения потерт полновесного семенного зерна, руб.	$\mathcal{E}_{дон} = M_3 \cdot \Pi_3, \quad (6.16)$ где $M_3$ - масса дополнительного полновесного зерна, $M_3 \approx 4800$ кг**; $\Pi_3$ - стоимость семенного зерна, руб/кг, $\Pi_3 \approx 250$ руб/кг [327-331]	-	1200000
Годовой экономический эффект, млн.руб.	$\mathcal{E}_2 = (C_B - C_H) \cdot W_{cmH} \cdot T_{3H} + \mathcal{E}_{дон} \quad (6.17)$	-	1,77
Срок окупаемости, лет	$T_{ок} = \frac{B_H}{\mathcal{E}_2} \quad (6.18)$	-	2

\* Исходные данные для расчета в таблице 6.3.

\*\*Получено в результате исключения 2% дробления зерна посредством применения защитных контейнеров на этапе загрузка сушилки → сушка → транспортировка на обмолот.

Результаты технико-экономической оценки предложенных технических решений показывают существенный экономический эффект, достигаемый за счет снижения совокупных удельных затрат денежных средств на 1 тонну

обмолоченного зерна с 516,8 до 471,7 руб., а также за счет получения дополнительного экономического эффекта от снижения потерь полновесного зерна. Производство отечественных образцов комплектов оборудования для поэтапного обмолота семенной кукурузы решает вопрос импортозамещения в данном направлении.

#### **6.4 Технико-экономическое обоснование предложенных технологических решений по обработке початков и зерна семенной кукурузы**

Экономический эффект от применения предложенных технологических решений по обработке початков и зерна семенной кукурузы  $\mathcal{E}_T$  определяется как разница стоимостных оценок результатов осуществления мероприятий, повышающих эффективность технологии  $P_T$  и затрат на осуществление данных мероприятий  $Z_T$ , за расчетный период, тыс. руб. [316-326]:

$$\mathcal{E}_T = P_T - Z_T \quad (6.19)$$

Стоимостная оценка результатов осуществления мероприятий, повышающих эффективность технологии, определяется по формуле [316-326]:

$$P_T = \sum_{t=t_n}^{t_k} P_t \cdot a_t, \quad (6.20)$$

где  $P_t$  – стоимостная оценка результатов осуществления мероприятий, повышающих эффективность технологии в  $t$ -м году расчетного периода, тыс. руб.;

$t_n$  – начальный год расчетного периода;

$t_k$  – конечный год расчетного периода;

$a_t$  – коэффициент приведения к расчетному году [316-326].

Стоимостная оценка затрат на осуществление мероприятий, повышающих эффективность технологии, определяется по формуле [316-326]:

$$Z_T = \sum_{t=t_n}^{t_k} Z_t \cdot a_t = \sum_{t=t_n}^{t_k} (I_t + \Sigma K_t - L_t) \cdot a_t, \quad (6.21)$$

где  $Z_t$  – стоимостная оценка затрат на осуществление мероприятий, повышающих эффективность технологии в  $t$ -м году расчетного периода, тыс. руб.;

$I_t$  – текущие издержки при производстве продукции в  $t$ -м году расчетного периода, тыс. руб.;

$\Sigma K_t$  – единовременные затраты при производстве продукции в  $t$ -м году расчетного периода, тыс. руб.;

$L_t$  – остаточная стоимость (ликвидационное сальдо) основных фондов, выбывающих в  $t$ -м году расчетного периода, руб.

Исходные данные для технико-экономической оценки предложенных технологических решений по обработке початков и зерна семенной кукурузы представлены в таблице 6.5.

Таблица 6.5 - Исходные данные для технико-экономической оценки предложенных технологических решений

Показатель	Единица измерения	Среднее значение	Источник	Стоимость, тыс. руб. в 2019 г.	Стоимость, тыс. руб. в 2020 г.
Посевная единица высококачественного импортного зерна	тыс. штук семян (кг)	80 (24)	[311]	6,5	8,5
Фуражное зерно	т	1	[327 – 331]	11	15
Валовый сбор фуражного зерна в Белгородской области	тыс. т	870 (в 2019 г) 846,6 (в 2020 г)	[9, 98]	9570	12699
Недобор урожая по причине макро- и микроповреждений посевного материала	ц/га	5	[111 – 114, 187]	-	-
Посевная площадь кукурузы в Белгородской области	тыс. га	158	[9, 98]	-	-
Общий недобор урожая зерна в Белгородской области по причине макро- и микроповреждений посевного материала	тыс. т	79	-	869000	1185000
Объем импортируемого в Белгородскую область семенного зерна кукурузы	тыс. т	1,183	[98, 154]	320392	418983
Общий объем финансовых потерь	тыс. руб.	-	-	1189392	1603983

Таблица 6.6 - Результаты технико-экономической оценки предложенных технологических решений

Показать	Условное обозначение и единица измерения	Расчетный период	
		2019 г.	2020 г.
Стоимостная оценка результатов осуществления мероприятий, повышающих эффективность технологии в $t$ -м году расчетного периода	$P_t$ млн. руб. (таблица 6.5)	869	1185
Текущие издержки при производстве продукции в $t$ -м году расчетного периода	$I_t$ млн. руб.	2,6	2,6
Единовременные затраты на закупку 480 защитных контейнеров для восьмимодульной сушилки (по 60 на каждый модуль. Всего модулей 8), их обновление и ремонт при производстве продукции в $t$ -м году расчетного периода	$K_{t1}$ млн. руб.	2,5	$2,5 \cdot (r_p + a) = 0,66$
Единовременные затраты на закупку погрузчика, его обновление и ремонт при производстве продукции в $t$ -м году расчетного периода	$K_{t2}$ млн. руб.	1,4	$1,4 \cdot (r_p + a) = 0,37$
Единовременные затраты на закупку МТСО, ее обновление и ремонт при производстве продукции в $t$ -м году расчетного периода	$K_{t3}$ млн. руб.	2,2	$2,2 \cdot (r_p + a) = 0,57$
Общие единовременные затраты в $t$ -м году расчетного периода	$\Sigma K_t$ млн. руб.	6,1	1,6
Остаточная стоимость (ликвидационное сальдо) основных фондов, выбывающих в $t$ -м году расчетного периода. (Запас расходных материалов)	$L_t$ млн. руб.	-	0,1
Стоимостная оценка затрат на осуществление мероприятий, повышающих эффективность технологии в $t$ -м году расчетного периода	$З_t$ млн. руб.	8,70	4,10
Экономический эффект от применения предложенных технологических решений за расчетный период	$Э_t$ млн. руб./год	2041,2	
Годовой экономический эффект от применения предложенных технологических решений	$Э_{t2}$ млн. руб./год	1020,6	

Реализация предложенных технологических решений в Белгородской области позволяет получить до 1,020 млрд рублей в год. Данный объем средств позволяет осуществить полное техническое перевооружение и машинное импортозамещение в системе переработки семенной кукурузы Белгородской области, а также повысить уровень продовольственной безопасности области.

## **6.5 Рекомендации к методике проектирования и инженерного расчета комплектов технических средств для поэтапного обмолота початков семенной кукурузы**

Комплект технических средств поэтапного обмолота представляет собой ПТЛ. В связи с этим должны быть реализованы следующие принципы поточного производства [10, 63, 64, 66, 116, 120, 121, 129, 305, 332, 333]:

- принцип прямоочности (согласование по производительности);
- принцип специализации (каждое техническое средство специализировано для одной конкретной операции);
- принцип непрерывности;
- принцип ритмичности.

Исходя из вышеописанных принципов проектирование комплектов технических средств для поэтапного обмолота початков семенной кукурузы целесообразно начинать с устройства, обладающего наименьшей производительностью. Предлагается методика проектирования, включающая:

- 1) накопление информации и формирование вариативных рядов данных при изучении механико-технологических свойств кукурузы различных подвидов и анализе эмпирических зависимостей;
- 2) согласованное принципами прямоочности, специализации, непрерывности и ритмичности последовательное проектирование конструктивных схем:
  - 2.1) защитного контейнера;
  - 2.2) многоручьевого ОДЗА;
  - 2.3) аксиально-роторного МСУ;
- 3) разработку эскизов технических средств и компоновку их в единый комплект в САПР;
- 4) обоснование типоразмерных рядов и определение масштабного преобразования комплектов;
- 5) создание рабочей схемы для последующего 3D-моделирования.



Первый пункт методики подробно изложен в главе 2 и приложении Г.

Согласно пункту методики 2.1 осуществляется формирование исходных данных для проектирования защитного вентилируемого контейнера (таблица 6.7). Вводится принципиальное условие. Защитный контейнер должен быть выполнен из стального газопроницаемого решетчатого полотна с диаметром отверстий, исключающих проход зерна, отделившегося от стержней початков в процессе сушки и контейнерных погрузочно-перегрузочных операций.

Таблица 6.7 – Исходные данные для определения конструктивно-технологических параметров защитного вентилируемого контейнера для початков семенной кукурузы

Наименование конструктивного параметра	Значения	Источник информации	Примечание
Максимальная ширина контейнера $B_K$ , м	0,8...1,0	ГОСТ 9078-84 «Поддоны плоские. Общие технические условия»	По аналогии с размерами поддонов для самоходного вилочного погрузчика малой грузоподъемности
Максимальная длина контейнера $A_K$ , м	1,2...1,8		
Максимальная высота контейнера $H_K$ , м	0,8...1,0	[64, 110, 129]	В соответствии с необходимостью обеспечения эффективного прохода теплоносителя в порах насыпи при сушке початков в защитных контейнерах
Угол наклона задней стенки контейнера $\alpha_K$ , град	10...20	[38, 290]	Для обеспечения постоянного напряжения сдвига слоёв
Угол наклона днища контейнера $\beta_K$ , град	27...35	[129, 162]	Угол наклона днища должен быть не менее угла естественного откоса початков кукурузы
Диаметр отверстий в стенках и днище контейнера для прохода теплоносителя, мм	3,5...5,0	[233, 334 - 336]	Диаметр отверстий в стенках и днище контейнера должен быть меньше условного диаметра зерна кукурузы $d_{зк}$
Объем контейнера, м <sup>3</sup>	0,22...1,30	[129, 290, 333]	Для обеспечения качественного прохода теплоносителя через массу початков, находящихся в контейнере

Продолжение таблицы 6.7

Наименование конструктивного параметра	Значения	Источник информации	Примечание
Насыпная плотность початков кукурузы, т/м <sup>3</sup>	0,38...0,48	[64, 65]	Для всех подвидов кукурузы
Масса початков в одном контейнере, кг	100...600	-	Справочное значение для организации эффективного процесса перемещения початков на обмолот
Высота разгрузочного окна контейнера, мм	До 300	[122, 123, 129]	Для исключения сводообразования в области разгрузочного окна
Длина откидного лотка $L_{\text{л}}$ , м	0,6...1,0	-	Справочное значение для обеспечения однослойного схода початков с откидного лотка на ОДЗА
Ширина откидного лотка, м	0,8...1,0	-	В соответствии с шириной защитного контейнера

На основании таблицы 6.7 предлагается эскиз защитного вентилируемого контейнера для початков семенной кукурузы с рекомендуемыми размерными параметрами (рисунок 6.12).

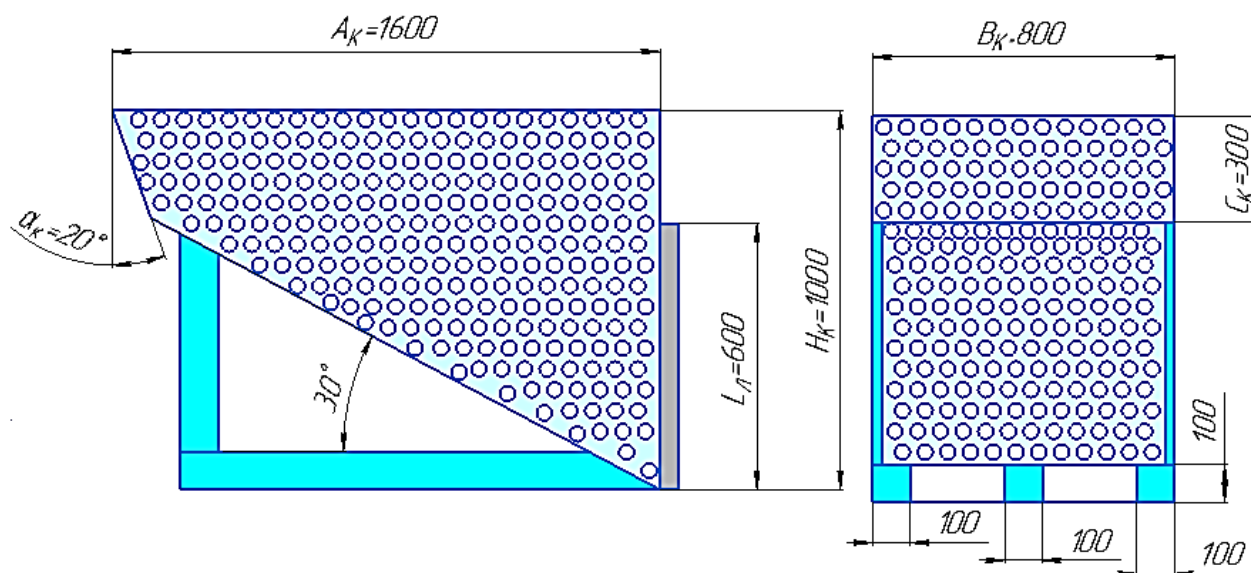


Рисунок 6.12 – Эскиз защитного вентилируемого контейнера для початков семенной кукурузы с рекомендуемыми размерными параметрами

Изменения типоразмеров контейнера должны осуществляться в соответствии с формулами (3.26) и (3.27) и примечанием в таблице 3.4.

Согласно пункту методики 2.2 осуществляется формирование исходных данных для проектирования ОДЗА (таблица 6.8).

Таблица 6.8 – Исходные данные для определения конструктивно-технологических параметров ОДЗА

Наименование конструктивного параметра	Численные значения	Источник информации	Примечание
Количество ручьев ОДЗА $Z_{кан}$ , шт.	5...9	-	$Z_{кан} = \frac{B_K}{d_{кан}} - 1$ (6.22)
Ширина одного канала лотка ОДЗА $d_{кан}$ , мм	80...100	[290]	Для выполнения условия рационального превышения среднего (эффективного) диаметра початков
Высота перегородки канала, мм	60...80	[290]	Для исключения перехода початка из канала в канал
Длина рабочего органа ОДЗА $L_{ОДЗА}$ , м	1,4...2,0	-	Справочное значение для обеспечения эффективного ориентирования и согласования производительности ОДЗА и МСУ
Диапазон регулирования угла наклона лотка ОДЗА, $\alpha_{ОДЗА}$ , град	0...31	[290]	С целью согласования производительности ОДЗА и МСУ
Амплитуда колебаний лотка ОДЗА	3...5	-	Для обеспечения эффективной работы поворотных мысов
Частота колебаний лотка ОДЗА, Гц	До 25	-	

На основании таблицы 6.8 предлагается эскиз опорного варианта конструкции ОДЗА с размерными параметрами (рисунок 6.13).

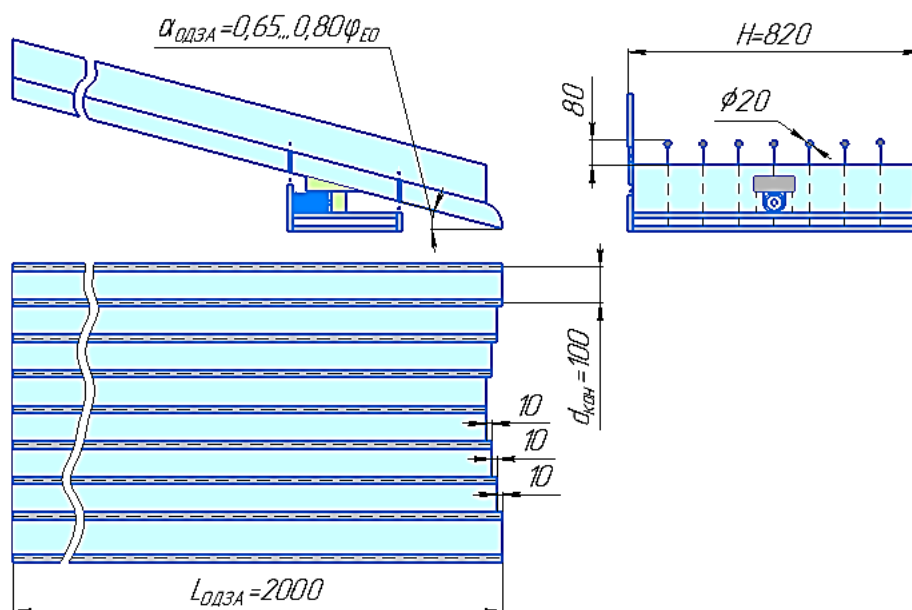


Рисунок 6.13 – Эскиз опорного варианта конструкции ОДЗА с размерными параметрами

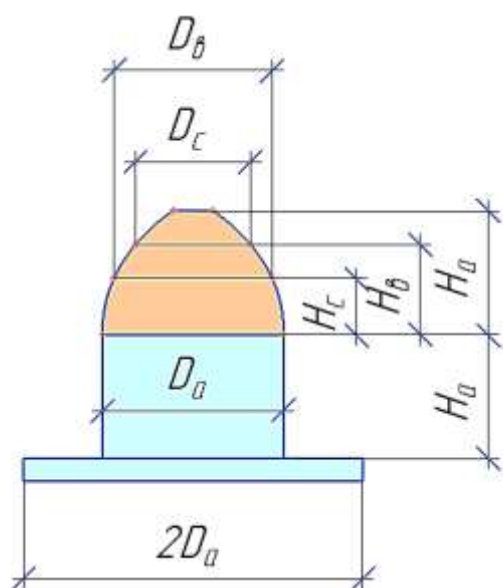
Производительность ОДЗА регламентирована скоростью перемещения початков и количеством ручьев. На основании экспериментов установлены закономерности перемещения початков по наклонной плоскости ОДЗА (таблица 6.9).

Таблица 6.9 – Закономерности перемещения початков по наклонной плоскости ОДЗА

$\alpha_{ОДЗА}$	Длина рабочего органа ОДЗА $L_{ОДЗА}$ , м	Время пребывания початков в каналах ОДЗА, с	Скорость перемещения початков, м/с	Количество каналов, штук	$Q_{соз}$ , поч./с (кг/с)
$0,65\varphi_{EO}$	1,4...2,0	$\leq 12$	$v_{поч} \approx 0,12...0,17$	5...9	3...5 (0,60...1,00)
$0,70\varphi_{EO}$	1,4...2,0	$\leq 10$	$v_{поч} \approx 0,14...0,20$	5...9	4...7 (0,80...1,40)
$0,75\varphi_{EO}$	1,4...2,0	$\leq 8$	$v_{поч} \approx 0,18...0,25$	5...9	5...8 (1,00...1,60)
$0,80\varphi_{EO}$	1,4...2,0	$\leq 5$	$v_{поч} \approx 0,28...0,40$	5...9	6...9 (1,20...1,80)

Согласно пункту методики 2.3 осуществляется формирование исходных данных для проектирования МСУ.

Условия обмолота зависят от размерных характеристик фасонных шипов (рисунок 6.14) с размерной пропорцией, рассчитанной согласно (6.23) и (6.24) (таблица 6.10).



$$\frac{(D_a + D_b) \cdot (D_b + D_c)}{D_b \cdot (D_a + D_b + D_c)} = 1,26...1,31 \quad (6.23)$$

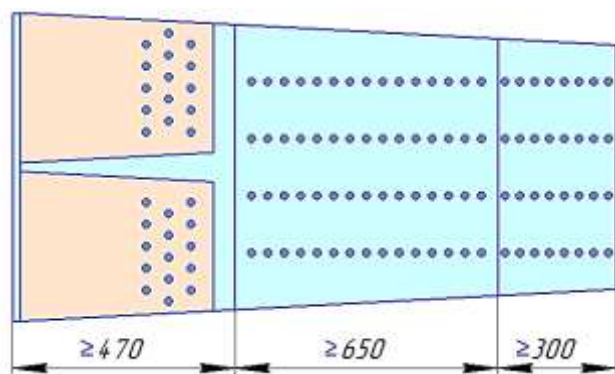
$$\frac{(H_a + H_b) \cdot (H_b + H_c)}{H_b \cdot (H_a + H_b + H_c)} = 1,26...1,31 \quad (6.24)$$

Рисунок 6.14 – Эскиз фасонного шипа МСУ

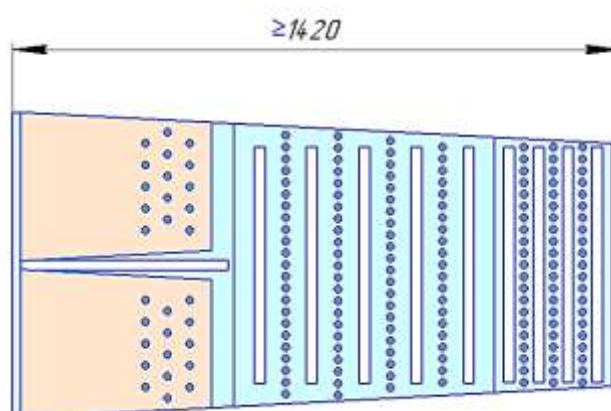
Таблица 6.10 – Варианты размерных параметров фасонных шипов

Параметр	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4	Вариант 5	Вариант 6
$H_a$	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0
$H_b$	6,0	6,3	7,0	8,0	9,0
$H_c$	4,0	4,0	4,40	5,0	6,0
$W_H$	1,296	1,296	1,294	1,286	1,296
$D_a$	14,0	14,0	15,0	16,0	17,0
$D_b$	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0
$D_c$	8,0	8,5	9,5	10,2	11,0
$W_D$	1,295	1,287	1,292	1,290	1,290
Подвид кукурузы	Лопастая	Сахарная	Восковидная	Кремнистая	Зубовидная

К методике проектирования предложена экспериментально обоснованная рациональная схема расстановки независимых фасонных шипов деки. Рекомендуемая схема расположения независимых фасонных шипов деки МСУ представлена на развертке верхней и нижней полудеки (рисунок 6.15).



а)



б)

а – верхняя полудека; б – нижняя полудека с прорезями для отвода обмолоченного зерна  
Рисунок 6.15 – Развертка внутренних шипованных поверхностей полудек МСУ с пневмоадаптивной декой

Рассмотрение МСУ как системы «двигатель – машина – обрабатываемый материал» [338, 339] указывает на целесообразность общего количества шипов МСУ определить по выражению [13, 65, 287]:

$$Z_{\text{фш}} = \frac{q_{\text{Э12}}^n}{\mu_0}, \quad (6.27)$$

где  $Z_{\text{фш}}$  - общее количество фасонных шипов МСУ;

$q_{\text{Э12}}^n$  – подача початков ОДЗА, кг/с;

$\mu_0$  – допустимая подача початков на один шип, кг/с на шип.

Рекомендуемое количество шипов по участкам деки МСУ представлено в таблице 6.11.

Таблица 6.11 – Рекомендуемое количество шипов по участкам деки МСУ

Этап обмолота	Начальный	Основной	Домолот	Примечание
Рекомендуемая длина участка деки, мм	470	650	300	В соответствии с вурфом $W = 1,29$
Отношение длины участка к общей длине деки, %	33	46	21	
Рекомендуемое минимальное количество шипов, штук	60...90	130...155	60...90	Справочное значение установлено экспериментально для МСУ с пневмоадаптивной декой. Для початков кукурузы без листовой обертки $\mu_0 = 0,003...0,004$ кг/с

Зазоры между ротором и декой рекомендуется принимать на основании знаний размерных характеристик початков кукурузы различных подвидов (таблица 2.9), высоты независимых фасонных шипов (таблица 6.10).

Эскиз с рекомендуемыми значениями зазоров в секциях МСУ для поэтапного обмолота приведен на рисунке 6.16.

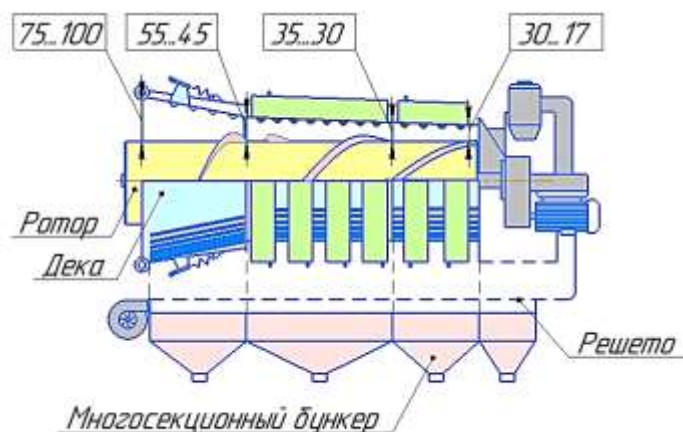


Рисунок 6.16 – Эскиз аксиально-роторного МСУ для поэтапного обмолота с указанием рабочих зазоров между ротором и декой

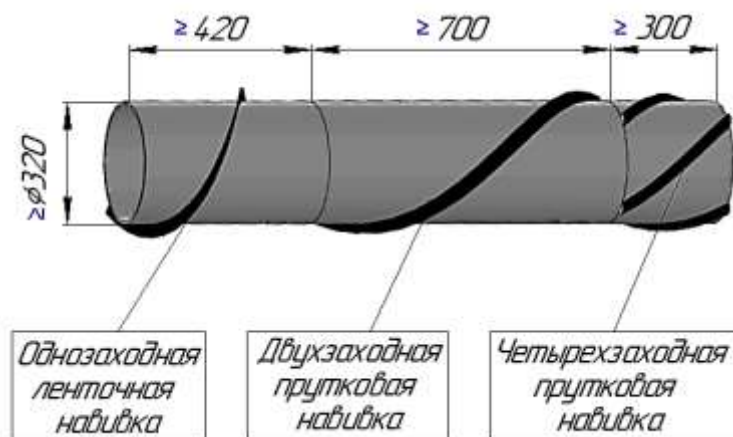
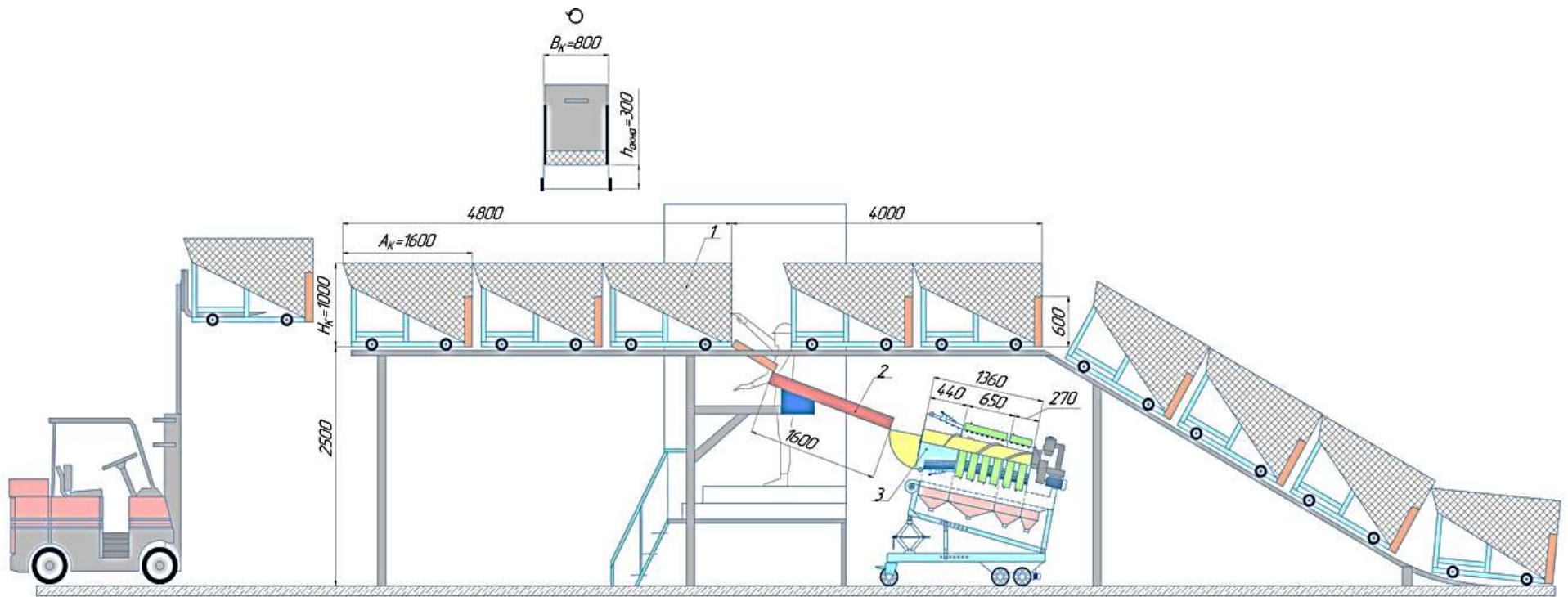


Рисунок 6.17 – Эскиз ротора МСУ с рекомендуемыми размерами

Производительность МСУ определяется выражением (3.96) и должна быть согласована по таблице 6.9 с производительностью СОЗ.

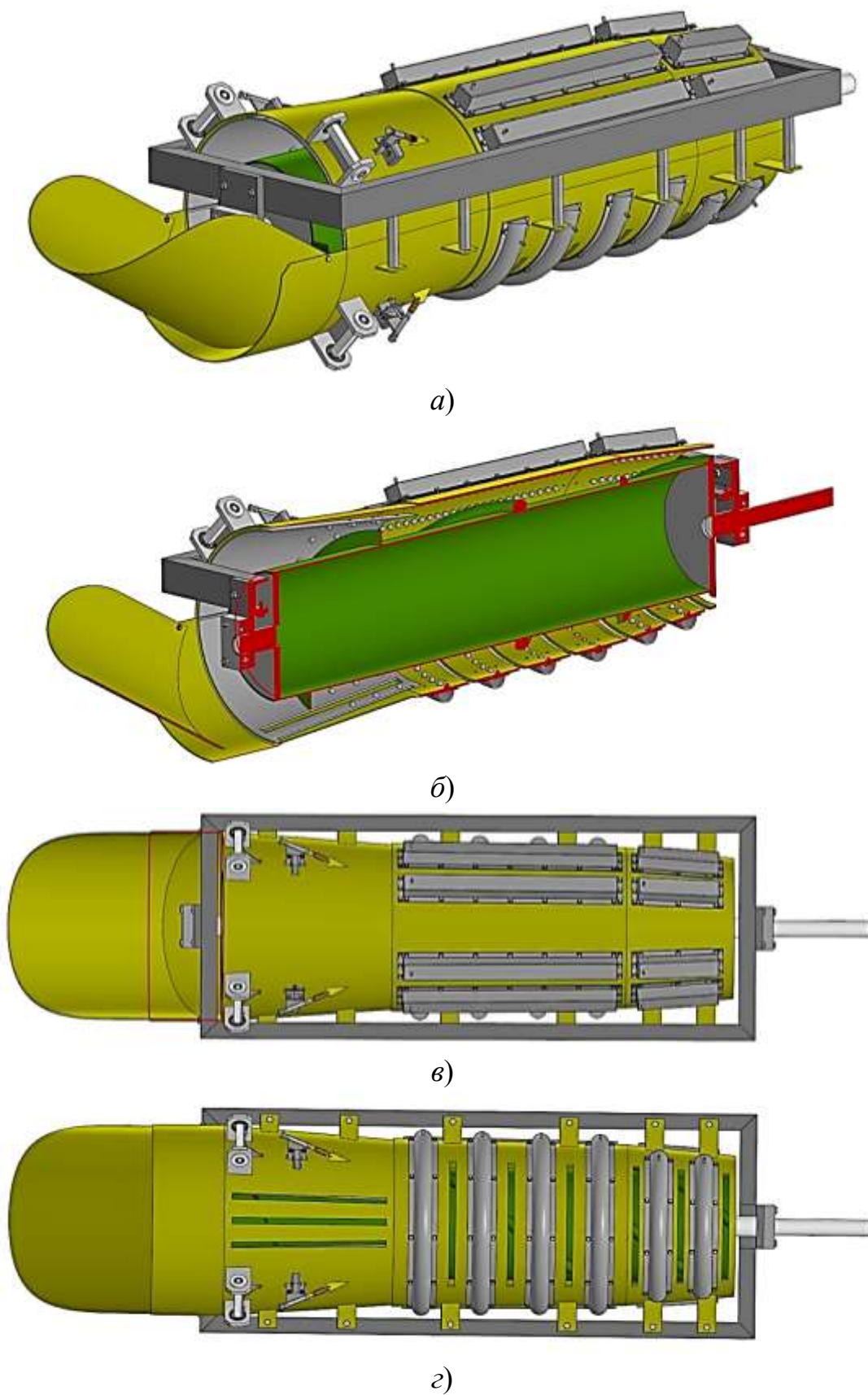
Предложенные рекомендации к методике инженерного расчета конструктивно-технологических параметров технических средств, входящих в комплект оборудования для поэтапного обмолота початков кукурузы на семенное зерно, несут справочный характер и в совокупности с результатами теоретико-экспериментальных исследований позволяют производителям сельскохозяйственной техники сформировать детализированное техническое задание для конструкторских бюро. В соответствии с пунктом 3 предложенной методики формируется общая принципиальная эскизная компоновка комплекта (рисунок 6.18) и 3D-модель МСУ для поэтапного обмолота початков семенной кукурузы (рисунок 6.19).



1 – защитный вентилируемый контейнер; 2 – ОДЗА; 3 – аксиально-роторное МСУ

Рисунок 6.18 – Принципиальная эскизная компоновка комплекта технических средств для поэтапного обмолота початков семенной кукурузы с непрерывной подачей контейнеров





*a* – вид в изометрии; *б* – разрез изометрии; *в* – вид сверху; *г* – вид снизу  
 Рисунок 6.19 – 3D-модель МСУ для поэтапного обмолота початков семенной кукурузы

Эскизная компоновка осуществляется при условии, что комплект технических средств для поэтапного обмолота початков семенной кукурузы является одним из каналов многоканальной технической системы обмолота, функционирующей как система массового обслуживания с ограниченной очередью не более чем из трех контейнеров.

В соответствии с пунктом 4 предложенной методики масштабные преобразования комплектов для разработки типоразмерных рядов целесообразно вести в сторону увеличения производительности. При этом зазоры между ротором и декой и также размеры фасонных шипов должны оставаться неизменными, а диаметры ротора и деки по секциям масштабируются посредством САПР, рекомендовано Компас-3D, пропорционально вурфу  $W = 1,27 \dots 1,29$ .

## **6.6 Перспективы дальнейших исследований**

Дальнейшие исследования в направлении развития технологических и технических основ ресурсосбережения в процессах послеуборочной переработки початков кукурузы на семенное зерно позволят создать полностью автоматизированные или роботизированные ПТЛ.

Развитие бионических методов анализа и моделирования с применением новейшего оборудования, позволяющего изучать микромир живых организмов, жизнь которых неразрывно связана с кукурузой, а также микроструктурный анализ тканей зерна как объекта механического воздействия, позволит оптимизировать конструктивно-технологические параметры большинства машин и механизмов, задействованных в данном направлении.

Совершенствование организационно-технологического подхода к технологии послеуборочной обработки початков и зерна семенной кукурузы позволит углубить и расширить базу вероятностных моделей, определяющих предельное состояние технических систем, а это в свою очередь позволит более эффективно внедрять и адаптировать автоматизированные или роботизированные ПТЛ в область дифференцированного воздействия на зерно.

В результате технические системы смогут работать в автоматическом режиме, минимизируя количество макро- и микроповреждений.

Перспективным итогом дальнейших исследований станет полное сохранение потенциала урожайности кукурузы на уровне зафиксированного NCGA в 2020 году для гибрида P1197 бренда Pioneer® - 386,6 ц/га.

Кратное увеличение объемов производства зерна кукурузы – эффективный путь к продовольственной безопасности любого государства, в том числе и России.

## **6.7 Выводы**

1. Комплексная реализация защитных мероприятий, направленных на минимизацию макро- и микроповреждений зерна осуществляется при условии заводской обработки початков семенной кукурузы. При этом поэтапный обмолот может быть реализован при подаче початков в МСУ с бетонированной площадки, из накопительного бункера и из защитного вентилируемого контейнера.

2. Цифровое управление дифференцированием сил при обмолоте осуществимо путем регулирования давления в пневмоподушках МСУ, это возможно посредством портативного компрессора, управляемого контроллером ATmega в отладочных платах Arduino Nano, считывающих сигнал с датчиков давления PIEZUS серии APZ 2410 APZ 2410-G-B-1000-E-10-A-721-F-00-ГП. В этом случае формируется простой и корректный программный код (**приложение X**), а сама система цифрового контроля работает надежно и эффективно.

3. Реализация результатов научных исследований на практике позволяет создать комплект технических средств для поэтапного обмолота початков семенной кукурузы, который посредством объединения в МТСО в сравнении с перспективным оборудованием MSH-25 «Serbia Product» позволяет получить годовой экономический эффект не менее 1,77 млн. рублей при сроке окупаемости капитальных вложений не более 2,0 года.

4. Расчетное значение экономического эффекта от применения предложенных технологических решений для Белгородской области составляет 1,020 млрд. рублей в год. Данный объем средств позволяет осуществить техническое перевооружение и полное импортозамещение в оборудовании семеноводства кукурузы Белгородской области.

5. Предложенные рекомендации к методике проектирования и инженерного расчета конструктивно-технологических параметров технических средств, входящих в комплект оборудования для поэтапного обмолота початков кукурузы на семенное зерно, обладают практической ценностью для производителей сельскохозяйственной техники, а также рационализаторов и практиков по семеноводству кукурузы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Экспериментально исследованы механико-технологические свойства и установлено: усредненное значение динамического коэффициента трения скольжения зерна различных подвидов кукурузы по стали –  $f_{\partial z} = 0,31$  и стержня початка без зерна –  $f_{\partial z} = 0,36$ ; угол естественного откоса початков кукурузы –  $\varphi_{EO} = 31,2^\circ$ ; коэффициент Пуассона защитной плодовой оболочки зерна –  $\nu = 0,356$ ; модуль Юнга зубовидной кукурузы – 78...127 МПа, кремнистой – 98...125 МПа, сахарной – 97...124 МПа, лопающейся – 127...169 МПа; усредненное значение усилия разрыва зерновой ножки в области носка, середины и комля початков для различных подвидов кукурузы – 11,67; 19,71 и 6,81 Н.

2. Технология переработки початков кукурузы на семенное зерно состоит из обработки початков и обработки обмолоченного зерна. Обмолот — точка перехода от одной фазы переработки к другой, в котором повреждается до 30% зерна. Минимизация макро- и микроповреждений зерна при обмолоте обеспечивается перемещением початков в защитных вентилируемых контейнерах, разгрузкой контейнеров без опрокидывания, ориентированием початков и их дозированной подачей многоручьевым ОДЗА, адаптивным

силовым воздействием аксиально-роторного МСУ с многосекционной декой. Данные технологические решения позволяют снизить количество поврежденного зерна при обмолоте в 2...3 раза.

3. Минимизация макро- и микроповреждений зерна реализуется способом поэтапного обмолота, который включает этап первичного, начального, основного обмолота и домолота. Первичный этап осуществляется в процессе разгрузки початков из защитного вентилируемого контейнера, перемещения по откидному лотку, движения по рабочему органу многоручьевого ОДЗА, а также подачи параллельно оси ротора в приемный лоток МСУ. Начальный этап реализуется в первой секции аксиально-роторного МСУ при взаимодействии с разрезным шипованным конусом деки, выполненным в виде четырех подвижных подпружиненных участков. Основной этап обмолота протекает во второй удлиненной секции МСУ под действием двухзаходной навивки ротора и шипованной пневматической деки. Домолот реализуется в третьей укороченной секции МСУ под действием четырехзаходной навивки ротора и шипованной пневматической деки. На первичном этапе обмолота отделяется до 3%, на начальном – до 17%, на основном – до 69,5% и при домолоте до 8% зерна. Способ поэтапного обмолота осуществляется комплектом технических средств, состоящим из защитного контейнера, многоручьевого ОДЗА и аксиально-роторного МСУ.

4. Теоретически обоснованы основные конструктивные параметры технических средств комплекта. Для защитного вентилируемого контейнера: длина, ширина и высота находится в пределах  $A_K = 800...1600$ ,  $B_K = 400...800$ ,  $H_K = 600...1000$  мм; угол наклона днища –  $27...35^\circ$ ; высота выгрузного окна –  $250...300$  мм; длина откидного лотка не менее 600 мм; максимальный угол установки –  $35^\circ$ ; диаметр перфораций в стенках контейнера –  $4,0...5,0$  мм. Для многоручьевого ОДЗА, предназначенного для работы с контейнером вышеописанных размеров: количество ручьев –  $5...9$ ; ширина ручья –  $80...100$  мм и его глубина 60 мм; длина ручья не менее 1600 мм; количество поворотных мысов – не менее 4; угол наклона –  $20...35^\circ$ . Для аксиально-роторного МСУ: длина секции деки в зонах начального, основного этапа обмолота и домолота –  $470 \times 650 \times 300$  мм, при максимальном диаметре навивки ротора не более 400 мм.;

ширина прорезей деки для отвода обмолоченного зерна – 17...22 мм; изменение зазора между ротором и декой от входа к выходу – 80...17 мм; высота рабочей поверхности шипов – 8...12 мм; базовый диаметр профиля шипов – 14...17 мм. Разработанный комплект объединяется в МТСО с очередью не более трех контейнеров.

5. Определены оптимальные конструктивно-технологические параметры МСУ с адаптивными рабочими органами: частота вращения ротора –  $159 \text{ мин}^{-1}$ , подача –  $0,95 \pm 0,01 \text{ кг/с}$ , количество фасонных шипов в зоне основного этапа обмолота – 130 шт., предварительное натяжение пружин в участках деки на начальном этапе обмолота –  $7 \pm 1 \text{ мм}$ , избыточное давление в пневмоподушках деки на этапах основного обмолота и домолота – 0,4 атм., угол наклона СРД относительно горизонта –  $14^\circ$ , обеспечивающие минимальные значения энергоемкости процесса обмолота и количества макро- и микроповреждений зерна.

6. Установлено, что энергоемкость процесса обмолота составляет 0,765 кВтч/т, а показатель макро- и микроповреждений не более 9% от массы обмолоченного зерна, при этом показатель дробления зерна – до 1,5%, недомолот – до 1,5%, а сход свободным зерном – до 1%. Зерно, обмолоченное в экспериментальном комплекте, обладает лабораторной всхожестью не ниже 92%.

7. Разработана методика проектирования комплектов технических средств для поэтапного обмолота початков семенной кукурузы, согласно которой осуществляется формирование перечня исходных данных при изучении механико-технологических свойств початков и зерна кукурузы различных подвидов и анализе эмпирических зависимостей и математических моделей; формирование вариативных рядов исходных данных; последовательное проектирование конструкций защитного контейнера, многоручьевого ОДЗА и аксиально-роторного МСУ с учетом требований поточности и непрерывности процесса; разработка эскизов технических средств и компоновка их в единый комплект. Методика проектирования позволяет средствами САПР создавать типоразмерный ряд комплекта с различной производительностью.

8. Техничко-экономический анализ предложенных технических решений поэтапного обмолота початков семенной кукурузы в объеме 5500 тонн в сравнении с перспективным комплектом MSH-25 «Serbia Product» позволяет получить годовой экономический эффект 1,77 млн. руб., при сроке окупаемости капитальных вложений 2 года. Расчетное значение экономического эффекта от применения предложенных технологических решений по минимизации макро- и микроповреждений зерна при послеуборочной обработке данного объема початков семенной кукурузы для Белгородской области составляет не менее 1,020 млрд рублей в год.

### **РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ**

Производителям сельскохозяйственной техники использовать разработанные конструкции технических средств системы ориентированной загрузки (RU196681, RU180093; UA85886; UA85889) и трехступенчатого аксиально-роторного МСУ (RU171115; RU207989; UA30366; UA18265), а также обоснованные рациональные параметры рабочих органов и режимы поэтапного обмолота. Производителям семенного зерна использовать предлагаемую компоновку и комплектацию завода для стационарной обработки початков и зерна семенной кукурузы и мероприятия по минимизации макро- и микроповреждений зерна.

### **ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Дальнейшее развитие исследования в направлении разработки технологических и технических решений по минимизации макро- и микроповреждений семенного зерна кукурузы в поэтапных процессах послеуборочной обработки, в совокупности с селекционными мероприятиями, обеспечит достижение полного сохранения потенциала урожайности, находящегося на уровне 400 ц/га.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

- МСУ – молотильно-сепарирующее устройство;
- НУ – начальные условия;
- ОДЗА – ориентирующе-дозировочный загрузочный аппарат;
- ПЕ – посевная единица;
- ПТЛ – поточно-технологическая линия;
- СРД – система ротор-дека;
- СОЗ – система ориентированной загрузки;
- КТС – конструктивно-технологическая схема;
- МТСО – многоканальный комплект технических средств обмолота;
- FAO (ФАО) – The Food and Agriculture Organization. Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединённых Наций;
- NCGA – Национальная ассоциация производителей кукурузы США.
- $\Delta_{mm}$  – показатель макро- и микроповреждений зерна, %;
- $\Delta_n$  – показатель недомолота зерна, %;
- $\Delta_\delta$  – показатель дробления зерна, %;
- $\Delta_c$  – показатель схода свободным зерном, %;
- $n_{рот}$  – частота вращения ротора МСУ, мин<sup>-1</sup>;
- $Z_{осн}^ш$  – количество фасонных шипов в основной камере обмолота, штук;
- $Z_{ПВД}$  – количество подпружиненных участков деки в зоне начального этапа обмолота, штук;
- $L_{нач}^{np}$  – предварительное натяжение пружин в участках деки на начальном этапе обмолота, мм;
- $p_{nn}^{atm}$  – избыточное давление в пневмоподушках деки на этапах основного обмолота и домолота, атм (кПа);
- $\gamma_{СРД}$  – угол наклона СРД относительно горизонта, °;
- $Y_{opt1}$  – критерий оптимизации (энергоёмкость процесса обмолота), кВтч/т;
- $Y_{opt2}$  – критерий оптимизации (показатель макро- и микроповреждений зерна), %.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Перспективная ресурсосберегающая технология производства кукурузы на зерно: метод. рек. под ред. В.С. Сотченко. - М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2009. - 72 с.
2. Сотченко, В.С. Состояние и перспективы производства зерна кукурузы в Российской Федерации / В.С. Сотченко // Кукуруза и сорго. - 2006. - №6. - С. 2-6.
3. Иванов, И.И. Из истории кукурузы / И.И. Иванов // Кукуруза и сорго. - 2007. - №3. - С. 5-8.
4. Питательность корма. Фураж Он-Лайн. [Электронный ресурс]: [веб сайт]. - Электрон. дан. – URL: <https://www.furazh.ru/dictoth/?data=18453> (дата обращения: 29.10.2021).
5. Переваримость кормов и оценка их питательности. Библиотека по животноводству. [Электронный ресурс]: [веб сайт]. - Электрон. дан. – URL: <http://animalialib.ru/books/item/f00/s00/z0000010/st057.shtml> (дата обращения: 29.10.2021).
6. Характеристика кормов для птицы. Все о животноводстве теория и практика. [Электронный ресурс]: [веб сайт]. - Электрон. дан. – URL: <http://worldgonesour.ru/pticevodstvo/1408-harakteristika-kormov-dlya-pticy.html> (дата обращения: 29.10.21).
7. Божович, И. Стержень кукурузного початка полезное зерно/ И. Божович, М. Радосавлевич, С. Жилич, Р. Йованович, Д. Терзич // Кукуруза и сорго. - 2005. - №5. - С. 22-24.
8. Болотнов, П.М. Машины и организация механизированных работ на птицефабриках и птицефермах / П.М. Болотнов. - М.: Высшая школа, 1974. - 240 с.
9. Кукуруза: площади, сборы и урожайность в 2001-2019 гг. Агровестник. [Электронный ресурс]: [веб сайт]. - Электрон. дан. – URL: <https://agrovesti.net/lib/industries/corn/kukuruza-ploshchadi-sbory-i-urozhajnost-v-2001-2019-gg.html> (дата обращения: 01.11.21).

10. Грачева, Л.И. Повышение эффективности использования нетрадиционных источников энергии в животноводческом комплексе страны / Л.И. Грачева, Н.В. Брагинец, А.Н. Брагинец и [др.]. - Луганск: ЛНАУ, «Элтон-2», 2008. - 653 с.
11. Горячкин, В.П. Собрание сочинений. Том 3 / В.П. Горячкин. М.: Колос, 1968. - 866 с.
12. 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.
13. Шатилов, К.В. Кукурузоуборочные машины / К.В. Шатилов Б.Д Козачок., А.П. Орехов. - М.: Машиностроение, 1981. - 224 с.
14. Тоганбаев, Т.К. Исследование процесса обмолота кукурузы штифтовыми и лопастными барабанами: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01/ Т.К. Тоганбаев. - Ростов-на-Дону, Казахский с.-х. ин-т., 1967. - 21 с.
15. Корчагин, В.И. Исследование процесса обмолота початков кукурузы бильным молотильным аппаратом с активной декой: автореф. дис. ... канд. техн. наук/ В.И. Корчагин. - Краснодар, Всероссийский науч.-исслед. и проект.-технолог ин-т. механизации и электрификации с.-х., 1977. - 20 с.
16. Ло-Эр-Чжень. Исследование процесса обмолота початков кукурузы, поступающих в молотильное устройство вместе со стеблями: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Ло-Эр-Чжень. - Ростов-на-Дону, Ростовский-на-Дону ин-т. с.-х. машиностроения, 1962. - 17 с.
17. Dainius Steponavičius. Analysis of corn ears movement within the threshing crescent using high-speed recording method / Dainius Steponavičius, Aurelija Kemzūraitė, Valdas Kiniulis, Karolis Zokaitis // Journal of Measurements in Engineering. - 2017 - 5(4). - P. 240-248.
18. Corn threshing and concav: pat. 3,631,861 United States: Int.Cl. A01F11/06 / Fred J. Skahill; Davenport, Iowa. Appl. No.: 16,121. Filed: Mar. 3, 1970. Patented. Jan. 4, 1972. – 4 p.

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

20. Цримов, А.З. Параметры и режимы работы кукурузной молотилки: дис. ... канд. техн. наук / А.З. Цримов. - Нальчик, ФГОУ ВПО Кабардино-Балкарская ГСХА, 2007. - 162 с.

21. Цримов, А.З. Исследование влияния основных параметров и режимов работы кукурузной молотилки на эффективность обмолота / А.З. Цримов, Ю.А. Шекихачев, Л.М. Хажметов // Международный технико-экономический журнал. - 2007. - №1. - С. 86 - 90.

22. Цримов, А.З. Повреждаемость початков кукурузы рабочим органом малогабаритной молотилки / А.З. Цримов, Ю.А. Шекихачев, Л.М. Хажметов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2007. - № 4, - С. 5-6.

23. Обмолачивающая установка: а.с. 1650034 СССР. МКИ А01F11/06 / Н.Н. Прихода, А.М. Федюшкин, А.И. Яковлев; заявитель и патентообладатель Харьковский авиационный институт им. Н.Е. Жуковского - № 3789552/15; заявл. 24.07.84; опубл. 23.05.91. Бюл. №19. - 4 с.

24. Устройство для обмолота початков кукурузы: а.с. 1269764. СССР. МКИ А01F11/06 / С.Н. Бочкарев, И.Ф. Кондратьев, В.П. Олейников, Е.М. Печерский А.М. Федюшкин, А.И. Яковлев; заявитель и патентообладатель Харьковский авиационный институт им. Н.Е. Жуковского. - № 3889655/30-15; заявл. 26.04.1985; опубл. 15.11.1986. Бюл. №42. - 2 с.

25. Обмолачивающая установка: а.с. 1276293. СССР. МКИ А01F11/06 / Е.М. Монах, А.М. Федюшкин, А.И. Яковлев; заявитель и патентообладатель Харьковский авиационный институт им. Н.Е. Жуковского - № 3806408/30-15; заявл. 29.10.1984; опубл. 15.12.1986. Бюл. №46. - 4 с.

26. Устройство для обмолота и сепарации кукурузы: а.с. 1762790А1. СССР. МКИ А01F11/06 / В.А. Ткаченко, В.Т. Гриценко, Н.И. Высоцкий, Н.В. Лесуков, В.К. Треножкин; заявитель и патентообладатель Центральный НИИиПТИ механизации и электрификации животноводства - № 4471417/63; заявл. 08.08.88; опубл. 23.09.92. Бюл. №35. - 3 с.

27. Пат. № 2749739 РФ, МПК А01F 12/22. Подающий барабан молотильного устройства зерноуборочного комбайна / В.Н. Ожерельев, В.В. Никитин, П.В. Ожерельев; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет». Заявка: № 2020125356 от 23.07.2020; опубл. 16.06.2021, бюл. № 17.

28. Петунина, И.А. Разработка ресурсосберегающих процессов очистки и обмолота початков семенной кукурузы: дис. ... д-ра техн. наук / И.А. Петунина. – Краснодар: КубГАУ, 2009. – 329 с.

29. Петунина, И.А. Очистка початков кукурузы: монография. / И.А. Петунина. – Краснодар: КубГАУ, 2005. – 248 с.

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

31. Кравченко, В.С. Исследование планетарного початкоотделяющего аппарата с активным вальцовым подбарабаньем для обмолота кукурузы: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.С. Кравченко. – Краснодар, Кубанский с.-х. ин-т, 1974. – 25 с.

32. Погосян, В.М. Параметры кукурузной селекционной вальцевой молотилки: дис. ... канд. техн. наук / В.М. Погосян. – Краснодар, ФГБОУ ВО КубГАУ, 2020. – 132 с.

33. Устройство для обмолота початков кукурузы: а.с. 1210719 СССР: МКИ А01F11/06 / А.Е. Кошванец, А.И. Яковлев; заявитель и патентообладатель Харьковский авиационный институт им. Н.Е. Жуковского. - № 3758708/30-15; заявл. 03.07.1984; опубл. 15.02.1986. Бюл. №6. - 4 с.

34. Corn shelling device: pat. 4,201,227 United States: Int.Cl. A01F11/06. / Hamid Al-Jalil; Ames, Iowa. Appl. No.: 869,375. Filed: Jan. 13, 1978. Patented. May. 6, 1980. – 4 p.

35. Corn shelltr: pat. 284,991 United States: Int.Cl. A01F11/06. / J.T. Wilson; Easton, Missouri. Filed: Jun. 6, 1983. Patented. Sep. 11, 1983. – 4 p.

36. Corn shelltr: pat. 3,508,556 United States: Int.Cl. A01F11/06. / Tony L. Kaminski; Milwaukee. Ser. No. 694,913. Filed: Jun. 2, 1968. Patented. Apr. 28, 1970. – 4 p.

37. Heller for seed corn: pat. 5,454,303 United States: Int.Cl. A01F11/06, A01F12/26. / Robert H. Spry, Bloomington. Appl. No.: 363,937. Filed: Dec. 27, 1994. Patented. Oct. 3, 1995. – 4 p.

38. Гуров, И.Н. Механико-технологические основы обмолота кукурузы: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / И.Н. Гуров. – Новочеркасск. политех. ин-т., 1965. – 37 с.

39. Курасов, В.С. Молотилка для семенной кукурузы / В.С. Курасов, В.С. Кравченко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1997. – №11. – С. 10.

40. Давыдова, С.А. Анализ состояния и перспективные направления развития селекции и семеноводства кукурузы: науч. аналит. обзор / С.А. Давыдова, В.И. Вахания, В.С. Курасов. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. – 92 с.

41. Курасов, В.С. Совершенствование технологического процесса обмолота початков кукурузы в первичном семеноводстве: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.С. Курасов. – Краснодар, 1989. – 24 с.

42. Сережина, Н.В. Исследование винтового молотильного устройства на обмолоте початков кукурузы: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Н.В. Сережина. – Кишинев, ВИМа и ВИЭСХа, 1967. – 21 с.

43. Молотильное устройство для початков кукурузы: а.с. 1299542 СССР: МКИА01F11/06 / А.И. Яковлев, А.И. Политучий, М.В. Туманов, Е.В. Рябко; заявитель и патентообладатель Харьковский авиационный институт им. Н.Е. Жуковского. – № 3979909/30-15; заявл. 26.11.1985; опубл. 30.03.1987 Бюл. №12. – 3 с.

44. Устройство для обмолота початков кукурузы: а. с. 1824083 А1 СССР: МКИ А 01 С 11/02. / И.Н. Георгиев, А.К. Атанасов, П.Т. Радулов, И.Й. Стоянов;

заявитель и патентообладатель ВТУ «Ангел Кънчев» (BG). – № 1824083A1; заявл. 29.02.1988; опубл. 30.06.1993. Бюл. № 24. – 6 с.

45. Corn shellers: pat. 3,536,077, United States: Int.Cl. A01F11/06. / Ted Stott, Lyman J. Gunyou; Coldwater, Ohio. Appl. No.: 716,519. Filed. March 27, 1968. Patented Oct. 27, 1970. – 4 p.

46. Corn sheller and separator: pat. 3,590,824 United States: Int.Cl. A01F11/06. / Lyman J. Gunyou, Robertg A. Stelzer; Coldwater, Ohio. Appl. No.: 803.393. Filed: Feb. 28, 1969. Patented. July. 06, 1971. – 4 p.

47. A corn sheller device: pat. 3,844,293 United States: Int.Cl. A01F11/06. / Donald M. Young; Winterset, Iowa. Appl. No.: 344,165. Filed: Mar. 22, 1973. Patented. Oct. 29, 1974. – 4 p.

48. Maize sheller: pat. 5,017,177 United States: Int.Cl. A01F12/26. / Atanas L. Mitkov, Ivan N. Georgiev, Atanas K. Atanasov, Peter T. Radulov, Iliya Y. Stoyanov; Bulgaria. Appl. No.: 416.884. Filed: Oct. 04, 1989. Patented. May. 21, 1991. – 4 p.

49. Corn sheller: pat. 4,532,940 United States: Int.Cl. A01D9/00. / Atanas L. Mitkov, Ivan N. Georgiev, Atanas K. Atanasov, Peter T. Radulov, Iliya Y. Stoyanov ol of Russe; Bulgaria. Appl. No.: 459.687. Filed: Jan. 20, 1983. Patented. Aug. 06, 1985. – 4 p.

50. Baffle system in a rotary threshing and separation unit: pat. 6,435,962 B2 United States: Int.Cl. A01F11/06, A23N5/00, B02B3/00. / Andrie Diederich Visagie; Bothaville (ZA), CLAAS (DE). Appl. No.: 09/758,796. Filed: Jan. 11, 2001. Patented. Aug. 20, 2002. – 4 p.

51. Сафонов, В.А. Специальные вопросы возобновляемой энергетики: монография. / В.А. Сафонов. – Севастополь: ФГБНУН Института природно-технических систем РАН, 2017. – 338 с.

52. Способ обмолота и очистки зерна и устройство для его осуществления: пат. 2269887 Рос. Федерация: МПК А01F12/18(2006.01). / А.В. Анисимов, В.А. Анисимов, М.П. Васин, Э.В. Жалнин; заявитель и патентообладатель Государственное научное учреждение Северокавказская опытная станция

Всероссийского научно-исследовательского института механизации сельского хозяйства (ГНУ СКС ВИМ). – № 2004102305/12; заявл. 10.07.2005; опубл. 20.02.2006. Бюл. № 5. – 7 с.

53. Бышов, Н.В. Машина для уборки зерновых культур / Н.В. Бышов, А.И. Ряднов, О.А. Федорова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование.–2018.– № 1 (49). – С. 220 – 227.

54. Тронеv, С.В. Повышение производительности зерноуборочного комбайна / С.В. Тронеv, А.И. Ряднов, О.А. Федорова // Научное обозрение. – 2017 – №21. – С.37-43.

55. Ряднов, А.И. К вопросу использования инновационных технологий на уборке зерновых культур / А.И. Ряднов, О.А. Федорова // в сборнике: инновационные технологии в агропромышленном комплексе в современных экономических условиях. материалы Международной научно-практической конференции. – Волгоград, 2021 – С. 139 – 143.

56. Никитин, В.В. Совершенствование технологической схемы зерноуборочного комбайна и параметров его рабочих органов: автореф. дис. ... докт. техн. наук / В.В. Никитин. – Брянск, 2021. – 40 с.

57. Устройство для обмолота початков кукурузы: а. с. 1192703 СССР: МПК А01F7/06. / А.Е. Кошванец, А.И. Яковлев, А.М. Федюшкин; заявитель и патентообладатель Харьковский авиационный институт им. Н.Е. Жуковского. – № 3757747/30-15; заявл. 29.06.1984; опубл. 23.11.1985. Бюл. № 43. – 2 с.

58. Устройство для обмолота початков кукурузы: а.с. 1680006 СССР: МКИ А01F11/06/ А.Н. Хабаров; заявитель и патентообладатель А.Н. Хабаров. – № 3852516/63; заявл. 30.11.1984; опубл. 30.09.1991. Бюл. № 36. – 3 с.

59. Устройство для обмолота початков кукурузы: а.с. 1491396 СССР: МКИА01F11/06 / Л.И. Корницкий, И.П. Мирошник, А.И. Яковлев; заявитель и патентообладатель Харьковский авиационный институт им. Н.Е. Жуковского. – № 3758353/30-15; заявл. 03.07.1984; опубл. 07.07.1989. Бюл. № 25. – 3 с.

60. Устройство для обмолота початков кукурузы: а.с. 1225503 СССР: МКИ А01F11/06 / Л.И. Корницкий, А.И. Яковлев, М.А. Коваль, Е.М. Монах; заявитель и патентообладатель Харьковский авиационный институт им. Н.Е. Жуковского. – № 3829004/30-15; заявл. 23.10.1984; опубл. 23.04.1986. Бюл. № 15. – 3 с.

61. Измайлов, А.Ю. Использование системы сменных кузовов при уборке сельскохозяйственной продукции / А.Ю. Измайлов // Техника и оборудование для села. – 2006. – №12. – С. 26-28.

62. Купреенко, А.И. Повышение эффективности загрузки емкостей сельскохозяйственного назначения / А.И. Купреенко, Х.М.О. Исаев, Т.В. Бычкова // Вклад науки и практики в обеспечение продовольственной безопасности страны при техногенном ее развитии: Сборник научных трудов международной научно-практической конференции, 2021. – С. 143-148.

63. Горшенин, В.И. Эффективность применения большегрузных автомобилей со сменными кузовами при уборке зерновых культур / В.И. Горшенин, С.В. Соловьёв, А.Г. Абросимов // В сборнике: Инженерное обеспечение инновационных технологий в АПК. Материалы международной научно-практической конференции. Сборник научных трудов. Под общей редакцией В.А. Солопова. – 2017. – С. 21-28.

64. Голик, М.Г. Хранение и обработка початков и зерна кукурузы / М.Г. Голик. – М.: Колос, 1968. – 337 с.

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

66. Завражнов, А.И. Влияние протяженности технологической линии и травмирования зерна на ее технико-экономические показатели / В.И. Оробинский, Д.А. Подорванов, Е.А. Кондобарова, А.И. Завражнов // В сборнике: Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе. Материалы международной научно-практической конференции. – Воронеж, 2021. – С. 131-136.



67. Крюков, М.Л. Контейнерная поточно-транспортная технология подготовки селекционного зерна/ М.Л Крюков., В.К. Пышкин, А.С. Чулков и др. // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2018. – Т. 12. №6. – С. 20-24.

68. Жалнин, Э.В. Какой комбайн выбрать? / Э.В. Жалнин // Сельский механизатор. – 2015. – №4. – С. 4-6.

69. Жалнин, Э.В. Методика анализа технического уровня зерноуборочных комбайнов по функциональным и конструктивным параметрам / Э.В. Жалнин // Сельскохозяйственные машины и технологии. –2018. – Т. 12. №2. – С. 4-8.

70. Жалнин, Э.В. Расчет основных параметров зерноуборочных комбайнов с использованием принципа гармоничности их конструкции / Э.В. Жалнин. – М.: ГНУ ВИМ, 2011. 104 с

71. Кленин, Н.И. Сельскохозяйственные машины / И.Н. Кленин, С.Н. Киселев, А.Г. Левшин. – М.: КолосС, 2008. – 846 с.

72. Бердышев, В.Е. Обоснование параметров рабочих органов зерноуборочного комбайна с аксиально-роторной молотильно-сепарирующей системой: дис ... д-ра техн. наук / В.Е.Бердышев. – М., 2014.

73. Алдошин, Н.В. Сравнительная оценка комбайнов на уборке белого люпина / Н.В. Алдошин // Сельский механизатор. – 2015. – №11. – С. 10-13.

74. Алдошин, Н.В. Основные направления совершенствования молотильно-сепарирующих устройств / Н.В. Алдошин, А.А. Золотов, Н.В. Вольф // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник материалов: XIII Международная научно-практическая конференция. – Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2018. – Кн. 2. – С. 163-165.

75. Алдошин, Н.В. Уборка смешанных посевов аксиально-роторными зерноуборочными комбайнами/ Н.В. Алдошин, М.А Мехедов, Малла Бахаа. // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2019. – №2 (55).

76. Московский, М.Н. Синтез системных решений технологического процесса получения семян на основе структурно-функционального моделирования: дис. ... д-ра техн. наук / М.Н. Московский – Краснодар, 2017 – 389 с.

77. Золотов, А.А. Влияние геометрических размеров аксиально-роторных молотилок зерноуборочных комбайнов на показатели работы: дис. ... канд. техн. наук / А.А.Золотов. – М., МГАУ, 2000.

78. Ломакин, С.Г. Сравнительная оценка аксиально-роторных МСС с различными типами дек молотильной части/ С.Г. Ломакин, В.Е. Бердышев, А.В. Шевцов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2015. – №1 (37). – С. 199-202.

79. Пронин, В.М. Сравнительные испытания сельскохозяйственной техники / В.М. Пронин. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2014. – 416 с.

80. Серга, Г.В. Модульный кукурузоуборочный комбайн со стреловидной рамой: монография / Г.В. Серга, В.И. Тульчий, М.Г. Серга. – Краснодар: КубГАУ, 2017. – 94 с.

81. Ronald William Brass. Development of a low damage corn shelling cylinder / Ronald William Brass. – Iowa: Iowa State University, 1970. – 159 p.

82. Hilbert John Hoof. Machine and machine operator characteristics associated with corn harvest kernel damage / Hilbert John Hoof. – Iowa: Iowa State University, 1972. – 154 p.

83. Hamid Fadhil Al-Jalil. Design and performance of low damage corn shelling machines / Hamid Fadhil Al-Jalil. – Iowa: Iowa State University, 1978. – 192 p.

84. Ahmad Kalbasi-Ashtari. Effect of internal and external damage on deterioration rate of shelled corn / Ahmad Kalbasi-Ashtari. – Iowa: Iowa State University, 1980. – 143 p.

85. Ali Ramadan Mahmoud. Distribution of damage in maize combine cylinder and relationship between physico-rheological properties of shelled grain and damage / Ali Ramadan Mahmoud. – Iowa: Iowa State University, 1972. – 222 p.

86. Vu Thai Nguyen. Breakage susceptibility of blended corn. / Vu Thai Nguyen. – Iowa: Iowa State University, 1982. –107 p.

87. Pradip Kumar Dutta. Effects of grain moisture, drying methods, and variety on breakage susceptibility of shelled corn as measured by the Wisconsin Breakage Tester / Pradip Kumar Dutta. – Iowa: Iowa State University, 1986. – 232 p.

88. Mofazzal Hossain Chowdhury. Effects of the operating parameters of the rubber roller sheller / Mofazzal Hossain Chowdhury. – Iowa: Iowa State University, 1973. – 87 p.
89. Thomas E. Hitzhusen. Total corn harvesting: machine design and system analysis / Thomas E. Hitzhusen. – Iowa: Iowa State University, 1969. –135 p.
90. Nasser Abdulaziz Ajllan. Effect of combine cylinder design on mechanical damage of corn / Nasser Abdulaziz Ajllan. – Iowa: Iowa State University, 1983. – 83 p.
91. Henry Waelti. Physical properties and morphological characteristics of maize and their influence on threshing injury of kernels / Henry Waelti. – Iowa: Iowa State University, 1967. – 160 p.
92. Jeremiah Kingsley Johnson. Integration of a cob separation system into a biomass harvesting combine / Jeremiah Kingsley Johnson. – Iowa: Iowa State University, 2010. – 67 p.
93. Jason Nicholas Schuster. Measuring volumetric flow rate of grains through a crop harvester to improve crop yield estimation accuracy / Jason Nicholas Schuster. – Iowa: Iowa State University, 2016. – 139 p.
94. Seth Alexander Williams. Development and testing of modifications on an STS combine to improve grain quality in corn / Seth Alexander Williams. – Iowa: Iowa State University, 2002. – 86 p.
95. Мобильный семенной завод Cimbria. [Электронный ресурс]: [веб сайт]. – Электрон. дан. – URL: <https://www.cimbria.ru/> (дата обращения: 18.04.2021).
96. PETKUS Продукция. [Электронный ресурс]: [веб сайт]. – Электрон. дан. – URL: <http://russian.petkus.de/produkte> (дата обращения: 18.04.2021).
97. Сербия Продукт. [Электронный ресурс]: [веб сайт]. – Электрон. дан. – URL: <https://www.serbiaproduct.rs/ru/> (дата обращения: 20.11.2020).
98. Ежегодный Доклад. Рынок семян кукурузы и подсолнечника в 2020 году. [Электронный ресурс]: [веб сайт]. - Электрон. дан. – URL: [https://napksk.ru/media/upload/\\_doklad\\_rynok\\_semyan\\_kukuruzy\\_i\\_podsolnechnika\\_v\\_2020\\_godu.pdf](https://napksk.ru/media/upload/_doklad_rynok_semyan_kukuruzy_i_podsolnechnika_v_2020_godu.pdf) (дата обращения: 29.10.21).

99. Белгородская область – лидер по урожайности кукурузы и подсолнечника. Департамент агропромышленного комплекса и воспроизводства окружающей среды Белгородской области. [Электронный ресурс]: [веб сайт]. - Электрон. дан. – URL: <https://belapk.ru/publications/belgorodskaya-oblast-lider-po-urozhajnosti-kukuruz/> (дата обращения: 29.10.21).

100. Белгородские аграрии собрали весь урожай подсолнечника, уборка свёклы и кукурузы завершается. [Электронный ресурс]: [веб сайт]. - Электрон. дан. – URL: <https://mirbelogorya.ru/region-news/61-belgorodskaya-oblast-news/44266-belgorodskie-agrarii-sobrali-ves-urozhaj-podsolnechnika-uborka-svjokly-i-kukuruzy-zavershaetsya.html> (дата обращения: 30.11.21).

101. Фатьянов, В.А. Система производства, заготовки и использования кукурузы в колхозах и совхозах Белгородской области / В.А. Фатьянов, З.И. Щелокова, А.Ф. Пономарев. – Белгород: Учебно-научный центр по сельскому хозяйству, 1987. – 69 с.

102. Акулов, П.Г. Научно обоснованная система земледелия Белгородской области / П.Г.Акулов, Л.П. Рындыч, Н.Р. Асыка [и др.]. – Белгород: Белгородский агропромышленный комитет Центрально-черноземный филиал ВИУА Белгородский СХИ., 1990. – 242 с.

103. ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН». [Электронный ресурс]: [веб сайт]. – Электрон. дан. – URL: [http://belnii.ru/science/corn\\_lab.html](http://belnii.ru/science/corn_lab.html) (дата обращения: 10.07.2021).

104. Тютюнов, С.И. Основные результаты селекции гибридов кукурузы в Белгородском НИИСХ/ С.И. Тютюнов, А.Н. Воронин, Г.М. Журба и др. // Селекция растений: прошлое, настоящее и будущее: сборник материалов I Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 140-летию НИУ «БелГУ» и 100-летию со дня рождения селекционера, учёного и педагога, доктора сельскохозяйственных наук, профессора З.И. Щелоковой. / под общ. ред. Е.В. Думачёвой. – Белгород: ИД «Белгород» НИУ БелГУ, 2017. – 200 с.

105. Деревлёв, Е.И. Оценка нового исходного материала для селекции гибридов кукурузы в условиях Белгородской области / Е.И. Деревлёв // Инновационные направления в химизации земледелия и сельскохозяйственного производства: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием и Всероссийской Школы молодых учёных. – Белгород: ООО «Принт», 2019. – 726 с.

106. Щадящая пофракционная технология очистки зерна и производства сильных семян [Электронный ресурс]: [веб сайт]. - Электрон. дан. – URL:<https://www.fadeevagro.com> (дата обращения: 05.07.2021).

107. Пути повышения урожайности и улучшения сохранности зерна при хранении [Электронный ресурс]: [веб сайт]. - Электрон. дан. – URL:<http://hipzmag.com/tehnologii/hranenie/puti-povysheniya-urozhajnosti-i-uluchsheniya-sohrannosti-zerna-pri-hranenii/> (дата обращения: 29.11.2020).

108. Зерно. Очистка. Производство семян. Щадящие технологии [Электронный ресурс]: [веб сайт]. - Электрон. дан. – URL:<https://studylib.ru/doc/2554651/zerno.-ochistka.-proizvodstvo-semyan.-shhadyashhie-tehnologii> (дата обращения: 05.07.2021).

109. Зерноочищающий aspirator Фадеева. [Электронный ресурс]: [веб сайт]. – Электрон. дан. – URL: <http://www.fadeevagro.com/products/aspirator-fadeeva/> (дата обращения: 29.11.2020).

110. Фолькман ,Е.Н. Монография по кукурузе / Е.Н. Фолькман, В.М. Березкин. – М.: Колос,1965. – 751 с.

111. Строна, И.Г. Травмирование семян и его предупреждение / И.Г. Строна. – М.: Колос, 1972.

112. Фадеев, Л.В. Зерно нельзя бить - оно основа жизни человека. [Электронный ресурс]: [веб сайт]. - Электрон. дан. – URL:<http://iecss.su/media/images/Documents/Zerno%20nelzya%20bit.pdf>. (дата обращения: 01.11.2021)

113. Гречанюк, А.М. О нормировании механических повреждений семян кукурузы в стандартах/ А.М. Гречанюк // Материалы четвертой всесоюзной

научно-технической конференции молодых ученых по проблемам кукурузы. Том 2. – Днепропетровск: Всесоюзный НИИ кукурузы, 1985. – С. 71–72.

114. Анискин, В.И. Технология и технические решения проблемы сохранности зерна в сельском хозяйстве: дис. ... д-ра техн. наук, - М., 1985,- 538 с.

115. Никитин, В.В. К определению оптимального угла наклона отверстий решетчатого днища наклонной камеры / В.Н. Ожерельев, В.В. Никитин // Тракторы и сельхозмашины. - 2018. - № 5. - С. 40-46.

116. Курасов, В.С. Механизация работ в селекции, сортоиспытании и первичном семеноводстве кукурузы: монография / В.С.Курасов, В.В.Куцеев, Е.Е.Самурганов. – Краснодар: КубГАУ, 2013. –151 с.

117. Труфляк, Е.В. Ресурсосберегающие процессы уборки кукурузы на основе новых конструктивно-технологических решений: дис. ... д-ра техн. наук / Е.В. Труфляк. – Краснодар: КубГАУ, 2009. –283 с.

118. Бахарев Д.Н. Обоснование перспективной контейнерной технологии поточной обработки початков семенной кукурузы при стационарной механизации/ Д.Н. Бахарев // Инновации в АПК: проблемы и перспективы, 2021. – № 1 (29). – С. 62-73.

119. Пастухов, А.Г. Элементы перспективной механизированной технологии переработки початков семенной кукурузы/ А.Г. Пастухов, Д.Н. Бахарев // Материалы XII Международной научно-практической интернет-конференции «Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК». – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. – С. 455-462.

120. Брагинец, Н.В. Технологическое обоснование повышения эффективности процесса кормления животных и функционирования поточных линий раздачи кормов на фермах крупного рогатого скота: дис. ... д-ра техн. наук / Н.В. Брагинец. – Мелитополь, 1983. – 432 с.

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

122. Бахарев, Д.Н. Бионические основы конструирования молотильно-сепарирующих систем для початков кукурузы: монография / Д.Н. Бахарев,

С.Ф. Вольвак, А.Г. Пастухов. – п. Майский: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2018. – 168 с.

123. Капустин, С.И. Сортовая технология кукурузы: монография / С.И. Капустин, Н.В. Ковтун, Д.Н. Бахарев [и др.]. – Луганск: ЛНАУ. 2013. –196 с.

124. Брагинец, Н.В. Аналитические исследования устройств, способных ориентировать початки кукурузы в пространстве / Н.В. Брагинец, А.Д. Буянов, Д.Н. Бахарев и др. // Луганск: ЛНАУ, Научный вестник ЛНУ. – 2012. – № 41 – С. 23 - 32.

125. Котелевская, Е.А. Параметры и режимы работы установки для сортирования початков семенной кукурузы: дис. ... канд. техн. наук / Е.А. Котелевская. – Краснодар, ФГБОУ ВО КубГАУ, 2018. – 172 с.

126. Кликович Рышард. Исследование процесса обмолота кукурузы: дис. ... канд. техн. наук / Кликович Рышард. – Харьков, ХПИ, 1959.

127. Бахарев, Д.Н. Машинный состав эффективного пункта обработки початков кукурузы в потоке при передвижной механизации / Д.Н. Бахарев, А.Г. Пастухов, С.Ф. Вольвак и др. // Инновационные решения в агроинженерии в XXI веке : Материалы Национальной научно-практической конференции. – Майский, 2021. – С. 3-7.

128. Вольвак, С.Ф. Проектирование и исследование технологических процессов животноводческих предприятий: монография / С.Ф. Вольвак, Д.Н. Бахарев, А.А. Добрицкий [и др.]. – Майский: Изд-во ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2021. – 475 с.

129. Бахарев, Д.Н. Научные основы совершенствования технологии поточной обработки кукурузы в початках: монография / Д.Н. Бахарев, А.Г. Пастухов, С.Ф. Вольвак [и др.]. – п. Майский: Изд-во ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2021. – 188 с.

130. Кильчевский, Н.А. Динамическое контактное сжатие твердых тел. Удар / А.Н. Кильчевский. – К.: Наукова думка, 1976. – 357 с.

131. Jonas A. Zukas, Impact dynamics. / Jonas A. Zukas, Theodore Nicholas, Hallock F. Swift. – New York.: A Wiley-interscience publication John Wiley and sons, 1982. – 296 p.

132. Пановко, Я.Г. Введение в теорию механического удара / Я.Г. Пановко. – М.: Наука, 1977. – 223 с.

133. Тарасов, В.Н. Теория удара в теоретической механике и ее приложение в строительстве / В.Н. Тарасов, Г.Н. Бояркин. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 1999. – 120 с.

134. Лейбович, М.В. Теория удара в задачах и примерах / М.В. Лейбович. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2016. – 236 с.

135. Знаев, Е.В. Разработка устройств поштучной ориентированной подачи маточников сахарной свеклы к посадочному аппарату высадкопосадочной машины: дис. ... канд. техн. наук / Е.В. Знаев. – Пенза, 2008.

136. Емельянов, П.А. Средства механизации посадки маточных корнеплодов / П.А. Емельянов, Е.В. Знаев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2005. – №2. – С. 10-12.

137. Емельянов, П.А. Устройство для ориентации маточников сахарной свеклы при высадке / П.А. Емельянов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1999. – № 2. – С. 12.

138. Усанов, Н.А. Параметры и режимы работы устройств для ориентации и подачи маточных корнеплодов к посадочному аппарату: дис. ... канд. техн. наук / Н.А. Усанов. – Л. Пушкин, 1987.

139. Устройство для ориентации предметов конической формы: а. с. 475973 СССР: МКИ А 01 С 11/00, В 65 G 47/20. / Б.А. Якшов (СССР); заявитель и патентообладатель НИИ Сахарной свеклы и сахара им. А.Л. Мазлумова – №1811465/30-15; заявл. 19.07.1972; опубл. 05.07.1975. Бюл. №25. – 3 с.

140. Высадкопосадочная машина: а. с. 133282 СССР, МКИ А 01 С 11/02. / А.В. Сазонов (СССР); заявитель и патентообладатель А.В. Сазонов. – №662022/30; заявл. 04.04.1960; опубл. 11.01.1961. Бюл. № 21. – 4 с.



141. Устройство для подачи корнеплодов в посадочный аппарат: а. с. 1144643 СССР, МКИ А 01 С 11/00. / Л.В. Погорелый, В.П. Давыдюк (СССР); заявитель и патентообладатель Л.В. Погорелый, В.П. Давыдюк. – № 3595698/30-15; заявл. 23.05.1983; опубл. 15.03.1985. Бюл. № 10. – 3 с.

142. Устройство для ориентирования плодов имеющих конусообразную форму: а. с. 249112 СССР, МКИ А 23 N 15/00, В 65 G 47/24, В 65 В 35/56, В 65 Н 67/06. / Ж.В. Олевич, Г.Г. Левитов (СССР); заявитель и патентообладатель Специальное конструкторско-технологическое бюро продовольственного машиностроения. – №1251865/28-13; заявл. 28.06.1968; опубл. 19.10.1971. Бюл. № 31. – 3 с.

143. Усенко, Н.А. Автоматические загрузочно-ориентирующие устройства / Н.А. Усенко, И.С Бляхеров. – М.: Машиностроение, 1984. – 112 с.

144. Ориентирующе-дозированное устройство для початков кукурузы: пат. 180093 U1 RU Рос. Федерация: МПК А01F11/06(2006.01). / С.Ф Вольвак, Д.Н. Бахарев; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина. – №2018104350; заявл. 02.02.2018; опубл. 04.06.2018. Бюл. № 16. – 7 с.

145. Бахарев, Д.Н. Обоснование конструкции рабочих органов ориентирующе-дозированного устройства для початков кукурузы / Д.Н. Бахарев, С.Ф. Вольвак // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2018. – № 1 (17). – С. 3–16.

146. Нагірний, Ю.П. Аналіз технологічних систем і обґрунтування рішень / Ю.П. Нагірний, С.Ф.Вольвак. – Кам'янець-Подільський: ФОП Сисин О.В., 2013. –240 с.

147. Нагірний, Ю.П. Обґрунтування інженерних рішень / Ю.П. Нагірний. – К.: Урожай, 1994. – 216 с.

148. Бахарев, Д.Н. Повышение эффективности технологического процесса обмолота и разработка конструкции молотилки початков кукурузы: дис. ... канд. техн. наук / Д.Н. Бахарев. – Луганск, 2007. – 188 с.

149. Аксіально-роторний пристрій для обмолоту початків кукурудзи: пат. 18265 Україна: МПК А01F11/00 (2006) /С.Ф. Вольвак, Д.М. Бахарєв; заявник і патентовласник Вольвак С.Ф., Бахарєв Д.Н. - № u200602152; заявив. 27.02.2006; опубл. 15.11.2006. Бюл. № 11. - 6 с.

150. Аксіально-роторна молотарка качані кукурудзи: пат. № 30366 Україна: МПК А01F11/00 (2006) /С.Ф. Вольвак, Д.М. Бахарєв; заявник і патентовласник Луганський національний аграрний університет. – № u200111686; заявл. 22.10.2007; опубл. 25.02.2008. Бюл. № 11.- 6 с.

151. Сельхоз решета [Электронный ресурс]: [веб сайт]. – Электрон. дан. – URL: <https://frunze.ru/category/resheta-sita/> (дата обращения: 02.11.2021).

152. Пути повышения урожайности и улучшения сохранности зерна при хранении. [Электронный ресурс]: [веб сайт]. – Электрон. дан. – URL: <http://hipzmag.com/tehnologii/hranenie/puti-povysheniya-urozhajnosti-i-uluchsheniya-sohrannosti-zerna-pri-hranenii/> (дата обращения: 29.11.2020).

153. Комплекс по производству сильных семян Фадеева Л.В. [Электронный ресурс]: [веб сайт]. – Электрон. дан. – URL: <https://agropromex.ru/kompleksnyie-resheniya/semennyie-zavodyi/kompleks-po-proizvodstvu-vyisokoproduktivnyix-semyan.html> (дата обращения: 02.11.2021).

154. Анализ импорта семян для посева основных видов зерновых и зернобобовых культур в 2012–2020 гг. [Электронный ресурс]: [веб сайт]. – Электрон. дан. – URL: <https://agrovesti.net/lib/industries/corn/analiz-importa-semyan-dlya-poseva-osnovnykh-vidov-zernovykh-i-zernobobovykh-kul-tur-v-2012-2020-gg.html> (дата обращения: 04.07.2021)

155. Самый маленький российский комбайн СК-110: при этом он очень нужный, но дорогой [Электронный ресурс]: [веб сайт]. – Электрон. дан. – URL: <https://zen.yandex.ru/media/tractor/samyi-malenkii-rossiiskii-kombain-sk110-pri-etom-on-ochen-nujnyi-no-dorogoi-5fa77767b1fbcf2e23b62904> (дата обращения: 02.11.2021).

156. Прайс-лист Ростсельмаш, ООО Комбайновый завод (Транснациональные корпорации) [Электронный ресурс]: [веб сайт]. – Электрон. дан. –

URL:[https://www.agrobase.ru/organizations/manufacturer/pdmanufacturer\\_11b4e5ea-5a24-46c5-8f37-0b4a9792b585/pricelist](https://www.agrobase.ru/organizations/manufacturer/pdmanufacturer_11b4e5ea-5a24-46c5-8f37-0b4a9792b585/pricelist) (дата обращения: 05.05.2020).

157. Рожківський, М.Ф. До визначення механізму деформації і руйнування зернових матеріалів / М.Ф. Рожківський // Вісник аграрної науки. – 2000. – № 7. – С. 50-53.

158. Буянов, А.И. Физико-механические свойства растений, почв и удобрений. (Методы исследования, приборы, характеристики) / А.И.Буянов, Б.А. Воронюк. – М.: Колос, 1970. – 423 с.

159. Царенко, О.М. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів / О.М.Царенко, Д.Г.Войтюк, В.М.Швайко. – К.: Мета, 2003. – 448 с.

160. Кобець А.С. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів / А.С. Кобець, Т.Д. Іщенко, Б.А. Волик, О.А. Демидов.- Дніпропетровськ: РВВ ДДАУ, 2009-84 с.

161. Петухов, С.В. Биомеханика, бионика и симметрия / С.В. Петухов. – М.: Наука, 1981. – 240 с.

162. Бахарев, Д.Н. Угол естественного откоса початков кукурузы как объекта послеуборочной механической обработки / Д.Н. Бахарев, С.Ф. Вольвак // Материалы Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы агроинженерии в XXI веке», посвященной 30-летию кафедры технической механики конструирования. – Майский: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2018. – С. 12–16.

163. Пермигин, М.Ф. Статистическая обработка опытных данных / М.Ф. Пермигин, В.И. Шаповалов, С.Ф. Вольвак. – Луганск: ЛГАУ, 1999. – 31 с.

164. Завалишин, Ф.С. Методы исследований по механизации сельскохозяйственного производства / Ф.С. Завалишин, М.Г. Мацнев. – М.: Колос, 1982. – 231 с.

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

166. ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ им. В.Я. Горина. Официальный сайт. [Электронный ресурс]: [веб сайт]. – Электрон. дан. – URL: <http://www.bsaa.edu.ru/science/nich/sel-kukurzi.php> (дата обращения: 10.07.2021).
167. ФГБНУ НИИСХ ЦЧП Воронежский ФАНЦ им. В.В. Докучаева. Официальный сайт. [Электронный ресурс]: [веб сайт]. – Электрон. дан. – URL: <https://niidokuchaeva.ru/sorta/> (дата обращения: 10.07.2021).
168. ФГБНУ Национальный центр зерна им. П.П. Лукьяненко. Официальный сайт. [Электронный ресурс]: [веб сайт]. – Электрон. дан. – URL: <https://ncz-russia.ru/> (дата обращения: 11.07.2021).
169. Каталог SYNGENTA. Официальный сайт. [Электронный ресурс]: [веб сайт]. – Электрон. дан. – URL: <https://www.syngenta.ru/products-seeds-corn> (дата обращения: 12.07.2021).
170. ФГБНУ «Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы» Официальный сайт. [Электронный ресурс]: [веб сайт]. – Электрон. дан. – URL: <https://rossorgo.ru/> (дата обращения: 12.07.2021).
171. Институт сельского хозяйства КБНЦ РАН. Селекция и семеноводство кукурузы. Официальный сайт. [Электронный ресурс]: [веб сайт]. – Электрон. дан. – URL: <http://kbniish.ru/osnovnye-napravleniya/selektsiya-kukuruzy> (дата обращения: 12.07.2021).
172. Павлов, П.А. Сопротивление материалов / П.А. Павлов, Л.К. Паршин, Б.Е. Мельников [и др.]. – СПб.: Лань, 2007. – 560 с.
173. Писаренко, Г.С. Сопротивление материалов / Г.С. Писаренко, В.А. Агарев, А.Л. Квитка [и др.]. – К.: Вища школа, 1986. – 775 с.
174. Феодосьев, В.И. Сопротивление материалов / В.И. Феодосьев. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 592 с.
175. Аркуша, А.И. Техническая механика: Теоретическая механика и сопротивление материалов / А.И. Аркуша. – М.: ЛЕНАНД, 2016. – 352 с.
176. Сафонова, Г.Г. Техническая механика / Г.Г. Сафонова, Т.Ю. Артюховская, Д.А. Ермаков. – М.: НИЦ ИНФРА-М, 2013. – 320 с.

177. Цывилевский, В.Л. Теоретическая механика / В.Л. Цывилевский. – М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014.
178. Лачуга, Ю.Ф. Теоретическая механика / Ю.Ф. Лачуга, В.А. Ксендзов. – М.: КолосС, 2010. – 576 с.
179. Олофинская, В.П. Техническая механика: Курс лекций с вариантами практических и тестовых заданий / В.П. Олофинская. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2003. – 349 с.
180. Калашникова, Н.В. Модуль упругости семян зерновых и зернобобовых культур / Н.В. Калашникова // Механизация и электрификация сельского хозяйства, Вып. 12. – 1975. – С. 51-52.
181. Fei Dai. Experiment on Poisson's ratio determination about corn kernel / Fei Dai, Wu Yun Zhao, Zheng Sheng Han, Feng Wei Zhang // Proceedings of «3rd International Conference on Chemical Engineering and Advanced». Vol. 781-784. Switzerland: Trans Tech Publications, 2013, – pp. 799-802.
182. Leora Shelef. Evaluation of the modulus of elasticity of wheat grain / Leora Shelef, Nuri N. Mohsenin. // Cereal Chemistry, Vol 44(4), 1967 – pp. 392-402.
183. José P. Lopes Neto. Mechanical properties of grain in silos for simulation designs / José P. Lopes Neto, José W. B. do Nascimento, Jordânio I. Marques, Carlos A. da Costa // Engenharia Agrícola, Vol 36(4). – Jaboticabal, 2016. – pp.573-580.
184. Mohamed, A.F. Mechanical properties of corn kernels / Mohamed A.F // Misr Journal of Agricultural Engineering, Vol 26(4). – 2009. – pp 1901-1922.
185. Bo Wang. Mechanical properties of maize kernel horny endosperm, floury endosperm and germ // Bo Wang, Jun Wang. // International journal of food properties, Vol 22(1). – 2019. – pp. 863- 877.
186. Dmitriy Bakharev. Methodology and results of experimental determination of corn grain elasticity modulus / Dmitriy Bakharev, Alexander Pastukhov, Sergey Volvak, Alexander Dobrickiy // International Scientific Conference Engineering for rural development, proceedings. – Latvia University of Life Sciences and Technologies Faculty of Engineering, volume 20, 2021. – Pp 92-97.

187. Панфилов, А.Э. Селекция Урало-Сибирского региона: направления и тенденции. Институт агроэкологии – филиал Челябинской государственной агроинженерной академии. Нивы Зауралья №7 (129) АВГУСТ. [Электронный ресурс]: [веб сайт]. – Электрон. дан. – URL: <http://svetich.info/publikacii/agronauka/selekcija-uralo-sibirskogo-regiona-napra.html> (дата обращения: 10.09.2021).

188. Евтюшенков, Н.Е. Технология и техника для уборки и транспортировки зерна в селекции и первичном семеноводстве / Н.Е. Евтюшенков, М.Л. Крюков, Е.П. Шилова, С.В. Власова // Сельскохозяйственные машины и технологии – 2016. – №4. – С. 30-35.

189. Степанов, К.А. Обоснование параметров контейнеризации процессов уборки, переработки и хранения семян на III и IV этапах селекции и первичного семеноводства на примере ФГБНУ Рязанский НИИСХ / К.А. Степанов // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. – 2018. – № 9. – С. 15-20.

190. Кошуняева, Н.В. Теория массового обслуживания / Н.В Кошуняева, Н.Н. Патронова. – Архангельск: САФУ им. М.В. Ломоносова, 2013. – 107 с.

191. Березовский, В.Е. Исследование операций. Практический курс / В.Е. Березовский. – Умань: Издатель «Сочинский», 2011. – 238 с.

192. Раскин, Л.Г. Анализ сложных систем и элементов теории оптимального управления / Л.Г. Раскин. – М.: «Сов. радио», 1976. – 344 с.

193. Солнышкина, И.В. Теория массового обслуживания / И.В. Солнышкина. – Комсомольск-на Амуре: ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2015. – 76 с.

194. Белый, Е.К. Введение в теорию массового обслуживания / Е.К. Белый. – Петрозаводск : Издательство ПетрГУ, 2014. – 76 с.

195. Купреенко, А.И. Решение системы уравнений Колмогорова для обобщенного графа состояний мобильного кормоцеха / А.И. Купреенко, Х.М. Исаев, С.М. Михайличенко // Тракторы и сельхозмашины. – 2017. – № 7. – С. 47-52.

196. Диксон, Дж. Проектирование систем: изобретательство, анализ и принятие решений / Дж. Диксон. – М.: Мир, 1969. – 440 с.
197. Джонс, Дж. К. Методы проектирования / Дж. К. Джонс. – М.: Мир, 1986. – 326 с.
198. Мушик, Э. Методы принятия технических решений / Э. Мушик, П. Мюллер. – М.: Мир, 1990. – 208 с.
199. Чирков, В.Г. Выбор рациональных технических решений / В.Г. Чирков. – К.: Техника, 1991. – 159 с.
200. Нагирный, Ю.П. Многокритериальная оценка и выбор решений / Ю.П. Нагирный // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1990. – № 9. – С. 9-12.
201. Зайченко, Ю.П. Исследование операций / Ю.П. Зайченко. – К.: Вища школа, 1975. – 392 с.
202. Бахарев, Д.Н. Применение методов бионики в процессе совершенствования рабочих органов подборщиков-погрузчиков початков кукурузы / Д.Н. Бахарев, А.Г Пастухов, С.Ф. Вольвак // Материалы XXIV Международной научно-производственной конференции «Инновационные решения в аграрной науке – взгляд в будущее», 27-28 мая 2020 года, Том 1. Белгородского ГАУ. – п. Майский: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2020. –С. 9-10.
203. Бахарев, Д.Н. Обобщенная задача и концепция теории обмолота сортовой и гибридной кукурузы / Д.Н. Бахарев // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2019. – № 3 (23). – С. 23-29.
204. 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.
205. Кандауров, И.И. Механика зернистых сред и ее применение в строительстве / И.И. Кандауров. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1988. – 280 с.
206. Клейн, Г.К. Строительная механика сыпучих тел / Г.К. Клейн. – М.: Стройиздат., 1977. – 256 с.

207. Гольдштейн, М.Н. Механика грунтов, основания и фундаменты / М.Н. Гольдштейн, А.А. Царьков, И.И. Черкасов. – М.: Транспорт, 1981. – 320 с.
208. Соколовский, В.В. Статика сыпучей среды / В.В. Соколовский. – М.: Гос. издат. физ-мат. лит., 1960. – 240 с.
209. Берд Дж. Инженерная математика / Берд Дж. – М.: Додека-XXI, 2008. – 544 с.
210. Гусак, А.А. Справочник по высшей математике / А.А. Гусак. – Мн.: ТетраСистема, 1999. – 640 с.
211. Выгодский, М.Я. Справочник по высшей математике / М.Я. Выгодский. – М.: Наука, 1977. – 871 с.
212. Выгодский, М.Я. Справочник по высшей математике / М.Я. Выгодский. – М.: АСТ.: Астрель, 2006. – 991 с.
213. Запорожец, Г.И. Руководство по решению задач по математическому анализу / Г.И. Запорожец. – М.: Высшая школа, 1966. – 461 с.
214. Кибзун, А.И. Теория вероятностей и математическая статистика. Базовый курс с примерами и задачами / А.И. Кибзун, Е.Р. Горяинова, А.В. Наумов [и др.]. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 224 с.
215. Попов, В.А. Теория вероятностей. Часть 2. Случайные величины / В.А. Попов. – Казань: Казанский университет, 2013. – 45 с.
216. Попов, В.А. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике / В.А. Попов, М.Х. Бренерман. – Казань: Издательство КГУ, 2008. – 119 с.
217. Базовый мини-комплекс модульного типа по приёму, доработке, сушке, обмолоту початков и первичной очистке зерна кукурузы: пат. 2675 504 Рос. Федерация: МПК В07В 9/00 (2006.01), А01D 45/02 (2006.01). / А.А. Тюрин, А.В. Исаев; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «РосАгроТрейд». - №2018112200; заявл. 04.04.2018; опубл. 19.12.2018. Бюл. № 35. – 12 с.
218. Сушка и обработка кукурузы [Электронный ресурс]: [веб сайт]. – Электрон. дан. – URL: <https://www.cimbria.ru> (дата обращения: 21.11.2020).



219. Новая сушилка для кукурузных початков CD30 Электронный ресурс]: [веб сайт]. – Электрон. дан. – URL: [https://www.mecmargroup.com/ru/news/novaa\\_susilka\\_dla\\_kukuruznyh\\_pocatkov\\_c\\_d30-43](https://www.mecmargroup.com/ru/news/novaa_susilka_dla_kukuruznyh_pocatkov_c_d30-43) (дата обращения: 12.03.2021).

220. Сушилки для кукурузных початков Petkus типа DHD [Электронный ресурс]: [веб сайт]. – Электрон. дан. – URL: <https://tria-agro.ru/p/341746524-sushilki-dlya-kukuruznyh-pocatkov-petkus-tipa-dhd/> (дата обращения: 12.03.2021).

221. Алферов, К.В. Бункерные установки / К.В. Алферов, Р.Л. Зенков. – М.: МАШГИЗ, 1955. – 308 с.

222. Зенков, Р.Л. Бункерные устройства / Р.Л. Зенков, Г.П. Гриневич, В.С. Исаев. – М.: Машиностроение, 1977. – 224 с.

223. Гячев, Л.В. Движение сыпучих материалов в трубах и бункерах / Л.В. Гячев. – М.: Машиностроение, 1968. – 184 с.

224. Богомягких, В.А. Теория и расчет бункеров для зернистых материалов / В.А. Богомягких. – Ростов-на-Дону: Издательство Ростовского университета, 1973. – 152 с.

225. Богомягких, В.А. Функционирование бункеров максимального расхода в условиях сводообразующего истечения зерновых материалов: монография / В.А. Богомягких, А.Ю. Несмиян. – зерноград, Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВПО ДГАУ, 2015. – 179 с.

226. Бахарев, Д.Н. Влияние жесткости пружин элементов деки молотилки початков кукурузы на энергозатраты при обмолоте / Д.Н. Бахарев, С.Ф. Вольвак // Материалы Национальной научно-практической конференции «Актуальные проблемы разработки, эксплуатации и технического сервиса машин в агропромышленном комплексе», посвященной 40-летию Белгородского ГАУ. –п. Майский: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2019. –С. 177-182.

227. Молотильно-сепарирующее устройство с системой ориентированной подачи початков кукурузы на обмолот: пат. 171115 Рос. Федерация: МПК А01F11/06(200)Бионические основы

разщОбоснованиеПрименение методов 6.01). / С.Ф. Вольвак, Д.Н. Бахарев; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ. – № 2016147797; заявл. 06.12.2016; опубл. 22.05.2017. Бюл. № 15. – 9 с.

228. Устройство поэтапного обмолота початков семенной кукурузы: пат. 196681 U1 RU Рос. Федерация: МПК А01F11/06(2006.01). / Д.Н. Бахарев С.Ф. Вольвак, А.Г. Пастухов, В.А. Сафонов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина. – №2019142582; заявл. 16.12.2019; опубл. 11.03.2020. Бюл. № 8. – 6 с.

229. Пастухов, А.Г. Молотильно-сепарирующее устройство для початков сортовой и гибридной кукурузы / А.Г. Пастухов, Д.Н. Бахарев // М.: Сельский механизатор. – 2019. – № 12. – С. 4-5.

230. Пастухов, А.Г. Молотильно-сепарирующее устройство для первичного семеноводства кукурузы / А.Г. Пастухов, Д.Н. Бахарев // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2020. – Т. 14. №1. – С. 34-39.

231. AG Pastukhov Differentiated threshing of seed corn with minimal grain crushing / AG Pastukhov, DN Bakharev, TV Parnikova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 659, International Conference on Engineering Studies and Cooperation in Global Agricultural Production. – Russian Federation: Rostov Region, 2020.

232. Dmitriy Bakharev. The substantiation of deck parameters of the rotary threshing device / Dmitriy Bakharev, Alexander Pastukhov, Sergey Volvak, Olga Sharaya // Proceedings of International Conference «Engineering for Rural Development 2019» – Jelgava. Latvia, 2019 – pp. 481-486.

233. Baharev, D.N. The concept of bionic design of devices for threshing cobs of maize varietal / D.N. Baharev, A.G.Pastukhov, S.F.Volvak // ISB-INMA-TEN Agricultural and mechanical engineering. Bucharest, 2018. – pp. 107–114.

234. Пастухов, А.Г. Пневматическая система дифференцированного обмолота кукурузы / А.Г. Пастухов, Д.Н. Бахарев, С.Ф. Вольвак и др.// Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2019. – Т. 13. №4. – С. 42-47.

235. Бахарев, Д.Н. Результаты экспериментальных исследований качества отделения зерна от стержня при обмолоте сортовой и гибридной кукурузы аксиально-роторной молотилкой / Д.Н. Бахарев // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2020. – № 1 (25). – С. 38-44.

236. Кукурузолушилка. Молотилка кукурузных початков МКП-10 [Электронный ресурс]: [веб сайт]. – Электрон. дан. – URL: <http://promselproekt.com/ru/2020/02/25/kukuruzolushilka-molotilka-kukuruznyh-pochatkov-mkp-10/> (дата обращения: 22.11.2020).

237. Аксиально-роторное домолачивающее устройство: пат. 207989 U1 RU Рос. Федерация: МПК А01F11/06(2006.01). / Д.Н. Бахарев, А.Г. Пастухов, С.Ф. Вольвак, А.Е. Бурнукин; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина. – №2021129005; заявл. 04.10.2021; опубл. 29.11.2021. Бюл. № 34. – 4 с.

238. Домолочующий аппарат молотарки кукурудзи: пат. № 86546 Україна: МПК А01F11/00 (2013.01) /М.В. Брагінець, Д.М. Бахарев, А.Є. Бурнукін; заявник і патентовласник Луганський національний аграрний університет. – № u201304614; заявл. 12.04.2013; опубл. 10.01.2014. Бюл. № 11.- 6 с.

239. Бабицкий, Л.Ф. Біонічні напрями розробки ґрунтообробних машин / Л.Ф. Бабицкий. – К.: Урожай, 1998. – 164 с.

240. Патури, Ф.Р. Растения гениальные инженеры природы / Ф.Р. Патури. – М.: Прогресс, 1982. – 172 с.

241. Лебедев, Ю.С. Архитектура и бионика / Ю.С. Лебедев. – М.: Стройиздат, 1977. – 222 с.

242. Симаков, Ю.Г. Живые приборы / Ю.Г. Симаков. – М.: Знание, 1986. – 176 с.

243. Крайзмер, Л.П. Бионика / Л.П.Крайзмер. – М. Л.: Госэнергоиздат, 1962. – 72 с.

244. Сочивко, В.П. Очерки бионики моря / В.П. Сочивко. – Л.: Судостроение, 1968. – 276 с.

245. Астафьев, А.К. Философские аспекты синтеза понятий в технике и бионике / А.К. Астафьев. – Л.: Издательство Ленинградского университета, 1978. – 104 с.

246. Никулин, В.М. От чудес природы к чудесам техники / В.М. Никулин. – Днепропетровск: Проминь, 1988. –166 с.

247. Лебедев, Ю.С. Архитектурная бионика / Ю.С. Лебедев, В.И. Рабиервич, Е.Д. Положай [и др.]. – М.: Сройиздат, 1990. – 260 с.

248. Люсьен Жерарден. Бионика / Люсьен Жерарден. – М.: Мир, 1997. – 232 с.

249. Литинецкий, И.Б. Беседы о бионике / И.Б. Литинецкий. – М.: Наука, 1968. – 592 с.

250. Зерноуборочный комбайн: пат. 2685735 Рос. Федерация: МПК А01D41/12 / В.Н. Ожерельев, Э.В. Жалнин, В.Д. Игнатов, В.Д. Сулеев, А.Е. Кузнецов, В.В. Никитин; заявитель и патентообладатель ФГБОУВО «Брянский государственный аграрный университет». – № 2018126059; заявл. 13.07.2018; опубл. 23.04.2019. Бюл. № 12.

251. Роликовое решето: пат. 2701251 Рос. Федерация: МПК В07В 1/14 Жалнин Э.В., Пьянов С.В., Фурманов А.В.; заявитель и патентообладатель ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ». – № 2019108228; заявл. 21.03.2019; опубл. 25.09.2019. Бюл. № 27.

252. Бахарев, Д.Н. Разделение зерноостержевой смеси в роторных молотильно-сепарирующих устройствах для кукурузы / Д.Н. Бахарев // Материалы Национальной (всероссийской) научно-практической конференции с международным участием «Агроинженерия в XXI веке: проблемы и перспективы» посвященной 30-летию инженерного факультета им. А.Ф. Пономарева. – п. Майский: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2020. – С 92-97.

253. Справочник по защите растений. [Электронный ресурс]: [веб сайт]. – Электрон. дан. – URL: <https://www.agroxxi.ru/goshandbook/wiki/host/store> (дата обращения: 05.05.2020).

254. Седов, Л.И. Методы подобия размерности в механике / Л.И. Седов. – М.: Наука, 1977. –440 с.
255. Алешкин, В.Р. Механизация животноводства / В.Р Алешкин, П.М Рощин. – М.: Агропромиздат, 1985. – 336 с.
256. Иванов, М.Г. Размерность и подобие / М.Г. Иванов. – Долгопрудный, 2013. - 68 с.
257. Зуев, К.И. Основы теории подобия: конспект лекций / К.И. Зуев. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2011. – 51 с.
258. Пастухов, А.Г. Теоретическое исследование контакта фасонного шипа и зерна кукурузы в молотильной камере / А.Г. Пастухов, Д.Н. Бахарев // Вестник федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина». – 2018. – Вып.5. – С. 20-24.
259. Кочетков, А.В. Некоторые вопросы теории удара / А.В. Кочетков // Институт Государственного управления, права и инновационных технологий (ИГУПИТ). Наукоеведение. – 2013. – №5. – С. 1-15. [Электронный ресурс]: [интернет-журнал]. – Электрон. дан. – URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/110tvn513.pdf> (дата обращения: 02.11.2021).
260. Бахарев, Д.Н. Прикладные аспекты волновой теории удара в теоретических исследованиях обмолота початков кукурузы / Д.Н. Бахарев // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2020. – № 2 (26). – С. 9-15.
261. Ванин, В.А. Скалярный и векторный анализ для классического инженерного образования: специальные главы курса высшей математики. Т.3. / В.А. Ванин, Ю.Л. Геворкян, А.Л. Григорьев. – Харьков: Підручник НТУ «ХП», 2012. – 464 с.
262. Математический анализ. Часть I. – 6-е изд., дополн. / В.А. Зорич. – М.: МЦНМО, 2012. – 702 с
263. Казаков, Е.Д. Биохимия зерна и продуктов его переработки / Е.Д. Казаков, В.Л Кретович. – М.: Агропромиздат, 1989. – 368 с.

264. Eirich R. Frederick. Rheology. Theory and applications / Eirich R. Frederick. – Brooklyn, New York: Polytechnic Institute of Brooklyn, 1956. – 824 p.
265. Андреев, А.Н. Использование реологических методов для оценки качества зернопродуктов / А.Н. Андреев // Международный конгресс. Зерно и хлеб России. – СПб, 2006. – С. 104-105.
266. Месчан, С.Р. Экспериментальная реология глинистых грунтов / С.Р.Месчан. – М.: Недра, 1985. – 342 с.
267. Горбатов, А.В. Реология мясных и молочных продуктов / А.В. Горбатов. – М.: Пищевая промышленность, 1979. – 383 с.
268. Косой, В.Д. Инженерная реология биотехнологических сред / В.Д. Косой, Я.И. Виноградов, А.Д. Малышев. – СПб: ГИОРД, 2005. – 644 с.
269. Бобриков, Н.А. К исследованию процесса обмолота кукурузы / Н.А. Бобриков // Конструирование и производство сельскохозяйственных машин. Сборник статей по материалам Второй Всесоюзной научно-технической конференции. – М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1959. – С. 140-150.
270. Тимошенко, С.П. Пластинки и оболочки / С.П. Тимошенко, С. Войновский-Кригер. – М.: Наука, 1966. – 636 с.
271. Жилин, П.А. Прикладная механика. Основы теории оболочек: Учеб. Пособие / П.А. Жилин. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. –167 с.
272. Галимов, К.З. Нелинейная теория тонких оболочек типа Тимошенко / К.З. Галимов // Исследование по теории пластин и оболочек. Выпуск 11. – 1975. – С. 92–126.
273. Зверяев, Е.М. Конструктивная теория тонких упругих оболочек / Е.М. Зверяев // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. – 2016. – № 33. – 25 с.
274. Новожилов, В.В. Линейная теория тонких оболочек / В.В. Новожилов, К.Ф. Черных, Е.И Михайловский. – Л.: Политехника, 1991. – 656 с.
275. Рындин, Н.И. Краткий курс теории упругости и пластичности / Н.И. Рындин. – Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1974. –136 с.

276. Филин, А.П. Прикладная механика твердого деформируемого тела. Том.1 / А.П. Филин. – М.: Наука, 1975. – 832 с.
277. Александров, М.П. Подъемно-транспортные машины / М.П. Александров. – М.: Высшая школа, 1985. – 520 с.
278. Григорьев, А.М. Винтовые конвейеры / А.М. Григорьев. – М.: Машиностроение, 1972. – 184 с.
279. Геррман, Х. Шнековые машины в технологии / Х. Геррман. – Л.: Химия, 1975. – 232 с.
280. Иванченко, Ф.К. Расчеты грузоподъемных и транспортирующих машин / Ф.К. Иванченко. – К.: Вища школа, 1978. – 578 с.
281. Брусенков А.В., Физическая модель движения корнеплодов в вертикальном шнеке / А.В. Брусенков, В.П. Капустин // Наука в центральной России. – 2021. № 3 (51). – С. 47-56.
282. Красников, В.В. Подъемно-транспортные машины / В.В. Красников. – М.: Колос, 1981. – 263 с.
283. Анурьев, В.И. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин: Том 2 / В.И. Анурьев – М., 1961. – 866 с.
284. Спиваковский, А.О. Транспортирующие машины / А.О. Спиваковский, В.К. Дьячков. – М.: Машиностроение, 1983. – 487 с.
285. Додонов, В.П. Грузоподъемные и транспортные устройства / В.П. Додонов, В.А. Лифанов. – М.: Машиностроение, 1990. – 248 с.
286. Моргачев, В.Л. Подъемно-транспортные машины / В.Л. Моргачев. – М.: Машиностроение, 1964. – 342 с.
287. Грек, А.И. Вопросы обмолота / А.И. Грек. – Владивосток, 1970. – 204 с.
288. Гончаров, В.Н. Теоретические основы размола волокнистых материалов в ножевых машинах: дисс. на соиск. уч. степ. док. техн. наук. Л., 1990. 451 с.
289. Бахарев, Д.Н. Теоретическое исследование технологического процесса подбора початков кукурузы барабанным питателем / Д.Н. Бахарев, С.Ф. Вольвак // Материалы Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы агроинженерии и пути их решения», посвященной 40-

летию Белгородского ГАУ. – п. Майский: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2018. – С. 117 – 126.

290. Бахарев, Д.Н. Разработка ресурсосберегающей технологии заводской обработки початков и зерна семенной кукурузы: научно-методические рекомендации / А.Г. Пастухов, Д.Н. Бахарев. – п. Майский: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2021. – 35 с.

291. Бахарев, Д.Н. Моделирование процесса работы ориентирующе-дозировочного устройства для початков сортовой и гибридной кукурузы / Д.Н. Бахарев, С.Ф. Вольвак // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – Вып.4. – С. 6-13.

292. Dmitriy Bakharev. Study of seed corn threshing process / Dmitriy Bakharev, Alexander Pastukhov, Sergey Volvak, Sergey Kovalev // Latvia University of Life Sciences and Technologies Faculty of Engineering: International Scientific Conference Engineering for rural development, proceedings, 2020. – volume 19 – Pp 1036-1041.

293. Pastukhov, A. Structural model of coarse-grained mass, consisting of corn cobs / Pastukhov A., Bakharev D. // Traktori i pogonske mašine Tractors and power machines. – Novi Sad, 2018. –Vol.23, № ½ – P. 36 - 42.

294. Бахарев, Д.Н. Обобщенная оценка основных факторов при проектировании техники и технологий в агроинженерии / А.Г. Пастухов, Е.П. Тимашов, Д.Н. Бахарев // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2021. – № 1 (29). – С. 17-26.

295. Пристрій для орієнтованої подачі качанів кукурудзи в молотарку: пат. №85886 Україна: МПК А01F11/00 (2013.01) М.В. Брагінець, Д.М. Бахарев, О.О. Романенко; заявник і патентовласник Луганський національний аграрний університет. – № u201304591; заявл. 12.04.2013; опубл. 10.12.2013. Бюл. № 23.- 4 с.

296. Двоступеневий очищувач качанів кукурудзи від листової обгортки: пат. № 85889 Україна: МПК А01F11/00 (2013.01) /М.В. Брагінець, Д.М. Бахарев, О.В. Тіняков; заявник і патентовласник Луганський національний аграрний



університет. – № u201304609; заявл. 12.04.2013; опубл. 10.12.2013. Бюл. № 23.- 3 с.

297. Чубинский, А.Н. Методы и средства научных исследований. Методы планирования и обработки результатов экспериментов: / А.Н. Чубинский, Д.С. Русаков, И.М. Батырева, Г.С. Варанкина – СПб.: СПбГЛТУ, 2018.– 109 с.

298. Монтгомери, Д.К. Планирование эксперимента и анализ данных / Д.К. Монтгомери. – Л.: Судостроение, 1980. – 384 с.

299. Маркова, Е.В. Планирование эксперимента в условиях неоднородностей / Е.В. Маркова, А.Н. Лысенков. – М.: Наука, 1973. – 220 с.

300. Аничин, В.Л. Математическая статистика / В.Л. Аничин. – Харьков: ХГАУ им. В.В. Докучаева, 1994. – 108 с.

301. Шаповалов, В.И. Многофакторный эксперимент / В.И. Шаповалов, С.Ф.Вольвак, М.Ф. Пермигин [и др.]. – Луганск: ЛГАУ, 1999. – 38 с.

302. Винарский, М.С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях / М.С. Винарский, М.В. Лурье. – К.: Техника, 1975. – 168 с.

303. Адлер, Ю.И. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.И. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 279 с.

304. Кононюк, А.Е. Основы научных исследований (общая теория эксперимента): монография в 4-х книгах. Книга 2 / А.Е. Кононюк. – К.: КНТ, 2011. – 452 с.

305. Скурятин, Н.Ф. Методы эффективного использования транспортно-распределительных средств на внесении удобрений: дис. ... д-ра техн. наук / Н.Ф.Скурятин. – Ленинград: КубГАУ, 1992. – 329 с.

306. Вавилов, П.П. Практикум по растениеводству / П.П. Вавилов, В.В. Гриценко, В.С. Кузнецов. – М.: Колос, 1983. – 325 с.

307. Майсурян, Н.А. Практикум по растениеводству / Н.А. Майсурян. – М.: Колос, 1970. – 446 с.

308. Фирсова, М.К. Оценка качества зерна и семян / М.К. Фирсова, Е.П. Попова. – М.: Колос, 1981. – 223 с.

309. Бахарев, Д.Н. Обоснование толщины резиновой подошвы пневмоподушки активной деки домолачивающего аппарата для початков кукурузы / Брагинец Н.В., Бахарев Д.Н., Пазин В.В. и др. // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – 2014. – № 144. – С. 217-227.

310. Бурнукин, А.Е. Применение метода наименьших квадратов при обосновании параметров прижимных устройств для шипов в домолачивающем аппарате / А.Е. Бурнукин, С.В. Ковалев // Материалы Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы агроинженерии в XXI веке», посвященной 30-летию кафедры технической механики конструирования. – Майский: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2018. – С. 24–29.

311. Посевная единица кукурузы, норма высева. [Электронный ресурс]: [веб сайт]. – Электрон. дан. – URL: <https://agrobona.com.ua/information/kukuруза/posevnaja-edinitsa-kukuрузы/> (дата обращения: 21.07.2020).

312. Рынок посевного материала кукурузы, подсолнечника и рапса. [Электронный ресурс]: [веб сайт]. – Электрон. дан. – URL: <https://www.agroxxi.ru/gazeta-zaschita-rastenii/zrast/rynok-posevnogo-materiala-kukuрузы-podsolnechnika-i-rapsa.html> (дата обращения: 21.07.2020).

313. Капустин А.С. Урожайность гибридных семян кукурузы в зависимости от соотношения рядков родительских форм / А.С.Капустин, М.Ю. Кухарук, С.И. Капустин, А.М. Стройный // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – Оренбург: 2020. – №2(82) – С. 63 – 68.

314. Жалнин Э.В. Методологические аспекты механизации производства зерна в России / Э.В. Жалнин. – М.: Полиграф сервис, 2012. – 368 с.

315. Прошивка контроллера «Arduino» для управления давлением в пневматических подушках деки молотильно-сепарирующего устройства: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № RU2022611654 Рос. Федерация / Д.Н. Бахарев, А.Г. Пастухов, С.Ф. Вольвак, Р.В. Черников; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Белгородский

государственный аграрный университет имени В.Я. Горина. – № 2022610341; заявл. 12.01.2022; опубл. 28.01.2022. Бюл. № 2. – 1 с.

316. ГОСТ Р 53056-2008. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. Введ. 2009-01-01. – М.: Стандартиформ, 2009. – 23 с.

317. ГОСТ Р 53057-2008. Машины сельскохозяйственные. Методы оценки конкурентоспособности. Введ. 2009-01-01. – М.: Стандартиформ, 2009. – 11 с.

318. Методика (Основные положения) определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. [Электронный ресурс]: [веб сайт]. – Электрон. дан. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/600208> (дата обращения: 22.07.2021).

319. Инструкция по определению экономической эффективности использования новой техники, изобретений и рационализаторских предложений в энергетике. [Электронный ресурс]: [веб сайт]. – Электрон. дан. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293826/4293826955.htm> (дата обращения: 22.07.2021).

320. Руководство по определению экономической эффективности использования новой техники, изобретений и рационализаторских предложений в производстве строительных конструкций и деталей из сборного железобетона. ВНИИ Железобетона. - М.: Стройиздат, 1981. - 207 с.

321. Краюхин, Г.А. Экономическая эффективность изобретений и рациональных предложений / Г.А. Краюхин. – Л.: Лениздат, 1983. – 120 с.

322. Морозов, Н.М. Экономическая эффективность комплексной механизации животноводства / Н.М. Морозов. – М.: Россельхозиздат, 1986. – 224 с.

323. Методика определения экономической эффективности использования в сельском хозяйстве результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, новой техники, изобретений и рациональных предложений. ВАСХНИЛ. - М.: Колос, 1980. - 112 с.

324. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники. - М.: Всероссийский НИИ экономики сельского хозяйства, 1998. – 219 с.

325. Шпилько, А.В. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники / А.В. Шпилько. – М.: ВНИИ экономики сельского хозяйства, 1998. – 219 с.

326. Купреенко, А.И. Экономическая эффективность технологической линии на базе кормового вагона / А.И. Купреенко, Х.М. Исаев, С.М. Михайличенко // Техника и технологии в животноводстве. – 2020. – № 4 (40). – С. 113-119.

327. Агро Альянс\_[Электронный ресурс]: [веб сайт]. – Электрон. дан. – URL: [http://www.kubanmakler.ru/AGROHIMIYA/MTS\\_AGRO/Prays-list\\_semena.htm](http://www.kubanmakler.ru/AGROHIMIYA/MTS_AGRO/Prays-list_semena.htm) (дата обращения: 29.10.2021).

328. Мониторинг цен на кукурузу\_[Электронный ресурс]: [веб сайт]. – Электрон. дан. – URL: <https://agro-bursa.ru/prices/corn/> (дата обращения: 29.10.2021).

329. Цены на Семена полевых культур [Электронный ресурс]: [веб сайт]. – Электрон. дан. – URL: <https://www.syngenta.ru/price-list/products-seeds> (дата обращения: 29.10.2021).

330. FLAGMA [Электронный ресурс]: [веб сайт]. – Электрон. дан. – URL: <https://belgorod.flagma.ru/kukuruza-o9686927.html> (дата обращения: 29.10.2021).

331. Цены на кукурузу в России и за рубежом, тенденции и прогнозы. [Электронный ресурс]: [веб сайт]. – Электрон. дан. – URL: <https://agrovesti.net/lib/industries/corn/tseny-na-kukuruzu-v-rossii-i-za-rubezhom-tendentsii-i-prognozy.html> (дата обращения: 29.10.2021).

332. Петунина, И.А. Методика инженерного расчета початкоочистительного устройства / И.А. Петунина, А.В. Короткин // В сборнике: энергосбережение и энергоэффективность: проблемы и решения. Сборник научных трудов IX Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной 90-летию со дня рождения

Заслуженного деятеля науки и техники РФ, доктора технических наук, профессора Хазретали Умаровича Бугова, 2020. – С. 129-132.

333. Бахарев, Д.Н. Методика инженерного расчета комплекта технических средств для поэтапного обмолота початков семенной кукурузы / А.Г. Пастухов, Д.Н. Бахарев // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2021. – № 4 (32). – С. 61-72.

334. Купреенко, А.И. Тепловой баланс комбинированного теплообменника сушилки аэродинамического подогрева / А.И. Купреенко, В.Ф. Комогорцев, Х.М.О. Исаев, С.Х. Исаев // Агроинженерия. – 2020. – № 6 (100). – С. 66-73.

335. Купреенко, А.И. Изменение влагосодержания зерна при сушке / А.И. Купреенко, Т.В. Панова, М.В. Панов // Инновации и технологический прорыв в АПК: Сборник научных трудов международной научно-практической конференции, 2020. – С. 192-196.

336. Купреенко, А.И. Теоретическая оценка изменения влажности зерна в сушилке / А.И. Купреенко, Т.В. Панова, М.В. Панов // Инновационная техника и технология. – 2020. – № 3 (24). – С. 23-28.

337. Adhemar Brandini. Corn kernel forces during impact shelling / Adhemar Brandini. – Iowa: Iowa State University, 1969. – 98 p.

338. Жалнин Э.В. Аксиоматизация земледельческой механики. / Э.В. Жалнин – М.: ВИМ, 2002. – 204 с

339. Заїка, П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Том 2 (ч.2, кн. 2). Зернозбиральні машини / П.М. Заїка. – Х.: Око, 2004. – 404 с.

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

Приложение А

Акты внедрения научно-технической продукции в производство

**ПРОТОКОЛ**  
заседания постоянно действующего Совета при Губернаторе области  
по биологизации земледелия в Белгородской области

г. Белгород

«17» декабря 2021 г.  
№ 3

**Председательствующий:** Щедрина Юлия Евгеньевна – заместитель Губернатора Белгородской области – начальник департамента агропромышленного комплекса и воспроизводства окружающей среды Белгородской области;

**Секретарь:** Головков Андрей Владимирович – заместитель начальника департамента – начальник управления развития отраслей АПК департамента агропромышленного комплекса и воспроизводства окружающей среды Белгородской области.

Присутствовали: 7 человек

**ПОВЕСТКА ДНЯ:**

1. Рассмотрение научно-методических рекомендаций «Разработка ресурсосберегающей технологии заводской обработки початков и зерна семенной кукурузы» ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина».

**Информация:** кандидата технических наук, доцента кафедры технической механики и конструирования машин Бахарева Дмитрия Николаевича

**РЕШИЛИ:**

1. Одобрить научно-методические рекомендации «Разработка ресурсосберегающей технологии заводской обработки початков и зерна семенной кукурузы» ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина».

**Председательствующий**

Заместитель Губернатора Белгородской области –  
начальник департамента агропромышленного  
комплекса и воспроизводства окружающей среды  
Белгородской области

 Ю.Е. Щедрина

**Секретарь**

Заместитель начальника департамента – начальник  
управления развития отраслей АПК департамента  
агропромышленного комплекса и  
воспроизводства окружающей среды Белгородской  
области

 А.В. Головков

**Утверждаю**  
Директор «ФГБНУ Белгородский  
ФАНЦ РАН, член корреспондент РАН  
С.И. Тютюнов  
09 ноября 2021 г



**Акт внедрения научно-технической продукции  
для освоения в производстве**

**1. Наименование НТП** Научные основы формирования рациональных комплектов машин в ресурсосберегающие линии переработки кукурузы на семенное, продовольственное и фуражное зерно, а также линий переработки вторичного сырья и отходов производства.

**2. Разработчик НТП** Д.Н. Бахарев, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ им. В.Я. Горина.

**3. Научный консультант разработчика НТП** А.Г. Пастухов, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ им. В.Я. Горина.

(ФИО, должность, организация)

**4. Отрасль применения НТП** Растениеводство.


**5. Вид продукции (услуг)** Предложения по оборудованию для поточной обработки початков кукурузы при передвижной и стационарной механизации, а также концепция и рекомендации по проектированию комплекта технических средств поэтапного дифференцированного обмолота семенной кукурузы.

(новые технологии, усовершенствованные технические системы, рекомендации)

**6. Краткое техническое описание НТП (реферат)** Предлагается методология формирования рациональных комплектов машин, объединяющихся по месту, времени и назначению в ресурсосберегающие линии переработки кукурузы на семенное, продовольственное и фуражное зерно, а также линии переработки вторичного сырья и отходов производства. Обоснована конструктивно-технологическая схема комплекта технических средств для поэтапного дифференцированного обмолота семенной кукурузы, состоящего из передвижной платформы, защитных вентилируемых контейнеров, смонтированных на поддонах для перемещения вилочным погрузчиком, лоткового ориентирующе-дозировочного аппарата, аксиально-роторного молотильно-сепарирующего устройства с пневмоадаптивной декой и контейнеров для легковесного и полновесного семенного зерна. Комплект обеспечивает четырёхэтапный процесс дифференцированного обмолота, минимизируя макро- и микроповреждения зерна до уровня менее 10% в партии, при этом недомолот, дробление и сход свободным зерном соответствуют агротехническим требованиям и не превышают 1,5%. Зерно в процессе обмолота разделяется на две группы полновесное и легковесное, что облегчает его дальнейшую очистку, сортировку, калибровку и инкрустацию.


**7. Рекомендуемая зона освоения научно-технической продукции** Все почвенно-климатические зоны и районы возделывания кукурузы.

(почвенно-климатические зоны, районы)

От разработчика  
А.Г. Пастухов 

Д.Н. Бахарев 

От ФГБНУ Белгородский ФАНЦ РАН  
Заместитель директора по научной работе,  
д-р с.-х. наук

А.Н. Воронин   
Старший научный сотрудник лаборатории  
селекции и семеноводства кукурузы,  
кандидат биол. наук  
С.А. Хорошилов 



**Утверждаю**  
Директор ФГБНУ Белгородский  
ФАНЦ РАН, член корреспондент РАН  
  
С.И. Тютюнов  
09 ноября 2021 г



Акт внедрения научно-технической продукции  
для освоения в производстве

1. **Наименование НТП** Результаты системного обоснования ресурсосберегающей технологии переработки початков кукурузы на семенное зерно

2. **Разработчик НТП** Д.Н. Бахарев, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ им. В.Я. Горина.

3. **Научный консультант разработчика НТП** А.Г. Пастухов, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ им. В.Я. Горина.

(ФИО, должность, организация)

4. **Отрасль применения НТП** Растениеводство.

5. **Вид продукции (услуг)** Научные рекомендации по организации процесса переработки початков кукурузы на семенное зерно посредством технологии, обеспечивающей сохранение потенциала урожайности кукурузы путем минимизации макро- и микроповреждений семенного материала.

(новые технологии, усовершенствованные технические системы, рекомендации)

6. **Краткое техническое описание НТП (реферат)**

Обоснована, выражена в виде системных моделей и описана концепция ресурсосберегающей технологии переработки початков кукурузы на семенное зерно, включающая в себя следующие мероприятия по минимизации макро- и микроповреждений зерна: обеспечение перемещения и сушки початков в защитных вентилируемых контейнерах; дифференцированный поэтапный обмолот початков в многоканальной технической системе с пневмоадаптивной декой, забирающей початки на обмолот из защитных контейнеров; перемещение обмолоченного зерна на очистку, калибровку, сортировку, инкрустацию и затаривание в защитных зерновых контейнерах. Предложенная технология позволяет сохранить потенциал урожайности семенной кукурузы, снизив общее количество макро- и микроповреждений зерна на 31% относительно традиционной технологии стационарной переработки початков семенной кукурузы.

7. **Рекомендуемая зона освоения научно-технической продукции** Все почвенно-климатические зоны и районы возделывания кукурузы.

(почвенно-климатические зоны, районы)

От разработчика

А.Г. Пастухов

Д.Н. Бахарев

От ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН»

Заместитель директора по научной работе,  
д-р с.-х. наук

А.Н. Воронин

Старший научный сотрудник лаборатории  
селекции и семеноводства кукурузы,  
кандидат биол. наук

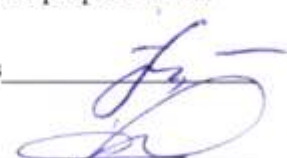

С.А. Хорошилов

**Утверждаю**  
Генеральный директор ОАО  
«Белагромаш-Сервис  
имени В.М. Рязанова»  
  
А.В. Рязанов



Акт внедрения научно-технической продукции  
для освоения в производстве

1. **Наименование НТП** Эскизный проект комплекта технических средств для поэтапного обмолота початков семенной кукурузы.
2. **Разработчик НТП** Д.Н. Бахарев, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ им. В.Я. Горина.
3. **Научный консультант разработчика НТП** А.Г. Пастухов, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ им. В.Я. Горина.  
(ФИО, должность, организация)
4. **Отрасль применения НТП** Растениеводство.
5. **Вид продукции (услуг)** Эскизный проект комплекта технических средств для поэтапного обмолота початков семенной кукурузы.  
(новые технологии, усовершенствованные технические системы, рекомендации)
6. **Краткое техническое описание НТП (реферат)** Предлагается эскизная компоновка комплектов технических средств для поэтапного обмолота початков семенной кукурузы с забором початков с бетонированной площадки, накопительного бункера и защитного контейнера. Эскизная компоновка сопровождается исходными данными по определению конструктивно-технологических параметров защитного контейнера для початков семенной кукурузы и конструктивно-технологических параметров многоручьевого ориентирующе-дозировочного загрузочного аппарата, а также принципиальной конструктивной схемой аксиально-роторного молотильно-сепарирующего устройства, вариантами размерных параметров фасонных шипов МСУ и схемой их расположения на деке. Приведены основные технические характеристики комплекта, описан принцип и особенности его работы.
7. **Рекомендуемая зона освоения научно-технической продукции** Все почвенно-климатические зоны и районы возделывания кукурузы.  
(почвенно-климатические зоны, районы)

От разработчика  
А.Г. Пастухов \_\_\_\_\_  
Д.Н. Бахарев \_\_\_\_\_  
  


ОАО «Белагромаш-Сервис имени В.М. Рязанова»  
Главный конструктор  
В.Ф. Кротов \_\_\_\_\_  

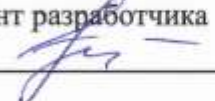

Утверждаю  
Глава КФХ «Краснополянское»  
С.Н. Яковлев



**Акт внедрения научно-технической продукции,  
рекомендованной для освоения в производстве**

1. **Наименование НТП** Научные рекомендации по комплектации и эффективному использованию передвижной механизированной линии переработки початков кукурузы в условиях фермерского хозяйства.
2. **Разработчик НТП** Д.Н. Бахарев, к.т.н., доцент ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ им. В.Я. Горина.  
(ФИО, должность, организация)
3. **Научный консультант разработчика НТП** А.Г. Пастухов, д.т.н., профессор ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ им. В.Я. Горина.  
(ФИО, должность, организация)
4. **Отрасль применения НТП** Растениеводство.
5. **Патентоспособность** Не определяется.
6. **Производственное апробирование НТП** КФХ «Краснополянское», Белгородская обл., пгт. Чернянка, ул. Курчатова, д. 9. Период апробирования 2019–2021 год.  
(место апробации, сроки)
7. **Вид продукции (услуг)** Комплект научных рекомендаций по комплектации и эффективному использованию передвижной линии переработки початков кукурузы в условиях фермерского хозяйства  
(новые технологии, усовершенствованные технические системы, рекомендации)
8. **Краткое техническое описание НТП (реферат)** Научно обоснованы рекомендации по комплектации и эффективному использованию передвижной механизированной линии переработки початков кукурузы в условиях фермерского хозяйства, а также предложена методика определения эффективных режимов работы линии при обработке кукурузы разных подвидов в широком диапазоне влажности зерна. Линия позволяет минимизировать макро- и микроповреждения зерна, его дробление, а также оптимизировать энергозатраты на обмолот и снизить объем ручного труда при погрузочно-перегрузочных работах.
9. **Правовая форма передачи НТП** Договор о внедрении результатов научной деятельности в сельскохозяйственное производство.
10. **Рекомендуемая зона освоения научно-технической продукции:** Все природно-климатические зоны возделывания кукурузы.  
(почвенно-климатические зоны, районы)

Разработчик  
Д.Н. Бахарев 

Научный консультант разработчика  
А.Г. Пастухов 



Утверждаю  
Директор ООО «Научно-производственное предприятие «АгроЛугань»  
В.Н. Митько

Акт внедрения научно-технической продукции  
рекомендованной для освоения в производстве

1. **Наименование НТП** Научные рекомендации по комплектации поточно-технологической линии обмолота початков семенной кукурузы в стационарных условиях предприятия после их предварительной сушки
2. **Разработчики НТП** А.Г. Пастухов, д.т.н., профессор, Д.Н. Бахарев, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ им. В.Я. Горина,  
(ФИО, должность, организация)
3. **Отрасль применения НТП** Растениеводство.
4. **Патентоспособность** Не определяется.
5. **Производственное апробирование НТП** ООО «Научно-производственное предприятие АгроЛугань» Луганская народная республика, г. Луганск, ул. Андрея Линева, 106. Период апробирования 2020–2021 год.  
(место апробации, сроки)
6. **Вид продукции (услуг)** Технология поэтапного дифференцированного обмолота и аксиально-роторное молотильно-сепарирующее устройство с пневмоадаптивной декой и лотковым ориентирующе-дозировочным аппаратом.  
(новые технологии, усовершенствованные технические системы, рекомендации)
7. **Краткое техническое описание НТП (реферат)** Внедряемая поточно-технологическая линия состоит из передвижной платформы, защитных вентилируемых контейнеров, смонтированных на поддонах для перемещения вилочным погрузчиком, лоткового ориентирующе-дозировочного аппарата, аксиально-роторного молотильно-сепарирующего устройства с пневмоадаптивной декой и двух контейнеров для легковесного и полновесного семенного зерна. Техническая система обеспечивает четырёхэтапный процесс дифференцированного обмолота, минимизируя макро- и микроповреждений зерна, при этом недомолот, дробление и сход свободным зерном соответствуют агротехническим требованиям. Зерно в процессе обмолота разделяется на две группы полновесное и легковесное, что облегчает его дальнейшую очистку, сортировку, калибровку и инкрустацию.
8. **Правовая форма передачи НТП** Договор о внедрении результатов научной деятельности в сельскохозяйственное производство.
9. **Рекомендуемая зона освоения научно-технической продукции** Все природно-климатические зоны возделывания кукурузы.  
(почвенно-климатические зоны, районы)

Разработчики  
А.Г. Пастухов  
Д.Н. Бахарев

ООО «НПП АгроЛугань»  
Главный инженер



Акт внедрения научно-технической продукции  
рекомендованной для освоения в производстве

1. Наименование НТП Научные рекомендации производству по технологии и оборудованию для поточной обработки початков семенной, продовольственной и фуражной кукурузы при передвижной и стационарной механизации.
2. Разработчики НТП А.Г. Пастухов, д.т.н., профессор, Д.Н. Бахарев к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ им. В.Я. Горина.  
(ФИО, должность, организация)
3. Отрасль применения НТП Растениеводство.
4. Патентоспособность Не определяется.
5. Производственное апробирование НТП ООО «ЛУГАНЬПЛЕМСЕРВИС» Луганская народная республика, Славяносербский р-н, п. Металлист, пер. Ленина, 6. Период апробирования 2020-2021 год.  
(место апробации, сроки)
6. Вид продукции (услуг) Технология поэтапного дифференцированного обмолота и аксиально-роторное молотильно-сепарирующее устройство с пневмоадаптивной декой и лотковым ориентирующе-дозировующим аппаратом.  
(новые технологии, усовершенствованные технические системы, рекомендации)
7. Краткое техническое описание НТП (реферат) Внедряемая техническая система состоит из передвижной платформы с защитным контейнером, лоткового ориентирующе-дозировующего аппарата и аксиально-роторного молотильно-сепарирующего устройства с пневмоадаптивной декой. Техническая система обеспечивает четырёхэтапный процесс дифференцированного обмолота, в результате которого показатель макро- и микроповреждений зерна не превышает 10%, недомолот – 1,5%, дробление зерна – 1,0%, сход свободным зерном – 1,0%. При этом обеспечивается производительность МСУ до 3,6 т/ч, а удельная энергоёмкость процесса обмолота не превышает 0,85 кВтч/т. Техническая система и технология обмолота применима для початков зубовидной, кремнистой, сахарной и лопающейся кукурузы.
8. Правовая форма передачи НТП Договор о внедрении результатов научной деятельности в сельскохозяйственное производство.
9. Рекомендуемая зона освоения научно-технической продукции Все природно-климатические зоны возделывания кукурузы.  
(почвенно-климатические зоны, районы)

Разработчики  
А.Г. Пастухов \_\_\_\_\_  
Д.Н. Бахарев \_\_\_\_\_

ООО «ЛУГАНЬПЛЕМСЕРВИС»  
Главный инженер  
А.С. Билокобыльский \_\_\_\_\_



Утверждаю  
М.В. Сорокин

Акт внедрения научно-технической продукции  
рекомендованной для освоения в производстве

1. **Наименование НТП** Научные рекомендации по обмолоту початков семенной кукурузы в условиях хозяйственного двора малых и крупных фермерских хозяйств.
2. **Разработчики НТП** А.Г. Пастухов, д.т.н., профессор; Д.Н. Бахарев, к.т.н., доцент. ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ им. В.Я. Горина.  
(ФИО, должность, организация)
3. **Отрасль применения НТП** Растениеводство.
4. **Патентоспособность** Не определяется.
5. **Производственное апробирование НТП** ФХ «Родник-С». Луганская Народная Республика, Лутугинский р-н, с. Шелковый проток, ул. Петрова, д. 17, 2020-2021 год.  
(место апробации, сроки)
6. **Вид продукции (услуг)** Аксиально-роторное молотильно-сепарирующее устройство с пневмоадаптивной декой и лотковым ориентирующе-дозировочным аппаратом.  
(новые технологии, усовершенствованные технические системы, рекомендации)
7. **Краткое техническое описание НТП (реферат)** Внедряемое аксиально-роторное молотильно-сепарирующее устройство с пневмоадаптивной декой и лотковым ориентирующе-дозировочным аппаратом обеспечивает четырёхэтапный процесс дифференцированного обмолота, минимизируя макро- и микроповреждения зерна, при этом недомолот, дробление и сход свободным зерном соответствуют агротехническим требованиям. Зерно в процессе обмолота разделяется на две группы полновесное и легковесное, что облегчает его дальнейшую очистку, сортировку, калибровку и инкрустацию. Внедряемое аксиально-роторное молотильно-сепарирующее устройство позволяет производить эффективный обмолот семенной кукурузы в условиях хозяйственного двора малых и крупных фермерских хозяйств.
8. **Правовая форма передачи НТП** Договор о внедрении результатов научной деятельности в сельскохозяйственное производство.
9. **Рекомендуемая зона освоения научно-технической продукции** Все природно-климатические зоны возделывания кукурузы.  
(почвенно-климатические зоны, районы)

Разработчики

А.Г. Пастухов

Д.Н. Бахарев

Утверждаю  
Глава ФХ Богданова В.А.  
В.А. Богданов



Акт внедрения научно-технической продукции  
рекомендованной для освоения в производстве

1. **Наименование НТП** Научные рекомендации по комплектации поточно-технологической линии обмолота початков семенной кукурузы в стационарных условиях предприятия после их предварительной сушки
2. **Разработчики НТП** А.Г. Пастухов, д.т.н., профессор, Д.Н. Бахарев, к.т.н., доцент ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ им. В.Я. Горина.  
(ФИО, должность, организация)
3. **Отрасль применения НТП** Растениеводство.
4. **Патентоспособность** Не определяется.
5. **Производственное апробирование НТП** ФХ Богданова В.А. Луганская народная республика, Лутугинский р-н, с. Роскошное, ул. Знаменка, 17, 2020-2021 год.  
(место апробации, сроки)
6. **Вид продукции (услуг)** Технология поэтапного дифференцированного обмолота и аксиально-роторное молотильно-сепарирующее устройство с пневмоадаптивной декой и лотковым ориентирующе-дозировочным аппаратом.  
(новые технологии, усовершенствованные технические системы, рекомендации)
7. **Краткое техническое описание НТП (реферат)** Внедряемая поточно-технологическая линия состоит из передвижной платформы, защитных вентилируемых контейнеров, смонтированных на полдонах для перемещения вилочным погрузчиком, лоткового ориентирующе-дозировочного аппарата, аксиально-роторного молотильно-сепарирующего устройства с пневмоадаптивной декой и двух контейнеров для легковесного и полновесного семенного зерна. Техническая система обеспечивает четырёхэтапный процесс дифференцированного обмолота, минимизируя макро- и микроповреждений зерна, при этом недомолот, дробление и сход свободным зерном соответствуют агротехническим требованиям. Зерно в процессе обмолота разделяется на две группы полновесное и легковесное, что облегчает его дальнейшую очистку, сортировку, калибровку и инкрустацию.
8. **Правовая форма передачи НТП** Договор о внедрении результатов научной деятельности в сельскохозяйственное производство.
9. **Рекомендуемая зона освоения научно-технической продукции** Все природно-климатические зоны возделывания кукурузы.  
(почвенно-климатические зоны, районы)

Разработчики

А.Г. Пастухов

Д.Н. Бахарев

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ В.Я.ГОРИНА»  
(ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ)

308503, п. Майский Белгородского р-на Белгородской области, ул. Вавилова, 1  
ОКПО 04717947; ОГРН 1023100508078; ИНН/КПП 31020054/12310201001  
Тел.: (4722) 39-21-79, Fax.: (4722) 39-22-62, E-mail: [info@bsaa.edu.ru](mailto:info@bsaa.edu.ru)

№ 2407 от «16» 09 2024 г.  
На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

### СПРАВКА

о внедрении в учебный процесс результатов научных исследований  
канд. техн. наук, доцента Бахарева Дмитрия Николаевича

Результаты научных исследований кандидата технических наук, доцента Бахарева Дмитрия Николаевича, проведенные в период с 2017 по 2021 год на кафедре технической механики и конструирования машин ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ им. В.Я. Горина под непосредственным руководством доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой технической механики и конструирования машин Пастухова Александра Геннадиевича внедрены в учебный процесс на инженерном факультете. Результаты научных исследований включены в лекции и практические работы при подготовке бакалавров и магистров по дисциплинам: «Стандартизация и сертификация продукции» для студентов по направлению подготовки 35.03.07 «Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции»; «Механика» и «Основы научных исследований в агроинженерии» по направлению 35.03.06 «Агроинженерия»; «Планирование и организация научных исследований» по направлению 35.04.06 «Агроинженерия».

В учебном процессе используется методический материал и результаты исследований следующих научных изданий:

1. Бахарев Д.Н., Вольвак С.Ф., Пастухов А.Г. Бионические основы конструирования молотильно-сепарирующих систем для початков кукурузы: монография. п. Майский: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ. 2018. 168 с.
2. Бахарев Д.Н., Пастухов А.Г., Вольвак С.Ф., Бурнукин А.Е. Научные основы совершенствования технологии поточной обработки кукурузы в початках: монография. п. Майский: Изд-во ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2021. 188 с.

Проректор по учебной работе



Н.И. Кластер





МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ  
ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ  
**«ЛУГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
**(ГОУ ВО ЛНР ЛГАУ)**

91008, Луганская Народная Республика, г. Луганск, Артемовский район, городок ЛНАУ, 1  
Тел.: (0642) 96-60-40. e-mail: [rector@lnau.su](mailto:rector@lnau.su) <http://www.lnau.su>

16.07.2021 № 16/144  
на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

### СПРАВКА

о внедрении в учебный процесс результатов научных исследований  
канд. техн. наук, доцента Бахарева Дмитрия Николаевича

Результаты научных исследований Бахарева Дмитрия Николаевича как техн. наук, доцента кафедры технической механики и конструирования маш ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ им. В.Я. Горина внедрены в учебный проц Государственного образовательного учреждения высшего образова Луганской Народной Республики «Луганский государственный аграрн университет» на инженерном факультете. Результаты научных исследова включены в лекции и практические работы по дисциплинам «Ана технологических систем», «Моделирование в агроинженерии», «Оптимиза технологических процессов» при подготовке бакалавров по направле 35.03.06 «Агроинженерия» и магистров по направле 35.04.06 «Агроинженерия».

В учебном процессе используются следующие научные издания:

1. Капустин С.И., Ковтун Н.В., Капустин А.С., Бахарев Д.Н. Сорто технология кукурузы: монография. Луганск: ЛНАУ. 2013. 196 с.
2. Бахарев Д.Н., Вольвак С.Ф., Пастухов А.Г. Бионические оснс конструирования молотильно-сепарирующих систем для початков кукуру монография. п. Майский: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ. 2018. 168 с.
3. Бахарев Д.Н., Пастухов А.Г., Вольвак С.Ф., Бурнукин А.Е. Научн основы совершенствования технологии поточной обработки кукурузы початках: монография. п. Майский: Изд-во ФГБОУ ВО Белгородский Г/ 2021. 188 с.

Проректор по научной работе



А.В. Худоле

МИНСЕЛЬХОЗ РОССИИ  
ДЕПОБРНАУЧРЫБХОЗ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО Донской ГАУ)  
АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКИЙ ИНЖЕНЕРНЫЙ  
ИНСТИТУТ – ФИЛИАЛ ФЕДЕРАЛЬНОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
В Г. ЗЕРНОГРАДЕ  
(Азово-Черноморский инженерный институт  
ФГБОУ ВО Донской ГАУ)

Ленина ул., 21, г. Зерноград, Ростовская обл., 347740  
тел.: (86359) 41-3-65, факс: (86359) 43-3-80  
e-mail: [aschga@aschga.ru](mailto:aschga@aschga.ru); <http://www.aschga.ru/>;  
ОКПО 00493451; ОГРН 1026101409630;  
ИНН КПП 6125012570/611143001

*17.09.2017. № 824-02*  
На № \_\_\_\_\_

Доктору технических наук,  
профессору

Пастухову А.Г.

#### СПРАВКА

о внедрении в учебный процесс результатов научных исследований  
канд. техн. наук, доцента Бахарева Дмитрия Николаевича

Результаты научных исследований Бахарева Дмитрия Николаевича канд. техн. наук, доцента кафедры технической механики и конструирования машин ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ им. В.Я. Горина внедрены в учебный процесс Азово-Черноморского инженерного института ФГБОУ ВО Донской ГАУ на инженерно-технологическом факультете. Результаты научных исследований включены в лекции и практические работы по дисциплинам: «Комплексная механизация технологий растениеводства», «Основы расчета сельскохозяйственных машин», «Специализированное оборудование для переработки зерна», «Моделирование процессов сельскохозяйственных машин» при подготовке бакалавров по направлению 35.03.06 «Агроинженерия». Профиль подготовки: Технические системы в агробизнесе.

В учебном процессе используются следующие научные издания:

1. Бахарев Д.Н., Вольвак С.Ф., Пастухов А.Г. Бионические основы конструирования молотильно-сепарирующих систем для початков кукурузы: монография. п. Майский: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ. 2018. 168 с.
2. Бахарев Д.Н., Пастухов А.Г., Вольвак С.Ф., Бурнукин А.Е. Научные основы совершенствования технологии поточной обработки кукурузы в початках: монография. п. Майский: Изд-во ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2021. 188 с. .

Заместитель директора  
по учебной работе, д.э.н., проф.



Н.А. Глечикова

Таблица Б1 - Характеристики кукурузоуборочных жаток

Марка жатки (страна-производитель)	Фото жатки	Число убираемых рядков	Агрегатируется с комбайном	Производительность, т/ч	Масса, кг	Дробление зерна жаткой / потери зерна жаткой
ППК-4, (Россия, Украина)		4	СК-5 «Нива»	14,8	2900	до 6%/2,5
ППК-41, ППК-61, ППК-81, ППК-121 ARGUS (Россия)		4, 6, 8, 12	ДОН 1500Б, ACROS, ВЕКТОР, TORUM, КЗС «Палессе»	6, 13 18 21	1300, 1950, 2600, 3600	до 6%/2,5
КМС-6 КМС-8 (Россия, Украина)		6, 8	ДОН 1500Б, ACROS, ВЕКТОР, TORUM; КЗС «Палессе»	16 20	2000, 3200	до 6%/2,5
КМД-6, ПЗКС-6 (Россия, Украина)		6	ДОН 1500Б, КЗС-9 «Славутич»	15	4385	до 6%/2,5
DOMINONI (Италия)		4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12	John Deere, Claas, Case, Massey Ferguson, Top Liner, New Holand и др.	6, 8, 13, 15 18, 20, 22, 24	1460, 1660, 1960, 2280, 2610, 2920, 3280, 3600	до 6%/2,5
De Grande (Аргентина)		6-14, 16, 18	John Deere, Claas, Case, Massey Ferguson, Top Liner, New Holand и др.	15-24	2000- 3800	до 6%/2,5

Продолжение таблицы Б1




Марка жатки (страна-производитель)	Фото жатки	Число убираемых рядков	Агрегатируется с комбайном	Производительность, т/ч	Масса, кг	Дробление зерна жаткой / потери зерна жаткой
OROS (Венгрия)		4, 5, 6, 8, 12	Massey Ferguson, Case, Fiat Laverda, John Deere, Claas, Lexion (Tukano) и др.	6 12, 15, 18, 20	1540, 1780, 2095, 2600, 4410	до 6%/2,5
GERINGHOFF RD 500 RD 600F RD 800B RD900FB RD 1200B (Евросоюз)		5, 6, 8, 9 12	John Deere, Claas, Case, Massey Ferguson, Top Liner, New Holand и др.	8 13, 15, 18, 20	1820, 2380, 2740, 4150, 4180	до 6%/2,5
Case IH 4408 Case IH 4412 (Евросоюз)		8, 12	Case и др.	17	2550, 3440	до 6%/2,5
Kemper C1200, C2200, C3000		Безрядные, ширина захвата до 3,7 м	John Deere, Claas, Case, Massey Ferguson, Top Liner, New Holand и др.	до 20	1100, 2050, 2350	до 6%/2,5

Таблица В1 - Характеристики комбайнов для уборки кукурузы в початках

Марка комбайна (страна-производитель)	Фото комбайна	Число убираемых рядков	Объём бункера, м <sup>3</sup>	Масса, кг	Производительность, по початкам, га/ч	Максимальная рабочая скорость, км/ч	Мощность двигателя (трактора), л.с
КСКУ-6АС «Херсонец-200» (Украина)		6	Уборка в ПТС	12960	2,80	10	215
ККП-2С (Украина)		2	Уборка в ПТС	3150	0,80	8	81
ККП-3 «Херсонец-9» (Украина)		3	Уборка в ПТС	5330	1,40	9	150
BERKO (Сербия)		2	1,5	3750	0,70	8	42
BERKO (Сербия)		6	11,5	4500+ трактор	1,8	9	150
Tornado 40 40 EOL-8V (Словения)		1	1,8	1680	0,45	8	42

Продолжение таблицы В1

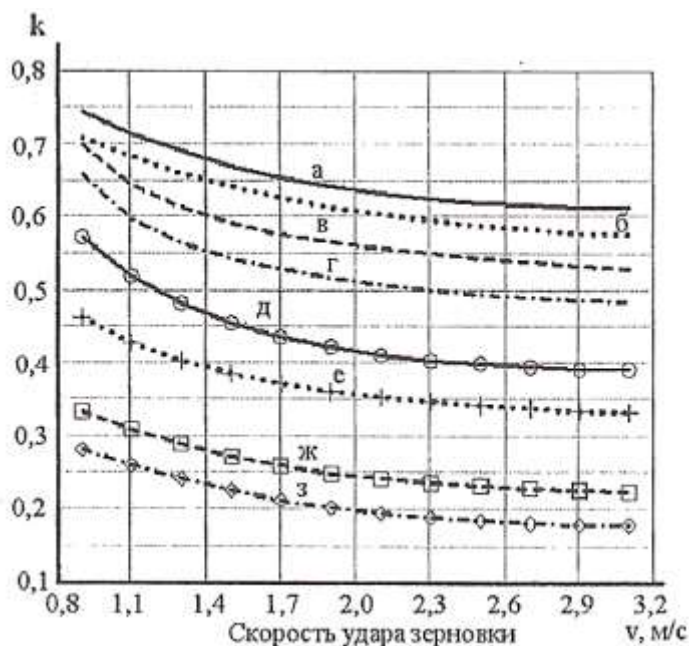
Марка комбайна (страна-производитель)	Фото комбайна	Число убираемых рядков	Объём бункера, м <sup>3</sup>	Масса, кг	Производительность, по початкам, га/ч	Максимальная рабочая скорость, км/ч	Мощность двигателя (трактора), л.с
Tornado 80 (Словения)		2	2,9	3020	0,80	8	81
ОХВО EL-30 (США)		8	15,5	11760 (без жатки)	3,60	8	250
4YW-4 (Китай)		4	2,0	3200 (без трактора)	0,80	8	90
4YW-3 (Китай)		3	2,0	2850 (без трактора)	0,54	8	50
4YW-2 (Китай)		2	1,4	1920 (без трактора)	0,40	6	40
КП-6 «ПАЛЕССЕ MS6» (Баларусь)		6	15,0	13600	3,00	10	230
BAURAL CP 2000		2	0,5	2850	0,80	8	40

Таблица В2 - Характеристики селекционных комбайнов для кукурузы

Марка комбайна (страна-производитель)	Фото комбайна	Число убираемых рядков	Масса, кг	Частота вращения молотильного барабана (ротора), об/мин	Тип МСУ (комментарий)
WINTERST EIGER Split NH		4	11000	417–1037	Барабанное (Диаметр молотильного барабана составляет 607 мм, ширина – 1050 мм, количество планок - 8)
WINTERST EIGER - ВИМ Delta		2	3700	420–1050	Барабанное (Диаметр молотильного барабана составляет 350 мм, ширина – 780 мм)
СК-110 Омский экспериментальный завод		2	2800	390–2000	Барабанное (Диаметр молотильного барабана составляет 350 мм, ширина – 780 мм количество планок - 10)
TERRION-SAMPO SR2010		2-4	3400	400-1150	Барабанное (Диаметр молотильного барабана составляет 500 мм, ширина – 780 мм количество планок - 7)
«HALDRUP C-60»		2-4	2700	350-1800	Барабанное (Диаметр молотильного барабана составляет 350 мм, ширина – 640 мм количество планок - 6)
BAURAL SP 2100		2-4	7300	400-1200 (550 для кукурузы)	Один аксиальный молотильный барабан, регулируемая двойная дека. Ленточная подача материала
BAURAL DP 4000		4	9900	450-1000 (550 для кукурузы)	Два аксиальных молотильных барабана, регулируемая двойная дека. Ленточная подача материала

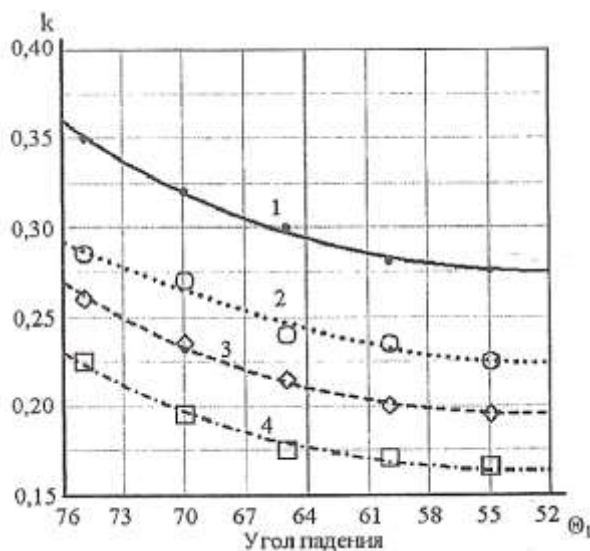


Физико-механические свойства початков и зерна кукурузы



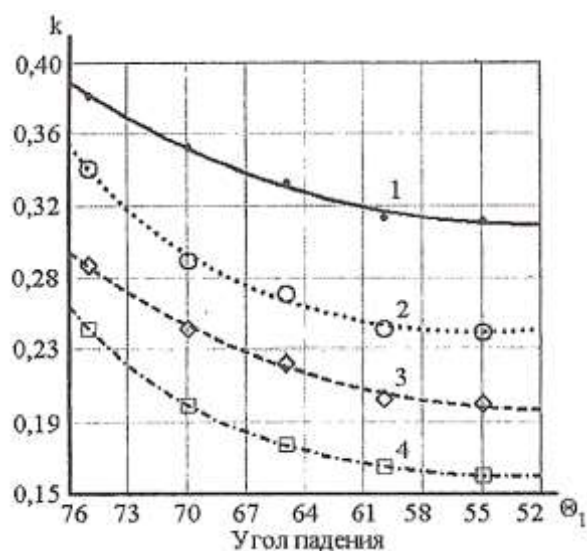
а – сталь-перикарпий; б – чугун-перикарпий; в – сталь-цветоножка; г – чугун-цветоножка; д – органическое стекло-цветоножка; е – органическое стекло-перикарпий; ж – почва-перикарпий; з – почва-цветоножка

Рисунок Г1 – Коэффициент восстановления зерна кукурузы при прямом ударе зерна о поверхности различных материалов (по данным И.А. Петуниной)



1 – 2,22 м/с; 2 – 2,81 м/с;  
3 – 3,14 м/с; 4 – 3,43 м/с

Рисунок Г2 – Коэффициент восстановления зерна кукурузы при косом ударе о поверхность чугуна (по данным И.А. Петуниной)



1 – 2,22 м/с; 2 – 2,81 м/с;  
3 – 3,14 м/с; 4 – 3,43 м/с

Рисунок Г3 – Коэффициент восстановления зерна кукурузы при косом ударе о поверхность стали (по данным И.А. Петуниной)

Таблица Г1 – Прочность связи зерна со стержнем кукурузы  
(по данным А.И. Пьянкова)

Показатели	Фазы спелости	
	4-я	5-я
1. Влажность зерна, %	35,0 – 18,0	14,0
2. Усилие выдёргивания зерна, Н	16,0 – 21,0	24,1
3. Усилие корчевания одного зерна, Н	8,0 – 7,0	6,0

Таблица Г2 – Изменение прочности зерна при его созревании  
(по данным А.И. Пьянкова)

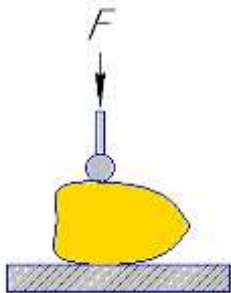
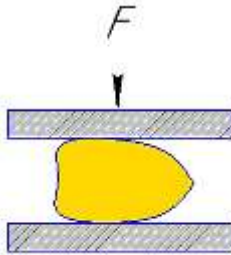
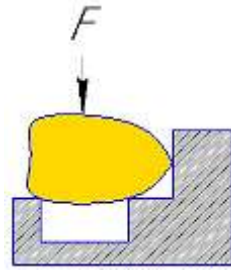
Показатели	Фазы спелости			Схемы нагрузок
	3-я	4-я	5-я	
Влажность зерна, %	49	42 - 30	17	
Твёрдость $\tau$ , МПа (Н/мм <sup>2</sup> )	0,98	4,61	11,97	
Разрушающее напряжение, МПа (Н/мм <sup>2</sup> )	0,98	2,45 - 3,43	4,22	
Ломающее напряжение, МПа (Н/мм <sup>2</sup> )	0,098	0,23 - 0,32	0,46	

Таблица ГЗ – Соотношение зерна и стержня в початках кукурузы различных гибридов и сортов (по данным В.Я. Лобанова)

Наименование гибридов и сортов	Количество обмолоченных образцов	Выход в %		Колебания в выходе		Количество образцов содержащих более 22 % стержня
		зерна	стержня	наименьший выход в %	наибольший выход в %	
Гибриды						
ВИР 42	92	81,2	18,8	69,9	85,8	4
ВИР 25	78	80,5	19,5	72,9	86,5	12
Краснодарская 1/49(гибридная популяция)	25	82,4	17,6	79,5	86,7	-
ВИР 37	23	81,8	18,2	77,3	85,1	1
Слава	20	81,8	18,2	80,6	82,9	-
Успех	12	78,1	21,9	72,8	80,1	4
Идеал	11	79,7	20,3	77,9	82,5	1
Харьковский	10	78,4	21,6	76,3	80,6	3
Краснодарский 5	9	83,9	16,1	80,3	86,0	-
Светоч	8	79,7	20,3	77,5	83,0	1
Коллективный	6	79,4	20,6	78,5	80,0	-
ВИР 156	4	81,7	18,3	81,2	82,2	-
Сорга						
Одесская 10	64	81,3	18,7	72,3	85,9	7
Днепропетровская	43	81,6	18,4	79,5	84,4	-
Стерлинг	42	80,2	19,8	72,7	83,7	5
Круг Грозненский	22	82,8	17,2	76,7	85,2	1
Молдавская желтая	19	79,8	20,2	78,3	82,9	-
Харьковская 23	12	79,8	20,2	76,8	83,3	3
Осетинская белая зубовидная	11	84,1	15,9	80,8	88,4	-
Осетинская белая кремнистая	10	81,1	18,9	79,0	82,6	-
Горец ранний	5	86,5	13,5	85,0	88,4	-
Миннезота 13 экстра	5	81,0	19,0	79,0	82,9	-
Итого	531	81,6	18,4	-	-	42

Таблица Г4 – Объемный вес початков и зерна кукурузы (по данным М.Г. Голика)

Сорт (подвид)	Початки, кг/м <sup>3</sup>			Зерно, кг/м <sup>3</sup>
	несортированные	крупные	мелкие	
Грушевая (Кремнистая)	462	471	453	728
Харьковская белая (зубовидная)	472	476	447	
Днепропетровская (зубовидная)	480	-	-	

Таблица Г5 – Объемный вес початков кукурузы (по данным А.И. Пьянкова)

Сорт (подвид)	Влажность, %	Объемный вес, кг/м <sup>3</sup>	Примечание
Гибрид 140	27	460...470	початки без листовой обертки
Гибрид ВИР42	23	430...450	початки без листовой обертки
Стерлинг	24	360..380	початков с листовой оберткой до 25%
Стерлинг	21	340..350	початков с листовой оберткой до 30%
Стерлинг	17	330...340	початков с листовой оберткой до 35%

Таблица Г6 – Масса початков и 1000 зерен кукурузы (по данным М.Г. Голика)

Подвид кукурузы	Масса одного початка, г		Масса 1000 зерен, г	
	минимальная	максимальная	минимальная	максимальная
Кремнистая	50	400	50	450
Зубовидная	80	400	200	520
Полузубовидная	150	300	200	400
Крахмалистая	60	200	170	300
Лопяющаяся	60	130	105	140

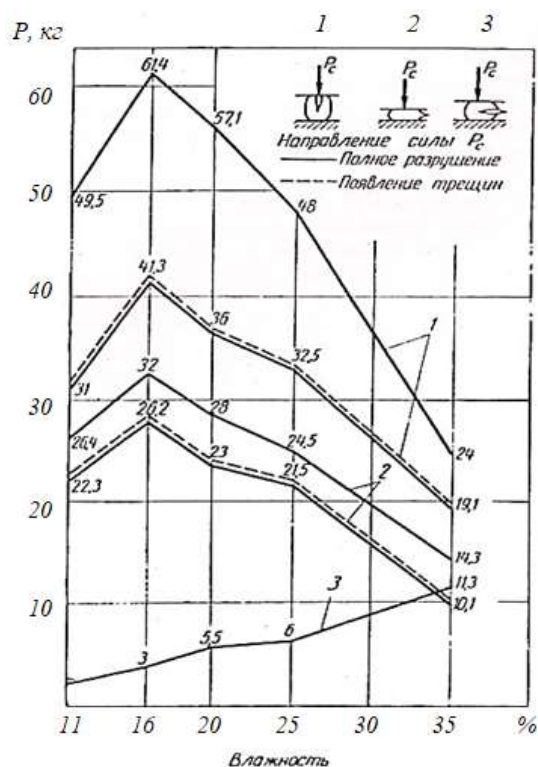


Рисунок Г4 – Разрушающие зерно статические усилия (по данным Н.А. Бобрикова)

Портативный электронный влагомер WILE 55  
(компания Farmcomp agroelectronics Финляндия),  
используемый при определении влажности зерна кукурузы



*a* – общий вид  
влагомера WILE 55



*б* - таблица кодирования культур в  
программном обеспечении



*в* - заполнение измерительного цилиндра

Рисунок Е1 - Портативный электронный влагомер WILE 55

**ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА**  
**влажомера WILE 55**

Влагомер WILE 55 предназначен для измерения влажности цельных зерен и семян

Содержание влаги в измеряемой массе отображается на дисплее в процентах от веса

Процесс измерения основан на измерении емкостного сопротивления материала

Погрешность, % ..... +/- 0,5

Диапазон измерения влажности, %..... 8 – 35

Время единичного измерения, сек..... 50

Электропитание (батарея), В..... 9

Рабочие условия эксплуатации, °С..... +5 - +40

Масса, кг..... 0,750

Список измеряемых культур и соответствующий им номер шкалы измерения расположены на наклейке сбоку прибора

Метод определения содержания влаги в зерне кукурузы соответствует ISO 6540

**Номер в ГРСИ РФ**..... 20681-00

Характеристики применяемого толщиномера



Рисунок Ж1 - Толщиномер покрытий магнитный MT2003

**ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА**  
толщиномера покрытий магнитного MT2003

Диапазон измеряемых покрытий, мм.....	от 0,00 до 2,00
Предел допускаемой абсолютной основной погрешности (босн) не превышает величины, мм.....	$b_{осн} = \pm(0,03x + 0,02)$ , где x - измеряемое значение
Толщина основания, мм, не менее.....	0,2
Радиус кривизны поверхности основания объекта контроля, мм, не менее.....	40
Габаритные размеры толщиномера (без преобразователя), мм.....	185x90x45
<b>Условия эксплуатации</b>	
Температура окружающего воздуха, °С.....	от 0 до 50
Относительная влажность, %, при 25 °С.....	до 80
Атмосферное давление, кПа.....	84...106,7
<b>Номер в ГРСИ РФ</b> .....	17617-98

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии  
Федеральное бюджетное учреждение  
**«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И ИСПЫТАНИЙ В БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ»**  
(ФБУ «БЕЛГОРОДСКИЙ ЦСМ»)  
308007, г. Белгород, ул. Садовая, 110, тел.: (4722) 201-333,  
e-mail: info@esm-belgorod.ru, www.esm-belgorod.ru  
Регистрационный номер в реестре аккредитованных лиц № RA.RU.311380

**СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПОВЕРКЕ  
№СП-204634**

Действительно до  
**24 июня 2021 г.**

Средство измерений **Толщиномер магнитный МТ2003 регистрационный №17617-98**  
наименование, тип, маркировка СИ, регистрационный номер в ФАИФ по ОИИ, присвоенный при утверждении типа

заводской (серийный) номер **0111477**

в составе **-**

номер знака предыдущей поверки **-**

поверено **в полном объеме**  
максимальное значение длины, деления измерений, на которых поверено СИ

в соответствии с **МП 17617-98 Паспорт МТ 2003 .4276-001 ПС, раздел 10**  
наименование или обозначение документа, на основании которого выполнена поверка


с применением эталонов:  
**Меры толщины покрытий Elcometer T990 37535-08 №NH08234 NH06452 PA18189 NL0097 3.1.ZБД.0405.2014**  
регистрационный номер в реестре единичных, тип, заводской номер, дата, дата или срок годности эталона, примененных при поверке

при следующих значениях влияющих факторов:  
**Температура окружающего воздуха 20,9 °С; Относительная влажность 46,7 %**  
список влияющих факторов, примененных в соответствии с методикой поверки, с указанием их значений

и на основании результатов **периодической** поверки признано пригодным к применению.



Начальник отдела ГИ  
Поверитель  
25 июня 2020 г.

 Сафонов Александр Михайлович  
Валуйская Мария Сергеевна

СП- 204634



Характеристики применяемого глубиномера



Рисунок И1 - Микрометрический глубиномер ГМ50

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА  
микрометрического глубиномера ГМ50

Диапазон измерений, мм.....	0 – 50
Цена деления шкалы барабана глубиномера, мм.....	0,01
Длина и ширина основания - не более, мм.....	100x25
Шаг микрометрического винта, мм.....	0,5
Измерительное перемещение микрометрического винта, мм.....	25
Диаметр измерительного стержня - не более, мм.....	5
Измерительное усилие глубиномера, Н.....	от 3 до 7
<b><u>Номер в ГРСИ РФ</u></b> .....	<b>66702-17</b>

Увеличительное и фотооборудование Луганской областной карантинной лаборатории, используемое при исследованиях жвал амбарных вредителей



*a* – общий вид оборудования



*в* – система настройки

Рисунок Д1 - Стереомикроскоп Stemi 2000-С



*a* – фотооборудование и увеличительный блок в сборе



*a* – марка фотооборудования

Рисунок Д1 – Средства фотофиксации увеличенных изображений и их перевода на ПК

**ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА**  
**стереомикроскопа STEMI 2000-C**

Оправа Stemi с приводом для колонны.

Корпус микроскопа Stemi 2000-C.

Окуляры W-PL 10/23 spect. foc. и W 25x/10 foc.

Встроенный галогенный осветитель вертикального освещения 6 В, 10 Вт с источником питания 115/230 В – 6 В 50 ВА.

Станина S с колонной высотой.....260 мм.

Размер (ширина, глубина, высота).....65x336x371.

Масса.....4,8 кг.

Диапазон допустимых температур для работы.....+15 - +35.

**Таблица Д1 - Диапазон видимого увеличения**

VSS		Окуляр			
		W-PL 10/23 spect. foc.		W 25x/10 foc.	
		Общее увеличение	Поле объекта (мм)	Общее увеличение	Поле объекта (мм)
0,3x	285	1,95x-15,0x	118-15,3	4,9x-37,5x	51,3-6,7
0,4x	210	2,6x-20,0x	88,5-11,5	6,5x-50,0x	38,5-5,0
0,63x	130	4,1x-31,5x	56,2-7,3	10,2x-78,8x	24,4-3,2
1x	92	6,5x-50,0 x	35,4-4,6	16,3x-125,0 x	15,4-2,0
2x	31	13,0x-100,0x	17,7-2,3	32,5x-250,0x	7,7-1,0

Оборудование для обеспечения требуемого уровня давления  
в пневмоподушках МСУ



Рисунок Л1 - Автомобильный компрессор BERKUT

Максимальное давление, атм.....	10
Производительность, л/мин.....	40
Максимальный ток потребления, А....	14,5
Питание от АКБ, Вт.....	12
Время непрерывной работы, мин.....	30
Длина шланга, м.....	1,2
Длина провода питания, м.....	4,8
Масса, кг.....	2,1
Размеры устройства, мм.....	167x93x157
Диапазон рабочих температур, °С.....	- 30...+ 80
Уровень шума, дБ.....	65
Насос поршневого типа	
Набор дополнительных штуцеров	
Пыленепроницаемое исполнение	



Рисунок Л2 - Манометр  
ДМ 05063  
160 кПа ТУ.У 33.2 - 14307481-031:2005

Диапазон измерений, кПа.....	0 - 160
Цена деления, кПа.....	5
Погрешность прибора.....	± 0,05
Масса, кг.....	01
Среда измерения	Газ

Характеристики применяемого оборудования  
для измерения углов наклона СРД



Рисунок К1 - Лазерный дальномер-угломер Leica DISTO  
Leica Geosystem AG 2014

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА  
Leica DISTO

Точность измерений, мм.....	±1
Дальность измерений, м.....	0,05–200 м
Диапазон измеряемых углов, °.....	360
Точность датчика угла наклона, °.....	0,2
Увеличение.....	4-кратное
Единицы измерения длины.....	Метры/Дюймы
Тип лазера, нм.....	635
Класс лазера.....	II, < 1 мВт
Размер лазерной точки.....	6 мм на 10 м
Память.....	20 записей
Дисплей.....	Цветной TFT
<b><u>Номер в ГРСИ РФ</u></b> .....	<b>60792-15</b>

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии  
Федеральное бюджетное учреждение  
**«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И ИСПЫТАНИЙ В БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ»**  
(ФБУ «БЕЛГОРОДСКИЙ ЦСМ»)  
308007, г. Белгород, ул. Садовая, 110, тел.: (4722) 201-333,  
e-mail: info@csm-belgorod.ru, www.csm-belgorod.ru  
Регистрационный номер в реестре аккредитованных лиц № RA.RU.311380

**СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПОВЕРКЕ  
№СП-204630**

Действительно до  
24 июня 2021 г.

Средство измерений Дальномер лазерный Leica DISTO X310 регистрационный №55021-13  
наименование, тип, модификация СИ, регистрационный номер в ФНФ по ОЕИ, присвоенный при утверждении типа

заводской (серийный) номер 0850950308

в составе -

номер знака предыдущей поверки -

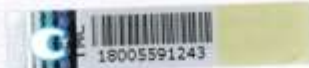
поверено в полном объеме  
наименование объекта измерения, назначения измерений, на которые поверено СИ

в соответствии с МП АПМ 34-13 Дальномеры лазерные Leica DISTO X310. Методика поверки  
наименование или обозначение документа, на основании которого выполнено поверка

с применением эталонов:  
Линейка контрольная с отсчетными дулами КЛ 1514-61 №0737 3.1.ЗБД.0325.2013; Плита поверочная из твердокаменных пород 630x1600 (Год выпуска 1979) №П-419 3.1.ЗБД.0547.2015; Лента измерительная год выпуска 1978 №785 3.1.ЗБД.0021.2012  
регистрационный номер и (или) наименование, тип, заводской номер, размер, класс или погрешность эталонов, примененных при поверке

при следующих значениях влияющих факторов:  
Температура окружающего воздуха 20,9 °С; Относительная влажность 46,7 %  
перечень влияющих факторов, учтенных в документе на методику поверки, с указанием их значений

и на основании результатов периодической поверки признано пригодным к применению.



Начальник отдела ГИ

Поверитель

25 июня 2020 г.

Сафонов Александр Михайлович

Валуйская Мария Сергеевна

СП- 204630

Характеристики применяемого оборудования  
для определения частоты вращения ротора МСУ



Рисунок М1 - Тахометр стрелочный механический часового типа ТЧ-10Р

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА  
Тахометра ТЧ-10Р

Пределы измерения частоты вращения, об/мин.....	от 50 до 1000
Допускаемая основная погрешность, %.....	от 1000 до 100 ± 1
Рабочий диапазон температур, °С.....	от - 10 до +50
<b><u>Номер в ГРСИ РФ</u></b> .....	3111-12

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии  
Федеральное бюджетное учреждение  
**«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И ИСПЫТАНИЙ В БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ»**  
(ФБУ «БЕЛГОРОДСКИЙ ЦСМ»)

308007, г. Белгород, ул. Садовая, 110, тел.: (4722) 201-333,  
e-mail: info@csm-belgorod.ru, www.csm-belgorod.ru  
Аттестат аккредитации № RA.RU.311380

**СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПОВЕРКЕ**  
**№СП-140004**

Действительно до  
27 мая 2023 г.

Средство измерений Тахометр часовой ТЧ10-Р регистрационный №3111-01  
наименование, тип, модификация СИ, регистрационный номер в ФГИФ по ОЕИ, присвоенный при утверждении типа

заводской (серийный) номер 09910  
в составе -

номер знака предыдущей поверки -

поверено в полном объеме  
наименование единиц измерения, диапазонов измерений, на которых поверено СИ

в соответствии с

**ГОСТ 8.285-78 ГСИ. Тахометры. Методы и средства поверки**

наименование или обозначение документа, на основании которого выполнена поверка

с применением эталонов:

**Установка тахометрическая УТ05-60 6840-78 №441 3.1.ZБД.0407.2014**

регистрационный номер и (или) наименование, тип, заводской номер, размер, класс или погрешность эталона, примененный при поверке

при следующих значениях влияющих факторов:

**Температура окружающего воздуха 21,3 °С; Средняя скорость изменения температуры не превышает 1 °С/ч**

перечень влияющих факторов, нормированных в документе на методику поверки, с указанием их значений

и на основании результатов периодической поверки признано пригодным к применению.



Начальник отдела МИ

Поверитель

28 мая 2019 г.

А.А. Хализев

Д.А. Шкилев

СП-140004





Характеристики применяемого весового оборудования,  
используемого в экспериментальных исследованиях



Рисунок Н1 - Весы настольные  
циферблатные РН-3Ц13У

Наибольший предел взвешивания, кг.....	3
Наименьший предел взвешивания, г.....	20
Погрешность, г.....	5
Наибольший предел компенсации тары, г...	600
Температура окружающей среды, °С.....	- 10...+ 50
Масса, кг.....	14
Длина, мм.....	400
Ширина, мм.....	290
Высота, мм.....	710
<b>Номер в ГРСИ РФ.....</b>	<b>8474-81</b>



Рисунок Н2 - Лабораторные весы  
САРТОГОСМ ВЛТ 510-П

Наибольший предел взвешивания, г.....	510
Наименьший предел взвешивания, г.....	0,5
Дискретность отсчета (d), г.....	0,01
Класс точности по ГОСТ 24104-2001.....	II (высокий)
Цена поверочного деления (e), г.....	0,1
Пределы допускаемой погрешности в интервалах взвешивания при первичной поверке / при эксплуатации, г.....	0,5...500 г включ. ±0,02/0,04 500...510 г включ. ±0,02/0,04
<b>Номер в ГРСИ РФ.....</b>	<b>19874-08</b>

Владелец средства измерения:	Формуляр на <i>Весы настольные циферблатные</i>		ФБУ «Белгородский ЦСМ» 308007, Белгород, ул. Садовая, 110 Телефон: (4722) 201-332 Факс: 31-18-29, 34-71-35 email: info@csm-belgorod.ru Межповерочный интервал: <i>10 лет</i>		
Регистрационный номер в ФИФ по ОЕИ	Тип СИ	Заводской номер	Диапазон измерений	Класс точности, Погрешность	
	<i>РН-3Ц13У</i>	<i>02330</i>	<i>3 кг</i>	<i>(11) ср</i>	

Дата поверки	Заключение	Дата поверки	Заключение	Дата поверки	Заключение
<i>21.05.19</i>	<i>[Stamp]</i>	<i>23.06.20</i>	<i>[Stamp]</i>		
поверитель	<i>[Signature]</i>	поверитель	<i>[Signature]</i>	поверитель	
знак поверки		знак поверки		знак поверки	
Дата поверки	Заключение	Дата поверки	Заключение	Дата поверки	Заключение
поверитель		поверитель		поверитель	
знак поверки		знак поверки		знак поверки	

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии  
Федеральное бюджетное учреждение  
**«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И ИСПЫТАНИЙ В БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ»**  
(ФБУ «БЕЛГОРОДСКИЙ ЦСМ»)  
308007, г. Белгород, ул. Садовая, 110, тел.: (4722) 201-333,  
e-mail: info@csm-belgorod.ru, www.csm-belgorod.ru  
Регистрационный номер в реестре аккредитованных лиц № RA.RU.311380

**СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПОВЕРКЕ**  
**№СП-202628**

Действительно до  
**01 июля 2021 г.**

Средство измерений **Весы лабораторные ВЛТ-510-П регистрационный №19874-08**  
наименование, тип, идентификация СИ, регистрационный номер в ФГИБ по ОЕИ, присвоенный при утверждении типа  
заводской (серийный) номер **23125083**  
в составе **-**  
номер знака предыдущей поверки **-**  
поверено **в полном объеме**  
количество единиц величин, диапазонов измерений, на которых поверено СИ

в соответствии с **МП 2301-0032-2007 "Весы лабораторные ВЛТ. Методика поверки"**  
наименование или обозначение документа, на основании которого выполнена поверка

с применением эталонов:  
**Гири класса точности E2 Набор гирь (1мг-1кг) E2 23653-02 №19526014**  
регистрационный номер и (или) наименование, тип, заводской номер, размер, класс или погрешность эталонов, примененных при поверке  
при следующих значениях влияющих факторов:  
**Температура окружающего воздуха 21,7 °С; Относительная влажность 50,8 %**  
параметры влияющих факторов, нормированных в документе по методике поверки, с указанием их значений

и на основании результатов периодической поверки признано пригодным к применению.



Начальник отдела МИ  
Поверитель  
**02 июля 2020 г.**

Веселов Александр Алексеевич  
Николаева Наталья Викторовна

СП- 202628

Характеристики применяемого оборудования  
для измерения мощности электродвигателей



Рисунок О1 - Комплект измерительный К505

Номинальный ток, А	Измеряемая мощность при номинальном напряжении, кВт					
	30 В	75 В	150 В	300 В	450 В	600 В
0,5	0,015	0,0375	0,075	0,15	0,225	0,3
1	0,03	0,075	0,15	0,3	0,45	0,6
2,5	0,075	0,1875	0,375	0,75	1,125	1,5
5	0,15	0,375	0,75	1,5	2,25	3
10	0,3	0,75	1,5	3	4,5	6
15	0,45	1,125	2,25	4,5	6,75	9
30	1,5	3,75	7,5	15	22,5	30
100	3	7,5	15	30	45	60
150	4,5	11,25	22,5	45	67,5	90
200	6	15	30	60	90	120
300	9	22,5	45	90	135	180
600	18	45	90	180	270	360

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА  
Комплекта измерительного К505

1. Ваттметр ГОСТ 8476-60:

- класс точности .....0,5;
- напряжение .....75...600 В;
- класс точности .....1;
- напряжение .....30 В;
- пределы измерения.....0...24 кВт;
- номинальный ток параллельной цепи .....3 мА.
- номер в ГРСИ РФ..... 3741-73

2. Амперметр ГОСТ 8711-60:

- класс точности .....0,5;
- пределы измерения .....0...100 А;
- частота тока .....40...65 Гц.

3. Вольтметр ГОСТ 8711-06:

- класс точности .....0,5;
- пределы измерения .....75...600 В;
- класс точности .....1;
- пределы измерения .....30...75 В;
- номинальный ток .....7,5 мА.

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии  
Федеральное бюджетное учреждение  
**«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И ИСПЫТАНИЙ В БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ»**  
(ФБУ «БЕЛГОРОДСКИЙ ЦСМ»)  
308007, г. Белгород, ул. Садовая, 110, тел.: (4722) 201-333,  
e-mail: info@esm-belgorod.ru, www.esm-belgorod.ru  
Регистрационный номер в реестре аккредитованных лиц № RA.RU.311380

**СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПОВЕРКЕ**  
**№СП-240857**

Действительно до  
29 ноября 2021 г.

Средство измерений **Комплект измерительный K505 регистрационный №3741-73**  
наименование, тип, модификация СИ, регистрационный номер в ФГИС по ОЕИ, присвоенный при утверждении типа

заводской (серийный) номер **1341**  
в составе **-**

номер знака предыдущей поверки **-**

поверено **в полном объеме**  
наименование единиц величин, значений измерений, на которых поверено СИ

в соответствии с **ГОСТ 8.497-83 ГСИ. Амперметры, вольтметры, ваттметры, варметры. Методика поверки**  
наименование или обозначение документа, на основании которого выполнена поверка

с применением эталонов:

**Калибратор многофункциональный Fluke 5522A 70345-18 №4597903; Мультиметр цифровой прецизионный Fluke 8508A 25984-14 №291868826 ПГ ± 0,0003 %**  
регистрационный номер и (или) наименование, тип, заводской номер, разряд, класс или погрешность эталонов, примененных при поверке

при следующих значениях влияющих факторов:  
**Температура окружающего воздуха 20,7 °С; Относительная влажность 41,3 %; Атмосферное давление 100,49 кПа; Напряжение питающей сети 226,71 В; Частота питающей сети 50,00 Гц**  
перечень значений факторов, зарегистрированных в документе на методику поверки, с указанием их значений

и на основании результатов периодической поверки признано пригодным к применению.



Начальник отдела РЭМИ  Савченко Олег Витальевич

Поверитель  Беликов Максим Геннадьевич

30 ноября 2020 г.

СП- 240857

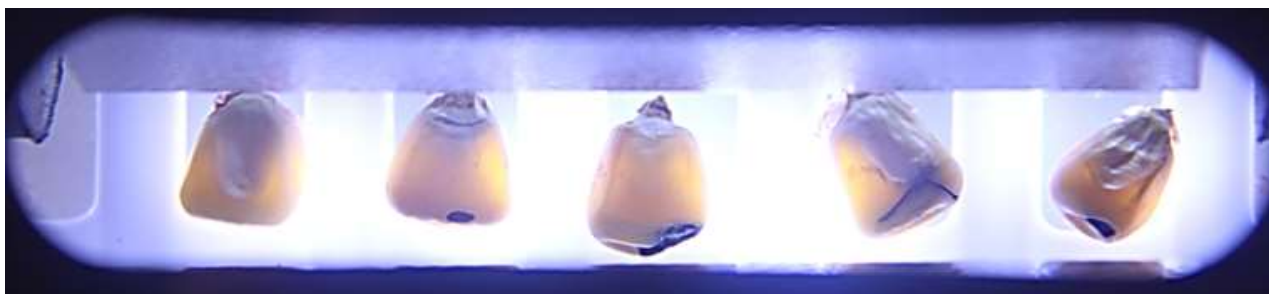
Характеристики применяемого оборудования для определения показателя макро- и микроповреждений обмолоченного зерна кукурузы



*а* - диафаноскоп ДСЗ-2М



*б* - дополнительно изготовленная ячеистая кассета для загрузки зерна кукурузы в диафаноскоп



*в* - поврежденные зерна кукурузы в просвете диафаноскопа

Рисунок П1 – К методике определения показателя макро- и микроповреждений обмолоченного зерна кукурузы

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА  
Диафаноскопа ДСЗ-2М

Электропитание, В.....	220
Потребляемая мощность, Вт.....	5
Емкость кассеты, зерен шт.....	21
Вес, кг.....	4
Габаритные размеры, длина ширина высота, мм.....	260x120x260

**Акт №3-оп  
отбора образцов (проб)**

Культура, сорт. Кукуруза

Сортовые документы. Не предоставлены

Год урожая. 2021

Назначение. Анализ зерна на энергию прорастания и всхожесть

Количество образцов. 4

Масса зерна в одном образце. 1 кг

Упаковка проб. В пластиковых контейнерах с закрывающимися крышками, на которых наклеена этикетка с номером, массой и датой отбора образца

Владелец початков семенной кукурузы. ООО «ЛУГАНЬПЛЕМСЕРВИС»

Условия обмолота. В экспериментальном комплекте оборудования для дифференцированного обмолота, разработанном Д.Н. Бахаревым к.т.н., доцентом ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ им. В.Я. Горина

Место отбора проб. ООО «ЛУГАНЬПЛЕМСЕРВИС», Луганская Народная Республика, Славяносербский р-н, п. Металлист, пер. Ленина, 6

Дата отбора проб. 12.10.2021

Дата передачи проб на анализ актом. №3 от 12.10.2021

Ответственные лица за отбор проб и их передачу в лабораторию на анализ

К.т.н., доцент  
ФГБОУ ВО Белгородский  
ГАУ им. В.Я. Горина



Д.Н. Бахарев

Главный инженер  
ООО «ЛУГАНЬПЛЕМСЕРВИС»



А.С. Билокобыльский

## РЕЗУЛЬТАТ АНАЛИЗА СЕМЯН

Категория семян

отсутствуют сортовые документы  
(оригинальные, элитные, репродукционные)

Лаборатория Министерства сельского хозяйства и продовольствия ЛНР	Число	Месяц	Год	Результат анализа семян
Перевальская	19	10	2021	33-34

Выдан Бахарев Д.Н.ЛНР, г. Луганск

(полное наименование субъекта хозяйствования, район, населенный пункт, адрес)

на партию № 2семян Кукуруза

(культура, сорт)

генерации (репродукция)

(оригинальные, суперэлита, элита, первая и другие репродукции)

год урожая 2021 массой     тонн (килограмм), фракции №     представленных на анализ актом № 3 от 12.10.2021 года.

хранящихся

№ бригады, отделение хозяйства

Число мест (мешков)    , склад №    , заком №    , вагон №    , насыпьюНазначение семян высев

## Результат анализа:

## 1. Внешний осмотр:

цвет                     запах                     

(отклонение от нормы) (для непротравленных семян)

2. Чистота        %в том числе:     %  
                     %3. Отход, всего        %

в том числе преобладающие группы:

                     %

## 4. Семян других растений (шт./кг или %)

                     -

## 5. Семян других видов кормовых трав

                     - %

## 6. Семян других культурных растений

(шт./кг или %)           шт/кг          

## 7. Семян сорных растений всего (шт./кг или %)

          шт/кг          

в том числе:

- семян наиболее вредных сорняков для  
кормовых трав шт./кг                     - семян пырея ползучего шт./кг    -   - семян карантинных сорняков шт./кг                     - семян ядовитых сорняков шт./кг                     

- семян трудноотделимых сорняков:

           шт./кг8. Головных образований            %9. Склеротий            (шт./кг или %)10. Галлов пшеничной нематоды шт./кг

11. Энергия прорастания 90 %  
 12. Всхожесть 92 %  
 в том числе твёрдых (жизнеспособных) - %  
 Условия проращивания:  
ВФ t 20..30 С 7 сут.  
 13. Жизнеспособность - %  
 Метод определения: тетразольно-топографический  
 14. Посевная годность - %  
 15. Влажность - %  
 16. Зараженность болезнями заполняется при анализе семян методом:  
 - центрифугирования не определялось шт  
 - биологическим не определялось %  
 17. Заселенность вредителями 0 шт./кг  
 18. Масса 1000 семян - грамм

**19. Ботанический состав преобладающих видов:**

- семян других культурных растений, шт/кг: 0  
 - семян сорных растений, шт/кг, %: -

Испытания семян проведены согласно требованиям ДСТУ 4138-2002  
 (наименование нормативных документов)

**Заключение и предложения**

При проведении полного и неполного анализа:

Семена некондиционные по следующим показателям	Установлено при анализе	Установлено стандартом
	заключение не сделано в связи с отсутствием сортовых документов. В соответствии со ст. 19, ч. 4 Закона ЛНР «О семеноводстве». Высев данной партии - <b>Запрещается</b>	<b>Наличие сортовых документов</b>

Семена подлежат - и повторному анализу  
 (вид обработки)

При проведении неполного анализа:

Семена по - соответствуют требованиям стандарта  
 (наименование показателей, по которым проведен анализ)



*[Handwritten signature]*  
 (подпись)

**Главный специалист  
 Отдела семенного надзора (контроля)  
 Козырь Т.П.**

(Ф.И.О. должностного лица МСХиП ЛНР)



Результаты расчетов в программе Statistica

Таблица Т1 – Результаты расчета коэффициентов регрессии и проверки адекватности модели для  $Y_{opt1}$

Parameter Estimates (Данные по матрице план-я№1) Sigma-restricted parameterization											
Effect	Yopt1 Param.	Yopt1 Std.Err	Yopt1 t	Yopt1 p	-95,00% Cnf.Lmt	+95,00% Cnf.Lmt	Yopt1 Beta (?)	Yopt1 St.Err.?	-95,00% Cnf.Lmt	+95,00% Cnf.Lmt	
<b>Intercept</b>	32,58622	6,700189	4,86348	0,004619	15,3628	49,80961					
X1	-0,20876	0,037201	-5,61170	0,002485	-0,3044	-0,11313	-36,7607	6,550728	-53,5999	-19,9216	
X1^2	0,00050	0,000094	5,33135	0,003111	0,0003	0,00075	28,3920	5,325474	14,7024	42,0816	
X2	-2,40000	3,090938	-0,77646	0,472589	-10,3455	5,54551	-4,2261	5,442796	-18,2173	9,7650	
X2^2	2,26250	0,944882	2,39448	0,062043	-0,1664	4,69140	7,9727	3,329604	-0,5864	16,5317	
X3	-0,21797	0,073980	-2,94628	0,032023	-0,4081	-0,02779	-23,0287	7,816210	-43,1210	-2,9365	
X3^2	0,00077	0,000262	2,95010	0,031882	0,0001	0,00145	21,2727	7,210833	2,7367	39,8087	
X1*X2	0,01250	0,009078	1,37694	0,226987	-0,0108	0,03584	4,1560	3,018270	-3,6027	11,9147	
X1*X3	0,00029	0,000151	1,90017	0,115838	-0,0001	0,00068	8,1841	4,307051	-2,8875	19,2558	
X2*X3	-0,03000	0,015130	-1,98279	0,104206	-0,0689	0,00889	-7,5669	3,816318	-17,3771	2,2432	
Test of SS Whole Model vs. SS Residual (Данные по матрице план-я№1)											
Dependnt Variable	Multiple R	Multiple R?	Adjusted R?	SS Model	df Model	MS Model	SS Residual	df Residual	MS Residual	F	p
<b>Y1</b>	0,967531	0,936115	0,821123	0,024152	9	0,002684	0,001648	5	0,000330	8,140671	0,016330
Test of SS Whole Model vs. SS Residual (Данные по матрице план-я№1)											
Dependnt Variable	Multiple R	Multiple R?	Adjusted R?	SS Model	df Model	MS Model	SS Residual	df Residual	MS Residual	F	
<b>Y1</b>	0,572229	0,327446	0,144023	0,008448	3	0,002816	0,017352	11	0,001577	1,785192	

Таблица Т2 – Результаты расчета коэффициентов регрессии и проверки адекватности модели для  $Y_{opt2}$

Parameter Estimates (Данные по матрице план-я№2) Sigma-restricted parameterization											
Effect	Yopt2 Param.	Yopt2 Std.Err	Yopt2 t	Yopt2 p	-95,00% Cnf.Lmt	+95,00% Cnf.Lmt	Y2 Beta (?)	Y2 St.Err.?	-95,00% Cnf.Lmt	+95,00% Cnf.Lmt	
<b>Intercept</b>	110,917	8,37970	13,2363	0,000044	89,376	132,457					
X4	-3,458	0,37576	-9,2036	0,000254	-4,424	-2,492	-1,98742	0,215939	-2,54251	-1,43233	
X4^2	0,252	0,01108	22,7125	0,000003	0,223	0,280	2,93441	0,129198	2,60230	3,26652	
X5	-255,833	25,22537	-10,1419	0,000160	-320,677	-190,989	-2,94042	0,289928	-3,68570	-2,19514	
X5^2	304,167	27,70128	10,9802	0,000109	232,958	375,375	2,80693	0,255635	2,14980	3,46406	
X6	-6,819	0,84085	-8,1102	0,000462	-8,981	-4,658	-2,35138	0,289928	-3,09666	-1,60609	
X6^2	0,199	0,03078	6,4678	0,001316	0,120	0,278	1,65340	0,255635	0,99627	2,31053	
X4*X5	-1,000	0,53229	-1,8787	0,119079	-2,368	0,368	-0,26020	0,138499	-0,61622	0,09583	
X4*X6	0,017	0,01774	0,9393	0,390684	-0,029	0,062	0,13010	0,138499	-0,22593	0,48612	
X5*X6	3,333	0,88715	3,7573	0,013194	1,053	5,614	0,65523	0,174386	0,20696	1,10350	
Test of SS Whole Model vs. SS Residual (Данные по матрице план-я№2)											
Dependnt Variable	Multiple R	Multiple R?	Adjusted R?	SS Model	df Model	MS Model	SS Residual	df Residual	MS Residual	F	p
<b>Y2</b>	0,998830	0,997661	0,993450	604,1833	9	67,13148	1,416667	5	0,283333	236,9346	0,000005
Test of SS Whole Model vs. SS Residual (Данные по матрице план-я№2)											
Dependnt Variable	Multiple R	Multiple R?	Adjusted R?	SS Model	df Model	MS Model	SS Residual	df Residual	MS Residual	F	
<b>Y2</b>	0,836492	0,699719	0,617825	423,7500	3	141,2500	181,8500	11	16,53182	8,544130	

Таблица У1 - Ведомость оборудования для комплектации завода по обработке початков семенной кукурузы в потоке при стационарной механизации

Наименование оборудования	Вариативный ряд марок или типов оборудования	Рекомендуемая марка или тип оборудования
1. Приемка от сельхозпроизводителей массы неочищенных початков		
1.1 Взвешивание полученной массы неочищенных початков		
Весовое оборудование	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Весы автомобильные подкладные ИСТОК 7,5;</li> <li>2. Весы автомобильные ВАЛ «Бесфундаментные»;</li> <li>3. Весы карьерные автомобильные ВАЛ «Колейные» 80</li> </ol>	Весы карьерные автомобильные ВАЛ «Колейные» 80
1.2. Щадящая механизированная перегрузка во временные хранилища		
Приемник-погрузчик початков во временное хранилище	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Многосекционный приемник ямной конструкции «Сербия Продукт» в комбинации с шевронным ленточным транспортером ТГ.1.000;</li> <li>2. Приемник-дозатор ДК-4.000 «Сербия Продукт» в комбинации с шевронным ленточным транспортером ТГ.1.000;</li> <li>3. Питатель-дозатор початков и зерна кукурузы ППЗК-50 с конвейером для початков кукурузы ТПК-20</li> </ol>	Приемник-дозатор ДК-4.000 «Сербия Продукт» в комбинации с шевронным ленточным транспортером ТГ.1.000
2. Временное хранение початков в обертке и их сушка естественной вентиляцией		
Временное хранилище початков кукурузы в обертке, ожидающих переработки	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Горизонтальные сетчатые хранилища с естественной вентиляцией, расположенные в непосредственной близости к площадке переработки;</li> <li>2. Вертикальные сетчатые хранилища с естественной вентиляцией, расположенные в непосредственной близости к площадке переработки;</li> <li>3. Горизонтальные сетчатые хранилища, расположенные на площадке переработки или в ее непосредственной близости, конструктивно исполненные с системой принудительной вентиляции с боковым или центральным воздушным каналом;</li> <li>4. Вертикальные сетчатые хранилища, расположенные на площадке переработки или в ее непосредственной близости, конструктивно исполненные с системой принудительной вентиляции с центральным воздушным каналом</li> </ol>	Горизонтальные сетчатые хранилища, расположенные на площадке переработки или в ее непосредственной близости, конструктивно исполненные с системой принудительной вентиляции с боковым или центральным воздушным каналом

Продолжение таблицы У1

Наименование оборудования	Вариативный ряд марок или типов оборудования	Рекомендуемая марка или тип оборудования
3. Механизированная разгрузка временного хранилища в приемник-дозатор (например, ДК-4.000 «Сербия Продукт»)		
Устройство для разгрузки временного хранилища початков в приемник-дозатор (например, ДК-4.000 «Сербия Продукт»)	<ol style="list-style-type: none"> <li>Кулисный питатель очистителя початков ОП-15 с крутонаклонным конвейером, адаптированным для работы с початками кукурузы типа ТЛ-500 с открытыми гибкими скребками, закрепленными на ленте;</li> <li>Мобильное энергетическое средство с транспортной лопатой типа ТЛ-3 (или любые подобные устройства);</li> <li>Подборщик с загрузочным транспортёром очистителя початков ОПП-5</li> </ol>	Кулисный питатель очистителя початков ОП-15 с крутонаклонным конвейером, адаптированным для работы с початками кукурузы типа ТЛ-500 с открытыми гибкими скребками, закрепленными на ленте
4. Подача початков на очистку от листовой обертки		
Транспортер, подающий початки из приемника-дозатора в участок снятия листовой обертки	<ol style="list-style-type: none"> <li>Транспортер ленточно-скребковый ТЛС-300;</li> <li>Транспортер початков кукурузы ТПК-20;</li> <li>Транспортер ленточный ТЛ-500 с открытыми гибкими скребками, закрепленными на ленте</li> </ol>	Транспортер ленточный ТЛ-500 с открытыми гибкими скребками, закрепленными на ленте
5. Снятие листовых оберток		
Очиститель початков кукурузы от листовой обертки	<ol style="list-style-type: none"> <li>Очиститель початков ОП-15;</li> <li>Очиститель початков ОПП-5;</li> <li>Очиститель початков конструкции, предложенной инженером А.В. Тиняковым;</li> <li>Вальцевые очистители початков кукурузы «Сербия Продукт»</li> </ol>	Вальцевые очистители початков кукурузы «Сербия Продукт» с улучшениями, предложенными А.В. Тиняковым [36]
6. Транспортировка листовой обертки и других некормовых отходов очистки к месту переработки в пеллеты для твердотопливного котла сушилки		
Транспортер листовой обертки и других отходов очистки початков кукурузы	<ol style="list-style-type: none"> <li>Телескопический ленточный транспортер с гладкой лентой ТТ 14-80ЭЛ;</li> <li>Ленточный желобчатый транспортер со специальной лентой КЛЖЗ-650;</li> <li>Транспортер ленточно-скребковый ТЛС-300</li> </ol>	Ленточный желобчатый транспортер со специальной лентой КЛЖЗ-650
7. Транспортировка зерна, отделившегося от початков при их очистке от листовой обертки в участок приготовления кормов для сельскохозяйственных животных		
Транспортер фуражного зерна	<ol style="list-style-type: none"> <li>Зернопогрузчик-транспортёр шнековый ЗПШ-8;</li> <li>Зернопогрузчик-транспортёр шнековый НЗШ-6 d159 «Вихрь»;</li> <li>Зернопогрузчик шнековый ВК-120</li> </ol>	Зернопогрузчик-транспортёр шнековый ЗПШ-8

Продолжение таблицы У1

Наименование оборудования	Вариативный ряд марок или типов оборудования	Рекомендуемая марка или тип оборудования
8. Сортировка початков, очищенных от листовой обертки с одновременной загрузкой защитных вентилируемых контейнеров		
Сортировочный ленточный транспортер (конвейер)	1. Сортировочный ленточный транспортер С-ЛТР-700; 2. Конвейер ленточный инспекционный КРИ-10-01; 3. Инспекционный ленточный конвейер ЛИ-6	Сортировочный ленточный транспортер С-ЛТР-700
9. Перемещение заполненных початками вентилируемых контейнеров от сортировочного транспортера к месту накопления и отправки в сушилку		
Гидравлическая тележка-подъемник	1. Гидравлическая тележка (рохля) TOR (высота подъема до 200 мм); 2. Ручная гидравлическая тележка с ножничным подъемником Noblift ACX10E (высота подъема до 800 мм); 3. Ручной гидравлический подъемник Lema Im 1020 (высота подъема до 2000 мм)	Ручной гидравлический подъемник Lema Im 1020 или аналог с данной высотой подъема
10. Перемещение отобранных при сортировке некондиционных, незрелых и заплесневелых початков в участок приготовления пеллет		
Транспортер	1. Транспортер ленточно-скребковый ТЛС-300; 2. Транспортер початков кукурузы ТПК-20; 3. Транспортер ленточный ТЛ-500 с открытыми гибкими скребками, закрепленными на ленте	Транспортер початков кукурузы ТПК - 20
11. Перемещение и загрузка заполненных вентилируемых контейнеров в сушилку		
Складской самоходный погрузчик	1. Складской самоходный погрузчик HUBTEX; 2. Складской самоходный погрузчик TOR; 3. Складской самоходный погрузчик GEKA E20	Складской самоходный погрузчик GEKA E20
12. Сушка початков, загруженных в вентилируемые контейнеры		
Сушилка кукурузы в початках	1. Бокс-сушилка Cimbria; 2. Переоборудованная сушилка Petkus; 3. Переоборудованная сушилка ООО «ЗЕРНОКОЛОС» 4. Передвижная сушилка MecmarCD30 static cob dryer	Бокс-сушилка Cimbria
13. Разгрузка вентилируемых контейнеров после сушки початков и подача их на обмолот		
Складской самоходный погрузчик	1. Складской самоходный погрузчик HUBTEX; 2. Складской самоходный погрузчик TOR; 3. Складской самоходный погрузчик GEKA E20	Складской самоходный погрузчик GEKA E20

Продолжение таблицы У1

Наименование оборудования	Вариативный ряд марок или типов оборудования	Рекомендуемая марка или тип оборудования
14. Дифференцированный обмолот початков с минимизацией макро- и микроповреждений		
Молотильно-сепарирующее устройство (МСУ)	1. МСУ для початков кукурузы (RU № 171115); 2. Молотилка МКП-10; 3. Молотилка MSH-25 «Serbia Product»; 4. Молотилка MR-20«Cimbria»	МСУ для початков кукурузы конструкции (RU № 171115)
15. Транспортировка обмолоченного зерна на очистку с размещением в промежуточном бункере		
Транспортер	1. Транспортер шнековый ТШ-150; 2. Пневмотранспортер зерна с электрическим приводом ПТЗ-15; 3. Z-образный ленточно-скребковый транспортер ЛСТ	Пневмотранспортер зерна с электрическим приводом ПТЗ-15
16. Приемка обмолоченного зерна в участок очистки, калибровки и инкрустации (применяется в случае использования МСУ с несовершенной системой воздушной очистки обмолоченного зерна)		
Зерноприемник	1. Очищающий зерноприемник ОЗФ в комплексе с норией НФ; 2. Приемник с предварительным очистителем Petkus U15; 3. Завальная яма с зерновой норией НПЗ-10	Очищающий зерноприемник Фадеева ОЗФ в комплексе с норией НФ
17. Транспортировка обмолоченного зерна из промежуточного бункера на очистку и калибровку		
Транспортер	1. Транспортер шнековый ТШ-150; 2. Пневмотранспортер зерна с электрическим приводом ПТЗ-15; 3. Z-образный ленточно-скребковый транспортер ЛСТ	Пневмотранспортер зерна с электрическим приводом ПТЗ-15
18. Очистка и калибровка обмолоченного зерна		
Комплект оборудования для очистки и калибровки зерна кукурузы	1. Аспиратор ВАФ в комплексе с очищающей машиной ОМФ; 2. Аэродинамический комплект оборудования для очистки и калибровки зерна марки САД; 3. Сито-воздушный комплект оборудования для очистки и калибровки зерна АГРОСПЕЦМАШ (Украина)	Аспиратор ВАФ в комплексе с очищающей машиной ОМФ
19. Инкрустация зерна с одновременным заполнением защитных вентилируемых контейнеров готовой семенной продукции		
Протравливатель	1. Протравливатель ПСФ; 2. Передвижной протравочный комплекс Petkus; 3. Протравочная машина ПС-10АМ	Протравливатель ПСФ

Продолжение таблицы У1

Наименование оборудования	Вариативный ряд марок или типов оборудования	Рекомендуемая марка или тип оборудования
20. Затаривание готовой семенной продукции в мешки		
Комплекс затаривания	1. Комплекс затаривания мешков КЗМ-1; 2. Комплекс затаривания мешков ООО «Саминвест»; 3. Комплекс затаривания мешков типа «Big-bag» с каскадом (КМК)	Комплекс затаривания мешков типа «Big-bag» с каскадом КМК
21. Приготовление пеллет для твердотопливного котла сушилки початков кукурузы		
21.1 Перемещение обмолоченных стержней початков кукурузы в пункт измельчения и размещение их в вертикальном хранилище		
Транспортер	1. Транспортер ленточно-скребковый ТЛС-300; 2. Транспортер початков кукурузы ТПК – 20; 3. Транспортер ленточный ТЛ-500 с открытыми гибкими скребками, закрепленными на ленте	Транспортер початков кукурузы ТПК - 20
21.2 Загрузка стержней в вертикальное хранилище, установленное над измельчителем, оборудованное регулируемой по длине точкой для подачи стержней в питатель измельчителя		
Транспортер	1. Транспортер ленточно-скребковый ТЛС-300; 2. Транспортер початков кукурузы ТПК-20; 3. Z-образный ленточно-скребковый транспортер ЛСТ	Z-образный ленточно-скребковый транспортер ЛСТ
21.3 Накопление листовой обертки и других некормовых отходов очистки на бетонной площадке пункта измельчения и их подача в питатель измельчителя одновременно с обмолоченными стержнями		
Транспортер	1. Ленточный желобчатый транспортер со специальной лентой КЛЖЗ-650; 2. Транспортер ленточно-скребковый ТЛС-300; 3. Z-образный ленточно-скребковый транспортер ЛСТ	Z-образный ленточно-скребковый транспортер ЛСТ
21.4 Измельчение обмолоченных стержней початков кукурузы и других некормовых отходов очистки с одновременной подачей сечки воздушным потоком в вертикальный накопитель-загрузчик пресса изготовителя пеллет		
Измельчитель	1. Измельчитель кормов Волгарь-5 (ИКВ-5); 2. Измельчитель ДКМ-5; 3. Измельчитель КДУ-2 с доработкой конструкции, предложенной к.т.н. А.А. Вертий	Измельчитель КДУ-2 с доработкой конструкции, предложенной к.т.н. А.А. Вертий [34, 35]

Продолжение таблицы У1

Наименование оборудования	Вариативный ряд марок или типов оборудования	Рекомендуемая марка или тип оборудования
21.5 Производство пеллет с их накоплением в механизированном бункере-питателе		
Линия производства пеллет	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Линия гранулирования опилок ЛГ-500 (АЛБ Групп);</li> <li>2. Линия изготовления пеллет и комбикорма МЛГ-1000 COMBI. 2;</li> <li>3. Линия гранулирования «Соловей 6» с аэродинамической сушилкой</li> </ol>	Линия гранулирования «Соловей 6» с аэродинамической сушилкой
21.6 Фасовка топливных пеллет в Big-bag		
Фасовочное оборудование	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Станция затаривания мягких контейнеров типа «Big-bag» SZ 1000 ITALTECH;</li> <li>2. Наполнитель мешков «Big-bag» КМК;</li> <li>3. Станция затаривания мягких контейнеров типа «Big-bag» СЗ 500 10/2 Л</li> </ol>	Станция затаривания мягких контейнеров типа «Big-bag» СЗ 500 10/2 Л
22. Приготовление кормовой дерти из некондиционного зерна кукурузы		
22.1 Накопление некондиционного зерна в пункте приготовления кормовой дерти		
Бункер-накопитель	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Бункер-накопитель Petkus марки VS;</li> <li>2. Бункер-накопитель БПП-10;</li> <li>3. Бункер завальный БЗ-5</li> </ol>	Бункер-накопитель БПП-10
22.2 Измельчение зерна дробилкой с пневматическим забором зерна из бункера-накопителя		
Дробилка	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Дробилка зерна ДПЗ;</li> <li>2. Дробилка зерна ДПМ;</li> <li>3. Дробилка зерна ДКР</li> </ol>	Дробилка зерна ДКР
22.3 Накопление измельченной дерти		
Бункер-накопитель	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Бункер-накопитель ООО «ГК АФД-АГРО»;</li> <li>2. Бункер сухих кормов БСК;</li> <li>3. Бункер-ворошитель для комбикорма БВ-4</li> </ol>	Бункер сухих кормов БСК
22.4 Перегрузка измельченной дерти из бункера-накопителя в автотранспорт		
Погрузчик	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Шнековый погрузчик для комбикорма АРГОН-АВАНГАРД;</li> <li>2. Шнековый погрузчик компании Конвейер-Евроснаб с приемочным бункером на 250 л;</li> <li>3. Транспортёр шнековый передвижной ТШП</li> </ol>	Транспортер шнековый передвижной ТШП



УКРАЇНА

 (19) UA (11) 30366 (13) U  
 (51) МПК (2006)  
 A01F 11/00

 МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
 І НАУКИ УКРАЇНИ

 ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
 ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

 в ідається під  
 відпов і дальність  
 в ласника  
 патенту

(54) АКСІАЛЬНО-РОТОРНА МОЛОТАРКА КАЧАНІВ КУКУРУДЗИ

1

2

(21) u200711686

(22) 22.10.2007

(24) 25.02.2008

(72) ВОЛЬВАК СЕРГІЙ ФЕДОРОВИЧ, UA,

БАХАРЄВ ДМИТРО МИКОЛАЙОВИЧ, UA

(73) ЛУГАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ, UA

(56)

(57) 1. Аксиально-роторна молотарка качанів кукурудзи, яка включає раму з колесами та опорною стійкою з колесом, завантажувальну горловину, молотильну камеру, привід та вивантажувальний лоток, яка відрізняється тим, що з метою якісного обмолоту та очищення зерна качанів кукурудзи з достатньою продуктивністю, мінімальною енергоємністю та матеріаломісткістю перша частина складного шнекового ротора виконана конічною з навівкою з пластини, друга - циліндричною з навівкою з шипів, а оригінальна дека виконана у вигляді розташованих вздовж

молотильної камери притискних дугоподібних пластин, притиснення яких до качанів кукурудзи досягається за допомогою шарнірів та пружин.

2. Аксиально-роторна молотарка качанів кукурудзи за п. 1, яка відрізняється тим, що притискні дугоподібні пластини виконано з шипами для відділення зерна та отворами для його відведення з молотильної камери.

3. Аксиально-роторна молотарка качанів кукурудзи за пп. 1 та 2, яка відрізняється тим, що притискні дугоподібні пластини мають можливість змінювати кут нахилу відносно радіуса ротора.

4. Аксиально-роторна молотарка качанів кукурудзи за пп. 1, 2 і 3, яка відрізняється тим, що має механізм зміни попереднього стиснення пружин.

5. Аксиально-роторна молотарка качанів кукурудзи за пп. 1, 2, 3 і 4, яка відрізняється тим, що має систему очищення обмолоченого зерна, яка складається з бункера для зерна та вібраційного решета.

Корисна модель належить до галузі сільськогосподарського машинобудування, зокрема, до конструкцій аксіально-роторних молотарок качанів кукурудзи.

Відомі аксіально-роторні молотарки качанів кукурудзи - аналоги, наприклад: МКП-12, МКП-У [Креймерман Г.И. Обмолот початков кукурузы. -М.: Колос, 1966. -104с.], конструкція яких включає закріплені на рамі ротор та деку, які за допомогою приводу взаємодіють з качанами та обмолочують їх. Приведені вище молотарки мають можливість виконувати обмолот качанів кукурудзи всіх цільових призначень (посівний матеріал, продовольче та фуражне зерно) у відповідності до агровимог.

Недоліком МКП-12 та МКП-У є висока матеріаломісткість, великі витрати електричної енергії та незручність у технічному та технологічному обслуговуванні.

Найбільш близьким прототипом до нашої корисної моделі є аксіально-роторний пристрій для обмолоту качанів кукурудзи [пат. 18265 Україна, МКИ А01F11/06. Аксиально-роторний пристрій для обмолоту качанів кукурудзи /С.Ф. Вольвак, Д.М.

Бахарев (Україна). №200602152; Заявл.27.02.2006; Опубл. 15.11.2006, Бюл. №11. - бс.], який передбачає автоматичне регулювання зусилля удару та тертя качанів кукурудзи в молотильній камері. Прототип включає шнековий ротор, зовнішній діаметр якого поступово зменшується, та оригінальну деку у вигляді підпружинених розрізних конусних труб, які шарнірно закріплені до корпусу, що складається з двох частин - верхньої та нижньої з прорізами для відведення зерна до бункера.

Конструкція прототипу має недосконалу систему завантаження качанів кукурудзи в молотильну камеру, яка обмежує продуктивність молотарки, не має системи очистки обмолоченого зерна від обмолочених стрижнів. Таким чином, рівень техніки для обмолоту качанів кукурудзи не відповідає вимогам, які пред'являються до сучасних машин.

В основу корисної моделі поставлена задача розробки молотарки з якісним обмолотом та очищенням зерна качанів кукурудзи всіх цільових призначень у відповідності до агровимог з достатньою продуктивністю, мінімальною

(13) U

(11) 30366

(19) UA



енергоємністю та матеріаломісткістю, зручну у технічному та технологічному обслуговуванні шляхом використання складного шнекового ротору, перша частина якого виконана конічною з навивкою з пластини, друга - циліндричною з навивкою з шипів, та оригінальної деки у вигляді розташованих вздовж молотильної камери дугоподібних притискних пластин з шипами та отворами для відведення зерна, притиснення яких до качанів кукурудзи досягається за допомогою шарнірів та пружин, а також системи очищення обмолоченого зерна, яка складається з бункера для зерна та вібраційного решета, коливання якого досягаються за допомогою ексцентрикового механізму та пружин.

Поставлена задача досягається тим, що аксіально-роторна молотарка качанів кукурудзи, яка включає раму з колесами та опорною стійкою з колесом, завантажувальний бункер, молотильну камеру, привод та вивантажувальний лоток, згідно з корисною моделлю, молотильна камера складається зі складного шнекового ротора, перша частина якого виконана конічною з навивкою з пластини, друга - циліндричною з навивкою з шипів, та оригінальної деки у вигляді розташованих вздовж молотильної камери притискних дугоподібних пластин з шипами та отворами для відведення зерна, притиснення яких до качанів кукурудзи досягається за допомогою шарнірів та пружин, закріплених до корпусу, що складається з двох частин - верхньої та нижньої з прорізами для відведення зерна до системи очищення обмолоченого зерна.

При цьому з п. 2 виходить, що притискні дугоподібні пластини виконано з шипами для відокремлення зерна та отворами для його відведення із молотильної камери.

Крім того, із п. 3 виходить, що притискні дугоподібні пластини мають можливість змінювати кут нахилу відносно радіуса ротора.

Також із п. 4 виходить, що молотарка качанів кукурудзи має механізми зміни попереднього стиснення пружин.

Також із п. 5 виходить, що молотарка качанів кукурудзи має систему очищення обмолоченого зерна, яка складається з бункера для зерна та вібраційного решета, коливання якого досягаються за допомогою ексцентрикового механізму та пружин.

На Фіг.1 зображена молотарка качанів кукурудзи, вигляд збоку;

на Фіг.2 - схема розташування притискних дугоподібних пластин на розрізі молотарки по А-А на Фіг.1;

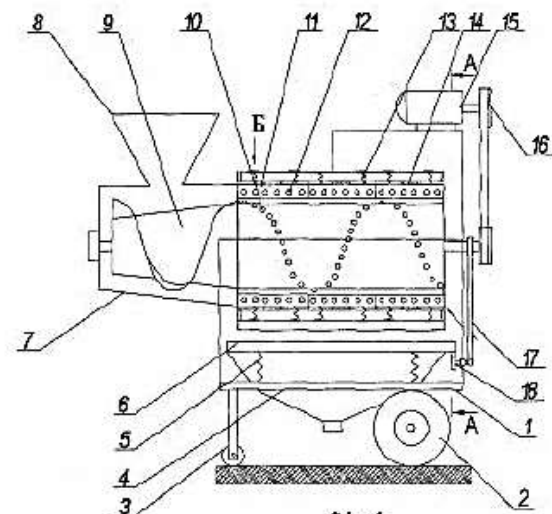
на Фіг.3 - вигляд зверху механізмів попереднього стиснення пружини та зміни кута нахилу притискних дугоподібних пластин за стрілкою Б на Фіг.1;

на Фіг.4 - вигляд збоку механізмів попереднього стиснення пружини та зміни кута нахилу притискних дугоподібних пластин за стрілкою В на Фіг.3.

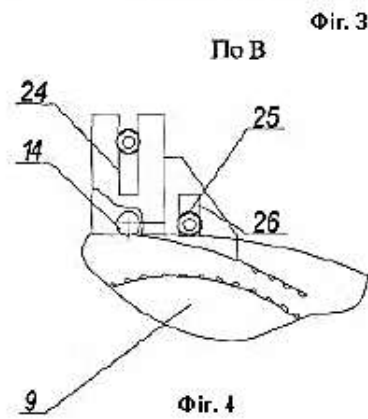
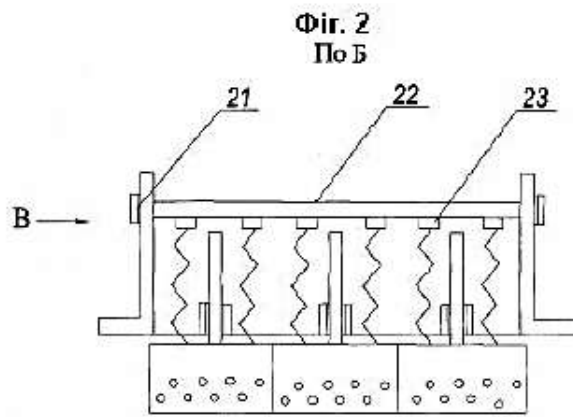
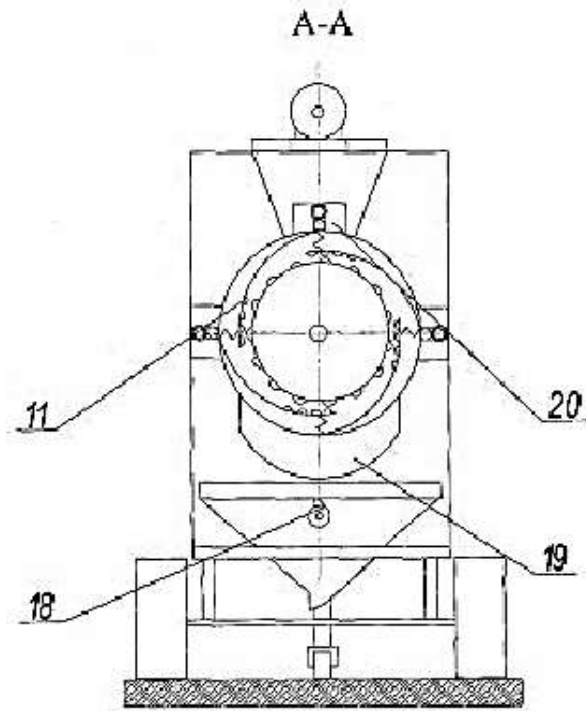
Аксіально-роторна молотарка качанів кукурудзи включає раму 1, яка забезпечена колесами 2 та опорною стійкою 3. На рамі встановлений бункер для зерна 4, до верхньої

частини якого за допомогою пружин 5 закріплено решето 6, також на рамі закріплений корпус молотильної камери 7 та завантажувальна горловина 8. В корпусі молотильної камери розміщений складний шнековий ротор 9, перша частина якого виконана конічною з навивкою з пластини, друга - циліндричною з навивкою з шипів 10, та оригінальна дека у вигляді розташованих вздовж молотильної камери притискних дугоподібних пластин 11 з шипами 12 та отворами для відведення зерна, притиснення яких до качанів кукурудзи досягається за допомогою пружин 13 та шарнірів 14, закріплених до корпусу. Привод ротора здійснюється від електродвигуна 15 за допомогою реміної передачі 16, а привод решета - від реміної передачі 17 та ексцентрикового механізму 18. Обмолочені стрижні відводяться з молотильної камери за допомогою вивантажувального лотка 19. Початкове стиснення пружин задається за допомогою болтів 21, які з'єднані з пружинами притискних пластин за допомогою вісі 22 та стаканів 23, болти переміщуються в прорізі 24 пластини 20. Кут нахилу притискних дугоподібних пластин задається за допомогою болтів 25, які переміщуються в прорізі 26.

Працює аксіально-роторна молотарка качанів кукурудзи таким чином. Качани кукурудзи із завантажувальної горловини 8 під дією шнекового ротора 9, який обертається від електродвигуна 15 за допомогою реміної передачі 16, починають рухатися вздовж молотильної камери і входять у клиновий простір між шипами 12 притискних дугоподібних пластин 11 та ротором. В процесі руху качани поступово зміщують притискні дугоподібні пластини з шипами, стискаючи пружини 13, під дією яких збільшується сила тертя качана по шипах, що призводить до відокремлення зерна. Після відокремлення зерно проходить крізь отвори притискних дугоподібних пластин та нижньої частини корпусу деки 7 до зернового бункера 4, де очищується від стрижнів під дією решета 6, коливання якого досягаються за допомогою ексцентрикового механізму 18 та пружин 5.



Фіг. 1



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 171115

**Молотильно-сепарирующее устройство с системой ориентированной подачи початков кукурузы на обмолот**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина" (RU)*

Авторы: *Вольвак Сергей Федорович (RU), Бахарев Дмитрий Николаевич (RU)*

Заявка № 2016147797

Приоритет полезной модели 06 декабря 2016 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 22 мая 2017 г.

Срок действия исключительного права на полезную модель истекает 06 декабря 2026 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ильин





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2016147797, 06.12.2016

(24) Дата начала отчета срока действия патента:  
06.12.2016Дата регистрации:  
22.05.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 06.12.2016

(45) Опубликовано: 22.05.2017 Бюл. № 15

Адрес для переписки:

308503, Белгородская обл., Белгородский р-н, п.  
Майский, ул. Вавилова, 24, ФГБОУ ВО  
Белгородский ГАУ, Н.Е. Крючковой

(72) Автор(ы):

Вольвак Сергей Федорович (RU),  
Бахарев Дмитрий Николаевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Белгородский государственный  
аграрный университет имени В.Я. Горина"  
(RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете

о поиске: SU 1225503 А, 23.04.1986. SU  
1094172 А, 07.12.1985. SU 1246933 А1,  
30.07.1986. RU 146606 U1, 20.10.2014.

(54) Молотильно-сепарирующее устройство с системой ориентированной подачи початков кукурузы на обмолот

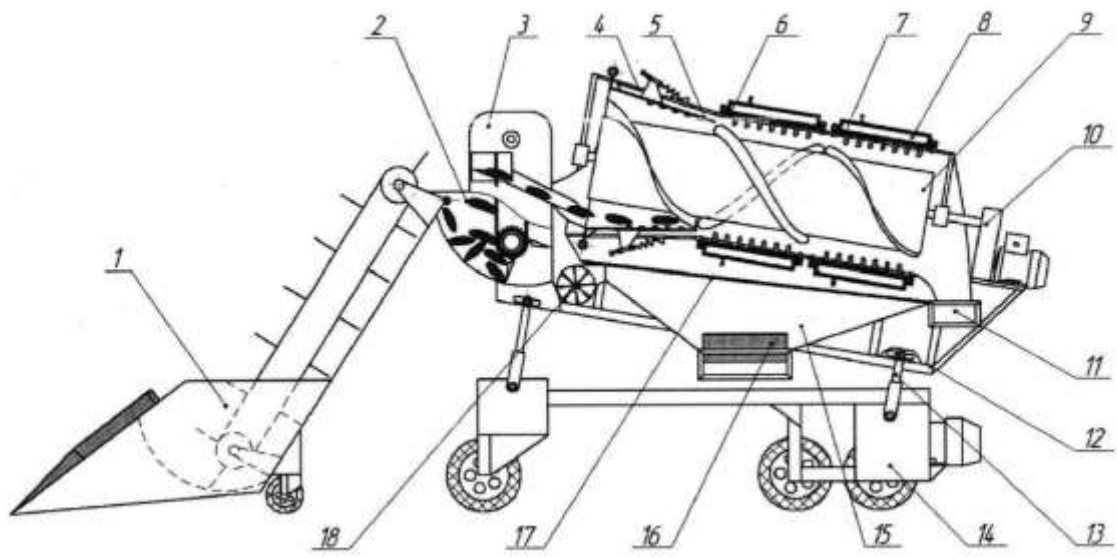
(57) Реферат:

Полезная модель относится к сельскохозяйственному, пищевому и перерабатывающему машиностроению и может быть использована при разработке молотильно-сепарирующих устройств для початков кукурузы. Предложенное молотильно-сепарирующее устройство с системой ориентированной подачи початков кукурузы на обмолот позволяет обмолачивать початки кукурузы всех целевых

назначений, а именно на фуражное, продовольственное и семенное зерно, в соответствии с агротехническими требованиями, обеспечивает снижение материалоемкости и энергоемкости процесса обмолота и повышение производительности, а также уровня технологичности молотильно-сепарирующего устройства. 4 з.п. ф-лы, 5 ил.

RU 171115 U1

RU 171115 U1



Фиг. 1

Полезная модель относится к сельскохозяйственному, пищевому и перерабатывающему машиностроению и может быть использована при разработке молотильно-сепарирующих устройств для початков кукурузы.

Известно молотильное устройство CIMBRIA MAIZ SHELLER MR 20 (Дания),  
5 содержащее стационарную раму, приемный бункер для необмолоченных початков, приводной ротор с прямыми и винтовыми лопастями, жестко закрепленную цилиндрическую прутковую деку и выгрузную горловину [1].

Известны отечественные молотильно-сепарирующие устройства для початков кукурузы МКП-12, МКП-30, содержащие приемный бункер для необмолоченных  
10 початков, приводной ротор с прямыми и винтовыми лопастями, жестко закрепленную деку в камере обмолота и подпружиненную деку в домолачивающем устройстве, стационарную раму, решето с вентилятором для очистки обмолоченного зерна и зерновой бункер [2, 3].

Известно молотильное устройство для початков кукурузы [SU 1299542 A1, 4 A01F  
15 11/06, 30.03.1987], содержащее конусный бункер для необмолоченных початков, наклонную раму, на которой расположены подпружиненная цилиндрическая дека с шипами, приводной ротор с шипами и выгрузная горловина [4].

Известно аксиально-роторное устройство для обмолота початков кукурузы [UA  
20 18265 U, A01F 11/00 (2006), 15.11.2006], содержащее приемный лоток для необмолоченных початков; раму, меняющую угол наклона, на которой расположены дека, состоящая из подпружиненных разрезных конусных труб с шипами; шнековый ротор с навивкой переменной высоты и бункер для обмолоченного зерна [5].

Известна система ориентирований подачи штучных материалов элеваторного типа,  
25 содержащая приемный бункер, цепь или ленту с приводом и установленные на ней захваты [6].

Недостатком вышеприведенных молотильно-сепарирующих устройств является то, что их рабочие органы, контактируя с початками кукурузы, наносят макро- и микроповреждения поверхностям и зародышу в зерне. Это обусловлено отсутствием системы ориентированной подачи початков кукурузы на обмолот, наличием пассивных  
30 участков деки с жестко закрепленными шипами, а также управлением величиной силового воздействия рабочих органов на зерно только за счет изменения частоты вращения ротора в узком диапазоне и регулировкой зазоров в камере обмолота. Кроме того, конструкции этих устройств материалоемкие, требуют недопустимо больших затрат энергии и в технологическом плане не эффективны, поскольку стационарные и  
35 требуют использования не только погрузчика, но и дополнительного питающего транспортера.

В основу полезной модели поставлена задача разработки передвижного молотильно-сепарирующего устройства с системой ориентированной подачи початков кукурузы на обмолот, способное без нанесения зерну макро- и микроповреждений отделять зерно  
40 от стержней початков и эффективно разделять зерностержневую смесь. Кроме того, поставлена задача управления величиной силового воздействия рабочих органов на зерно не только путем изменения частоты вращения ротора и регулировкой зазоров в камере обмолота, но и изменением силы прижатия независимых друг от друга шипов деки к зерну, находящемуся в початках кукурузы, непосредственно в процессе обмолота.  
45 Это позволяет обмолачивать початки кукурузы всех целевых назначений (фуражное, продовольственное и семенное зерно) в соответствии с агротехническими требованиями, обеспечивать снижение материалоемкости и энергоемкости процесса обмолота и повысить производительность и уровень технологичности молотильно-сепарирующего

устройства.

Поставленная задача достигается тем, что предлагаемое молотильно-сепарирующее устройство с системой ориентированной подачи початков кукурузы на обмолот содержит приемный бункер для початков кукурузы, ориентирующе-дозировующее  
 5 устройство, деку, ротор, бункер для зерна, решето, вентилятор, раму и механизм изменения угла наклона камеры обмолота относительно горизонта. При этом предлагаемое устройство оснащено поворотной ходовой частью с электроприводом, а система ориентированной подачи початков кукурузы на обмолот выполнена в виде приемного бункера для початков кукурузы, внутри которого установлено  
 10 ориентирующе-дозировующее устройство.

Сущность полезной модели поясняется чертежами, на которых показано молотильно-сепарирующее устройство с системой ориентированной подачи початков кукурузы на обмолот и части его деки:

фиг. 1 - молотильно-сепарирующее устройство с системой ориентированной подачи  
 15 початков кукурузы на обмолот, вид сбоку;

фиг. 2 - приемная коническая часть деки, состоящая из нескольких подпружиненных подвижных участков с шипами и прорезями для отвода обмолоченного зерна;

фиг. 3 - разрез приемной конической части деки по А-А на фиг. 2;

фиг. 4 - одна из нескольких цилиндрических частей деки, оснащенных независимыми  
 20 друг от друга шипами, прижатыми несколькими отдельными пневматическими подушками с гибким дном;

фиг. 5 - разрез цилиндрического участка деки по Б-Б на фиг. 4.

Молотильно-сепарирующее устройство с системой ориентированной подачи початков кукурузы на обмолот предназначено для работы как со стационарным загружающим  
 25 транспортером, так и с передвижным погрузчиком 1. Молотильно-сепарирующее устройство с системой ориентированной подачи початков кукурузы на обмолот содержит приемный бункер 2, ориентирующе-дозировующее устройство 3, конический корпус камеры обмолота 4, внутри которой расположена приемная коническая часть деки 5, состоящая из нескольких подпружиненных подвижных участков с шипами и прорезями для отвода обмолоченного зерна. При этом ориентирующе-дозировующее  
 30 устройство выполнено с возможностью подачи початков кукурузы в камеру обмолота параллельно оси ротора.

Кроме того, молотильно-сепарирующее устройство с системой ориентированной подачи початков кукурузы на обмолот содержит цилиндрическую основную 6 и  
 35 цилиндрическую домолачивающую 7 части деки, оснащенные независимыми друг от друга подвижными шипами, прижатыми несколькими отдельными пневматическими подушками 8 с гибким дном, ротор 9 с многозаходной пластинчатой и прутковой навивкой. При этом для обеспечения винтового перемещения початков кукурузы без повреждений зерна многозаходная навивка ротора 9 выполнена без острых граней,  
 40 причем вначале из пластин переменной высоты, а далее из прутка круглого сечения, выполненного в виде усеченного конуса с диаметром большего основания, равным среднему диаметру необмолоченного початка кукурузы, и с диаметром меньшего основания, равным диаметру обмолоченного стержня початка кукурузы.

Молотильно-сепарирующее устройство с системой ориентированной подачи початков  
 45 кукурузы на обмолот содержит также привод ротора 10 с механизмом регулировки его частоты вращения, выгрузную горловину для обмолоченных стержней 11, камеру обмолота на раме 12, механизм изменения угла камеры обмолота относительно горизонта 13, поворотную ходовую часть 14 с электроприводом для передвижения

устройства, бункер 15 для накопления обмолоченного зерна, горловину бункера с заслонкой 16 для выгрузки обмолоченного зерна и сепарирующую часть с решёткой 17 и вентилятором 18 для отделения от зерна легких частиц стержня, прошедших прорези в деке вместе с зерном.

5 Кроме того, первая часть деки выполнена в виде разрезного шипованного конуса, каждый участок которого подпружинен и выполнен с возможностью перемещения под действием обмолочиваемой массы в радиальном направлении, в нижнем участке конуса между шипами расположены прорези для отвода обмолоченного зерна, упругость пружин и диаметр оснований конуса, образованного подпружиненными участками  
10 выполнены регулируемые.

Следующие после первого участки деки выполнены цилиндрическими и оснащены независимыми друг от друга подвижными шипами, прижатыми несколькими отдельными пневматическими подушками с гибким дном, в нижней половине цилиндров между шипами расположены прорези для отвода обмолоченного зерна, предусмотрена  
15 регулировка давления в пневматических подушках.

Молотильно-сепарирующее устройство с системой ориентированной подачи початков кукурузы на обмолот работает следующим образом. Початки кукурузы подают погрузчиком 1 в приемный бункер 2 с ориентирующе-дозировочным устройством 3, где початки кукурузы захватывают лопатками, приводимыми в движение тяговым рабочим  
20 органом, ориентируют их в пространстве параллельно оси ротора и в данном положении подают в приемную часть деки 4. В приемной части деки початки кукурузы подхватывают пластинчатой многозаходной навивкой ротора 9, под действием которой початкам кукурузы придают винтовое движение. В результате винтового движения початки кукурузы подают в клин, образованный разрезным шипованным конусом 5  
25 приемной части, для взаимодействия с шипами и частичного обмолота. Зерно выводят из камеры обмолота через прорези в деке. Поскольку каждый участок конуса подпружинен и выполнен с возможностью перемещения под действием обмолочиваемой массы в радиальном направлении, в камере обмолота происходит увеличение зазора. С помощью увеличения зазора в камере обмолота зерно отделяют от стержня без  
30 повреждений.

Отсутствие повреждений в приемной части обусловлено еще и тем, что упругость пружин и диаметр оснований конуса, образованного подпружиненными участками, выполнены регулируемые. Упругость пружин и диаметр оснований конуса регулируют в процессе пуска-наладки и непосредственно при обмолоте.

35 Для полного обмолота початки кукурузы после приемной части подают в цилиндрическую основную часть 6, а затем в цилиндрическую домолочивающую часть 7 деки. В данных частях деки початкам кукурузы обеспечивают винтовое перемещение под действием прутковой многозаходной навивки ротора 9. При этом происходит взаимодействие початков кукурузы с независимыми друг от друга подвижными шипами,  
40 прижатыми несколькими отдельными пневматическими подушками 8 с гибким дном. В основной и домолочивающей частях деки производят как полное отделение зерна от стержней, так и эффективное разделение зерно-стержневой смеси.

Так как многозаходная навивка ротора 9 выполнена без острых граней, то этим обеспечивают винтовое перемещение початков кукурузы без повреждений зерна. Также применением независимых шипов, прижатых пневматическими подушками, исключают повреждение зерна при обмолоте, поскольку в процессе пуска-наладки и  
45 непосредственно при обмолоте изменением давления в подушках полностью регулируют силу воздействия шипов на зерно.



Зерно выводят из камеры обмолота через прорези в деке. Ротор приводят в движение от электродвигателя с механизмом регулировки частоты вращения 10. Обмолоченные стержни выводят через горловину 11. Для обеспечения эффективного движения початков от входа к выходу камера обмолота выполнена на раме 12, которая оснащена  
 5 механизмом изменения угла наклона относительно горизонта 13. Угол наклона регулируют в процессе работы для обеспечения непрерывного перемещения початков кукурузы ротором, что способствует увеличению производительности.

Обмолоченное зерно накапливают в бункере 15, горловину которого перекрывают заслонкой 16. Отверстия решета 17, установленного в верхней части бункера, продувают  
 10 посредством вентилятора 18 для отделения от зерна легких частиц стержня, прошедших прорези в деке.

Предложенное молотильно-сепарирующее устройство с системой ориентированной подачи початков кукурузы на обмолот позволяет обмолачивать початки кукурузы всех целевых назначений, а именно на фуражное, продовольственное и семенное зерно,  
 15 в соответствии с агротехническими требованиями, обеспечивает снижение материалоемкости и энергоемкости процесса обмолота и повышение производительности, а также уровня технологичности молотильно-сепарирующего устройства.

Источники информации

- 20 1. MAIZ SHELLER MR 20 [Электронный ресурс]. - Офф. сайт URL: [http://www.cimbria.com/files/filer/Solutions/Brochures/CH\\_MR\\_engl.pdf](http://www.cimbria.com/files/filer/Solutions/Brochures/CH_MR_engl.pdf).
2. Голик С.М. Хранение и обработка початков и зерна кукурузы / С.М. Голик. - М.: Колос, 1968. - С. 141-144.
3. Креймерман Г.И. Обмолот початков кукурузы / Г.И. Креймерман - М.: Колос,  
 25 1966. - С. 16-21.
4. SU 1299542 A1, 4 A01F 11/06, 30.03.1987. Молотильное устройство для початков кукурузы.
5. UA 18265 U, A01F 11/00 (2006), 15.11.2006. Аксиально-роторное устройство для обмолота початков кукурузы / Вольвак С.Ф., Бахарев Д.М. Заявл. 27.02.2006; Опубл.  
 30 15.11.2006, Бюл. №11.
6. Усенко Н.А. Автоматические загрузочно-ориентирующие устройства / Усенко Н.А., Бляхеров И.С. - М.: Машиностроение, 1984. - С. 14-15.

#### (57) Формула полезной модели

35 1. Молотильно-сепарирующее устройство с системой ориентированной подачи початков кукурузы на обмолот, содержащее приемный бункер для початков кукурузы, ориентирующе-дозировочное устройство, деку, ротор, бункер для зерна, решето, вентилятор, раму и механизм изменения угла наклона камеры обмолота относительно  
 40 горизонта, отличающееся тем, что оснащено поворотной ходовой частью с электроприводом.

2. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что ориентирующе-дозировочное устройство выполнено с возможностью подачи початков кукурузы в камеру обмолота параллельно  
 45 оси ротора.

3. Устройство по пп. 1 и 2, отличающееся тем, что первая часть деки выполнена в виде разрезного шипованного конуса, каждый участок которого подпружинен и выполнен с возможностью перемещения под действием обмолачиваемой массы в радиальном направлении, в нижнем участке конуса между шипами расположены прорези для отвода обмолоченного зерна, упругость пружин и диаметр оснований

конуса, образованного подпружиненными участками, выполнены регулируемые.

4. Устройство по пп. 1-3, отличающееся тем, что следующие после первого участка деки выполнены цилиндрическими и оснащены независимыми друг от друга подвижными шипами, прижатыми несколькими отдельными пневматическими подушками с гибким дном, в нижней половине цилиндров между шипами расположены прорези для отвода обмолоченного зерна, предусмотрена регулировка давления в пневматических подушках.

5. Устройство по пп. 1-4, отличающееся тем, что в начале ротора многозаходная наливка изготовлена из пластин переменной высоты, а далее из прутка круглого сечения, выполненного в виде усеченного конуса с диаметром большего основания, равным среднему диаметру необмолоченного початка кукурузы, и с диаметром меньшего основания, равным диаметру обмолоченного стержня початка кукурузы.

15

20

25

30

35

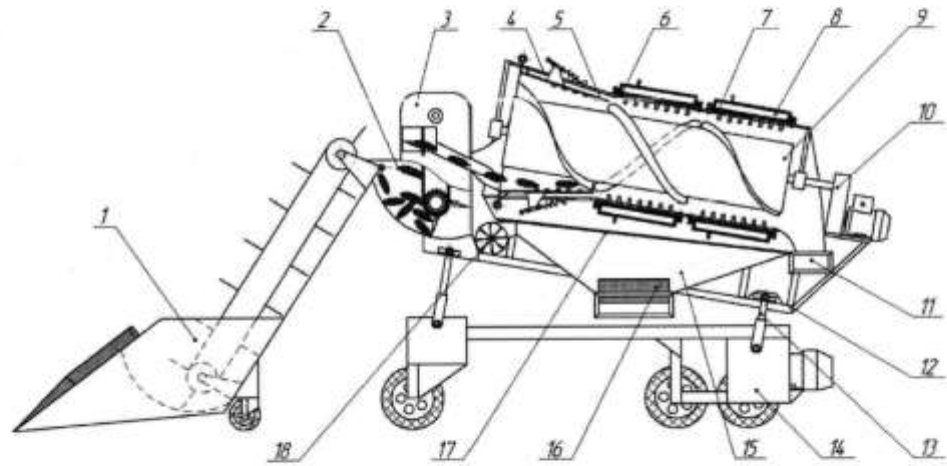
40

45

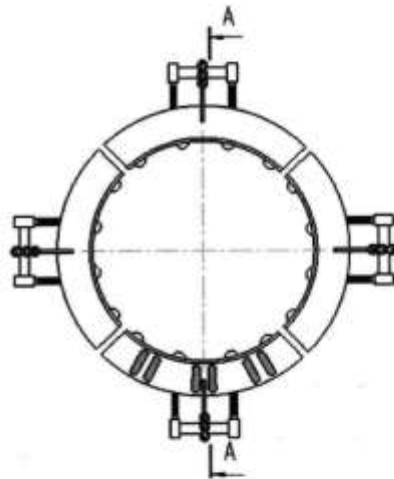
1

1

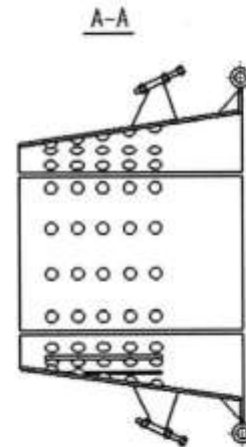
**Молотильно-сепарирующее устройство с системой ориентированной подачи початков кукурузы на обмолот**



Фиг. 1



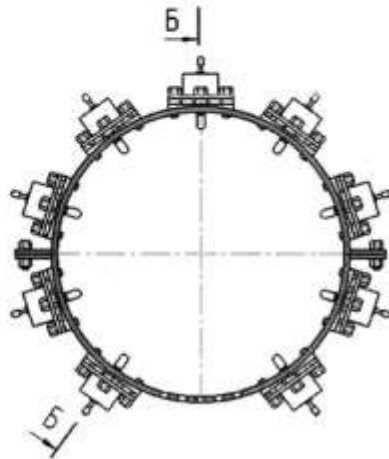
Фиг. 2



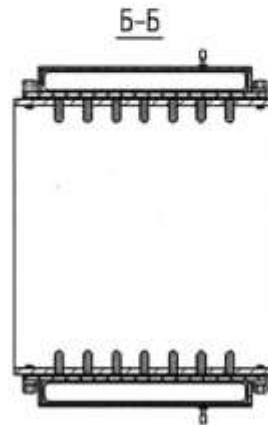
Фиг. 3

2

Молотильно-сепарирующее устройство с системой ориентированной подачи початков кукурузы на обмолот



Фиг. 4



Фиг. 5

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 196681

### Устройство поэтапного обмолота початков семенной кукурузы

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина" (RU)*

Авторы: *Бахарев Дмитрий Николаевич (RU), Вольвак Сергей Федорович (RU), Пастухов Александр Геннадиевич (RU), Сафонов Владимир Александрович (RU)*

Заявка № 2019142582

Приоритет полезной модели 16 декабря 2019 г.

Дата государственной регистрации в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 11 марта 2020 г.

Срок действия исключительного права на полезную модель истекает 16 декабря 2029 г.

*Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности*

 *Г.П. Налиев*





(51) МПК  
*A01F 11/06 (2006.01)*  
 (52) СПК  
*A01F 11/06 (2020.01)*

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

**(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ**

Статус: действует (последнее изменение статуса: 11.03.2020)

(21)(22) Заявка: [2019142582](#), 16.12.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
 16.12.2019

Дата регистрации:  
 11.03.2020

Приоритет(ы):  
 (22) Дата подачи заявки: 16.12.2019

(45) Опубликовано: [11.03.2020](#) Бюл. № 8

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
 поиске: RU 171115 U1, 22.05.2017. SU  
 1824083 A1, 30.06.1993. UZ 736 U,  
 31.07.2012. CN 107517664 A, 29.12.2017.

Адрес для переписки:  
 308503, Белгородская обл., Белгородский  
 р-н, п. Майский, ул. Вавилова, 24, ФГБОУ  
 ВО Белгородский ГАУ, Н.Е. Крючковой

(72) Автор(ы):

**Бахарев Дмитрий Николаевич (RU),  
 Вольвак Сергей Федорович (RU),  
 Пастухов Александр Геннадиевич (RU),  
 Сафонов Владимир Александрович (RU)**

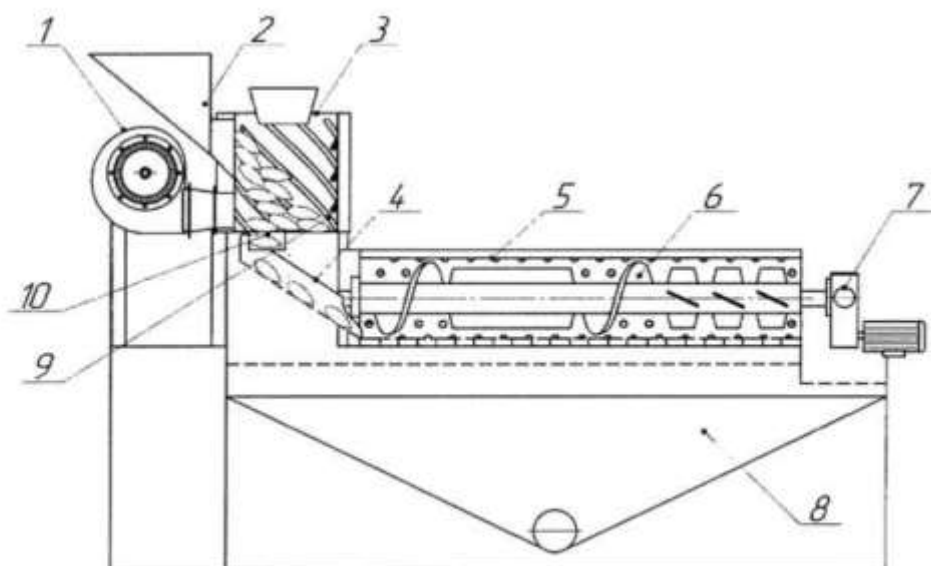
(73) Патентообладатель(и):

**Федеральное государственное бюджетное  
 образовательное учреждение высшего  
 образования "Белгородский  
 государственный аграрный университет  
 имени В.Я. Горина" (RU)**

(54) Устройство поэтапного обмолота початков семенной кукурузы

(57) Реферат:

Полезная модель относится к сельскохозяйственному машиностроению и может быть использована при разработке устройств для обмолота початков семенной кукурузы в условиях первичного семеноводства. Предложенное устройство поэтапного обмолота початков семенной кукурузы позволяет повысить производительность устройства, снизить энергоемкость процесса, уменьшить металлоемкость конструкции и минимизировать количество повреждений зерна путем частичного обмолота початков в процессе их ориентирования перед подачей в молотильную камеру. 3 ил.



Фиг. 1

Полезная модель относится к сельскохозяйственному машиностроению, и может быть использована при разработке устройств для обмолота початков семенной кукурузы в условиях первичного семеноводства.

Известен способ обмолота и очистки зерна и устройство для его осуществления (RU 2269887 C2, A01F 12/18 (2006.01), 20.02.2006), в котором обмолачиваемый материал перемешают воздушным потоком, при этом конструкция устройства содержит вихревую трубу, нагнетательный вентилятор и отводящие тангенциальные пневмопроводы [1].

Известен способ обмолота зерна и устройство для его осуществления (SU 1375177 A1, A01D 91/00 (2000.01), A01F 12/18 (2000.01), 23.02.1988), в котором вращение обмолачиваемой культуры осуществляют механическим путем совместно с вращением ее газовым потоком, при этом конструкция устройства содержит приемники для зерна, вихревую трубу с сопловым выводом, диафрагму с перфорациями, окно с задвижкой, электродвигатель и вентилятор [2].

Основным недостатком данных устройств является большая материалоемкость конструкции и высокая энергоемкость процесса, что обусловлено стремлением обеспечить минимальный процент поврежденного зерна, реализовать полный обмолот хаотично перемещающихся початков в вихревой трубе за один цикл без предварительной подготовки. Кроме того, в конструкциях устройств отсутствуют интенсификаторы вихревого потока, что снижает его движущую способность.

Известно молотильно-сепарирующее устройство с системой ориентированной подачи початков кукурузы на обмолот (RU 171115 U1, A01F 11/06 (2006.01), 22.05.2017), в котором початки предварительно ориентируют в пространстве параллельно оси ротора, а затем подают в молотильную камеру. При этом устройство содержит приемный бункер для початков кукурузы, ориентирующе-дозировочное устройство, деку, ротор, бункер для зерна, решето, вентилятор, раму и механизм изменения угла наклона камеры обмолота относительно горизонта [3].

Основным недостатком данного устройства является отсутствие возможности без повреждений зерна частично обмолачивать початки кукурузы в процессе их ориентирования перед подачей в молотильную камеру, что снижает производительность устройства и повышает энергоемкость процесса обмолота.

В основу конструкции устройства поэтапного обмолота початков семенной кукурузы поставлена задача повышения производительности устройства, снижения энергоемкости процесса, уменьшения металлоемкости конструкции и минимизации количества повреждений зерна путем частичного обмолота початков в процессе их ориентирования перед подачей в аксиально-роторную молотилку.

Это достигается тем, что устройство поэтапного обмолота початков семенной кукурузы содержит загрузочное приспособление для перемещения початков кукурузы посредством вихревого воздушного потока, осуществления этапа частичного обмолота початков кукурузы и в строго определенном пространственном положении подачи подготовленных початков в аксиально-роторную молотилку для осуществления основного этапа обмолота и домолота початков в труднообмолачиваемых местах. При этом внутренняя поверхность загрузочного бункера снабжена интенсификаторами вихревого потока в виде прутков, соединенных

с бункером по спирали, чем обеспечивают локальные завихрения на периферии воздушного вихря, созданного посредством тангенциальной подачи воздуха от вентилятора внутрь бункера возле его дна. Локальными завихрениями увеличивают несущую способность вихревого воздушного потока и, свою очередь, силу трения початков кукурузы друг о друга и о внутреннюю поверхность бункера с интенсификаторами, чем обеспечивают частичный обмолот и изменение их положения в пространстве, что позволяет вывести початки кукурузы сквозь выгрузное окно в дне загрузочного бункера и по лотку подать в аксиально-роторную молотилку.

Сущность полезной модели поясняется чертежами, на которых показано устройство поэтапного обмолота початков семенной кукурузы и загрузочное приспособление:

фиг. 1 - устройство поэтапного обмолота початков семенной кукурузы, вид сбоку;

фиг. 2 - загрузочное приспособление в изометрии, вид сзади;

фиг. 3 - загрузочное приспособление в изометрии, вид спереди с разрезом по А-А на фиг. 2.

Конструкция устройства поэтапного обмолота початков семенной кукурузы состоит из загрузочного приспособления с вентилятором 1, горловиной 2, загрузочным бункером 3 и лотком 4, аксиально-роторной молотилки 5 с ротором 6 и приводом от электродвигателя и редуктора 7, бункера обмолоченного зерна 8. Загрузочное приспособление выполнено с возможностью перемещения початков кукурузы в загрузочном бункере 3 посредством вихревого воздушного потока и подачи початков кукурузы по лотку 4 в аксиально-роторную молотилку 5. При этом внутренняя поверхность загрузочного бункера 3 снабжена интенсификаторами 9 вихревого воздушного потока в виде прутков, соединенных с загрузочным бункером 3 по спирали, для создания локальных завихрений на периферии вихревого воздушного потока и увеличения его несущей способности, обеспечения частичного обмолота и изменения положения в пространстве початков кукурузы, подачи частично обмолоченных початков кукурузы через выгрузное окно 10 в дне загрузочного бункера 3 и по лотку 4 в аксиально-роторную молотилку 5. Кроме того, дно загрузочного бункера 3 и дно лотка 4 выполнены решетчатыми для отвода обмолоченного зерна в загрузочном бункере 3 в бункер обмолоченного зерна 8.

Устройство поэтапного обмолота початков семенной кукурузы работает следующим образом. Загруженные в горловину 2 початки кукурузы самотеком подаются в загрузочный бункер 3, в который возле его дна вентилятором 1 тангенциально подают воздух под напором. Создаваемый вихревой воздушный поток способствует перемещению початков кукурузы в загрузочном бункере 3 и заставляет початки кукурузы тереться друг о друга и о внутреннюю поверхность загрузочного бункера 3 с интенсификаторами 9, что на первом этапе позволяет частично обмолачивать початки кукурузы. С помощью вихревого воздушного потока частично обмолаченным початкам кукурузы изменяют пространственное положение и подают их сквозь окно 10 в дне загрузочного бункера 3 и по лотку 4 в аксиально-роторную молотилку 5, где под действием вращающегося ротора 6 с приводом от электродвигателя и редуктора 7 осуществляют этапы основного обмолота и домолота початков кукурузы в труднообмолачиваемых местах. При этом обмолоченное зерно в загрузочном бункере 3 через решетчатое дно лотка 4, а также обмолоченное зерно в аксиально-роторной молотилке 5 отводят в бункер обмолоченного зерна 8.

Предложенное устройство поэтапного обмолота початков семенной кукурузы позволяет повысить производительность устройства, снизить энергоемкость процесса, уменьшить металлоемкость конструкции и минимизировать количество повреждений зерна путем частичного обмолота початков в процессе их ориентирования перед подачей в аксиально-роторную молотилку.

Источники информации

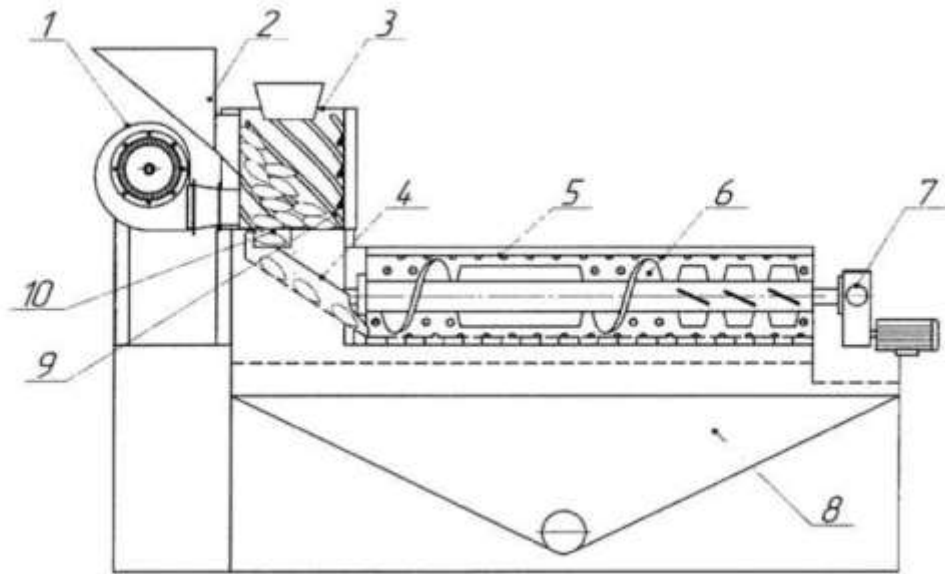
1. RU 2269887 C2, A01F 12/18 (2006.01), 20.02.2006. Способ обмолота и очистки зерна и устройство для его осуществления.
2. SU 1375177 A1, A01D91/00 (2000.01), A01F 12/18 (2000.01), 23.02.1988. Способ обмолота зерна и устройство для его осуществления.
3. RU 171115 U1, A01F 11/06 (2006.01), 22.05.2017. Молотильно-сепарирующее устройство с системой ориентированной подачи початков кукурузы на обмолот.

#### Формула полезной модели

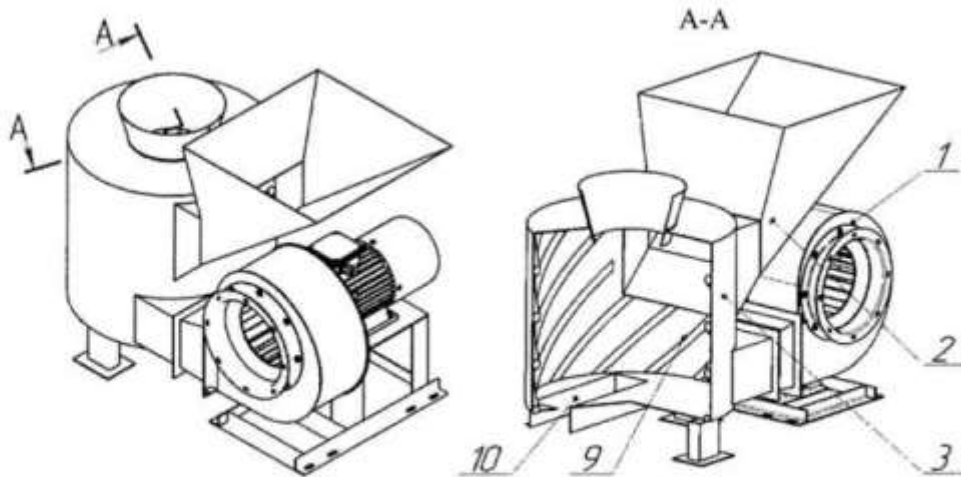
Устройство поэтапного обмолота початков семенной кукурузы, содержащее загрузочное приспособление, вентилятор, горловину, загрузочный бункер, лоток, аксиально-роторную молотилку, ротор, привод от электродвигателя и редуктора, бункер обмолоченного зерна, отличающееся тем, что загрузочное приспособление выполнено с возможностью перемещения початков кукурузы в загрузочном бункере посредством вихревого воздушного потока и подачи початков кукурузы по лотку в аксиально-роторную молотилку, при этом внутренняя поверхность загрузочного



бункера снабжена интенсификаторами вихревого воздушного потока в виде прутков, соединенных с загрузочным бункером по спирали, для создания локальных завихрений на периферии вихревого воздушного потока и увеличения его несущей способности, обеспечения частичного обмолота и изменения положения в пространстве початков кукурузы, подачи частично обмолоченных початков кукурузы через выгрузное окно в дне загрузочного бункера и по лотку в аксиально-роторную молотилку, кроме того, дно загрузочного бункера и дно лотка выполнены решетчатыми для отвода обмолоченного зерна в загрузочном бункере в бункер обмолоченного зерна.



Фиг. 1



Фиг. 2

Фиг. 3

УКРАЇНА



# ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 86546

ДОМОЛОЧУЮЧИЙ АПАРАТ МОЛОТАРКИ КУКУРУДЗИ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі **10.01.2014**.

Голова Державної служби  
інтелектуальної власності України

М.В. Ковіня





ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **86546** (13) **U**  
(51) МПК (2013.01)  
A01F 11/00

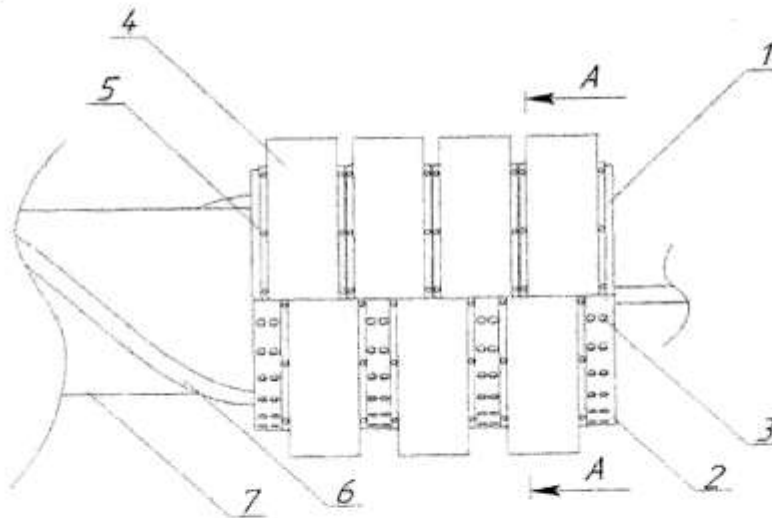
**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

(21) Номер заявки: <b>u 2013 04614</b>	(72) Винахідник(и): <b>Брагінець Миколай Володимирович (UA), Бахарев Дмитро Миколайович (UA), Бурнукін Андрій Євгенович (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>12.04.2013</b>	(73) Власник(и): <b>ЛУГАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, м. Луганськ-8, 91008 (UA)</b>
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>10.01.2014</b>	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>10.01.2014, Бюл.№ 1</b>	

**(54) ДОМОЛОЧУЮЧИЙ АПАРАТ МОЛОТАРКИ КУКУРУДЗИ**

**(57) Реферат:**

Домолочуючий апарат молотарки кукурудзи складається з ротору та деки. Ротор домолочуючого апарата є суцільним з ротором молотарки кукурудзи. Дека складається з двох незалежних частин, верхньої та нижньої, по усьому колу деки знаходяться шипи, верхня частина яких закрита пневмоподушками, при цьому всі шипи працюють незалежно один від одного.



Фіг. 1

**UA 86546 U**

Корисна модель належить до галузі сільськогосподарського машинобудування, зокрема до конструкцій домолочуючих апаратів молотарок кукурудзи.

Аналоги домолочуючих апаратів використовуються в таких молотарках кукурудзи як МКП - 12, МКП - 30, MAIZ SHELLER MR 20 (Шпаар Д. Кукуруза / Д. Шпаар, В. Шлапунов - Мн.: Беларуская навука, 1998. - 200 с, Креймерман Г. И. Обмолот початков кукурузы / Креймерман Г. И. - М.: Колос, 1966. - 104 с).

Конструкція даних домолочуючих апаратів включає в себе ротор, активну чи пасивну деку. Ротор, як правило, оснащений лопатями, які можуть бути як прямими, так і криволінійної форми. В свою чергу дека може бути виконана у вигляді суцільного чи розбірного циліндру. Домолочуючий апарат дозволяє проводити процес обмолочування кукурудзи на більш м'яких режимах, тим самим підвищуючи якість обмолоченого зерна кукурудзи. Завдяки домолочуючому апарату також значно зменшуються показники недомолоту.

Недоліками домолочуючих апаратів МКП - 12, МКП - 30 і SHELLER MR 20 є висока енергоємність процесу обмолоту. Також, дані домолочуючі апарати не є дискретними. Тобто, основна камера обмолоту і домолочуючий апарат є суцільним вузлом. В свою чергу, це не уможливило роботу тільки однієї камери обмолоту. І як наслідок, при виході з ладу домолочуючого апарату, подальша експлуатація молотарки кукурудзи, яка укомплектована даним пристроєм, стає неможливою.

Найбільш близьким прототипом нашого домолочуючого апарата є домолочуючий апарат кукурудзомолотарки МКП - 30. Він включає в себе шнек, який до кінця камери домолочуючого апарата збільшується в діаметрі. Тим самим, збільшення діаметра шнека призводить до утруднення виведення продуктів обмолоту з домолочувальної камери. І як наслідок - підвищується механічне пошкодження зерен кукурудзи. Дека домолочувального апарата складається з підпружинених секторів. У свою чергу велика кількість пружин ускладнює регулювання незалежних секторів. Якщо виходить з ладу хоча б один сектор деки, подальша експлуатація камери домолоту стає неефективною.

В основу корисної моделі поставлена задача розробити домолочуючий апарат, який би забезпечував якісний домолот качанів кукурудзи всіх цільових призначень (насінове, продовольче та фуражне) відповідно до агровиимог, очищенню зерна, мав би мінімальну матеріал- та енергоємність. Також, домолочуючий апарат повинен бути автономним і незалежним від основної камери обмолочування молотарки кукурудзи.

Поставлена задача досягається тим, що домолочуючий апарат складається з 2-х основних вузлів. Першим вузлом є ротор, другим - активна дека, яка в свою чергу складається з кількох частин. Безпосередньо сама дека має циліндричну форму та отвори по всій площі і складається з верхньої та нижньої частини. Верхня частина деки має отвори тільки під шипи. Нижня частина деки, окрім отворів під шипи, має так само отвори для виведення зерна з камери обмолочування.

При цьому з п. 1 виходить, що при збільшенні зазору між ротором і двома частинами деки, а саме, відводячи одну частину деки від ротора вгору, а другу вниз, дека виводиться з робочого процесу і домолочуючий апарат перестає працювати. Виведення домолочуючого апарату з робочого процесу використовується при обмолоті зерна фуражного цільового призначення, коли режими обмолочування жорсткі і немає необхідності в раціональному розподілі ударного навантаження на качани.

Також, з п. 1 та 2 виходить, що шипи розташовано по всьому колу деки і встановлені незалежно один від одного. Це досягається за допомогою застосування пневмоподушок, які встановлюються на зовнішню поверхню деки і закривають шипи. У верхній частині шипа знаходиться упорна пластина. Саме вона безпосередньо взаємодіє з пневмоподушкою. Пневмоподушка, в свою чергу, складається з металевого корпусу і гумової підшви, яка взаємодіє з шипами. Внутрішня порожнина пневмоподушок заповнюється повітрям крізь штуцер з золотником, який встановлений на зовнішній частині пневмоподушки. Усі пневмоподушки незалежні між собою, і при виході з ладу будь-якої пневмоподушки, це суттєво не вплине на ефективність роботи домолочуючого пристрою в цілому.

На фіг. 1 зображено домолочуючий апарат з активною декою, вигляд з боку.

На фіг. 2 зображені схема розташування шипів в деці. А також місце роз'єднання верхньої і нижньої частин деки.

На фіг. 3 зображено розріз деки і верхніх пневмоподушок, а також схема розташування ротора в домолочуючому апараті.

На фіг. 4 зображено схему пневмоподушки.

Домолочуючий апарат включає в себе ротор, деку, шипи і пневмоподушки. Дека складається з двох частин, верхньої 1 та нижньої 2. Як верхня, так і нижня частини деки містять

5 отвори під шипи 3, 18. Нижня частина деки містить додаткові отвори 17 для виведення обмолоченого зерна з камери обмолочування. Качани кукурудзи з основної камери обмолочування кукурудзомолотарки подаються в домолочуючий апарат за допомогою ротора 7, який має спіральну навивку 6. В свою чергу, ротор камери домолочування має спіральну навивку, яка складається з прутків. Увесь ротор знаходиться на валу 13. Рухаючись по домолочуючому апарату, всі качани взаємодіють з шипами 10, при взаємодії з якими і відбувається процес відокремлення зерен від стрижнів.

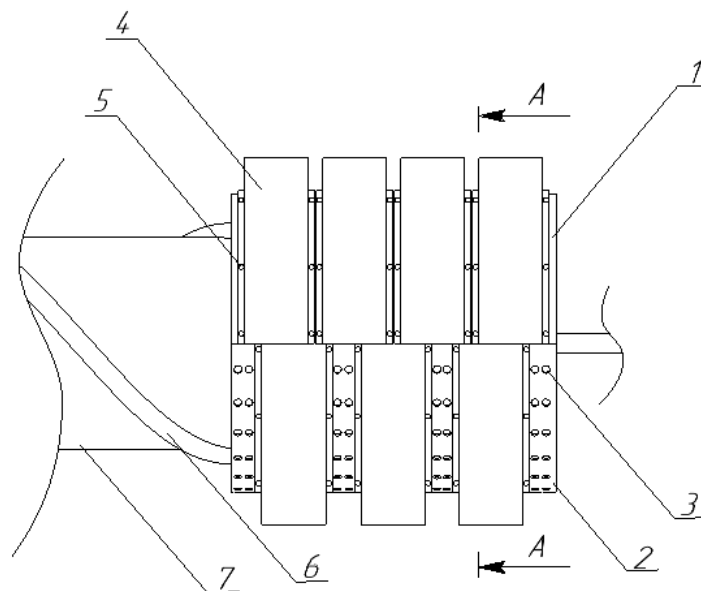
10 По всьому колу деки, шипи закриті пневмоподушками 4, які кріпляться до деки за допомогою болтів 5. Пневмоподушка являє собою амортизатор для шипів, і не дає їм повністю виходити з отворів в деці. При цьому упорні пластини, які виконані у формі диска і знаходяться на верхній частині шипа, втискаються в гумову підшуву 17 пневмоподушки. Упорні пластини можуть переміщуватися перпендикулярно деці, долаючи опір пневмоподушки. За допомогою шпильки 8, яка має праву різьбу у верхній частині, і відповідно - ліву, в нижній частині, верхня і нижня частини деки відводяться від ротора.

15 Між ротором і декою збільшується зазор, тим самим домолочуючий апарат виводиться з робочого положення.

20 Корпус 19 пневмоподушки металевий. Внутрішня частина пневмоподушки 14 заповнюється повітрям крізь штуцер з золотником 9. Тим самим в пневмоподушці створюється тиск, за рахунок якого шипи в стані спокою притиснуті до деки. При проходженні качанів по камері домолочуючого апарата шипи починають незалежно один від одного рухатися, створюючи перешкоду для вільного проходження недомолочених качанів кукурудзи, тим самим сприяючи остаточному відокремленню зерна від стрижня.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

- 25 1. Домолочуючий апарат молотарки кукурудзи, що має ротор, деку, пневмоподушки та шипи, який **відрізняється** тим, що для підвищення якості домолочування качанів кукурудзи з достатньою продуктивністю, мінімальною енергоємністю та матеріалоемністю ротор домолочуючого апарата молотарки кукурудзи є суцільним з ротором основної камери обмолочування молотарки кукурудзи та має чотири спіральні навивки, а дека є незалежною від
- 30 основної камери обмолочування і оснащена пневмоподушками, також на деці встановлені шипи, які є рухомими.
- 35 2. Домолочуючий апарат молотарки кукурудзи за п. 1, який **відрізняється** тим, що дека складається з частин, які, з метою виведення з роботи, виконані з можливістю відводитися вгору та вниз.
3. Домолочуючий апарат молотарки кукурудзи за п. 1 та п. 2, який **відрізняється** тим, що дека оснащена незалежними шипами, рух яких обмежується за допомогою пневмоподушок та безпосередньо самої деки.



- (21) Номер заявки: **u 2013 04614**
- (22) Дата подання заявки: **12.04.2013**
- (24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **10.01.2014**
- (46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: **10.01.2014, Бюл. № 1**

(72) Винахідники:  
**Брагінець Миколай  
Володимирович, UA,  
Бахарев Дмитро  
Миколайович, UA,  
Бурнукін Андрій Євгенович,  
UA**

(73) Власник:  
**ЛУГАНСЬКИЙ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ,  
м. Луганськ-8, 91008, UA**

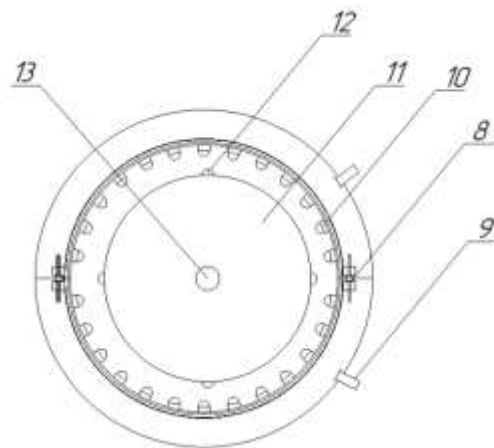
(54) Назва корисної моделі:

**ДОМОЛОЧУЮЧИЙ АПАРАТ МОЛОТАРКИ КУКУРУДЗИ**

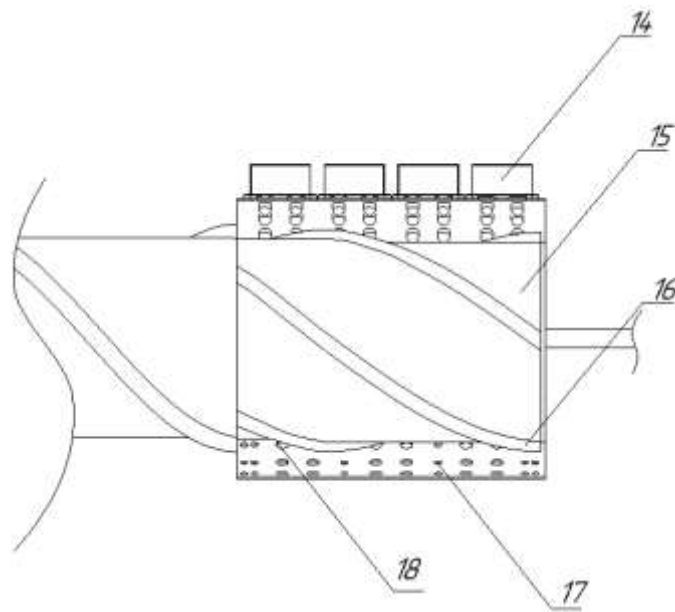
(57) Формула корисної моделі:

1. Домолочуючий апарат молотарки кукурудзи, що має ротор, деку, пневмоподушки та шипи, який відрізняється тим, що для підвищення якості домолочування качанів кукурудзи з достатньою продуктивністю, мінімальною енергоємністю та матеріалоємністю ротор домолочуючого апарата молотарки кукурудзи є суцільним з ротором основної камери обмолочування молотарки кукурудзи та має чотири спіральні навівки, а дека є незалежною від основної камери обмолочування і оснащена пневмоподушками, також на деці встановлені шипи, які є рухомими.
2. Домолочуючий апарат молотарки кукурудзи за п. 1, який відрізняється тим, що дека складається з частин, які, з метою виведення з роботи, виконані з можливістю відводитися вгору та вниз.
3. Домолочуючий апарат молотарки кукурудзи за п. 1 та п. 2, який відрізняється тим, що деку оснащено незалежними шипами, рух яких обмежується за допомогою пневмоподушок та безпосередньо самої деки.

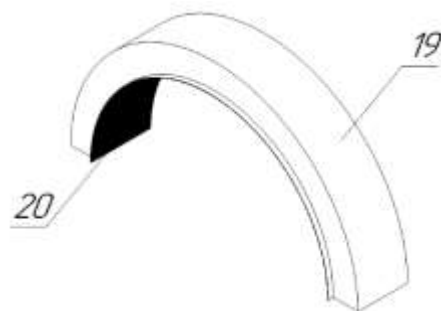
UA 86546 U



Фиг2



Фиг3



Фиг4

Комп'ютерна верстка В. Мацело

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 180093

**Ориентирующе-дозировочное устройство для початков  
кукурузы**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
"Белгородский государственный аграрный университет  
имени В.Я. Горина" (RU)*

Авторы: *Бахарев Дмитрий Николаевич (RU),  
Вольвак Сергей Федорович (RU)*

Заявка № 2018104350

Приоритет полезной модели 05 февраля 2018 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных  
моделей Российской Федерации 04 июня 2018 г.

Срок действия исключительного права

на полезную модель истекает 05 февраля 2028 г.



*Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

*Г.П. Ивлиев*





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
A01F 11/06 (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2018104350, 05.02.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
05.02.2018

Дата регистрации:  
04.06.2018

Приоритет(ы):  
(22) Дата подачи заявки: 05.02.2018

(45) Опубликовано: 04.06.2018 Бюл. № 16

Адрес для переписки:  
308503, Белгородская обл., Белгородский р-н, п.  
Майский, ул. Вавилова, 24, ФГБОУ ВО  
Белгородский ГАУ, Н.Е. Крючковой

(72) Автор(ы):  
Бахарев Дмитрий Николаевич (RU),  
Вольвак Сергей Федорович (RU)

(73) Патентообладатель(и):  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Белгородский государственный  
аграрный университет имени В.Я. Горина"  
(RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 171115 U1, 22.05.2017. RU  
167635 U1, 10.01.2017. SU 1055392 A1,  
23.11.1983. SU 457442 A1, 25.01.1975.

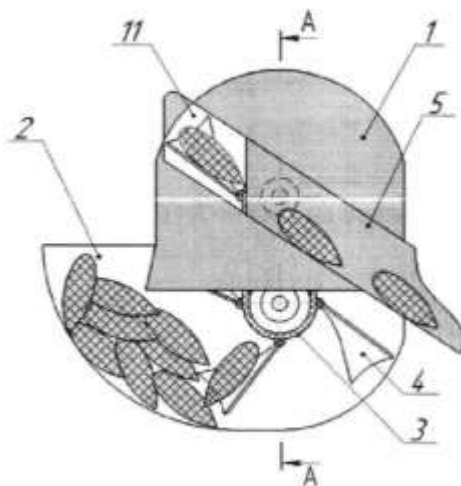
(54) Ориентирующе-дозировующее устройство для початков кукурузы

(57) Реферат:

Полезная модель относится к сельскохозяйственному, пищевому и перерабатывающему машиностроению и может быть использована при разработке ориентирующе-дозировующих устройств для початков кукурузы. Предложенное ориентирующе-дозировующее устройство для початков кукурузы эффективно при работе с початками кукурузы любых размеров, позволяет

обеспечить высокую производительность. Ориентирующе-дозировующее устройство для початков кукурузы обладает низкой материалоемкостью, позволяет ориентировать початки кукурузы в пространстве и осуществлять их дозирование с минимальными затратами энергии.

2 з.п. ф-л: 4 ил.



Полезная модель относится к сельскохозяйственному, пищевому и перерабатывающему машиностроению и может быть использована при разработке ориентирующе-дозировочных устройств для початков кукурузы.

Известна система ориентированной подачи штучных материалов элеваторного типа, содержащая приемный бункер, цепь или ленту с приводом, и установленные на ней захваты [1].

Известно устройство для ориентированной подачи початков кукурузы в молотилку [UA 85886 U, A01F 11/00, 10.12.2013], содержащее бункер для предварительного ориентирования початков, цепь с приводом, лопатки для захвата початков, оснащенные вспомогательными ориентирующими пластинами и выгрузной лоток [2].

Известно молотильно-сепарирующее устройство с системой ориентированной подачи початков кукурузы на обмолот, выполненной в виде приемного бункера для початков кукурузы, внутри которого установлено ориентирующе-дозировочное устройство [RU 171115 U1, A01F 11/06 (2006.01), 22.05.2017], оснащенное лопатками, приводимыми в движение тяговым рабочим органом [3].

Основным недостатком данных устройств является большая материалоемкость конструкции и низкая эффективность при работе с початками кукурузы, имеющими коническую форму. Также, данные устройства неэффективно работают в условиях, когда необходимо осуществлять ориентированную подачу штучных материалов значительно отличающихся по размерам. Початки кукурузы различных подвидов значительно отличаются по размерам. Таким образом, уровень ориентирующе-дозировочной техники для початков кукурузы не соответствует современным требованиям.

В основу полезной модели поставлена задача разработки ориентирующе-дозировочного устройства для початков кукурузы любых размеров, обладающего высокой производительностью и минимальной материалоемкостью и способного эффективно ориентировать початки кукурузы в пространстве и дозировать их с минимальными затратами энергии.

Поставленная задача достигается тем, что ориентирующе-дозировочное устройство для початков кукурузы содержит корпус, накопительный бункер, выгрузной лоток и приводной тяговый орган с закрепленными на нем криволинейными лопатками с одной прямой стороной, а второй - ассиметрично плавно изогнутой на угол превышающий угол естественного откоса початков кукурузы. Кроме того, каждая криволинейная лопатка оснащена регулируемой сбрасывающей пластиной, для изменения угла установки которой предусмотрено перемещение фиксирующего винта в прорези. При этом криволинейные лопатки соединены с тяговым органом посредством креплений, с возможностью изменения угла крепления лопаток относительно тягового органа путем переустановки многогранных осей.

Сущность полезной модели поясняется чертежами, на которых показано ориентирующе-дозировочное устройство для початков кукурузы и его рабочие органы: фиг. 1 - ориентирующе-дозировочное устройство для початков кукурузы, вид сбоку; фиг. 2 - ориентирующе-дозировочное устройство для початков кукурузы, вид спереди по А-А на фиг. 1;

фиг. 3 - вид сверху криволинейной лопатки со сбрасывающей пластиной по стрелке Б на фиг. 1;

фиг. 4 - вид сбоку криволинейной лопатки по стрелке В на фиг. 3.

Ориентирующе-дозировочное устройство для початков кукурузы состоит из корпуса 1 с накопительным бункером 2, форма и наклон стенок которого предназначены для

предварительного ориентирования початков кукурузы в пространстве. В корпусе установлен приводной тяговый орган 3, к которому прикреплены криволинейные лопатки 4. В верхней части корпуса установлен выгрузной лоток 5. Для привода тягового органа в движение предусмотрен двигатель 6. Криволинейные лопатки соединены с тяговым органом посредством креплений 7, с возможностью изменения угла крепления лопаток относительно тягового органа путем переустановки многогранных осей 8. Каждая криволинейная лопатка оснащена сбрасывающей пластиной 9. Для изменения угла установки сбрасывающей пластины предусмотрен фиксирующий винт в прорези 10.

Ориентирующе-дозировующее устройство для початков кукурузы работает следующим образом. Початки кукурузы загружают в накопительный бункер 2 ориентирующе-дозировующего устройства. Форма и наклон стенок накопительного бункера обеспечивают предварительное ориентирование початков кукурузы в пространстве, способствующее их эффективному захвату криволинейными лопатками 4, которые перемещают вертикально сквозь несколько слоев початков кукурузы, предварительно сориентированных бункером 2. Все криволинейные лопатки расположены под определенным углом относительно тягового органа, что позволяет каждой криволинейной лопатке отделить из массы початков кукурузы один, который в определенный момент оказался в благоприятном для захвата положении. На поверхности криволинейной лопатки 4 початок кукурузы занимает уравновешенное положение под действием силы тяжести, направление действия которой изменяется ассиметрично плавно изогнутой стороной лопатки, ее углом наклона относительно тягового органа и углом установки сбрасывающей пластины 9.

В данном случае уравновешенное положение - это такое положение, при котором початок кукурузы сориентирован параллельно прямой стороне криволинейной лопатки. При этом обеспечена максимальная площадь контакта початка с ориентирующими поверхностями. Процесс ориентирования подходит к концу тогда, когда ориентирующий орган подает уравновешенный початок кукурузы в выгрузное окно 11, где снова под действием силы тяжести початок кукурузы соскальзывает с ориентирующего органа и в требуемом положении движется по выгрузному лотку 5.

Предложенное ориентирующе-дозировующее устройство для початков кукурузы эффективно при работе с початками любых размеров, позволяет обеспечить высокую производительность. Ориентирующе-дозировующее устройство для початков кукурузы обладает низкой материалоемкостью, позволяет ориентировать початки в пространстве и осуществлять их дозирование с минимальными затратами энергии.

#### Источники информации

1. Усенко Н.А., Бляхеров И.С. Автоматические загрузочно-ориентирующие устройства. М.: Машиностроение, 1984. С. 14-15.
2. UA 85886 U, A01F 11/00, 10.12.2013. Устройство для ориентированной подачи початков кукурузы в молотилку.
3. RU 171115 U1, A01F 11/06 (2006.01), 22.05.2017. Молотильно-сепарирующее устройство с системой ориентированной подачи початков кукурузы на обмолот.

#### (57) Формула полезной модели

1. Ориентирующе-дозировующее устройство для початков кукурузы, содержащее корпус, накопительный бункер, выгрузной лоток и приводной тяговый орган с закрепленными на нем криволинейными лопатками, отличающееся тем, что криволинейные лопатки выполнены с одной прямой стороной, а второй - ассиметрично

плавной изогнутой на угол, превышающий угол естественного откоса початков кукурузы.

2. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что каждая криволинейная лопатка оснащена регулируемой сбрасывающей пластиной, для изменения угла установки которой предусмотрено перемещение фиксирующего винта в прорези.

5 3. Устройство по пп. 1 и 2, отличающееся тем, что криволинейные лопатки соединены с тяговым органом посредством креплений, с возможностью изменения угла крепления лопаток относительно тягового органа путем переустановки многогранных осей.

10

15

20

25

30

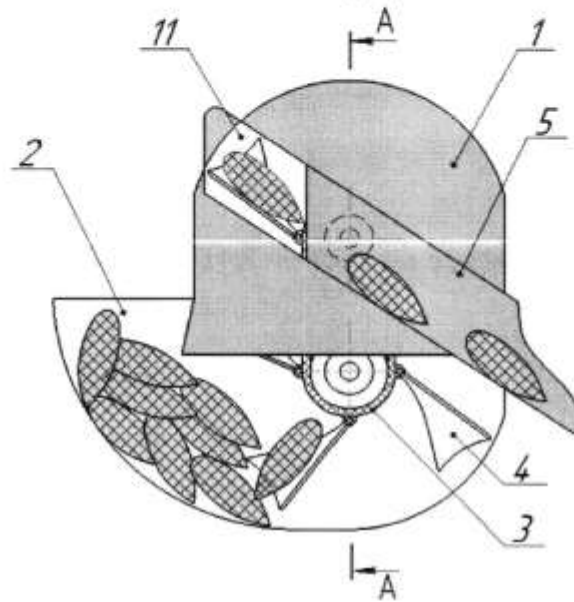
35

40

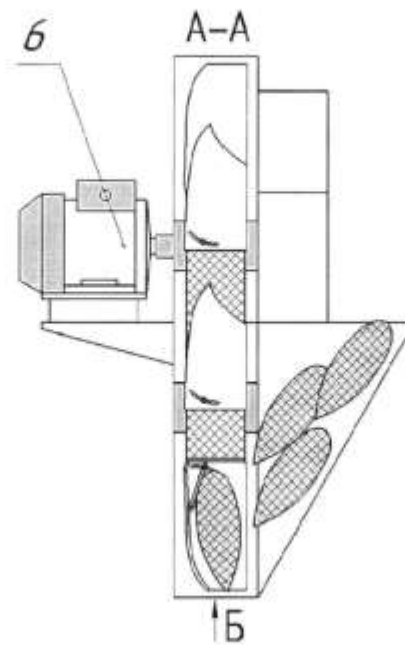
45

1

**Ориентирующе-дозировочное устройство для початков кукурузы**



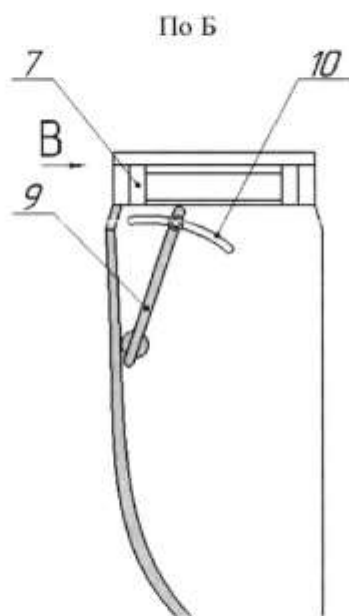
Фиг. 1



Фиг. 2

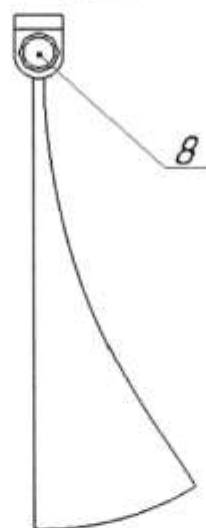
2

**Ориентирующе-дозировочное  
устройство для початков кукурузы**



Фиг. 3

По В



Фиг. 4



ДЕРЖАВНА СПЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **85886** (13) **U**  
(51) МПК (2013.01)  
**A01F 11/00**

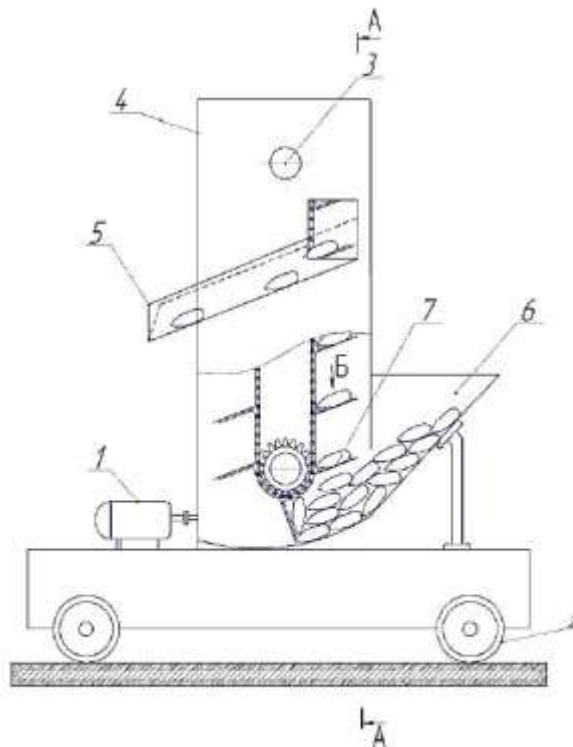
**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

(21) Номер заявки: <b>u 2013 04591</b>	(72) Винахідник(и): <b>Брагінець Микола Володимирович (UA), Бахарєв Дмитро Миколайович (UA), Романенко Олександр Олександрович (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>12.04.2013</b>	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>10.12.2013</b>	(73) Власник(и): <b>ЛУГАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, м. Луганськ-8, 91008 (UA)</b>
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>10.12.2013, Бюл.№ 23</b>	

**(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ОРІЄНТОВАНОЇ ПОДАЧІ КАЧАНІВ КУКУРУДЗИ В МОЛОТАРКУ**

**(57) Реферат:**

Пристрій для орієнтованої подачі качанів кукурудзи в молотарку містить корпус з опорними колесами, електропривід, вали з зірочками, ланцюг, на якому змонтовано орієнтуючі робочі органи, вивантажувальний лоток та бункер, який звужується в нижній частині саме в тому місці, де робочі органи захоплюють качани.



UA 85886 U

Корисна модель належить до сільськогосподарського машинобудування, зокрема до конструкцій пристроїв орієнтованої подачі качанів кукурудзи в молотарку. Існують автоматичні орієнтуючі пристрої - аналоги, наприклад: "Елеваторні завантажувальні пристрої" [Усенко Н.А. Автоматические загрузочно-ориентирующие устройства / Усенко Н.А., Бляхеров И.С. - М.: Машиностроение, 1984. - 112 с.], до конструкції яких входять вали, що переміщують стрічку з розташованими на ній робочими органами (прямими лопатками). Такі орієнтуючі пристрої розроблено для орієнтування циліндричних тіл. Основним недоліком даних пристроїв є велика матеріаломісткість конструкції та низька ефективність при роботі з конічними тілами, до яких можна віднести качани кукурудзи.

Прототип має недосконалу конструкцію робочих органів, що призводить до зниження ефективності процесу орієнтованої подачі конічних тіл. Бункер прототипу також має форму, яка не сприяє первинному орієнтуванню, що призводить до зниження продуктивності. Таким чином, рівень техніки для орієнтованої подачі качанів кукурудзи в молотарку не відповідає вимогам, які висуваються до сучасних машин.

При розробці корисної моделі було поставлено задачу - розробити конструкцію пристрою для орієнтованої подачі качанів кукурудзи в молотарку, який буде відповідати усім вимогам до процесу орієнтування та матиме досконалі робочі органи, які зможуть ефективно орієнтувати качани кукурудзи любого підвиду або сорту з достатньою продуктивністю, мінімальною енергоємністю, а конструкція буде найменш матеріаломістка. Це можна забезпечити шляхом використання ланцюга, на якому розташовані робочі органи, які встановлено перпендикулярно осі обертання валів, та формою бункера, яка сприяє первинному орієнтуванню качанів кукурудзи до їх захоплення робочими органами.

Поставлена задача вирішується тим, що пристрій для орієнтованої подачі качанів кукурудзи в молотарку містить корпус, бункер первинного орієнтування, вали, на яких розташовані зірочки, ланцюг, який рухає робочі органи та вивантажувальний лоток.

Власне процес орієнтування починається при захопленні качанів з бункера пластинами, які рухаються вертикально крізь декілька шарів качанів, попередньо зорієнтованих бункером. Ці пластини розташовано під певним кутом відносно ланцюга, даний кут можна змінювати, що дає змогу кожній пластині відокремити із маси качанів один, який в певний момент опинився в сприятливому для захоплення положенні. Після того, як качан кукурудзи опинився на основній орієнтуючій поверхні робочого органу, він під дією сил гравітації, що обумовлені кутом нахилу пластини, намагається зайняти врівноважене положення. Потрапляння качана в необхідне положення на основній орієнтуючій поверхні досягається за рахунок використання допоміжної орієнтуючої поверхні, так як врівноваженого положення качан досягне лише тоді, коли він однією стороною буде лежати на основній орієнтуючій поверхні, а іншою стороною буде торкатися допоміжної орієнтуючої поверхні. При цьому буде забезпечена максимальна площа контакту качана з орієнтуючими поверхнями. Добігає кінця процес орієнтування тоді, коли врівноважений качан подається орієнтуючим органом до вивантажувального вікна, де знову під дією сил гравітації качан зісковзує з орієнтуючого органу та в необхідному положенні рухається по вивантажувальному лотку пристрою в молотарку.

При цьому орієнтуючий орган (лопатка) складається з розташованих на ланцюгу пластин, встановлених перпендикулярно.

Крім цього пластини лопатки мають можливість змінювати кут нахилу відносно ланцюга та одна відносно одної, а також можна змінювати крок розміщення пластин на ланцюзі.

На фіг. 1 зображено пристрій для орієнтованої подачі качанів кукурудзи в молотарку, вигляд збоку;

на фіг. 2 зображений пристрій для орієнтованої подачі качанів кукурудзи в молотарку, вид спереду по А-А на фіг. 1;

на фіг. 3 - вигляд зверху робочого органу за стрілкою Б на фіг. 1;

на фіг. 4 - вигляд збоку робочого органу за стрілкою В на фіг. 3.

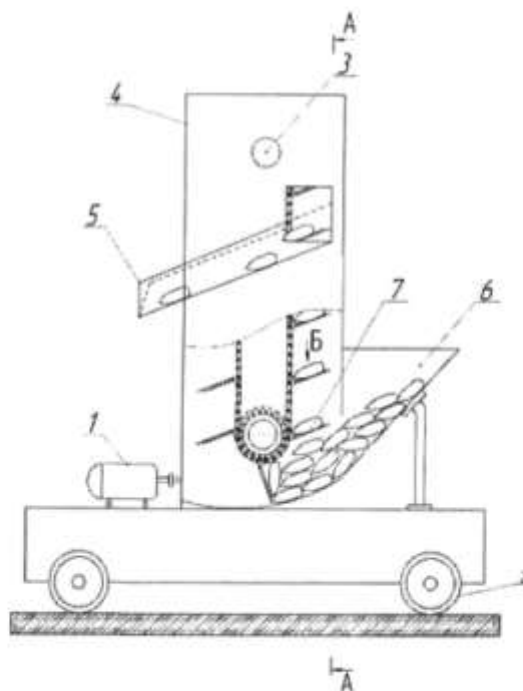
Пристрій для орієнтованої подачі качанів кукурудзи в молотарку містить електродвигун 1, який приводить у дію редуктор 9, який рухає вали приводу ланцюга 3, на якому розташовано робочі органи 7, які виконано у вигляді лопаток з механізмом зміни кута відносно ланцюга (основна орієнтуюча поверхня), лопатки оснащені допоміжними пластинами 8, які встановлено перпендикулярно лопаткам та розташовано на основній орієнтуючій поверхні по діагоналі із можливістю зміни кута встановлення (допоміжна орієнтуюча поверхня), вони виштовхують качани крізь вивантажувальне вікно на вивантажувальний лоток 5, запас попередньо зорієнтованих качанів міститься в бункері 6, всі вузли змонтовано в єдиному корпусі 4, корпус має опорні колеса 2, змінювати кут встановлення робочих органів відносно ланцюга можна за допомогою механізму 10.



- Працює пристрій для орієнтованої подачі качанів кукурудзи в молотарку таким чином. Качани кукурудзи подаються до бункера для завантаження 6, форма якого сприяє первинному орієнтуванню качанів, бункер звужується в нижній частині саме в тому місці, де робочі органи захоплюють качани кукурудзи, стінки бункера звужуються до поперечних розмірів робочого органу, тобто качани, які знаходяться в цій частині бункера, не мають змоги попасти на робочий орган перпендикулярно допоміжній орієнтуючій поверхні, адже ширина робочого органу менше ніж середня довжина качана кукурудзи будь-якого підвиду чи сорту. Рухаючись крізь ділянку бункера, де сконцентровано попередньо зорієнтовані качани, робочі органи 7 здійснюють захоплення качанів основною орієнтуючою поверхнею. Потрапивши на основну орієнтуючу поверхню, качан під дією сил гравітації рухається до допоміжної орієнтуючої поверхні до того моменту, коли площа контакту качана з робочою та допоміжною орієнтуючою поверхнею досягнуть максимальних розмірів і качан буде знаходитись в урівноваженому положенні та готовий для виштовхування на вивантажувальний лоток 5, по якому качани подаються в молотарку. Крутний момент на ланцюг передається за допомогою вала приводу ланцюга 3, весь механізм орієнтуючого пристрою змонтовано в єдиному корпусі 4, корпус має опорні колеса 2.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

- 20 1. Пристрій для орієнтованої подачі качанів кукурудзи в молотарку, що містить корпус з опорними колесами, електропривід, вали з зірочками, ланцюг, на якому змонтовано орієнтуючі робочі органи, вивантажувальний лоток та бункер, який **відрізняється** тим, що для підвищення ефективності процесу орієнтування качанів кукурудзи любого підвиду чи сорту з достатньою продуктивністю, мінімальною енергоємністю та найменшою матеріаломісткістю бункер звужується в нижній частині саме в тому місці, де робочі органи захоплюють качани, що дозволяє проводити попереднє орієнтування качанів кукурудзи.
- 25 2. Пристрій за п. 1, який **відрізняється** тим, що робоча лопатка складається з двох пластин, встановлених перпендикулярно, одна пластина - основна орієнтуюча поверхня, а інша - допоміжна.
- 30 3. Пристрій за пп. 1, 2, який **відрізняється** тим, що кут встановлення основної пластини відносно ланцюга та кут встановлення допоміжної пластини відносно основної можна змінювати, а також можна регулювати крок встановлення основних пластин на ланцюзі.



Фиг. 1

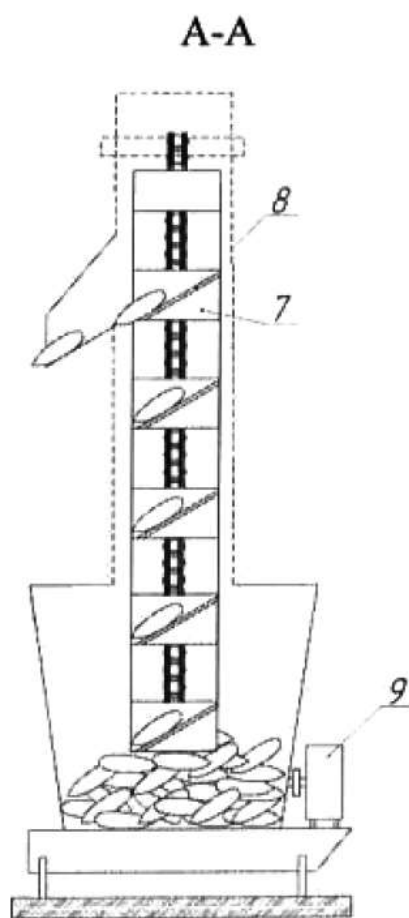
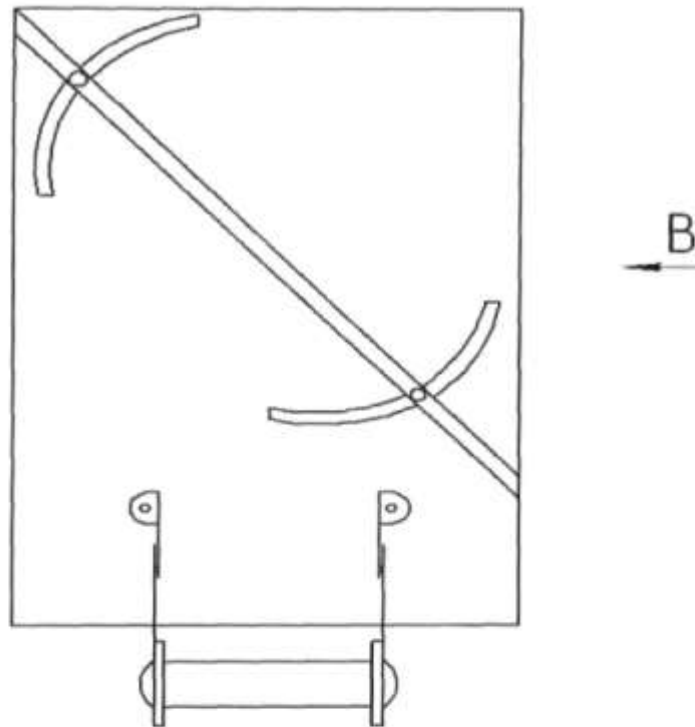


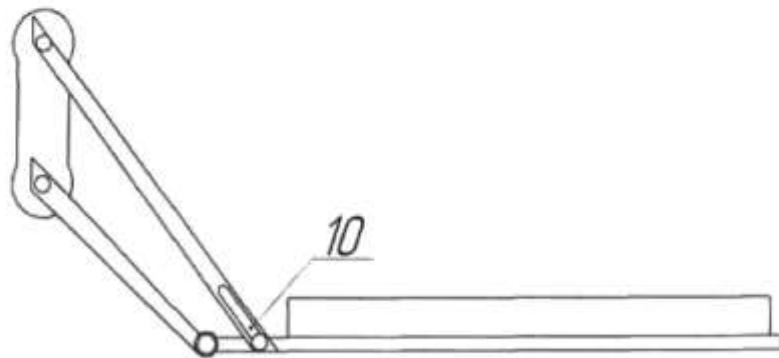
Fig. 2

По Б



Фиг. 3

По В



Фиг. 4

---

Комп'ютерна верстка Л. Ціхановська

---

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

---

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **85889** (13) **U**  
(51) МПК (2013.01)  
**A01F 11/00**

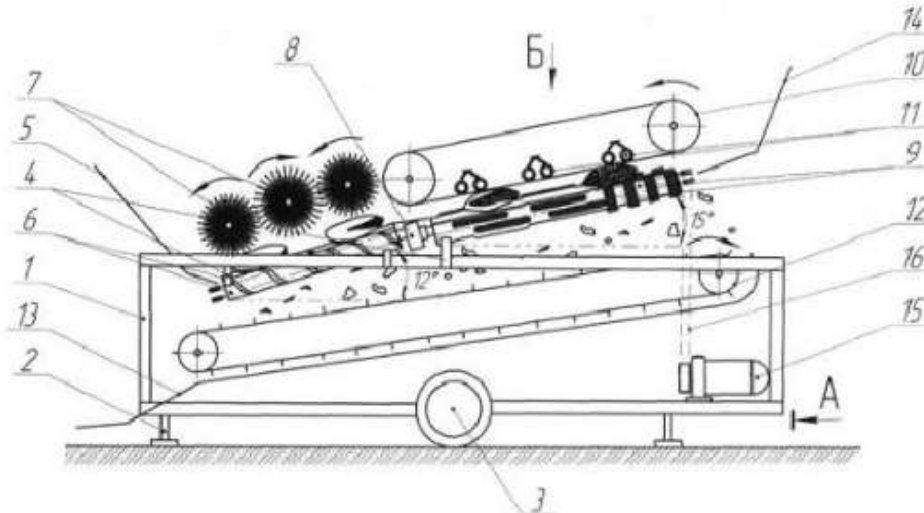
## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: <b>u 2013 04609</b>	(72) Винахідник(и): <b>Брагінець Микола Володимирович (UA), Бахарєв Дмитро Миколайович (UA), Тіняков Олександр Володимирович (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>12.04.2013</b>	(73) Власник(и): <b>ЛУГАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, м. Луганськ-8, 91008 (UA)</b>
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>10.12.2013</b>	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>10.12.2013, Бюл.№ 23</b>	

### (54) ДВОСТУПЕНЕВИЙ ОЧИЩУВАЧ КАЧАНІВ КУКУРУДЗИ ВІД ЛИСТОВОЇ ОБГОРТКИ

#### (57) Реферат:

Двоступеневий очищувач качанів кукурудзи від листової обгортки має раму з колесами і опорними стійками, завантажувальний лоток, комплекти очисних вальців, привід і вивантажувальний лоток. Додатково має вальці попереднього очищення, покриті гумою, та спіральні, обладнано обгорткорозсікаючим притискним пристроєм, оснащений редуктором, для передачі обертового моменту до вальців попереднього очищення, комплектом вальців основного очищення. Секції доочищення виконані у вигляді гумових кілець. Очисник оснащено транспортерним притискним пристроєм, механізмом для регулювання кута нахилу очисних вальців, незалежною системою електроприводу для притискних пристроїв, обгорткорозсікаючим притискним пристроєм, транспортерним притискним пристроєм, вивантажувальним лотком для очищених качанів, транспортером для видалення обгорток.



Фіг. 1

UA 85889 U

Корисна модель належить до галузі сільськогосподарського машинобудування, зокрема до конструкції очищувачів качанів кукурудзи від листової обгортки. Найбільш близьким прототипом до нашої корисної моделі є очисний пристрій кукурудзозбирального комбайна (Пат. 56630, Україна: МПК А01D45/02. Кукурудзозбиральний комбайн / Бондаренко О.В., Ракул О.І., Пилип В.Є., Грубань В. А.; заявник та патентовласник: Бондаренко О.В. - № и201006968; заявл. 07.06.2010; опубл. 25.01.2011, Бюл. № 2, 2011р.-6 а), який передбачає позовжно орієнтацію качанів кукурудзи щодо основних очисних вальців і часткове звільнення їх від листової обгортки та домішок. Прототип включає в себе одну пару вальців попереднього очищення, дві пари основних очисних вальців, еластичний лопатевий притисний пристрій, що обертається в напрямку руху качанів, розташований над обома ступенями очищення, та транспортер обгортки для видалення листостеблової маси з пристроєм. Значний вплив на продуктивність очисника має кут нахилу вальців. У конструкції прототипу питання про можливість регулювання кута нахилу вальців попереднього і основного очищення не розглянуто, кути нахилу менше 12° і більше 15° можуть значно знизити продуктивність пристрою, еластичні лопати притисного пристрою не розсікають щільно прилеглі обгорткові листя сучасних гібридів кукурудзи, а на вальцях основного очищення лопати чинять на качан тільки частковий вплив, що зменшує ймовірність захоплення обгортки, крім того не уточнено конструктивні особливості вальців попереднього і основного очищення. Таким чином, рівень технічних засобів для очищення качанів кукурудзи не відповідає вимогам, що висуваються до сучасних машин.

В основу корисної моделі поставлено задачу розробки очисника качанів кукурудзи, що має достатню продуктивність, мінімальну енергоємність та низький показник матеріаломісткості, зручний у технічному і технологічному обслуговуванні, шляхом використання декількох комплектів вальців для попереднього очищення, виконаних у вигляді набірних гумових кілець та спіральних навивок, в комбінації з барабанами обгорткорозсікаючого притисного пристрою і другого ступеня (ступеня основного очищення), вальці якого мають підпружинені гумові елементи і гумові кільця (секція доочищення), в комбінації з транспортерним притисним пристроєм, оснащеним роликками-розподільниками з регульованою жорсткістю. Поставлена задача вирішується тим, що двоступеневий очищувач качанів кукурудзи, який включає в себе раму з колесами і опорними стійками, завантажувальний лоток, вальці основного і попереднього очищення, привід і вивантажувальний лоток згідно з корисною моделлю має вальці попереднього очищення (покритий гумою та спіральний), обладнані обгорткорозсікаючим притисним пристроєм виконаним у вигляді барабанів з еластичними лопатями; очисник має редуктор, для передачі обертального моменту до вальців попереднього очищення; вальці основного очищення, які мають на своїй поверхні пази для закріплення еластичних елементів і секції доочистки, які виконано у вигляді гумових кілець; транспортерний притисний пристрій; механізм для регулювання кута нахилу очисних вальців; незалежні системи електроприводу для вальців основного і попереднього очищення; обгорткорозсікаючого притисного пристрою; транспортерного притисного пристрою і транспортера для видалення обгортки; вивантажувальний лоток для відведення очищених качанів. При цьому з п. 2 виходить, що барабани обгорткорозсікаючого притисного пристрою секції попереднього очищення зустрічно обертаються та самостійно очищуються від часток обгортки.

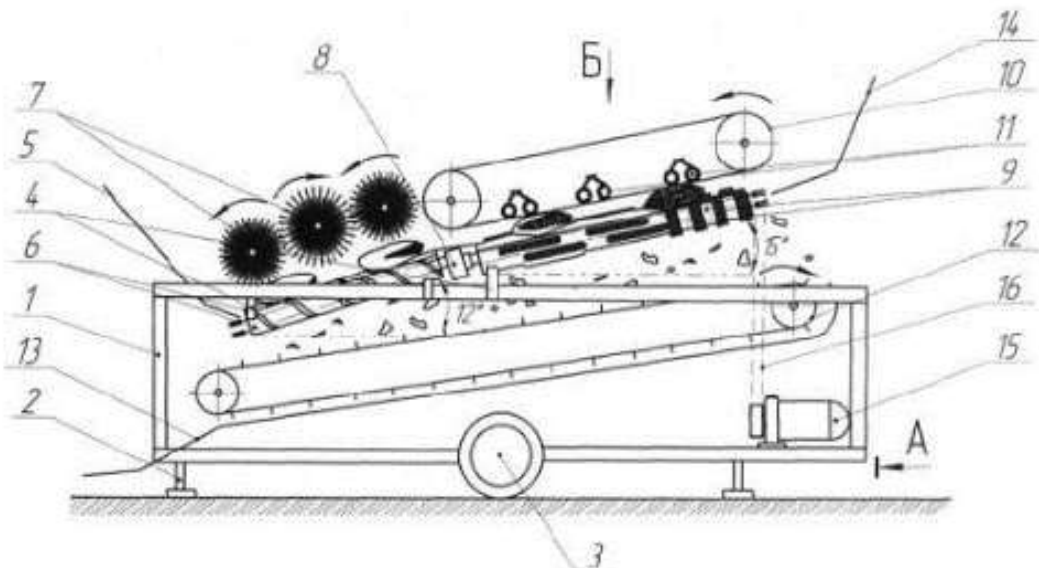
Крім того, з п. 3 виходить, що транспортерний притисний пристрій секції основного очищення обладнано роликками-розподільниками з регульованою жорсткістю, для оптимального розподілу зусилля притиснення качанів до вальців. Також, з п. 3 виходить, що очищувач качанів кукурудзи включає в себе механізми регулювання кута нахилу кожної секції очисних вальців окремо. На фіг. 1 - зображено двоступеневий очищувач качанів кукурудзи, вигляд збоку; на фіг. 2 - зображений двоступеневий очищувач качанів кукурудзи, вигляд зверху; на фіг. 3 - зображена пара вальців основного очищення. Двоступеневий очищувач качанів кукурудзи, який включає раму 1, що обладнана опорними стійками 2 і колесами 3. На рамі встановлено механізми регулювання кута нахилу очисних вальців 4, лоток для завантаження качанів 5, комплект вальців попереднього очищення 6, який включає обгорткорозсікаючі притисні барабани 7. Перша і друга ступінь очисника для мінімізації кількості електродвигунів, з'єднані редуктором 8, другий ступінь очисника качанів складається з вальців основного очищення 9, обладнаних змінними еластичними елементами, забезпечених транспортерним притисним пристроєм 10, обладнаним роликками-розподільниками з регульованою жорсткістю 11. Відокремлені від качанів обгортки виводяться транспортером 12, і видаляються з лотка для обгортки 13, а очищені качани видаляються з вивантажувального лотка 14. Привід вальців здійснюється від електродвигуна 15 за допомогою передачі 16.

Працює двоступеневий очищувач качанів таким чином. Качани кукурудзи з завантажувального лотка 5 під дією обгорткорозсікаючого притисного пристрою 7 подаються

на вальці попереднього очищення 6, які обертаються за допомогою редуктора 8, який в свою чергу приводиться в дію від вальців основного очищення 9, що приводяться в рух за рахунок передачі 16 і електродвигуна 15. Розсічені обгортки частково знімаються вальцями попереднього очищення 6, а качани надходять на вальці основного очищення 9, де транспортний притискний пристрій 10 забезпечує просування качанів вгору по вальцях, а ролики-розподільники з регульованою жорсткістю 11 забезпечують контакт качанів з вальцями основного очищення і зняття з них обгортки, очищені обгортки видаляються з апарату за допомогою транспортера обгортки 12. Застосування роздільної схеми електроприводу вузлів машини 15, 17, 18 дозволить регулювати технологічні параметри в широкій межі.

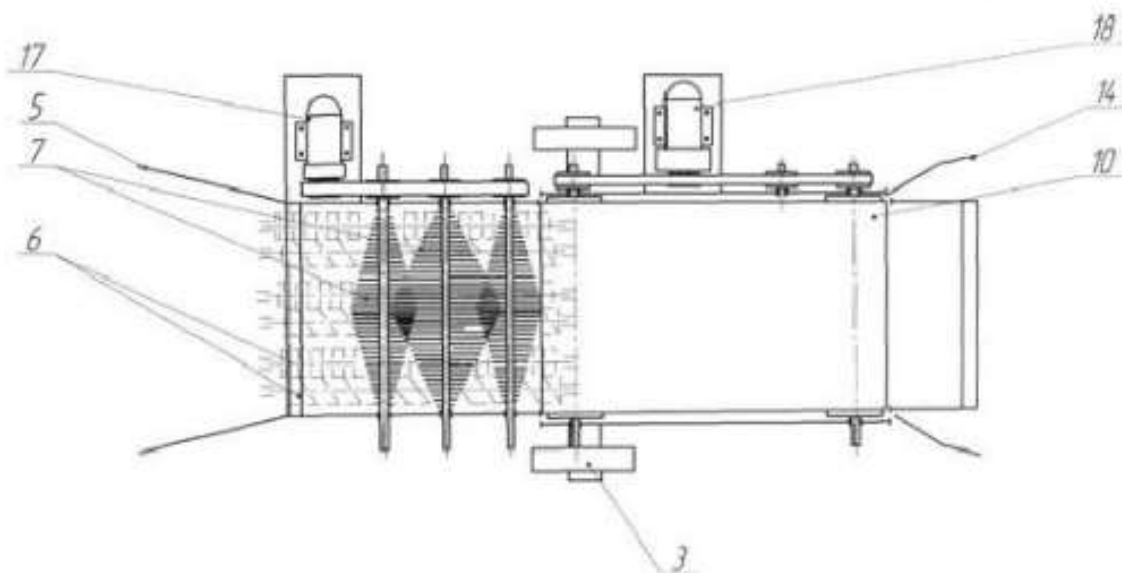
#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

1. Двоступеневий очищувач качанів кукурудзи від листової обгортки, який має раму з колесами і опорними стійками, завантажувальний лоток, комплекти очисних вальців, привід і вивантажувальний лоток, який **відрізняється** тим, що для підвищення продуктивності очищувача та якості обробленого зерна має вальці попереднього очищення, покриті гумою, та спіральні, обладнано обгорткорозсікаючим притискним пристроєм, виконаним у вигляді барабанів з еластичними лопатями, оснащений редуктором, для передачі обертового моменту до вальців попереднього очищення, комплектом вальців основного очищення, які мають на своїй поверхні пази для закріплення змінних еластичних елементів, секції доочищення виконані у вигляді гумових кілець, також очисник оснащено транспортним притискним пристроєм, механізмом для регулювання кута нахилу очисних вальців, незалежною системою електроприводу для притискних пристроїв, обгорткорозсікаючим притискним пристроєм, транспортним притискним пристроєм, вивантажувальним лотком для очищених качанів, транспортером для видалення обгортки.
2. Двоступеневий очищувач качанів кукурудзи за п. 1, який **відрізняється** тим, що для попереднього очищення качанів від листової обгортки застосовуються обгорткорозсікаючі барабани, які обертаються назустріч один одному, а для вальців основного очищення - транспортний притискний пристрій, з роликми-розподільниками регульованої жорсткості.
3. Двоступеневий очищувач качанів кукурудзи за п. 1 та п. 2, який **відрізняється** тим, що вальцеві механізми основного і попереднього очищення мають можливість регулювання кута нахилу, а вальці основного очищення оснащено змінними еластичними елементами.

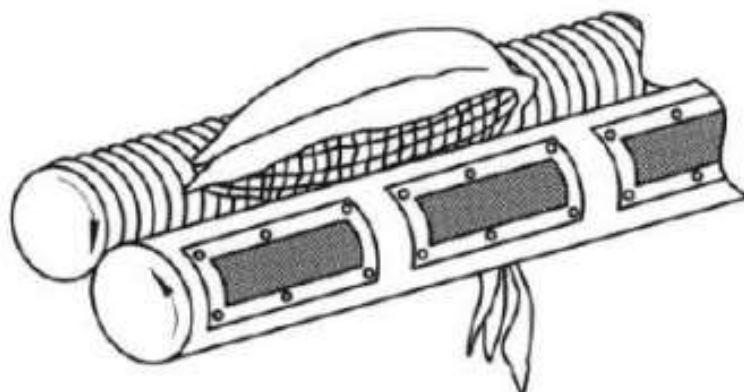


Фиг. 1

Б-Б



Фиг. 2



Фиг. 3

---

Комп'ютерна верстка В. Мацело

---

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

---

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 207989

### Аксиально-роторное домолачивающее устройство

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина" (RU)*

Авторы: *Бахарев Дмитрий Николаевич (RU), Пастухов Александр Геннадиевич (RU), Вольвак Сергей Федорович (RU), Бурнукин Андрей Евгеньевич (UA)*

Заявка № 2021129005

Приоритет полезной модели **04 октября 2021 г.**

Дата государственной регистрации в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации **29 ноября 2021 г.**

Срок действия исключительного права на полезную модель истекает **04 октября 2031 г.**



*Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности*

*Г.П. Иалиев*





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

**(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ**

(52) СПК  
*A01F 11/06 (2021.08)*

(21)(22) Заявка: 2021129005, 04.10.2021

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
04.10.2021

Дата регистрации:  
29.11.2021

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 04.10.2021

(45) Опубликовано: 29.11.2021 Бюл. № 34

Адрес для переписки:

308503, Белгородская обл., Белгородский р-н,  
п. Майский, ул. Вавилова, 24, ФГБОУ ВО  
Белгородский ГАУ, И.В. Руснак

(72) Автор(ы):

Бахарев Дмитрий Николаевич (RU),  
Пастухов Александр Геннадиевич (RU),  
Вольвак Сергей Федорович (RU),  
Бурнукин Андрей Евгеньевич (UA)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Белгородский государственный  
аграрный университет имени В.Я. Горина"  
(RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 171115 U1, 22.05.2017. SU 1246933  
A1, 30.07.1986. RU 2459404 C1, 27.08.2012. RU  
146606 U1, 20.10.2014. FR 2059044 A5, 28.05.1971.  
US 7108601 B2, 19.09.2006.

(54) Аксиально-роторное домолачивающее устройство

(57) Реферат:

Полезная модель относится к отрасли сельскохозяйственного машиностроения, в частности, к конструкциям аксиально-роторных домолачивающих устройств, применяемых в селекционных кукурузоуборочных комбайнах и стационарных молотилках сортовых и гибридных початков кукурузы. Предложенное аксиально-роторное домолачивающее устройство позволяет

интенсифицировать процесс домолота початков кукурузы, ускорить вывод отделенного зерна из-под действия рабочих органов и минимизировать количество макро- и микроповреждений зерна кукурузы путем чередования контакта домолачиваемых початков кукурузы с гладкими и рельефными участками внутренней поверхности цилиндрической деки. 4 ил.

Б-Б



Фиг. 4

RU 207989 U1

RU 207989 U1

Полезная модель относится к отрасли сельскохозяйственного машиностроения, в частности, к конструкциям аксиально-роторных домолачивающих устройств, применяемых в селекционных кукурузоуборочных комбайнах и стационарных молотилках сортовых и гибридных початков кукурузы.

5 Известен домолачивающий аппарат молотилки кукурузы [UA 86546 U, A01F 11/00 (2013.01), 10.01.2014] в котором домолачиваемые початки кукурузы перемещают ротором внутри цилиндрической деки, при этом дека состоит из двух частей, укомплектованных независимыми шипами, которые по всей окружности деки закрыты пневмоподушками.

10 Известно молотильно-сепарирующее устройство с системой ориентированной подачи початков кукурузы на обмолот [RU 171115 U1, A01F 11/06 (2006.01), 22.05.2017], в котором початки кукурузы домолачивают в цилиндрической домолачивающей части деки, укомплектованной независимыми друг от друга подвижными шипами, прижатыми несколькими отдельными пневматическими подушками с гибким дном.

15 Основным недостатком данных устройств является использование деки с гладкой внутренней поверхностью и расположенными на ней прорезями прямоугольного поперечного сечения для отвода обмолоченного зерна, что затрудняет вывод обмолоченного зерна из-под действия рабочих органов и приводит к повреждению зерна кукурузы.

20 В основу конструкции аксиально-роторного домолачивающего устройства поставлена задача интенсификации процесса домолота початков кукурузы, ускорения вывода отделенного зерна из-под действия рабочих органов и минимизации количества макро- и микроповреждений зерна кукурузы путем чередования контакта домолачиваемых початков кукурузы с гладкими и рельефными участками внутренней поверхности  
25 цилиндрической деки.

Это достигается тем, что аксиально-роторное домолачивающее устройство содержит загрузочный лоток, ротор с лопастями в виде многозаходной винтовой навивки, цилиндрическую деку с верхней и нижней полудеками, укомплектованными по внешней поверхности продольными корпусами с вставленными в них накачивающимся воздухом  
30 резиновыми камерами, фиксирующими в отверстиях деки продольные ряды подвижных шипов. При этом нижняя полудека снабжена чередующимися на ее внутренней поверхности гладкими участками с продольными рядами подвижных шипов и рельефными участками с продольными прорезями переменного поперечного сечения.

35 Сущность полезной модели поясняется чертежами, на которых показано аксиально-роторное домолачивающее устройство:

фиг. 1 - аксиально-роторное домолачивающее устройство в изометрии, вид спереди;

фиг. 2 - нижняя полудека аксиально-роторного домолачивающего устройства в изометрии, вид сверху;

40 фиг. 3 - фрагмент рельефного участка нижней полудеки аксиально-роторного домолачивающего устройства, по А на фиг. 2.

фиг. 4 - разрез рельефного участка нижней полудеки аксиально-роторного домолачивающего устройства с прорезями переменного поперечного сечения, по Б-Б на фиг. 3.

45 Конструкция аксиально-роторного домолачивающего устройства состоит из загрузочного лотка 1, верхней 2 и нижней 3 полудек, соединенных в цилиндрическую деку, с зазором охватывающую ротор 4 с лопастями в виде многозаходной винтовой навивки 5. На внешней поверхности цилиндрической деки закреплены продольные корпусы 6 с вставленными в них накачивающимся воздухом резиновыми камерами

7, фиксируемыми в отверстиях деки продольные ряды подвижных шипов 8. При этом нижняя полудека 3 снабжена чередующимися на ее внутренней поверхности гладкими участками 9 с продольными рядами подвижных шипов 8 и рельефными участками 10 с продольными прорезями 11 переменного поперечного сечения.

5 Аксиально-роторное домолачивающее устройство работает следующим образом. Прошедшие молотильный аппарат селекционного комбайна или основную камеру обмолота стационарной молотилки недомолаченные початки кукурузы подают на домолот по загрузочному лотку 1 в зазор между верхней 2 и нижней 3 полудеками цилиндрической деки и ротором 4. Вращающимися лопастями ротора 4 домолачиваемую  
10 массу початков кукурузы перемещают по винтовой траектории под силовым воздействием расположенных на гладких участках 9 подвижных шипов 8, прижимаемых к початкам кукурузы накачивающимися воздухом резиновыми камерами 7, чем обеспечивают отделение зерна кукурузы от стержней. Далее домолачиваемую массу початков кукурузы перемещают по винтовой траектории в зазоре между цилиндрической  
15 декой и ротором 4 с контактом по рельефному участку 10 внутренней поверхности нижней полудеки 3, чем обеспечивают вибрацию домолачиваемой массы початков кукурузы и ускоренный вывод отделенного зерна кукурузы из устройства сквозь прорези 11. При перемещении домолачиваемой массы початков кукурузы по винтовой траектории в зазоре между цилиндрической декой и ротором 4 осуществляют  
20 многократное последовательное чередование контакта домолачиваемых початков кукурузы с гладкими участками 9 и рельефными участками 10, расположенными на внутренней поверхности нижней полудеки 3, что способствует интенсификации процесса домолота початков кукурузы и ускорению вывода отделенного зерна из-под действия рабочих органов, чем обеспечивают минимизацию количества макро- и  
25 микроповреждений зерна кукурузы.

Предложенное аксиально-роторное домолачивающее устройство позволяет интенсифицировать процесс домолота початков кукурузы, ускорить вывод отделенного зерна из-под действия рабочих органов и минимизировать количество макро- и микроповреждений зерна кукурузы путем чередования контакта домолачиваемых  
30 початков кукурузы с гладкими и рельефными участками внутренней поверхности цилиндрической деки.

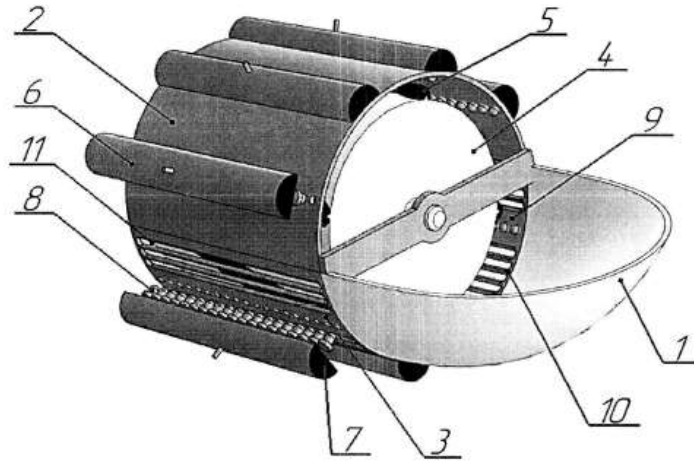
Источники информации

1. UA 86546 U, A01F 11/00 (2013.01), 10.01.2014. Домолачивающий аппарат молотилки кукурузы.
- 35 2. RU 171115 U1, A01F 11/06 (2006.01), 22.05.2017. Молотильно-сепарирующее устройство с системой ориентированной подачи початков кукурузы на обмолот.

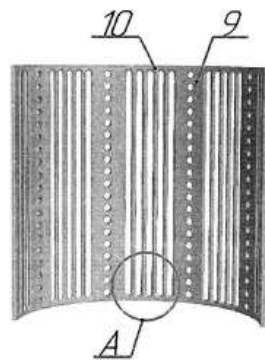
#### (57) Формула полезной модели

Аксиально-роторное домолачивающее устройство, содержащее загрузочный лоток, ротор с лопастями в виде многозаходной винтовой навивки, цилиндрическую деку с  
40 верхней и нижней полудеками, укомплектованными по внешней поверхности продольными корпусами с вставленными в них накачивающимися воздухом резиновыми камерами, фиксируемыми в отверстиях деки продольные ряды подвижных шипов, отличающееся тем, что нижняя полудека снабжена чередующимися на ее внутренней  
45 поверхности гладкими участками с продольными рядами подвижных шипов и рельефными участками с продольными прорезями переменного поперечного сечения.

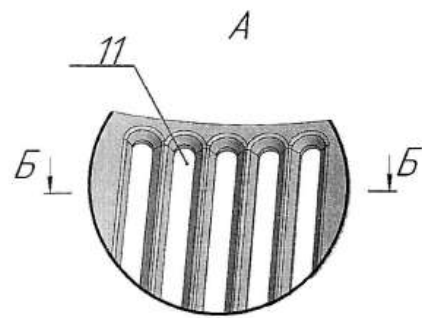
1



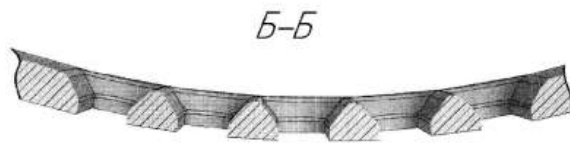
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



RU2022611654

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ  
ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

Номер регистрации (свидетельства):  
2022611654  
Дата регистрации: 28.01.2022  
Номер и дата поступления заявки:  
2022610341 12.01.2022  
Дата публикации и номер бюллетеня:  
28.01.2022 Бюл. № 2  
Контактные реквизиты:  
Тел: (4722) 39-21-52, Факс: (4722) 39-22-62,  
e-mail: rusnak\_iv@bsaa.edu.ru

Автор(ы):  
Бахарев Дмитрий Николаевич (RU),  
Пастухов Александр Геннадиевич (RU),  
Вольвак Сергей Федорович (RU),  
Черников Руслан Владимирович (RU)  
Правообладатель(и):  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Белгородский государственный  
аграрный университет имени В.Я. Горина» (RU)

Название программы для ЭВМ:

Прошивка контроллера «Arduino» для управления давлением в пневматических подушках деки молотильно-сепарирующего устройства

Реферат:

Программа предназначена для прошивки контроллеров «Arduino», управляющих давлением в пневматических подушках, посредством которых прижимают подвижные шипы деки молотильно-сепарирующего устройства при обмолоте зерновых культур. Прошивки программируют контроллер «Arduino» так, что он осуществляет сравнение заданных оператором значений давления в пневматических подушках с показаниями датчиков давления. В случае снижения давления от заданного значения контроллер автоматически подаёт управляющий сигнал на электромагнитное реле включения подкачивающего компрессора. При достижении заданного давления контроллер автоматически прекращает подачу управляющего сигнала на электромагнитное реле и компрессор отключается. Контроллер осуществляет управление давлением в пневматических подушках непрерывно на протяжении всего процесса обмолота. Требуемые значения давления в пневматических подушках оператор устанавливает с помощью кнопок пульта управления при пусконаладочных работах. Тип ЭВМ: AVR.

Язык программирования: C++

Объем программы для ЭВМ: 1 КБ

Прошивка контроллера «Arduino» для управления давлением  
в пневматических подушках деки предложенного МСУ

```
#include <TM1638.h>
const int strobe = 7;
const int clocks = 9;
const int data = 8;
int dots = 0x0;
byte keys;
int number;
TM1638 module(data, clocks, strobe);
const int dt = A0;
int val0 = 0;
void setup() {
  pinMode(4, OUTPUT);
  module.clearDisplay();
  int arr[11] = {0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10};
  number = arr[0];
}
void loop() {
  val0 = analogRead(dt);
  val0 = map(val0,0,900,0,10);
  switch(keys){
  case 0:
    module.setDisplayToDecNumber(number, 2, true);
    break;
  case 1:
    number--;
    module.setDisplayToDecNumber(number, 2, true);
    delay(300);
    break;
  case 128:
    number++;
    module.setDisplayToDecNumber(number, 2, true);
    delay(300);
    break;
  }
  keys = module.getButtons();
  if (number>10){
    number = 10;
  }
  if (number<0){
    number = 0;
  }
  if(val0>number){
    digitalWrite(4, 1);
  }
  else {
    digitalWrite(4, 0);
  }
  delay (150);
}
```