

RUSSIAN STATE AGRARIAN UNIVERSITY – MSAU
named after K.A. TIMIRYAZEVA

BALAMI AYUBA AUDU

**“DEVELOPMENT AND PERFORMANCE EVALUATION OF PEANUT
BLANCHING MACHINES/INSTALLATIONS”**

**SPECIALITY 05.20.01 – TECHNOLOGY AND MACHINERY IN
AGRICULTURAL ENGINEERING**

PhD DEGREE IN TECHNICAL SCIENCES/ENGINEERING

SUPERVISOR: Engr. Dr. Prof. OKNIN BORIS SERGEEVICH

MOSCOW - 2007

**ФГОУ ВПО "РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ – МСХА имени К. А. ТИМИРЯЗЕВА"**

На правах рукописи

Балами Айуба Ауду

**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ
ШЕЛУШЕНИЯ ПЛОДОВ ЗЕМЛЯНОГО АРАХИСА
(В УСЛОВИЯХ НИГЕРИИ)**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации
сельского хозяйства

диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:

кандидат технических наук, профессор

Окнин Борис Сергеевич

Москва – 2007

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
ГЛАВА I. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ....	6
1.1. Характеристика условий возделывания арахиса.....	6
1.1.1. Динамика производства земляного арахиса.....	7
1.1.2. Особенности производства земляного арахиса в Нигерии.....	8
1.1.3. Биологические особенности арахиса.....	10
1.1.4. Почва.....	10
1.1.5. Возделывание арахиса.....	11
1.2. Способы уборки и послеуборочной обработки арахиса.....	12
1.2.1. Раздельный способ.....	12
1.2.2. Прямой комбайновый способ.....	13
1.2.3. Послеуборочная обработка.....	14
1.2.3.1. Обрывка.....	14
1.2.3.2. Сушка.....	15
1.3. Физико-механические и технологические свойства арахиса.....	17
1.4. Обзор установок для обмолота бобов арахиса.....	19
1.5. Направления использования арахиса и особенности их обработки	25
1.6. Обзор конструкций установок для шелушения плодов арахиса	26
1.7. Обоснование выбора типов шелушительных установок... ..	38
1.8. Критерий оценки эффективности работы шелушительных установок.....	39
1.9. Выводы, цели и задачи исследований.....	40
ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ШЕЛУ -	
ШЕНИЯ АРАХИСА.....	42
2.1. Подготовка арахиса для обработки	42
2.2. Исследование движения плода арахиса в шелушительных установках	43
2.2.1. Движение ореха в установке дискового типа	43
2.2.2. Движение ореха в установке цилиндрического типа.....	48
2.2.3. Движение ореха в установке лопастного типа.....	55
2.3. Общие выводы по 2-ой главе.....	60

ГЛАВА 3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	61
3.1. Общий план исследований.....	61
3.2. Методика лабораторных исследований.....	61
3.2.1. Определение коэффициентов трения плодов арахиса	61
3.2.2. Определение линейных размеров плодов арахиса.....	63
3.2.3. Определение толщины кожуры плода арахиса.....	64
3.2.4. Определение условий разрушения кожуры плодов арахиса в зависимости от режимов их обжарки.....	65
3.3. Методика лабораторно-производственных исследований.....	68
3.3.1. Лабораторные установки для исследований	68
3.3.2. Планирование экспериментальных исследований.....	71
3.3.3. Обоснование уровней и интервалов варьирования факторов для установки дискового типа.....	73
3.3.4. Методика математической обработки результатов экспериментальных исследований.....	77
3.4. Качественные показатели работы установок	79
ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ	81
4.1. Результаты лабораторных исследований	81
4.1.1. Определение некоторых физико-механических и технологических свойств арахиса.....	81
4.1.2. Определение условия разрушения кожуры плодов арахиса в зависимости от температуры обжарки	85
4.2. Результаты лабораторно-производственных исследований.....	90
4.2.1. Эффективность шелушения на установке дискового типа.....	90
4.2.2. Выводы по степени шелушения	104
4.2.3. Выводы по степени целостности ядра.....	113
4.3. Рекомендация по использованию установок.....	114
4.4. Экономическая эффективность применения установки дискового	

типа	115
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ.....	119
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	121
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	131

ВВЕДЕНИЕ

Арахис - важнейшая продовольственная и высокоценная масличная культура, возделываемая в Нигерии. В последние годы площадь под арахисом достигла 2,8 млн.га. Дальнейшему увеличению производства арахиса уделяется большое внимание во всем мире, и валовые сборы арахиса растут как в Нигерии, так и в других развивающихся странах.

Одним из важнейших процессов возделывания арахиса является шелушение плодов, т.е. его переработка.

Качественное шелушение во многом зависит от механизации производственных процессов. В Нигерии и в ряде других развивающихся странах около 80% арахиса идёт на производство масла, с высокой затратой энергии и времени из-за слабо разработанных методов его производства и недостатка современной техники по количеству и качеству. Применяемые средства производства арахисового масла имеют низкую производительность, а качество не соответствует международным стандартам. Поэтому, необходимо провести исследования по совершенствованию этого процесса. Наиболее важными из них является шелушение плодов (орехов) арахиса.

Так как орехи арахиса используются по различным направлениям (целые орехи для лакомства, измельченные и разделенные на семядоли – для получения масла и кондитерские цели), то для решения этих задач требуются специальные устройства для шелушения орехов, различающиеся по технологическому процессу. В связи с этим одним из вопросов настоящих исследований является разработка конструкций шелушительных установок для различных видов использования орехов.

Цель настоящей работы рассматривается следующим образом:

- 1 - исследовать физико-механические свойства арахиса и их влияние на качество шелушения;
- 2 - выявить физико-механических свойств арахиса и их влияние на конструкции устройств для шелушения плодов арахиса;

- 3 - разработать конструкций шелушителей плодов арахиса для различных целей применимых для условия Нигерии:
- шелушитель для получения разделенных орехов на семядоли для кондитерских целей;
 - шелушитель для получения целых орехов для лакомства;
 - шелушитель для получения измельченных орехов для масла.
- 4 - провести экспериментальные исследования установок для шелушения плодов и обосновать их параметры.

Исследования включают;

- изучение вопроса по мировым литературным источникам,
- проведение теоретических исследований по шелушению орехов арахиса,
- разработка и изготовление установок, и их испытание.

Выполнение этих задач позволит заменить ручной труд на машинный при шелушении арахиса и решить проблемы производства арахисового масла в Республике Нигерия высокого качества, с низкими затратами энергии и времени, улучшить уровень жизни Нигерийских крестьян, особенно крестьянских областей.

ГЛАВА I. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1. Характеристика условия возделывания арахиса

Среди высокоценных масличных культур в тропических странах наибольшее значение и распространение имеет арахис. Арахис (*Arachis hypogaea*) – однолетняя, семейства бобовых, влаголюбивая, светолюбивая и теплолюбивая культура, возделываемая ради съедобных плодов, напоминающих ядро ореха. Растение это резко отличается от других видов семейства бобовых (сои, фасоли или гороха) устройством цветка и особенностью образования ореха.

Орехи очень питательны, содержат 43–50% масла, 5–12% углеводов и 25–30% белка. Боб арахиса, формой своей напоминающий кокон, вызревает под землей (подобно клубням картофеля). Внутри кокона (боба) заключены семена (орешки) различной формы и окраски (светло-розовые, темно-красные и черно-фиолетовые). На рис.1.1 показан арахис подземный с цветками молодыми и зрелыми орехами и бобы (в разрезе) со зрелыми семенами (плодами).

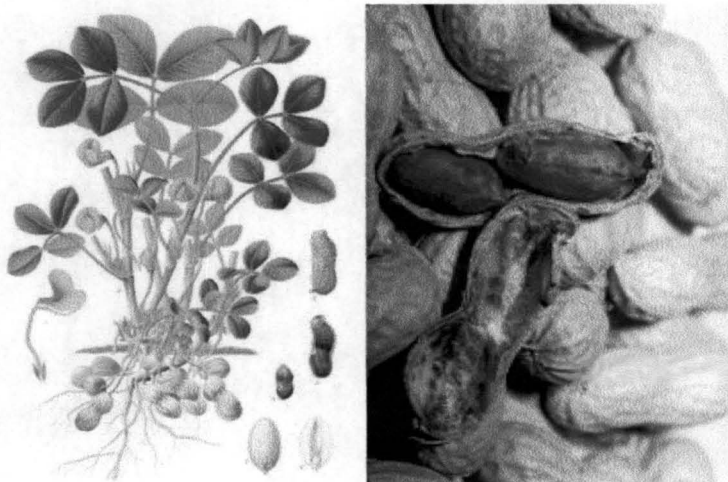


Рис.1.1. Земляной арахис

Благодаря исключительному сочетанию ценных качеств в орехах арахиса эта культура имеет самое разнообразное применение [40, 85, 90, 120, 126].

Богатство орехов арахиса высокоценным маслом (от 42 до 60 %) и легко усваиваемым белком (от 28 до 34,6 %) открывают большие возможности использования как самих орехов, так и жмыха из них, ещё более богатых белком (до 44,5 %). Количество золы, воды и клетчатки в орехах арахиса незначительно, что ещё более увеличивают ценность его как пищевого продукта. Пищевая ценность орехов арахисов в сравнении с другими пищевыми культурами показана (таб. 1.1) [126].

Таблица 1.1

Пищевая ценность арахиса

Протеиновые продукты	Белок, %	Углевод, %	Жир, %	Калорийность, калорий
Молока (Корова)	3,3	4,8	3,6	65
Яйцо (Курица)	13,3	-	13,3	173
Баранина	18,5	-	13,3	194
Говядина	22,6	-	2,6	114
Горох	22,3	57,2	1,7	333
Арахис	25,33	10,2	40,5	500-600

Установлено, что один килограмм семян арахиса дает 5 960 калорий; тогда как один килограмм куриных яиц лишь 1 192 калорий, т. е. калорийность арахиса почти в 5 раз больше калорийности куриных яиц [40].

1.1.1. Динамика производства земляного арахиса

По производству арахиса Нигерия (7%) занимает третье место в мире после Китая (более 42% общемирового урожая арахиса), Индии (31%), США - (5 %). В Африке Нигерия занимает первое место (более 33 % общего урожая арахиса). Второе место занимает Судан (15%). В первую четверку входят также Сенегал (11%) и Гана (6 %). В совокупности все четыре страны обеспечивают 65 % урожая в Африке. Следующие за ними Чад - 5,5 % и Конго ДР. - 4 %. Хотя Египет имеет самую низкую посевную площадь, он имеет самую высокую урожайность - 3,2 т/га и за ним ЮАР и Нигерия 1,7 т/га и 1,0 т/га соответственно [90].

Мировая площадь посев арахиса в настоящее время составляет 18,4 млн. га, а валовой сбор свыше 29,2 млн. т, тогда как у Нигерии площадь посев составляет 2,8 млн. га. Валовой сбор 2,7 млн. т. (табл. 1.2.).

Таблица 1.2

Производства арахиса в Нигерии с 1961 – 2004г.

Показатель	В среднем за 10 лет				
	1961 - 1970	1971 - 1980	1981 - 1990	1991 - 2000	2001-2004
Площадь, тыс. га	1937	1236	656	1908	2767
Урожайность, кг/га	918	707	1148	1057	974
Валовой сбор, тыс. т	1778	874	753	2016	2694

Динамика производства земляного арахиса (посевная площадь, сбор урожая и урожайность) в Нигерии представлен на рис.1.2.

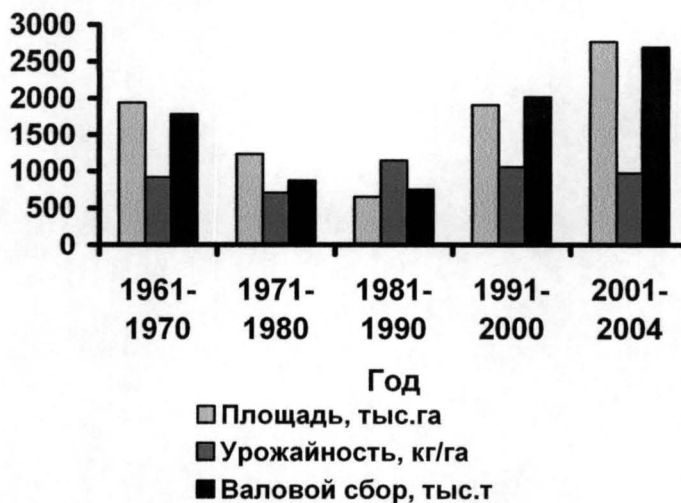


Рис.1.2. Динамика производства земляного арахиса в Нигерии

1.1.2. Особенности производства земляного арахиса в Нигерии

Нигерия (рис.1.3.) находится на южном берегу Западной Африки, протянувшись с 2° до 15° западной долготы и 5° до 15° северной широты. Страна граничит с Республикой Бене на западе, Нигером на севере, Чадом и Камеруном на востоке. Южная часть граничит с Заливом Гвинеи - области перехода болот и тропических лесов побережья в открытую

лесистую местность и саванну на низком плато, которое расширяется в центральной части страны и переходит в полупустынные равнины на севере [118].

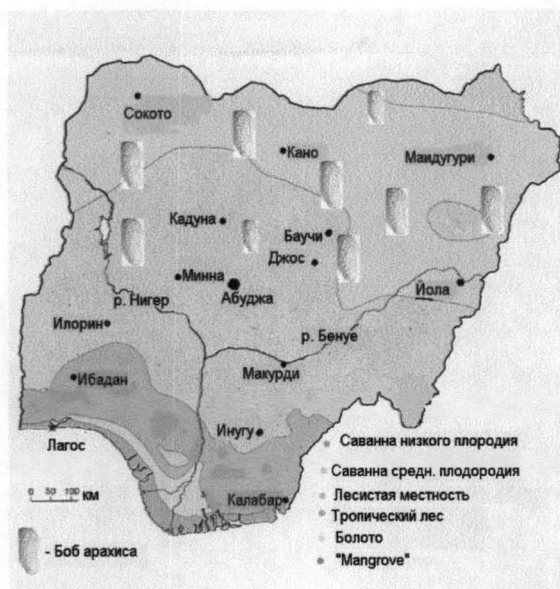


Рис.13.. Карта Республики Нигерии с регионами возделывания арахиса

Сельское хозяйство Нигерии дает 45% валовой национальной продукции. Арахис является одним из главных продовольственных посевов. Общая площадь земель в Нигерии составляет 92,4 млн. га (923,8 км²), сельхозгодия 91,0 млн. га, пашня 33,0 млн. га, в том числе: под пищевые культуры - 17,7 млн. га и под технические культуры - 4,9 млн. га. Урожайность семян арахиса в Нигерии пока не больше 1,0 т/га [120].

Производство земляного арахиса в Нигерии по большей части сконцентрировано в северных штатах, где почва и агроклиматические условия наиболее благоприятные. Дождливый сезон продолжается от 70 до 200 дней с количеством осадков, колеблющимся от 650 до 3800 мм. Северные штаты производят свыше 99% земляного арахиса, тогда как южные штаты менее чем 1 % [120]. Штат Кано является крупным производителем арахиса (свыше 33%) где он возделывается в основном в мелких крестьянских хозяйствах в одновидовых посевах или совместно с сорго, кукурузой или маниоккой. Арахис сеют в средние мая на рыхлой почве.

1.1.3. Биологические особенности арахиса

Арахис, или земляной орех, относится к семейству бобовых. По характеру развития куста арахис разделяется на кустовые и стелющиеся формы. Корень арахиса – стержневой, глубоко проникающий в нижние слои почвы. Высота главного стебля у кустовых форм, в зависимости от сорта и условий роста, от 15 до 50 см, диаметр куста 25 - 40 см.

У стелющихся форм высота главного стебля незначительна, причем диаметр куста бывает до 1,5 м. Стебель арахиса сильно ветвится. Число боковых ветвей на кусте 8 - 10 и более. Расположение листьев очередное. Цветки мотылькового типа. Окраска цветков желтая или оранжевая, различных оттенков. Арахис – самоопыляющееся растение. После оплодотворения завязь начинает сильно разрастаться и образует утолщенный на конце длинный вырост, который называется гинофорой. Гинофора изгибается вниз и направляется к почве. Достигнув почвы, конец гинофоры погружается вглубь, и здесь, под землей, из утолщенного конца образуется плод. Если Гинофора не достигнет земли, то она засыхает и плода не образуется. Необходимым условием для развития бобов является достаточный приток теплоты и влаги [40, 99, 114].

1.1.4. Почва

Арахис лучше всего растет на рыхлой почве и чистой от сорняков с глубиной вспашки не менее 25 – 30 см. Почвы Нигерии легкие по структуре, в основном песчаные. Содержание глины находится в пределах 7...43%. Количество осадков колеблется от 650 мм (на севере страны) до 3 800 мм (на юге). Плодородие почвы оценивается по содержанию органического углерода (ОУ), что в свою очередь определяет содержание азота в почве (табл. 1.3) [85, 120].

Оптимальное значение pH почвы 6,0 – 6,5. Арахис отличается длительным вегетационным периодом. У скороспелых форм от всходов до

созревания проходит от 130 до 150 дней, у среднеспелых – от 150 до 170 дней и у позднеспелых от 170 до 200 дней.

В настоящее время в Нигерии выращивается более 16 разновидностей и сортов земляного арахиса [85, 114,120] (приложение 1).

Таблица 1.3

Минеральный состав нигерийских почв

Уровень минералов	низкий	средний	высокий
Азот	<0,5% (оу)	0,5...75% (оу)	>75% (оу)
Фосфор	<20кг/га	20...40 кг/га	>40 кг/га
Калий	<115кг/га	115...275кг/га	>275кг/га

1.1.5. Возделывание арахиса

В тропических странах оптимальная температура для роста и развития земляного ореха 25...30°C. Лучшая относительная влажность воздуха для арахиса находится в пределах 72....82 %, которая характерна для районов его возделывания [65, 85, 90, 120]. В Нигерии арахис сеют в середине месяца апреля до конца месяца мая на рыхлой почве. На мелких участках арахис сеют вручную в бороздки с между - рядами 1м и расстояниями между семенами 30см, а на больших участках используют сеялки [40, 53, 65]. При посеве глубина заделки семян арахиса устанавливается в зависимости от влажности почвы и её механического состава. На суглинистых почвах заделываются на глубину в 5 – 7 см, в зависимости от залегания влажного горизонта. На легких супесчаных почвах глубина заделки – до 10см. При благоприятных условиях всходы арахиса появляются в течение недели. Как только обозначатся рядки всходов арахиса, проводят очистку от сорняков вручную (мотыгами на малых участках) и культиваторами на больших площадях. Значительно повышает урожай подкормка всходов арахиса минеральными удобрениями (золы, суперфосфат, калийная соль, сульфат аммония) и местными удобрениями (птичий помёт и др.). Арахис созревает через 3 - 4 месяца.

1.2. Способы уборки и послеуборочной обработки арахиса

Уборка арахиса – один из важных и ответственных процессов в технологии его производства. Она зависит от условий возделывания и объема производства.

Оптимальное время для уборки - когда большинство бобов имеют коричневую поверхность, окрашены, и 75% бобов станут темными на внутренней поверхности оболочки. Влажность бобов и орехов арахиса в период уборки колеблется в пределах 35 - 50% (мокрый способ), 18 - 25% (полусухой способ) и 8 - 10% (сухой способ) [86, 116].

Уборку арахиса обычно выполняют вручную. В развивающихся странах Азии и Африки уборку арахиса проводят с использованием простых орудий и машин [85, 86, 87]. В Нигерии арахис убирается с середины августа по середину сентября, когда бобы арахиса созрели, и наступает конец дождливого сезона. При этом способе зерна остаются практически неповрежденными, а потери – минимальными. Однако ручной способ очень трудоемок и малопродуктивен.

1.2.1. Раздельный способ

В развитых странах арахис убирают машинами. Комбайновые способы обработки арахиса отличаются технологией, рабочим процессом и конструкцией машин. При раздельном способе (рис.1.4.) [86, 102, 103], используют арахисокопатели, арахисоподъемники, переоборудованные культиваторы и др. Когда арахисы подкапываются, извлекаются из почвы, отряхиваются от земли и укладываются в валок.

После подсушивания растений в течение 7 – 9 дней валок подбирают и обмолачивают комбайном - КМС- 4. При отсутствии указанных машин выкапывать арахис можно плугами со снятыми отвалами, а также можно использовать картофелекопатели [92, 117].

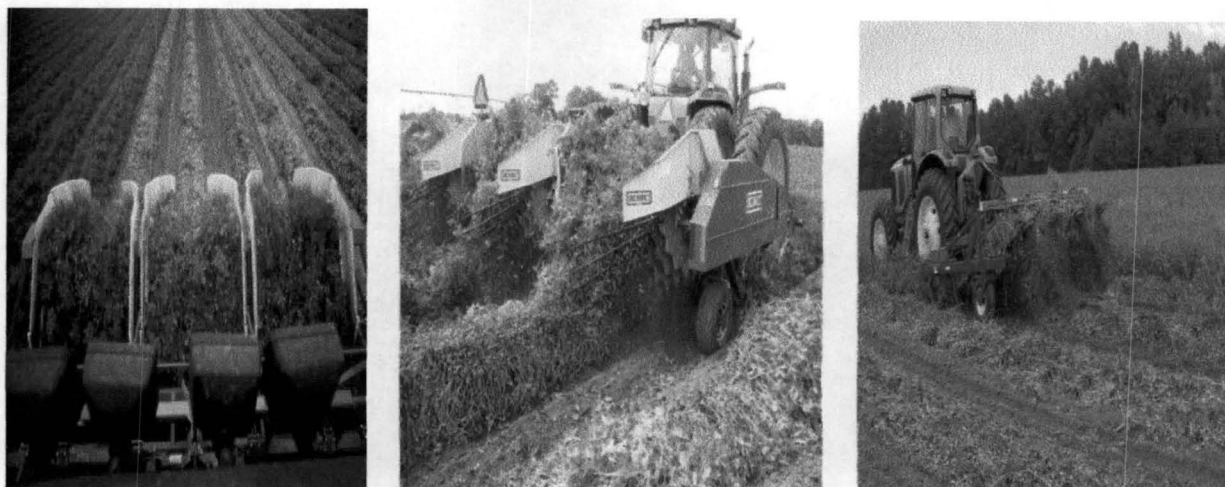


Рис.1.4. Уборка арахиса раздельным способом

Однако раздельный способ уборки арахиса имеет ряд недостатков. Прерывается поточность процесса уборки, включающего много технологических операций (подкапывание, извлечение, отряхивание, укладывание в валки, подборка и обмолот).

Например, 40 процентов общих затрат труда, для выращивания этой культуры идут на уборочные процессы [85].

1.2.2. Прямой комбайновый способ

В Аргентине комбайны собирают и обмолачивают арахис за один проход и получают обмолоченные орехи, вместо бобов [120].

Фирма КМС (США) создала новый 4 – рядный комбайн (рис.1.5) для уборки арахиса, который заменит ранее применявшийся 2 – рядный. Новый комбайн показал хорошие результаты при выкопке наиболее трудно-убираемых сортов виргинского типа [117].

Потери при уборке бывают значительными (около 10 %) и обусловлены несколькими причинами: отрывом бобов при затягивании сроков уборки, излишне сухими и тяжелыми почвами, неправильными регулировками комбайна, отрывом орехов в почве и при встряхивании куста непосредственно при выкопке.



Рис.1.5. Комбайн КМС для прямого способа уборки

Для снижения этих потерь до 5 % необходимо применять острые одинаково заглубленные выкапывающие орудия и поднимать растения вертикально при скорости машины не более 6,4 км/ч [117].

1.2.3. Послеуборочная обработка

1.2.3.1. Обрывка

Обрывка - отделение бобов арахиса от растений [40]. Она производится под навесами, на специальных обрывочных машинах или вручную.

Обрывка включает отделения бобов от лозы, выделение их от листьев и отсеивание мякины.

При ручной обрывке применяют руки и так называемые арфы. Арфа представляет собой деревянный ящик размером 60 x 60 см с высотой 80 см, с железными прутьями или деревянными планками, которые параллельно укреплены в верхней части ящика, с просветом в 3 см. Дно ящика сетчатое [40]. На рис.1.6 показана обрывка арахиса руками в развивающихся странах Африки. Иногда удаление бобов выполняется одновременно с уборкой, когда площадь посева небольшая, а рабочие доступны. В этом случае, бобы после обрывки сразу сушатся. На хранение закладывают бобы с влажностью не выше 8...10 %.



Рис.1.6. Обрывка арахиса руками

В развивающихся странах Азии также применяются установки для обрывки бобов арахиса. Производительность и чистота шелушения некоторых типов таких установок приведены в табл. 1.4 [92].

Таблица 1.4

Тип машин для обрывки бобов арахиса

Тип Установки	Производительность, кг/ч	Чистота шелушения , %
Разборчик управляемым педалям	66,6	98
Лопастной разборчик с вентилятором	30,4	-
Резиновой разборчик	60 - 80	95
Разборчик с вентилятором	18 - 24	-

1.2.3.2.Сушка

Сушка – процесс снижения влажности бобов от исходной до кондиционной (14....17 %) [105, 106], благодаря чему орехи могут длительно храниться. Наряду с предотвращением порчи бобов сушка облегчает выделение примесей при очистке, выравнивает механические свойства зерновой массы, облегчает транспортирование бобов по самотечным трубам.

Бобы должны храниться сухими, защищенными от насекомых и грызунов, без изменения цвета, вкуса и предотвращения прогорклости. Влажные бобы и орехи сушат до влажности 8-10% [104], обеспечивающей длительную сохранность материала без изменения его качества. В развивающихся странах бобы и орехи сушат под естественным солнцем (рис.1.7) на открытой площадке. Естественную сушку применяют, если

влажность зерновой смеси меньше 20 % [104, 105, 106]. Искусственная сушка мокрого или полусухого арахиса должно начаться немедленно после уборки комбайнами, чтобы предохранять рост плесени и образование "aflatoxin".

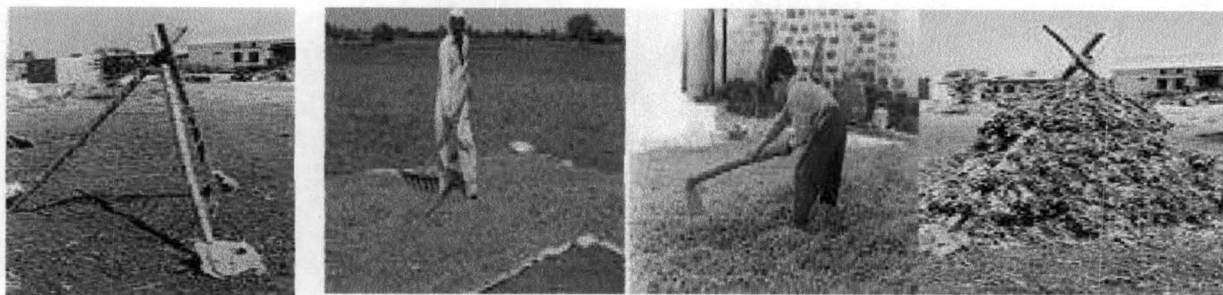


Рис.1.7. Виды открытой сушки (Естественная сушка)

Присутствие "aflatoxin" - имеет большую угрозу в регионах производства арахиса с теплым климатом. FAO [90], установил предельную величину содержания "aflatoxin" в 30 мкг/кг, как непригодный для потребления человеком. Тем не менее, арахисы и его продукты, доступные в Африке, могут содержать свыше 1000 мкг / кг. В Нигерии, были обнаружены арахисы, содержащие 120 - 510 мкг / кг "aflatoxin B1, B2, G1 и G2" проданные на рынке [107]. Строгие нормы качества, установленные развивающимся странам, привели к серьезному спаду в международной торговле арахисом. Это повлекло к падению экспорта арахиса из развивающихся стран, с соответствующими серьезными последствиями для их экономического развития. Строгие экспортные нормы большое внимание уделяют заражению "aflatoxin" и другим показателям качества экспортного арахиса, но очень мало уделено внимания на употребляемые арахисы в Нигерии [107, 120, 123]. Атмосферный воздух может быть использован для сушки, когда относительная влажность воздуха ниже 65%. Кроме удаления воды, сушка вызывает физические и биохимические изменения в орехах которые могут быть как вредными, так и полезными, благоприятными для вкуса и качества. Арахисовое семя не должно быть нагрето выше 35 °С, чтобы избежать ухудшения вкусов, а скорость сушки не должна превышать 0,5% за час. Безопасное хранение арахиса требует атмосферу с низкой

относительной влажностью (60.....70%). Robinson [104, 116, 122, 123] сообщал, что арахис хранится без ухудшения свойств при влажности около 7% в относительной влажности воздуха 65 - 70%.

Существует несколько других способов нагрева и сушки зерна - такие как конвективный, кондуктивный, радиационный, электрический и сорбционный способы. Сорбционный способ применяют для сушки семян с низкой термостойкостью (горох, бобы арахиса и др.). В развитых странах (США, Китай и др.) влажные зерна арахиса сушат конвективно-контактным способом в зерносушилках периодического или непрерывного действия в неподвижном, подвижном и псевдооживленном слое зерновой массы. Сушилки для арахиса бывают стационарные и передвижные, открытого исполнения и с установкой в здании.

После сушки арахисы могут подвергаться дальнейшей обработке или храниться в виде неочищенных бобов.

Равновесная влажность арахиса при различной относительной влажности показано (таб.1.5) [104].

Таблица 1.5

Равновесная влажность в арахисе

Компонент арахиса	Относительная влажность, %						
	44	53	64	70	75	86	92
Средняя влажность, %							
Неочищенный арахис	6,2	6,9	8,2	8,2	9,0	12,8	19,3
Зерно	5,2	5,8	-	6,7	7,1	11,3	17,2
Стручки боба	9,6	11,5	12,4	-	14,5	16,5	20,1
Кожура	13,9	14,3	15,1	-	17,9	19,9	52,8

1.3. Физико-механические и технологические свойства арахиса

Под физико-технологическими свойствами следует понимать те свойства, которые оказывают существенное влияние на протекание рабочих процессов послеуборочной обработки, сушки, хранения и переработки. К таким свойствам относятся: геометрические размеры, масса 1000 семян, форма, аэродинамические свойства (коэффициент парусности, скорость

витания), натура, сыпучесть, скважность, пленчатость, выравненность, прочность ядра и оболочки, упругость. Показатели этих свойств, в зависимости от сорта, природно-климатических условий произрастания и агротехнических условий возделывания находятся в довольно широких пределах, и могут качественно меняться под воздействием определенных внешних и внутренних факторов.

Размеры арахиса в зависимости от вышеуказанных условий находятся в следующих пределах:

* длина 20 – 70 мм, ширина 9 - 25 мм, толщина 9 – 23 мм (бобов),

* длина 9 - 18 мм; ширина 5 - 13 мм; толщина 5 - 11 мм (орехов).

Масса отдельных орехов изменяется в широких пределах. Масса 1000 семян позволяет более объективно судить, о средней массе отдельных зерен.

Арахис одна из известных масличных культур, орех которой имеет своеобразную форму. Боб арахиса напоминает шелковичный кокон с одним или несколькими перехватами посередине. Поверхность боба сетчатая, рыхлого строения. Окраски боба светло-розовые, желто - и темно-красные, черно-фиолетовые, иногда пестрые. По размерам бобы разделяются на мелкие – от 20 до 25 мм длины, средние – от 25 до 35 мм и крупные – от 35 до 70 мм длины. В зависимости от соотношения массы оболочек и массы семян различают бобы с низким содержанием оболочек (19 - 25%), со средним содержанием (25 – 30%) и высоким содержанием оболочек (свыше 30%). В зависимости от сорта число семян в бобе колеблется от 1 до 3 и редко до 4 или 5 [40, 114, 115]. Орех состоит из двух семядолей, между которыми по длине расположен зародыш. Окраска семядолей светлокремовая.

Для процессов послеуборочной обработки, подготовки к переработке и сортирования продуктов переработки бобы арахиса представляет интерес скважистость. Под скважистостью следует понимать процентное содержание пустот объема занятого зерновой массой арахиса. Скважистость характеризует воздухопроницаемость зерновой массы и продуктов

переработки, которая определяет условия послеуборочной обработки, хранения и сортирования продуктов переработки.

Важными свойствами зерновой массы в процессе переработки является сыпучесть и способность к самосортированию. Сыпучесть характеризуется углом естественного откоса, т.е. углом конуса семян у основания, образованного при их свободной засыпке на горизонтальную плоскость.

1.4. Обзор установок (машин) для обмолота бобов арахиса

Орехи земляного арахиса находятся в бобах, поэтому для их использования как продукта питания или как семенного материала необходимо удалить оболочку этих бобов. Однако вероятность получения “чистого” ореха из боба очень затруднительна. Обмолот - удаление оболочки боба арахиса и является одним из основных и трудоемких процессов в технологии производства арахиса и зависит от условий возделывания [101].

Технологический процесс подработки арахиса можно представить следующей схемой: очистка от примесей - сортирование арахиса в бобах по крупности – обмолот (выделение ядра из боба) - сортирование обмолоченного зерна – шелушение (отделение ядра от ореховых оболочек) - сортирование полученной продукции. Основным звеном в этой схеме является обмолот бобов и шелушение орехов. Такую схему используют на масличных перерабатывающих заводах, в масличных цехах при маслоперерабатывающих предприятиях, дополняя при необходимости другими технологическими операциями. На предприятиях малой мощности, и в условиях сельскохозяйственных предприятий рассмотренную схему применяют в упрощенном варианте.

Съедобный арахис (орех) должен удовлетворить очень строгим стандартам. Некоторые из них специфические, и ведут к общему улучшению качества арахиса. Это - особенно важно с точки зрения здравоохранения, относящегося к контролю за содержанием "aflatoxin" (т.е. плесень, вызывающая раковые заболевания) [119] и получения семян для посева.

Съедобный арахис – соблюдение стандартов и соблюдение требований на продукцию по следующим показателям: процент обмолота, возможность прорастания, предотвращение заражения "aflatoxin", размерами и формами бобов, возможность снятия кожуры и раскалывание на семядоли, изменение качеств ореха после прожаривания.

Исходя из анализа литературных источников, следует отметить, что конструирование и использование машин для шелушения семян масличных культур делается по следующим направлениям [6, 61, 71, 72, 73]:

- совершенствование конструкций серийных установок, основанных на механическом способе воздействия;
- создание машин ударно-инерционного типа;
- разработка установок, основанных на принципе воздействия воздушного потока высокой скорости;
- разработка комбинированных установок, основанных на комплексном воздействии перспективных способов обмолота.

Первое направление основано на совершенствовании рабочих органов серийных машин, расположения их относительно подачи материала, а также типа поверхности рабочих органов. Это направление является наиболее развитым.

В развивающихся странах Африки, Азии и Латинской Америки обмолот бобов арахиса выполняют вручную и с использованием простых орудий и машин (рис.1.8 и 1.9). Эти простые орудия и машины работают под действием усилия сжатия, сдвига и трения [68]. При этих способах зерно (орех) остается практически неповрежденным, а потери – минимальными. Однако эти способы очень трудоемки и малопродуктивны.

В Мали разработана конструкция установки [98] для обмолота бобов арахиса. Это установка очень проста и требует менее \$50 на материалы и изготовление при сроке годности до 25 лет. Установка способна обмолотить 50 кг сырых, воздушно-сушеных бобов арахиса за час. Зерна и фрагменты

боба входят в корзину, и подвергаются воздушному разделению. Недостаток установки – низкая производительность.

В Нигерии из-за особенностей арахиса, почвено-природных климатических условий и бедности производителей арахиса, арахисоуборочные комбайны не получили широкого применения и арахис обмолачивается руками.

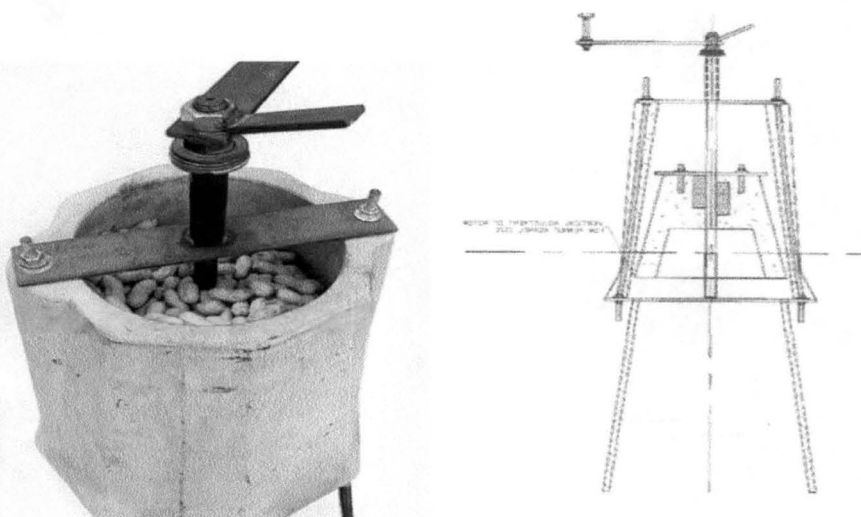


Рис.1.8. Малийский версия установки для обрушивания (обмолота) бобов арахиса

Достоинство ручного способа обмолота бобов арахиса – низкий степень повреждение орехов (1,1%) и высокое степень обмолота орехов (99%), но его производительность - 0,75кг/ч совершенно недостаточной [93, 94].

В Азиатских странах (Таиландии, Китая, Индии и др.) разработаны конструкции установок (лопастного типа, жернового типа, шинного типа, резиного типа, TP1, VISCA, UPLB, VVSU, CLSU, KKKU, DA-II и другие) [95, 96, 97, 98] для обмолота бобов арахиса.

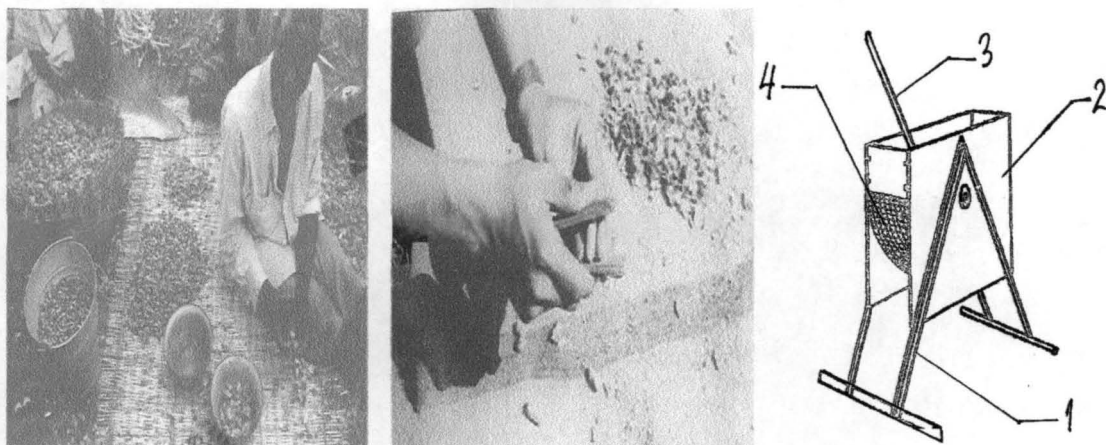


Рис.1.9. Обмолот бобов арахиса руками и на простой машине: 1 – рама; 2 – корпус; 3 - рукоятка; 4 – проволочная сетка

Достоинство таких установок: чистота обмолота составляет 82...92%, просты в конструкции и доступны по цене многим Фермерам, а недостаток - низкая производительность 36...160 кг/ч. На рис.1.10 и 1.11 показаны схемы установки лопастного и шинного типа.

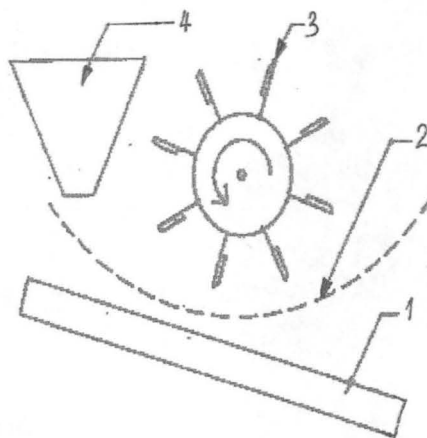


Рис.1.10. Установка лопастного типа: 1 – контейнер; 2 – проволочная сетка; 3 – лопастной битер; 4 – бункер

Интерес представляет установка Японской фирмы «Сатаки» [124] для обмолота бобов арахиса. Установка представляет собой сварной каркас, в верхней части которого размещен узел механической обработки зерна, выполненной в виде расположенных горизонтально шлифовальных кругов. Внутри каркаса размещен сортировальный стол.

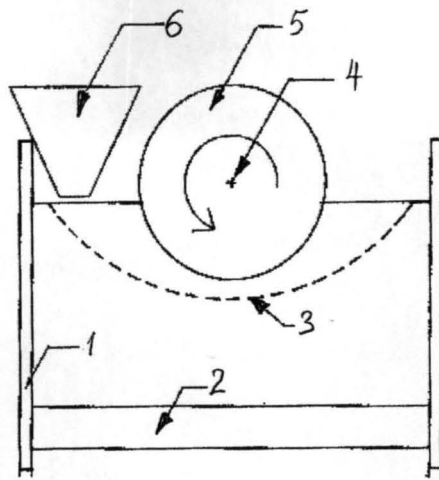


Рис.1.11. Установка шинного типа: 1 – рама; 2 – контейнер; 3 – сетка; 4 – Вал; 5 – шина; 6 – бункер

Фирма «Сатаки» производит установки для обмолота бобов арахиса в двух вариантах по производительности и использованию: NU - 8s и NU - 3s. Для охлаждения валиков в установке установлен вентилятор. Установка выпускаются с аспиратором и без него. Эта же фирма выпускает установочный постав S-100 [124]. Здесь предусмотрена возможность девятипозиционного регулирования интенсивности и времени обработки зерна. Фирма «Бюлер» (ФРГ) выпускает четырехвальцовый станок MDDK. В этой установке с целью повышения производительности установлены две пары вращающихся навстречу друг другу, валиков [125]. Положительным у данного направления развития машин для обмолота бобов арахиса является - надежность и возможность быстрого внедрения в существующие технологические линии арахисозаводов. Однако при использовании таких установок в условиях малых хозяйств из-за невозможности выполнения всех необходимых подготовительных операций намного снижается производительность, степень обмолота бобов арахиса и степень извлечения ядра. Все это приводит к повышению себестоимости продукции. Кроме того, элементы износа рабочих органов этой группы машин засоряют арахис. В Китае также применяются машины для обрушивания (обмолота) арахиса Модель LY-D (рис.1.12). Производительность – 500 кг/ч, степень

обрушивания (обмолота) 99%, степень повреждения меньше 5% и выход материала больше 97% [91].

В развитых странах особенно в Америке, Аргентине и других, земляные арахисы обмолачивают комбайнами. Комбайновые способы обработки арахиса отличаются технологией, рабочим процессом и конструкцией машин.

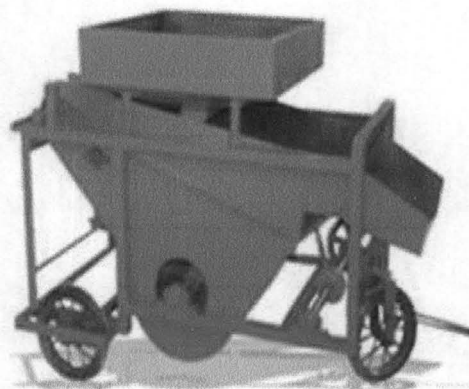


Рис.1.12. Машина для обрушивания (обмолота) арахиса Model LY-D

При прямом комбайнировании, обрывка, бобов от растений арахиса, очистка бобов от посторонних материалов, обмолот бобов, и очистка орехов арахиса совершаются в одном агрегате, т.е. за один проход комбайна [117]. Этот способ применяется в случае ненастной погоды с затяжными дождями, а также плохопросыхающей почвой и упрощает уборку и обмолот бобов, быстро освобождаются поля для других культур. Однако, в этом случае, арахис имеет высокую влажность.

После прямого комбайнирования орех требует дополнительной сушки. В связи с этим, его применение ограничено недостаточной оснащённостью хозяйств агрегатами по переработке и сушки зерна. Эффективность этого способа уборки и обмолота бобов повышается при использовании препаратов для высушивания бобов. С другой стороны, при прямым комбайнировании, затраты труда на гектар снижаются в 2....3 раза, по сравнению с отдельной уборкой и обмолотом [92]. Обмолоченный арахис подвергается сортировке, и подвергаться дальнейшей обработке, т.е. шелушению.

В настоящих исследованиях обмолот бобов арахиса проводился на установке дискового типа с дисками из резины. Ниже описаны исследования дисковой установки только для шелушения плодов арахиса.

1.5. Направления использования арахиса и особенности их обработки

Арахис относится к числу ценных масличных культур, поскольку орехи содержат до 60% жира и более 30% белка. Арахис имеет самое разнообразное применение [40, 85, 90, 115, 119, 126].

Ниже перечислены основные направления использования бобов арахиса:

1) Основная масса урожая перерабатывается на масло. При холодном прессовании получают высшие сорта почти бесцветного масла — превосходного пищевого продукта без запаха, своим приятным вкусом почти не уступающего оливковому маслу. Оно идет в пищу, но главным образом для приготовления лучших сортов рыбных консервов, маргарина, кондитерских (шоколада) и хлебобулочных изделий. Используется оно также в фармакологии.

2) Всем, должно быть, хорошо известно, что поджаренные орешки вкусны сами по себе, поэтому их охотно едят целиком, нередко посолив или посыпав сахаром. В раздробленном виде они подмешиваются ко многим кондитерским изделиям. Из них готовят кофе, различные кремы и пасты, напитки, всевозможные кондитерские изделия, в том числе халву. Орехи эти очень калорийны [40]. В Африке из земляных орехов готовят суп или едят их в смеси с пшеном или рисом. В Китае арахис служит сырьем для приготовления более чем 300 видов продукции. В Северной и Южной Америке очень популярно лакомство — масло из земляного ореха, состоящее из размолотых орехов, мёда, соевой муки, солода и арахисового масла, растертых до однородной пасты. Также в Америке свыше 300 использований арахиса, включая краски для тканей и др. [108, 109].

3). Низшие сорта масла идут на мыловарение, при этом получают высококачественное, так называемое марсельское мыло. Жмых и шрот представляют собой прекрасный концентрированный белковый корм, идущий для откорма птицы и рогатого скота, особенно молодняка.

4). Из белка арахиса изготавливают пластмассы, клей и много других продуктов. В то же время, будучи бобовым растением, арахис является хорошим мелиоратором почвы и так же, как и люцерна, обогащает ее азотом.

5). Ботва, как и сено из нее, охотно поедается скотом и по питательности почти не уступает люцерновому селу. Створки бобов используют в качестве мульчирующего материала для улучшения состава почв, подстилки в птицеводстве и в строительстве (для создания древесно-стружечных плит или изоляционного материала), для производства упаковки.

6). По данным FAO [90], Нигерия не экспортирует земляной арахис, все идет на внутреннее употребление как кормовое, продовольственное и техническое. Торт земляного арахиса часто используется в качестве местной закуски, называемой «кули-кули», а арахисовая мука находит применение в приготовлении супа, соуса, сладостей и других кондитерских изделий. Шелуха арахиса - потенциальный источник топлива и корма для домашнего скота и применяют ее для мульчирования и кондиционирования почвы.

1.6. Обзор конструкций установок для шелушения орехов арахиса

Технология промышленного шелушения арахиса включает два основных этапа: подготовительный и шелушильный. На первом этапе арахис подвергается очистке от примесей, гидротермической обработке и предварительно разделяется по крупности. На втором этапе производится шелушение, т.е. процесс удаления кожуры от ядра ореха. Одновременно проводится сортировка продуктов шелушения, ядру придаются требуемые форма и размер [6, 11, 46, 47].

Одним из факторов определяющих способ шелушения, является прочность ядра и оболочки, а также характер их связи.

Продукты шелушения представляют собой смесь шелушенных и нешелушенных орехов, дробленого ядра, лузги и мучки. Физико-механические и технологические свойства мучки, и лузги существенно отличаются от физико-механических и технологических свойств цельных ядер, дробленки и нешелушенного арахиса, поэтому при сортировке их выделение не представляет особых затруднений. Для этого обычно применяют воздушные сепараторы. Однако разделение ядрицы, дробленки и нешелушенного арахиса связано с некоторыми трудностями из-за незначительного различия их геометрических параметров. Поэтому для их разделения применяют машины, работающие по принципу сортирования продукта по плотности и состоянию поверхности [4, 14, 20, 54].

Эффективность функционирования рассмотренных технологических схем зависит от многих факторов. Наиболее важным звеном, определяющим технологическую эффективность процесса выработки масла, является шелушение. Процесс шелушения осуществляется шелушительными машинами, основанными на использовании разнообразных способов воздействия их рабочих органов на объект переработки.

Технологическая эффективность процесса шелушения, качество бобов и технико-экономические показатели шелушительных машин в основном определяют две группы факторов: факторы, обусловленные анатомическим строением, физико-механическими, технологическими свойствами ореха, и факторы, зависящие от конструктивно-технологической схемы шелушителей и их рабочих органов, а также режимов их функционирования (рис.1.13). К первой группе факторов относятся: выравненность, пленчатость, форма ореха; прочностные характеристики ореховой оболочки и ядра; форма связи оболочки с ядром; влажность, и главным образом показатель разности влажности ядра и оболочки.



Рис.1.13. Схема структурной связи факторов, влияющих на технологическую эффективность процесса шелушения

Оптимальные параметры составляющих второй группы факторов определяются технологическими и техническими параметрами.

Технологическую эффективность процесса переработки ореха арахиса в масло определяют, чистотой шелушения ($K_{ш}$), которая характеризует количественную сторону процесса и целостностью ядра ($K_{ия}$), характеризует качественную сторону процесса [2, 59, 71].

Чистота шелушения позволяет определить процент бобов, отшелушенных орехов на данной машине, по отношению к количеству поступившего на нее нешелушеного арахиса. Данный показатель определяет продолжительность шелушения.

Целостность ядра характеризуется отношением цельных ядер к общему количеству шелушенного продукта после однократного пропуска через шелушительную машину.

Исходя из изложенного, следует, что разработка и создание универсальной шелушительной машины, которая могла бы обеспечить высокие показатели технологической эффективности является важной задачей.

Обобщенная классификация способов шелушения (таб.1.6) были исследованы такими учеными как М. Е. Гинзбург, Г. А. Егоров, Е. М. Мельников, А. Б. Демский, М. А. Борискин, и др. [11, 18, 45, 61, 72, 73].

Таблица 1.6

Классификация способов шелушения

Способ шелушения	Характеристика ядра	Форма связи оболочки с ядром
Шелушения арахиса сжатием и сдвигом	Ядро хрупкое, мало хрупкое	Оболочка охватывает ядро, но с ним не срастается или срастается в одной точке
Однократный или многократный удар	Ядро эластичное	Оболочка охватывает ядро и не срастается с ним (однократный удар), срастается с ним (многократный удар)
Шелушение трением об абразивную поверхность	Ядро прочное	Оболочка плотно соединена с ядром по всей поверхности
Аэродинамическое шелушение	Ядро нехрупкое, мало хрупкое	Оболочка охватывает ядро, но с ним не срастается или срастается в одной точке
Пневмомеханическое шелушение	Ядро хрупкое, мало хрупкое, эластичное	Оболочка охватывает ядро, но с ним не срастается или срастается в одной точке
Пневмогидродинамическое шелушение	Ядро хрупкое, мало хрупкое, эластичное, твердое	Оболочка охватывает ядро, но с ним не срастается или срастается в одной точке

В настоящее время применяются или находятся на стадиях разработки следующие способы шелушения [58, 71, 72, 73]:

- шелушение зерна сжатием и сдвигом;

- шелушение многократным или однократным ударом;
- шелушение трением об абразивную поверхность;
- аэродинамическое шелушение;
- пневмомеханическое шелушение;
- пневмогидродинамическое шелушение.

Способ шелушения зерна сжатием и сдвигом основан на воздействии на зерно двух рабочих поверхностей, расстояние между которыми меньше размера зерна. При данном способе обязательно условие движения одной рабочей поверхности относительно другой. Это достигается, когда одна поверхность движется, а другая неподвижна, или одна поверхность движется быстрее относительно другой. Данный способ применяется, в случае если оболочка зерна не срослась с ядром.

Второй способ шелушения основан на принципе однократного или многократного удара зерна о рабочую поверхность шелушителя. Данный способ приемлем как для зерна, где ядро и пленка не срослись, так и для зерна, у которого ядро и пленка срослись между собой. При этом для первого случая применяют однократный удар, а для второго случая - многократный. Применение данного способа приводит к образованию большого выхода дробленого зерна, и поэтому не применяется для культур с хрупким ядром. В то же время этот способ незаменим, когда ядро нехрупкое или необходимо получить дробленую крупу.

Способ шелушения трением об абразивную поверхность применяется лишь в случае, когда оболочка зерна и ядро прочно срослись между собой. Находясь в рабочей зоне шелушительного аппарата зерно, постоянно подвергается истирающему воздействию абразивной поверхности, которая постепенно истирает оболочку со всех сторон зерна.

Аэродинамический способ шелушения основан на воздействии на зерно струи сжатого воздуха движущейся с высокой скоростью. При этом струя воздуха увлекает непрерывно поступающее из бункера зерно и переносит его в трубу шелушения. Здесь зерно испытывает ряд

разрушающих факторов, такие как трение, перепад давления и др., в результате чего разрушается связь между оболочкой и зерном и происходит шелушение.

Способ пневмомеханического шелушения основан на разгоне зерна вентилятором, на лопасти которого подается продукт, и дальнейшем перемещении его воздушным напором в шелушильную камеру. Там, под действием различных разрушающих сил (сила удара, трения, воздушного напора и т.д.), происходит шелушение.

Пневмогидродинамический способ основан на разгоне потока воздуха до высокой скорости и затягиванием этим потоком зерна перерабатываемой культуры в разгонную трубу. Проходя через разгонную трубу зерно, испытывает различные нагрузки, такие как удар зерна струей воздуха, трение струи воздуха об оболочку зерна, трение стенок разгонной трубы о зерно, и т. д. Выходя из разгонной трубы зерно на большой скорости ударяется о жидкую поверхность, где также испытывает ударную нагрузку.

Для разработки и создания перспективных машин, применяемых для шелушения крупяных культур, необходимо систематизировать их рабочие органы по принципу воздействия на перерабатываемый продукт, это позволяет дать объективную оценку процессу шелушения с точки зрения технической и технологической целесообразности применения способа шелушения. Такая систематизация машин для шелушения зерна крупяных культур по наиболее существенным признакам должна ложиться в основу их классификации.

Исходя из анализов литературных источников [11, 18, 19, 47, 59, 71], следует отметить, что разработка, конструирование и использование машин для шелушения семян масличных культур осуществляется по вышеуказанным направлениям [59] и они характеризуются большим разнообразием, значительно отличающимся как по способу шелушения, так и по конструктивному оформлению.

Шелушение ядер арахиса методом нагрева с последующим истиранием по абразивной поверхности.

Этот процесс дает возможность не только удалять кожицу, а иногда и зародыш, но и повысить качество очистки зерна.

Шелушение - процесс, который применяют для удаления кожуры от ядра при использовании целых орехов, как конечных продуктов. Несколько показателей влияют на шелушильные качества арахиса. Твердость зерна, объем зерна и его плотность влияют на качество шелушения. Установлено, что арахис, нагретый до 200 °С за 8 минут наиболее пригоден для шелушения [11].

Существуют такие методы шелушения как сухой, водяной, вибрационный и воздушной способы шелушения [116, 122].

- Сухое шелушение используется в производстве арахисового масла, поскольку оно удаляет зародыш из зерна (ядра) который влияет на вкус арахисового масла. Для сухого шелушения арахис нагревают до 125...138 °С за 25 минут. Нагретые арахисы затем охлаждают и пропускают через щётки или ребристо-резиновый ремень, чтобы истирать кожицу.

- Водяное шелушение - арахис поступает в контейнеры через неподвижные лопасти, которые разрывают кожуру арахиса. Кожура ослабляется горячими водными струями и снимается при прохождении арахисов под панелями холста на ремнях конвейера. Водяное шелушение требует последующей сушки арахиса до влажности 6 ... 12 %.

- При вибрационном шелушении используют пар, чтобы ослаблять связь ядра с кожей арахисов. Подача пара сопровождает движение бобов на вращающихся шпинделях, так как арахисы перемещаются вниз конвейера. Вибрация помогает разворачиванию кожицы арахисов.

- При воздушном шелушении используют горизонтальный вращающийся барабан (цилиндр) в который поступают арахисы. Внутренняя поверхность барабана имеет абразивную поверхность, которая помогает разрушению и снятию кожи с ореха при вращении барабана. Воздушные

струи продувают арахисы против вращения барабана, создают воздушные столкновения, и ослабляют связи ядра с кожей. При воздействии воздушного потока и абразивной поверхности барабана происходит удаление кожицы с тела ореха.

Хотя в России арахис не возделывается, но там применяют некоторые установки для шелушения семенной оболочки арахиса.

Установка для шелушения арахиса АШУ – 313 (рис.1.14) [91] относится к оборудованию для шелушения арахиса. Ее отличительные черты - это компактная конструкция, стабильная работа и малошумность. Из загрузочного бункера арахис попадает в шелушильный отсек, состоящий из двух трущихся валов и освобождается от арахисовой кожицы. Производительность установки – 200 кг/ч.

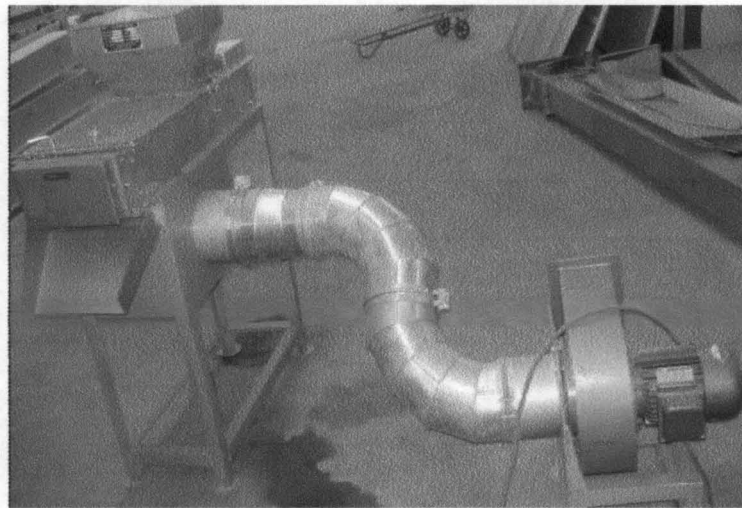


Рис.1.14. Шелушильная установка для шелушения арахиса АШУ

На рис.1.15 показана машина для охлаждения бобов с одновременным, удалением шелухи с жареного арахиса [110]. Устройство состоит из рамы, на которой крепится поддон для осыпаемой шелухи, длина барабана - 800мм, диаметр – \varnothing 600мм и сетка с отверстиями \varnothing 6 мм. Продукт засыпается в цилиндр с торца, который приводится во вращательное движение от электродвигателя в горизонтальном положении. После шелушения цилиндр останавливается и обшелушенный арахис высыпается. Установка для

шелушения арахиса предназначена для отделения шелухи от ореха жареного арахиса. Если орех качественно прожарен и охлажден, то шелуха удаляется на 98%. Очищение ореха от шелухи происходит за счет вращения лопастей в виде щеток. Машина может работать как в автоматических, так и в полуавтоматических линиях. Скорость вращения лопастей имеет плавную регулировку, что позволяет регулировать интенсивность шелушения. Производительность – 200 кг/ч.



Рис.1.15. Машина для охлаждения и удаления шелухи с жареного арахиса

Установка ШМЦ-180А (рис.1.16) [111] предназначена для механической очистки обжаренных орехов от мягкой оболочки или проще для шелушения арахиса. Производительность – 200 кг/ч. Режим работы непрерывный.

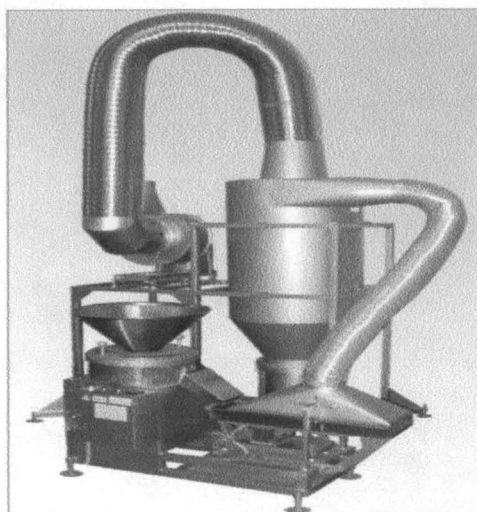


Рис.1.16. Шелушильная машина для арахиса, автомат (щеточного типа) ШМЦ-180А

Принцип работы машины (рис.1.17) [112] следующий. Пожаренный и остывший арахис подается в бункер машины, оттуда ровным слоем на вращающиеся валы. При вращении валов происходит обдирка (удаление) мягкой оболочки ореха. Очищаемый арахис транспортируется валами к выходным отверстиям, а снятая оболочка просыпается в зазор между валами и удаляется из машины. В процессе дальнейшей транспортировки арахис очищается от мучки дробленых зерен. Качество очистки зависит от степени и равномерности обжарки ореха. Степень очистки достигает 99%. Машина проста в обслуживании и не требует высокой квалификации персонала.

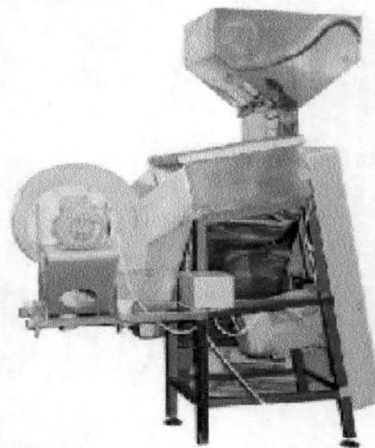


Рис.1.17. Машина для снятия мягкой оболочки арахиса

Зерношлифовальная машина МЗ – 140 (рис.1.18) [113] для шелушения ядра арахиса от цветковых оболочек с последующей аэродинамической очисткой. Машина работает в комплекте с аспиратором - узлом для аэродинамической очистки зерна или готового продукта (продовольственной крупы) от примеси. Производительность около 100 кг/ч, степень шелушения 85 - 95%.

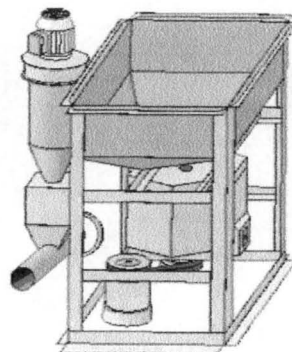


Рис.1.18. Зерношлифовальная машина МЗ - 140 для шелушения арахиса

Арахис перед шелушением должен быть прожарен (просушен), остужен и, по возможности, откалиброван. Шелушение арахиса проходит между двумя мягкими (матерчатыми) жерновами, зазор между которыми регулируется при помощи регулировочных шпилек. Ядро арахиса вместе с отделенной от него шелухой попадает в аспирационный канал, где происходит аэродинамическая очистка готового ядра. Отделенная от готового продукта шелуха оседает в циклоне и выводится наружу при помощи клапана. Производительность – 100 кг/ч.

Ниже перечислены некоторые зарубежные шелушильные установки [99, 100]. Рис.1.19 Вибрационная шелушильная установка. Производительность - 5 тон/ч.

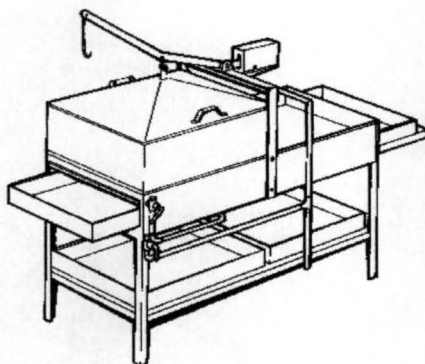


Рис.1.19. Вибрационная шелушильная установка

В США, Фирма “Universal Blanchers LLC” и фирма “PCA KIGAROY” разработали и выпустили такие шелушильные установки: “Blakely GA, Sylvester GA, Dublin TX, Edenton NC, PCA Kigaroy и шелушильные установки моделей 341-B и V-5000 по переработке арахиса. Недостаток этих машин – очень дорогие и энергоемкие.

Шелушильная установка “PCA Kigaroy” (рис.1.20) состоит из горизонтального вращающегося барабана (цилиндр), в который поступают арахисы.

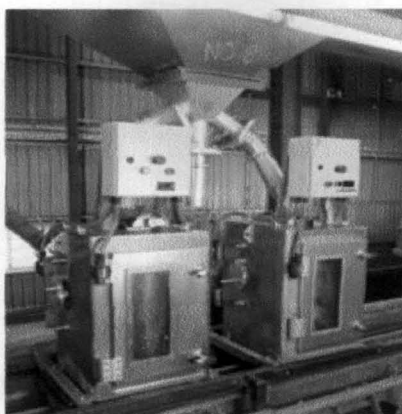


Рис.1.20. Шелушильная установка модели “PCA KIGAROY ”

Внутренняя поверхность барабана имеет абразивную поверхность, которая помогает разрушению и снятию кожицы при вращении барабана. В барабан подаются воздушные струи, которые обдувают арахисы против их движения и выносят снятую оболочку. Производительность - 10 т/ч.

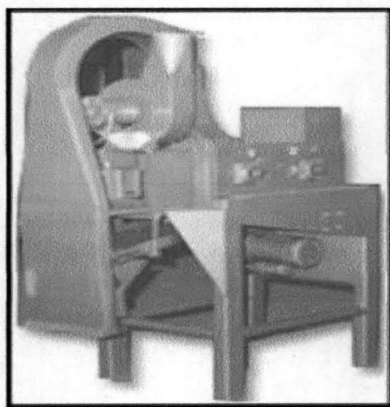


Рис.1.21. Шелушильная установка модели 341-В

Раздельные шелушильные установки моделей 341-В и V-5000 (рис.1.21 и 1.22). Особенности 341-В - регулируемый бункер и двойная система подачи воздуха, позволяет обрабатывать не только арахисовые, но и др. продукты. Производительность – 9,6 т/ч.

Модель V – 5 000 не только более высокой производительности 2,7 т/ч в сравнении с другими, но и более экономична.

В заключение, можно отметить, что повышение эффективности производства и переработки арахиса в условиях Нигерии возможно за счет создания машин, работающих на перспективных принципах комплексного воздействия рабочих органов на перерабатываемый материал.

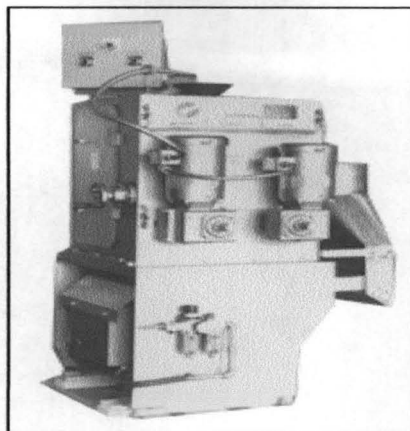


Рис.1.22. Раздельная шелушильная установка модель V- 5 000

Поэтому более глубокое изучение этих рабочих органов и создание соответствующих машин представляет интерес, как с практической, так и с теоретической точки зрения.

1.7. Обоснование выбора типов шелушильных установок

Основной задачей настоящего исследования является обоснование шелушильных установок арахиса для использования его по различным направлениям – жареный в оболочке и без нее, для производства арахисового масла, а также для кондитерских изделий (в шоколаде и хлебобулочных изделиях) и как продовольственный, т.е. разработка установок для шелушения и получения:

- 1 - целых;
- 2 - разделенных на семядоли;
- 3 - измельченных плодов арахиса.

По данным литературных источников, шелушильные установки для достижения наших задач по шелушению арахиса и приемлемые для условий Нигерии отсутствуют.

Из - за отсутствия таких установок нами были разработаны три типа установок для получения разделенных орехов на семядоли (дискового типа), целых орехов (цилиндрического типа) и частично измельченных орехов

арахиса (лопастного типа). На рисунке 1.23 показана установка дискового типа.



Рис.1.23.Установка дискового типа для обмолота арахиса

1.8. Критерия оценки эффективности работы шелушильных установок

Шелушение зерна в масличном производстве - самый трудоемкий и важный процесс. От эффективности шелушения ореха зависят качество и выход получаемой масла. Для оценки эффективности шелушения существует несколько показателей: степень шелушения и целостность ядра.

Степень шелушения $K_{ш}$ определяется по формуле [71, 73]:

$$K_{ш} = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot 100\% \quad (1.1)$$

где n_1 - количество нешелушенных зерен в смеси до шелушения,

n_2 - количество нешелушенных зерен в смеси после шелушения,

Целостность ядра $K_{ц.я}$ находят по следующей формуле [15, 60]:

$$K_{ц.я} = \frac{B}{B + D} \cdot 100\% \quad (1.2)$$

где B - количество целых ядер после шелушения,

D - количество дробленых ядер после шелушения,

Степень шелушения $K_{ш}$ учитывает количественную сторону шелушения и показывает, какое относительное количество зерен ошелушено,

а целостность $K_{ц.я}$ - качественную сторону и показывает относительный выход получаемого продукта [11, 60, 71].

Вышеперечисленные показатели главным образом зависят от выбора способа шелушения и машины, работающей по этому способу. Определяющим для выбора способа шелушения является анатомическое строение зерна и его физико-технологические свойства (влажность, разность во влажности ядра и оболочки, пленчатость, прочность ядра и его связи с оболочкой, форма зерна и др.).

1.9. Выводы, цели и задачи исследований

Анализ современного состояния технологий шелушения арахиса в условиях Нигерии и др. развивающихся стран позволяет сделать следующие выводы:

1. Морфологические части семян арахиса определяют способ удаления семенной оболочки, способствующий повышению качества получаемых продуктов.
2. Наиболее рациональным способом обработка орехов арахиса является способ с использованием трения.
3. Существующие технологии в развивающихся странах для шелушения арахиса практически отсутствуют, а для обмолота арахиса недостаточно эффективны и не позволяют получать качественные продукты.
4. Исходя из вышесказанного, целью настоящих исследований является замена ручного труда техническими средствами при шелушении арахиса в Нигерии в целях повышения производительности труда и снижения затрат труда в условиях Нигерии.

Для достижения этих целей были поставлены следующие задачи:

1. Изучить основные физико-механические свойства плодов арахиса, влияющих на процесс удаления кожицы.
2. Исследовать процесс шелушения плодов арахиса на установках цилиндрического, дискового и лопастного типа.
3. Разработать устройства для шелушения плодов арахиса для различных целей:
 - шелушитель для получения разделенных орехов на семядоли для кондитерских целей;
 - шелушитель для получения целых орехов для лакомства;
 - шелушитель для получения измельченных орехов для масла.
4. Обосновать конструктивные параметры и режимы работы установок.
5. Провести испытания разработанных установок.
6. Определить экономический эффект технологии шелушения плодов арахиса.

ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ШЕЛУ - ШЕНИЯ АРАХИСА

2.1. Подготовка арахиса для обработки

Калибрование семян сельскохозяйственных культур перед их обрушиванием проводится, в основном на очистительных сепараторах, применяемых для обработки зерновых культур [68].

Теория сепарации семенных смесей была заложена В. П. Горячкиным [12], М.Н. Летошневым [36], Г.Д. Терсковым [75]. В дальнейшем она была развита В.А. Кубышевым [29, 30], Г.Е. Листопадом [70], Ю.В. Терентьевым [75, 76], В.И. Анискиным [2, 3, 67], Н. И. Косиловым [26, 27].

Теоретические исследования позволили разработать машины для разделения семенных смесей, различающиеся по назначению: предварительная, первичная, вторичная и специальная очистка, сортирование и фракционирование по размерам; по способу разделения и используемому признаку делимости: размерам (длина, ширина, толщина и диаметр), аэродинамическим свойствам (скорость витания, парусность и сопротивление воздушному потоку), плотности, цвету, форме и состоянию поверхности и др.

От используемого признака делимости зависит качество разделения семян по размерам, которое влияет на эффективность работы последующих машин. Например, позволяет точнее установить зазор в рабочих органах устройств для удаления семенной оболочки с ядер арахиса, полнее разделить обрушенные и целые семена [25].

При разработке установки для удаления оболочки с ядра арахиса необходимо изучить физико-механические свойства ядра и оболочки, геометрические размеры, массу 1000 семян, форму семян, аэродинамические свойства (коэффициент парусности, скорость витания), натуру, сыпучесть, скважность, пленчатость, выравненность, прочность ядра и оболочки, упругость [64].

Нами исследования проводились на реальных сортах арахиса, возделываемого в Нигерии. В исследованиях использовалось стандартное оборудование и стандартные методики.

Основными факторами, обеспечивающими шелушение оболочки орехов арахиса являются: фрикционные свойства ореха, физико-механические свойства семян, ядра, оболочки, тип рабочих поверхностей машин и режим их работы, коэффициенты трения, а также предварительное нагружение ореха [57, 63, 64, 77, 78].

При исследованиях использованы основные положения классической механики [33, 55, 56].

Так как арахис используют в различных направлениях - жареный в оболочке и без нее в производстве арахисового масла, а также в кондитерских изделиях (шоколаде и хлебобулочных изделиях), как продовольственный и т.п., то были разработаны три типа установок для использования арахиса по каждому виду его использования.

2.2. Исследования движения плода арахиса в шелушильных установках

2.2.1. Движение ореха в установке дискового типа

Предлагаемая нами установка для шелушения ореха (земляного арахиса) состоит из двух дисков, расположенных горизонтально на некотором расстоянии один от другого. Нижний диск вращается. Орехи через отверстие в центре верхнего неподвижного диска поступают вдоль вертикальной оси на нижний диск, вращающийся с постоянной угловой скоростью. Орехи, попавшие на нижний диск, движутся от центра до момента их защемления дисками за счет сил инерции и трения. В дальнейшем шелушение орехов происходит за счет сил трения при движении их между дисками. Схема действующих сил представлена на рис.2.1, (а – плоскость ZOХ; б - плоскость ZOХ); где φ – угол поворота диска.

Для анализа принимаем, что качение ореха по диску проходит в плоскости ZOУ декартовой системы координат без скольжения, плоскость XOУ и ZOУ

проходят через центр ореха, т.е. через точку C (центр массы ореха), диаметр ореха $d_a > \delta$ – зазора между дисками. Принимаем, что орех в зазоре между дисками скользит по поверхности обоих дисков с одновременным качением.

На орех действуют следующие силы:

Сила реакции N ($N_B = N_A$) – сила реакции в верхней и нижней точках контакта ореха с дисками); сила тяжести $G = mg$; силы трения $F_1 = f_B N_B$; $F_2 = f_A N_A$, приложена в точках B и A контакта ореха с дисками; сила инерции $F_{И}$ равна геометрической сумме двух сил $F_{И} = F_{Ц} + F_{К}$,

Здесь $F_{Ц} = m\omega^2 r$ – центробежная сила инерции;

$F_{К} = 2m\omega v_c = 2m\omega x$ – Кориолисова сила инерции;

m – масса ореха;

ω – угловая скорость ореха;

r – расстояние от центра вращения до центра ореха;

v_c – относительная скорость ореха, направленная по оси X ;

f_B, f_A – коэффициенты трения ореха о верхний и нижний диски;

g – ускорение свободного падения.

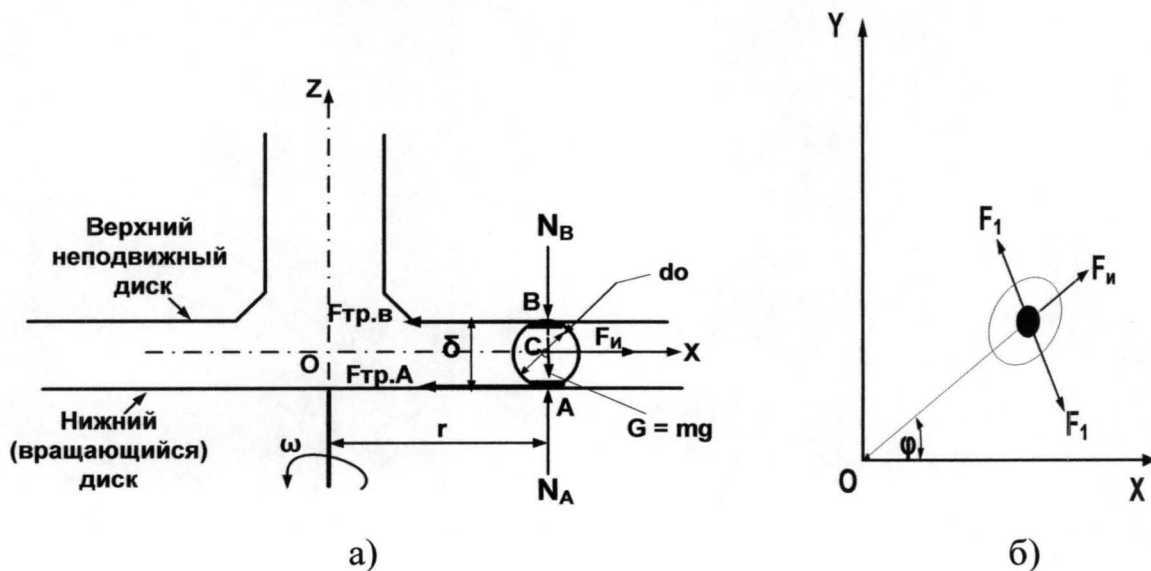


Рис.2.1. Схема сил, действующих на орех в установке дискового типа

Дифференциальное уравнение движения точки (ореха) запишется [34]:

$$m \frac{d^2 r}{dt^2} = \bar{F}. \quad (2.1)$$

где $\bar{F} = \sum_{k=1}^n \bar{F}_k$ - равнодействующая всех сил, приложенных к ореху.

Так как движение происходит в плоскости YOX, уравнение движения запишется:

на оси X:

$$m \frac{d^2 r}{dt^2} = m \ddot{x} = \sum_{k=1}^n F_{kx}; \quad (2.2)$$

на оси Y:

$$m \frac{d^2 r}{dt^2} = m \ddot{y} = \sum_{k=1}^n F_{ky} \quad (2.3)$$

где $F_1 = N_B \cdot f_{ck}^B$; $F_2 = (N_A + G) \cdot f_{ck}^A$ - силы трения скольжения ореха по верхней и нижней поверхностям дисков соответственно;

$F_3 = N_B \cdot f_{кч}^B$; $F_4 = (N_A + G) \cdot f_{кч}^A$ - силы трения качения ореха по верхней

и нижней поверхностям дисков соответственно, $f_{кч}^B$; $f_{кч}^A$ - коэффициенты трения качения ореха по нижнему и верхнему дискам.

Условием возможности движения ореха между дисками по направлению оси X является превышение сил инерции над силами трения, т.е. когда

$$m \omega^2 x > N \cdot f_{ck} \quad (2.4)$$

Силы трения между дисками зависят от свойств материала дисков и орехов, а также от силы прижатия дисков к ореху. Одновременно трение скольжения и трение качения будет действовать при равенстве их коэффициентов, т.е. когда $f_{ck} = f_{кч}$ [42]. Для того чтобы орех перекатывался по дискам к

нему необходимо, в точке контакта с диском, приложить касательную силу, т.е. чтобы возникал момент M равный [34]:

$$M = F \cdot d_o = N \cdot f_{ck} \cdot d_o \quad (2.5)$$

где, d_o - диаметр ореха;

F – сила трения ореха о диски;

N – сила реакции.

В зависимости от величины момента (2.5) сил сопротивления возможно качение по диску или его скольжение. Если $f_{ck} > f_{kc}$ происходит перекачивание по диску, а если $f_{ck} < f_{kc}$, то орех скользит по диску. При движении ореха между верхним и нижним дисками, возникают силы трения, которые стремятся орех вывести к периферии, т.е. наружу. На рис. 2.1а, показано положение ореха, в какой-то начальный момент и при повороте диска на угол φ . При этом контакты ореха с диском протекают не в точке, а по плоскости, т.е. имеется пятно контакта с радиусом $r_{ПК}$ (условно принято, что пятно контакта на круглом орехе является кругом). Скорость перемещения точки «С» (центра масс ореха) в плоскости ХОУ отлична от скорости движения диска, т.е. от точки контакта ореха с диском. Исходя из данных (рис.2.1а) линейная скорость ореха определится из условия:

$$v_A = \omega_\delta \cdot r \quad \text{или} \quad v_A = \omega_o \cdot 2r_o \quad (2.6)$$

$$v_c = \omega_o \cdot r_o \quad (2.7)$$

где, v_A ; v_c - линейная скорость точки «А» и линейная скорость движения ореха;

ω_δ ; ω_o – угловые скорости диска и соответственно ореха;

r ; r_o – расположения ореха на диске и радиус ореха;

Так как принято движение ореха без скольжения, то линейная скорость движения ореха относительно дисков определяются из условия:

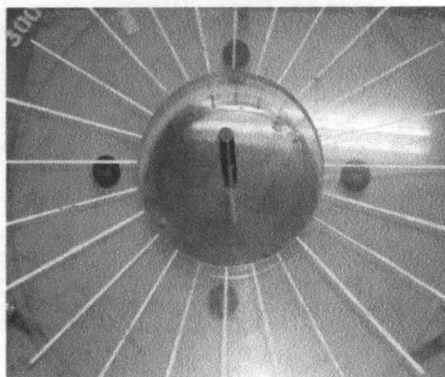
$$\omega_o \cdot r = \omega_o \cdot 2r_o \quad (2.8)$$

откуда
$$\omega_o = \frac{\omega_o \cdot r}{2r_o} \quad (2.9)$$

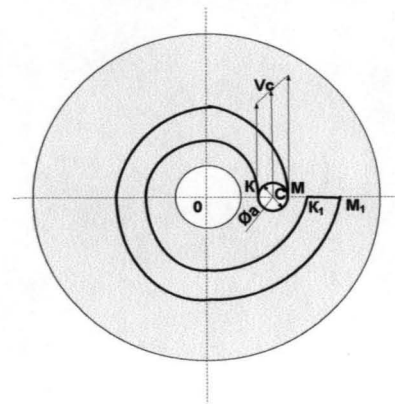
Подставляя (2.9) в (2.7) получаем линейную скорость ореха:

$$v_c = \frac{\omega_o \cdot r}{2} \quad (2.10)$$

При движении ореха по поверхностям верхнего и нижнего дисков линейные скорости движения точек пятна контакта М и К (рис.2.2) не одинаковы. Скорость наружной точки М с большим радиусом, больше скорости внутренней точки К. При повороте на угол φ наружная точка М пятна контакта проходит больший путь, чем точка К. В результате этого возникает вращающий момент, который стремится повернуть орех вокруг его вертикальной оси, проходящей через центр массы и параллельной оси Z. Противодействуют повороту ореха силы трения, реакция которых стремится вытолкнуть его наружу. В результате этого траектория движения точек М и К проходит не по окружности с радиусом ОМ и ОК, а по другой траектории MM_1 и KK_1 , имеющей форму спирали. Эксперименты показали, что параметры такой траектории движения ореха могут быть самые различные и находятся в прямой зависимости от пятна контакта $R_{ПК}$, которое в свою очередь зависит от свойств материала дисков и твердости ореха.



а)



б)

Рис.2.2а. Лабораторная установка для исследования траектории движения ореха между дисками; 2.2б - Траектория движения ореха по спирали где d_o – диаметр ореха, V_c – скорость ореха

Выводы:

- 1) Если силы трения дисков на орехе меньше сил инерции, то орехи между дисками движутся за счет сил инерции.
- 2) При движении ореха между дисками с малым пятном контакта движение происходит по спирали.

2.2.2. Движение ореха в установке цилиндрического типа

Для мягкого шелушения плодов арахиса и получения цельного ореха предлагается установка непрерывного действия, состоящая из цилиндра, изготовленного из прозрачного стеклопластика (для визуального наблюдения) с гладкой внутренней поверхностью, установленного на кривошипе, с радиусом h и совершающего вращательное движение вокруг оси O_1 . Поверхность цилиндра совершает два возвратно-поступательных движения во взаимно перпендикулярных плоскостях (горизонтальной и вертикальной) (рис.2.3). Внутри цилиндра находятся плоды арахиса и совершают движения по внутренней поверхности цилиндра. За счет трения ядер между собой и стенками цилиндра происходит разрушение и удаление оболочек ядер. Подача обрабатываемого материала проводится с одного конца цилиндра, а выход – с другого.

Известно, что при сложении двух возвратно-поступательных движений, в двух взаимно-перпендикулярных плоскостях (в горизонтальной и вертикальной) цилиндр (как система) совершает движение по окружности с параметрами $R = r_{ц} + h$, здесь R – радиус, описываемый окружности цилиндра, м; $r_{ц}$ – радиус цилиндра, м; h – расстояние от оси вращения системы до центра цилиндра, м.

При этом орех находящийся (рис.2.4), на внутренней поверхности совершает за один оборот кривошипа путь равный длине окружности

цилиндра $r_{ц}$ и на орех действуют: сила тяжести $G = mg$, направленная по вертикали вниз; сила реакции N поверхности, направленная по нормали AO_1 от A к центру; сила трения $F = fN$ направленная по касательной к поверхности в сторону движения цилиндра и центробежная сила инерции $m\omega^2 R$ направленная в сторону обратную действия изменяющаяся в зависимости от месте положения ореха, т.е. от угла поворота системы.

где ω – угловая скорость системы, рад/с;

m - масса ореха, г;

g – ускорение свободного падения, m/c^2 .

Описание характера движения ореха, находящегося внутри цилиндра удобно исследовать с помощью теории математического кругового маятника [4, 12, 34, 52].

“Математическим круговым маятником называется материальная точка, принужденная двигаться по окружности, расположенной в вертикальной плоскости”.

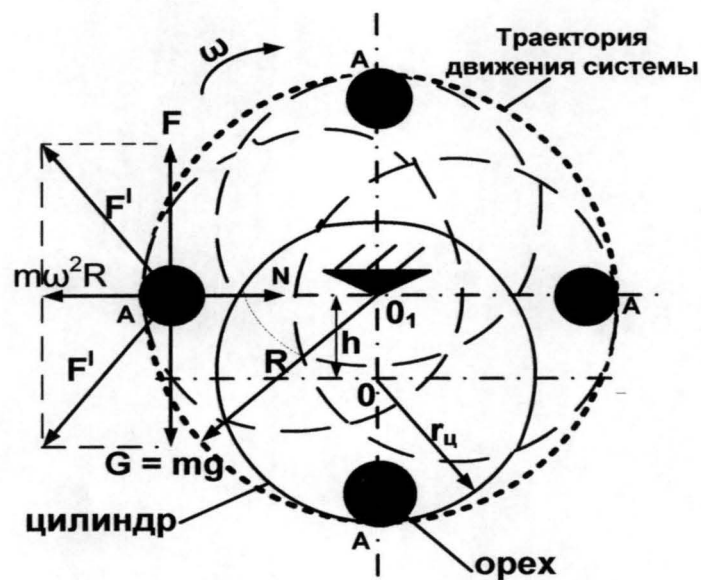


Рис.2.3. Схема системы

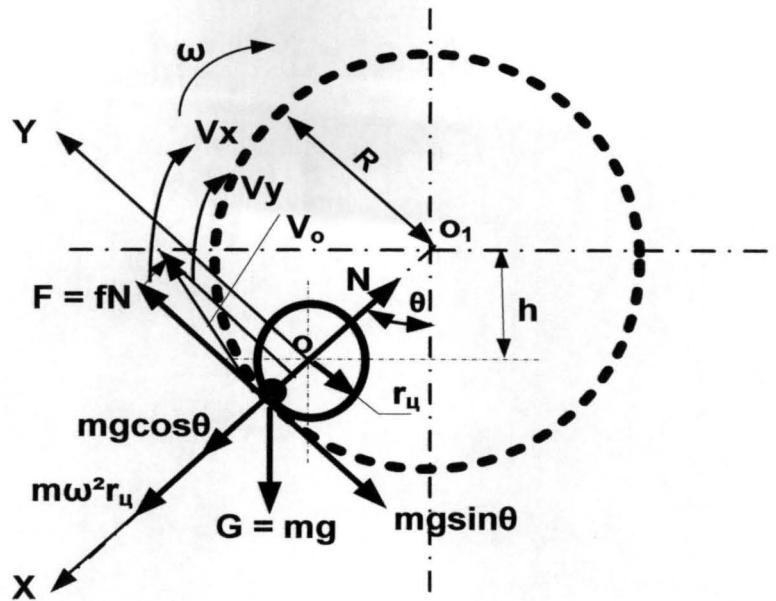


Рис.2.4. Схема сил, действующих на орех в цилиндре

Дифференциальное уравнение движения [4, 12, 34, 52] ореха по окружности цилиндра имеет вид:

$$\left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2 = \frac{2g}{R}(\cos\theta + 1) = \frac{4g}{R}\cos^2\frac{\theta}{2}$$

где g – ускорение свободного падения, m/c^2 ; R – расстояние от центра окружности до центра ореха, m ; θ – угол поворота системы.

После преобразования выражения будем иметь:

$$\frac{d\theta}{dt} = 2\sqrt{\frac{g}{R}}\cos\frac{\theta}{2} = 2\sqrt{\frac{g}{R}}\sin\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\theta}{2}\right) \quad (2.11)$$

Отсюда будем иметь:

$$\frac{d\theta}{\sin\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\theta}{2}\right)} = \frac{d\left(\frac{\theta}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\theta}{4}\right)\cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\theta}{4}\right)} = \frac{1}{\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\theta}{4}\right)\cos^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\theta}{4}\right)} = 2\sqrt{\frac{g}{R}}dt,$$

ИЛИ

$$\frac{1}{\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\theta}{4}\right) \cos^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\theta}{4}\right)} \frac{d\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\theta}{4}\right)}{dt} = -\sqrt{\frac{g}{R}} dt \quad (2.12)$$

Интегрируя, найдем:

$$\ln \left[\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\theta}{4}\right) \right] = -\sqrt{\frac{g}{R}} t + \ln C' \quad (2.13)$$

т.е.

$$\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\theta}{4}\right) = C' e^{-\sqrt{\frac{g}{R}} t},$$

где C' – постоянная интегрирования.

Если при $t = 0$ будет $\theta = 0$, то мы получим $C' = 1$ и мы будем иметь:

$$\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\theta}{4}\right) = e^{-\sqrt{\frac{g}{R}} t}. \quad (2.14)$$

Чтобы частица воспроизвела рассматриваемое движение, получим:

$$\frac{d\theta}{dt} = 2\sqrt{\frac{g}{R}} \quad (2.15)$$

Для определения реакция N полагая, что $\theta = \pi$, получим:

$$N = 3G\left(\cos\theta + \frac{2}{3}\right) \quad (2.16)$$

где $G = mg$ – сила тяжести, Н.

Мы видим, что при $\theta = 0$ будет $N = 5G$, т.е. сила реакция в нижнем положении в пять раз превысит вес ореха.

При $\cos\theta = -\frac{2}{3}$, т.е. при

$$\theta = 180^\circ - 48^\circ 11' 23'' = 131^\circ 48' 37'', \text{ будет } N = 0.$$

Рассмотрим силы, действующие на орех при различных углах поворота системы.

1. Когда орех находится в первом квадранте:

Используем формулу (2.16), при $\theta = 45^\circ$, N будет:

$$N = 3G \left(\cos \theta + \frac{2}{3} \right) = 3G \left(\cos 45 + \frac{2}{3} \right) = 4 \frac{1}{3} G \quad (2.17)$$

2. Когда орех находится в крайнем левом положении:

Согласно (2.16), при $\theta = 90^\circ$, N будет:

$$N = 3G \left(\cos \theta + \frac{2}{3} \right) = 3G \left(\cos 90 + \frac{2}{3} \right) = 3G \left(0 + \frac{2}{3} \right) = 2G \quad (2.18)$$

3. Когда орех находится в верхнем положении т.е. при $\theta = 180^\circ$, N будет:

$$N = m \omega^2 r - G = G - G = 0 \quad (2.19)$$

4. Когда орех находится в крайнем правом положении т.е. при $\theta = 270^\circ$, N будет:

$$N = 3G \left(\cos \theta + \frac{2}{3} \right) = 3G \left(\cos 90 + \frac{2}{3} \right) = 3G \left(0 + \frac{2}{3} \right) = 2G \quad (2.20)$$

5. Когда орех находится в нижнем положении т.е.

при $\theta = 360^\circ$, N будет: $N = 5G$. (2.21)

Если система (маятник) описывает всю окружность и имеет в самой верхней части этой окружности угловую скорость ω , то из интеграла живых сил получим [52]:

$$N' = U + h' , \quad N' + V = h' , \quad (2.22)$$

где N' – живая сила;

U – потенциальная энергия;

V – кинетическая энергия;

h' – произвольная постоянная величина;

$$N' = \frac{mv^2}{2} = \frac{mR^2}{2} \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 \quad (2.23)$$

$$U = mgR + const = mgR \cos \theta + const \quad (2.24)$$

Тогда

$$\frac{mR^2}{2} \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 = mgR \cos \theta + h' \quad (2.25)$$

$$\frac{mR^2}{2} \omega^2 = -mgR + h' \quad (2.26)$$

т.е.

$$\left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 = \omega^2 + \frac{2g}{R} (1 + \cos \theta) = \omega^2 + \frac{4g}{R} \cos^2 \frac{\theta}{2} \quad (2.27)$$

отсюда находим:

$$\left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 = \omega^2 + \frac{4g}{R} - \frac{4g}{R} \sin^2 \frac{\theta}{2} = \left(\omega^2 + \frac{4g}{R} \right) \left[1 - \frac{\frac{4g}{R} \sin^2 \frac{\theta}{2}}{\omega^2 + \frac{4g}{R}} \right] \quad (2.28)$$

т.е.

$$\frac{d\theta}{dt} = \sqrt{\omega^2 + \frac{4g}{R}} \sqrt{1 - \frac{4g}{4g + R\omega^2} \sin^2 \frac{\theta}{2}}. \quad (2.29)$$

Полагая:

$$\frac{4g}{4g + R\omega^2} = k^2, \quad \sin \frac{\theta}{2} = u,$$

где k - условное обозначение;

u - переменное условное обозначение.

получим:

$$\frac{du}{\sqrt{(1-u^2)(1-k^2u^2)}} = \frac{1}{2} \sqrt{\omega^2 + \frac{4g}{R}} dt. \quad (2.30)$$

Обозначив через τ время обхода точкой всей окружности, будем иметь:

$$\int_0^1 \frac{du}{\sqrt{(1-u^2)(1-k^2u^2)}} = \frac{1}{4} \sqrt{\omega^2 + \frac{4g}{R}} \tau, \quad (2.31)$$

т.е.

$$\tau = \frac{4}{\sqrt{\omega^2 + \frac{4g}{R}}} \int_0^1 \frac{du}{\sqrt{(1-u^2)(1-k^2u^2)}}. \quad (2.32)$$

Поэтому:

$$\tau = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega^2 + \frac{4g}{R}}} \left[1 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 k^2 + \left(\frac{1.3}{2.4}\right)^3 k^4 + \left(\frac{1.3.5}{2.4.6}\right)^2 k^6 + \dots \right]. \quad (2.33)$$

Применяя формулу силы реакции:

$$N = \frac{mv^2}{R} - F_n, \quad (2.34)$$

мы найдем:

где F_n - внешняя сила.

$$N = mR \left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2 + mg \cos \theta = 3mg \cos \theta + 2mg + mR\omega^2. \quad (2.35)$$

Определим, какую угловую скорость следует иметь, чтобы всегда было $N > 0$:

Очевидно, для этого должно быть:

$$-3mg + 2mg + m\omega^2 R > 0, \quad (2.36)$$

т.е.

$$\omega^2 R > g \quad (2.37)$$

или

$$\omega > \sqrt{\frac{g}{R}}.$$

Путь S_o прохождения орехом до его шелушения будет:

$$S_o = 2\pi r_o, \text{ м.} \quad (2.38)$$

Где r_o – радиус ореха, м.

Линейная скорость движения ореха по внутренней окружности цилиндра будет:

$$v_o = \omega r_o, \text{ м/с.} \quad (2.39)$$

где ω – угловая скорость системы, рад/с;

Вывод:

Результаты исследований показывают, что при движении внутри цилиндра на плод действует переменная нагрузка изменяющаяся (от 0 до 5 раз), что положительно влияет на процесс разрушения и удаления оболочки ядра и улучшает качество шелушения. Отсутствие внешних нагрузочных сил на ядро позволяет иметь больший выход целых, не расколотых на семядоли ядер, что более желательно иметь при использовании орехов в жареном виде.

2.2.3. Движение ореха в установке лопастного типа

Для интенсивно шелушения и дробления орехов нами исследована шелушильная установка лопастного типа. Она представляет собой неподвижный цилиндр, внутренняя поверхность которого может быть гладкой, абразивной или в виде решетки. Внутри цилиндра вращаются, ротор, снабженный лопастями с лопатками. Орехи запускают с одной стороны цилиндра. Их захватывают лопасти и протаскивают по окружности цилиндра. Шелушение проходит за счет трения ореха о поверхность цилиндра и самошелушением (т.е. за счет трения семян друг о друга).

Загрузка цилиндра осуществляется с одного торца цилиндра, а выход готовой продукции – с другой.

При работе установки лопастного типа на орех действуют силы:

Сила тяжести $G = mg$, направленная по вертикали вниз; сила реакции N поверхности, направленная по нормали MO от M к центру O ; сила трения о поверхность цилиндра $F_1 = f N_1$, направленная по касательной к поверхности цилиндра; сила трения ореха о лопасти $F_2 = f N_2$.

Руководствуясь основными положениями механики, движение ореха относительно поверхности цилиндра можно представить, как абсолютное, если к действующим силам прибавить силы:

- Центробежную силу инерции;
- Кориолисовую силу инерции;

Центробежная сила инерции выражается величиной $m\omega_{\Pi}^2 R_{л}$ и направлена от центра O к периферии.

Кориолисова сила инерции определяется величиной $2m \cdot u \cdot \omega_n \cdot \sin \theta$, а направление этой силы будет противоположно направлению поворотного ускорения.

В данном случае относительная скорость u лежит в плоскости, перпендикулярной к оси вращения траектории, т. е. $\theta < \frac{\pi}{2}$ (рис.2.5).

Сила же инерции от этого ускорения будет иметь противоположный знак (рис.2.5).

В момент времени, когда орех находится в точке M подвижных координат η, ζ (рис.2.5), его относительное движение будет определяться следующими показателями [36]:

1) слагающей относительного ускорения $\frac{d^2 \xi}{dt^2}$ направленной по радиусу цилиндра к центру O (является относительным центростремительным ускорением, которое выражается величиной $\omega_r^2 R_l$) где ω_r - угловая относительная скорость лопасти, ω_n - переносная угловая скорость лопасти, R_l - радиус лопасти.

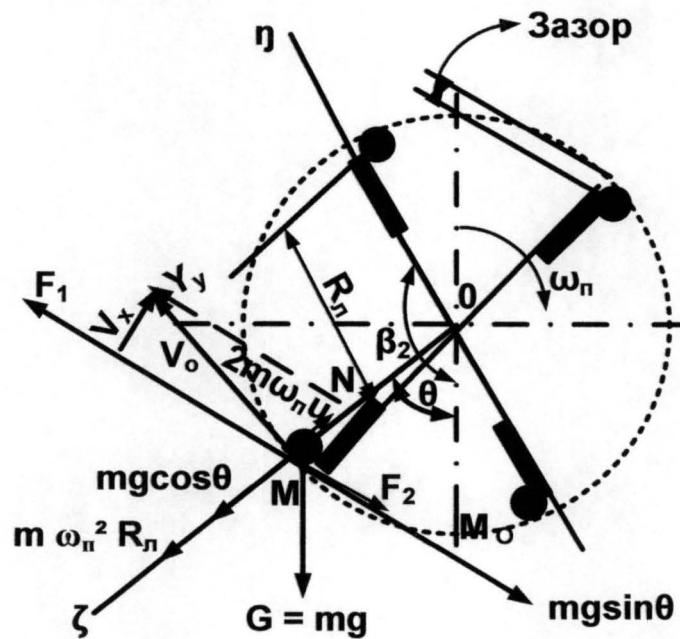


Рис.2.5. Схема сил действующих на орех в установке лопастного типа

2) слагающей относительного ускорения $\frac{d^2 \eta}{dt^2}$ вдоль подвижной оси $O\eta$; это ускорение имеет направление по касательной и является тангенциальным относительным ускорением, выражаемым величиной $R_l \frac{d\omega_r}{dt}$.

Следовательно, составляющие относительного ускорения по выбранным осям координат будут:

$$\frac{d^2 \xi}{dt^2} = -\omega_r^2 R_l$$

$$\frac{d^2 \eta}{dt^2} = -R_n \frac{d\omega_r}{dt}$$

Тогда система уравнений относительного движения в проекции на оси η , ζ , имеет вид:

$$m \frac{d^2 \xi}{dt^2} = -m\omega_r^2 R_n = mg \cos \theta - N + m\omega_n^2 R_n - 2m\omega_n \omega_r R_n \quad (2.40)$$

$$m \frac{d^2 \eta}{dt^2} = -m R_n \frac{d\omega_r}{dt} = -m g \sin \theta + fN \quad (2.41)$$

Уравнение (2.23) позволяет определить реакцию N поверхности:

$$N = mg \cos \theta + m(\omega_n^2 R_n - 2\omega_n \omega_r^2) = m[g \cos \theta + (\omega_n - \omega_r)^2 R_n] \quad (2.42)$$

Второй член выражения всегда положителен или равен нулю: первый же член всегда положителен, если $\theta < \frac{\pi}{2}$.

Если орех скользит по поверхности цилиндра в положении, определяемом углом $\theta < \frac{\pi}{2}$, то нормальная реакция N поверхности всегда положительна, и орех не может оторваться от поверхности при любых скоростях ω_n и ω_r .

Очевидно, что отрыв скользящего ореха от поверхности может произойти лишь в том случае, если орех находится в положении, определяемом углом $\theta > \frac{\pi}{2}$ и реакция N обратится в нуль при условии,

$$\text{когда: } (\omega_n - \omega_r)^2 = -\frac{g}{R_n} \cos \theta, \quad (2.43)$$

что возможно, когда $\theta > \frac{\pi}{2}$.

Заметим, что $(\omega_n - \omega_r)$ является алгебраической суммой переносной (ω_n) и относительной (ω_r) угловых скоростей; но так как вращение в

относительном и в переносном движении происходит около одной и той же оси, то $\omega_n - \omega_r$ выражает абсолютную скорость частицы в данный момент.

Обозначим абсолютную скорость ореха как ω_a , т.е.

$$\omega_a = \omega_n - \omega_r \quad (2.44)$$

а угол θ , когда реакция $N = 0$, обозначим как θ_2 .

На этом основании условием, при котором происходит отрыв скользящего ореха от поверхности цилиндра, будет:

$$\omega_a^2 = -\frac{g}{R_\lambda} \cos \theta_2, \quad (2.45)$$

где ω_a - абсолютная угловая скорость ореха в момент отрыва;

θ_2 - угол, когда реакция $N = 0$

Так как $\theta_2 > \frac{\pi}{2}$, т.е. орех находится во втором квадрате.

Примем, что $\theta_2 = \frac{\pi}{2} + \beta_2$,

где β_2 - угол, при котором происходит отрыв ореха.

Получим условие отрыва ореха от поверхности цилиндра:

$$\omega_a^2 = \frac{g}{R_\lambda} \sin \beta_2 \quad (2.46)$$

или

$$\omega_a = \sqrt{\frac{g}{R_\lambda} \sin \beta_2}.$$

Если отрыв происходит когда $\beta_2 = 0$, т.е., орех достиг горизонтального диаметра, то в этот момент $\omega_a = 0$ и орех в абсолютном движении на мгновение останавливается. Затем под действием силы тяжести начинает падать свободным движением и неизбежно переходит в первый

квадрант, где снова возникает реакция N и скольжение по поверхности цилиндра.

Так как отрыв происходит на одно мгновение, то по существу орех в этом случае не покинет поверхности.

2.3. Общие выводы по 2-ой главе

Теоретические исследования позволяют смоделировать процесс шелушения орехов и определить основные конструктивные параметры предлагаемых установок в зависимости от свойств арахисов. Исходя из проведенных теоретических исследований можно сделать следующие выводы:

1. Полученные теоретические зависимости не показывают всю полноту процесса взаимодействия перерабатываемого арахиса с рабочими органами исследуемых установок. При выводе формул не учитывалось взаимодействие бобов и орехов между собой.

В связи с этим возникает необходимость экспериментального подтверждения и обоснования влияния, конструктивных и технологических параметров на эффективность процесса обмолота и шелушения.

2. На основании теоретических исследований получены зависимости, позволяющие описать законы движения ореха по поверхностям рабочих органов установок для шелушения орехов арахиса.

3. Теоретически обоснован расчет частоты вращения цилиндра, лопаток и вращающегося диска.

ГЛАВА 3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Общий план исследований

Проведенные теоретические исследования должны подтверждаться научно поставленными опытами - экспериментами, которые в дальнейшем могут способствовать развитию данной теории или построению новой.

На основании этого была составлена программа экспериментальных исследований, которая предусматривала решение следующих задач:

1. Определить величину коэффициента трения плодов арахиса;
2. Определить условия разрушения кожуры орехов (плодов) арахиса;
3. Исследовать процесс удаления кожуры арахиса на установке дискового, цилиндрического и лопастного типов;
4. Исследование влияния режимов работы установок дискового, цилиндрического и лопастного типа на эффективность шелушения;
5. Определение эффективности использования установок дискового, цилиндрического и лопастного типа.
6. Провести лабораторные испытания установок для удаления кожуры с плодов арахиса.

3.2. Методика лабораторных исследований

3.2.1. Определение коэффициентов трения плодов арахиса

Определение коэффициента f трения плодов арахиса основывалось на изменении угла наклона плоскости. По шкале прибора фиксируют углы, при которых плоды начнут скользить или скатываться вниз. Статический коэффициент трения определяется по формуле [42, 50]:

$$f_{cm} = \operatorname{tg}\varphi. \quad (3.1)$$

Для проведения экспериментов по определению коэффициента трения скольжения наклонную плоскость устанавливают под углом $\alpha > \varphi$. Во время опыта замерили угол наклона плоскости α , время t и путь S движения

плода по наклонной плоскости. При равноускоренном прямолинейном движении частицы с массой m по наклонной плоскости движущая сила, действующая на частицу,

$$ma = mg(\sin \alpha - f \cos \alpha); \quad (3.2)$$

Отсюда ускорение:

$$a = g(\sin \alpha - f \cos \alpha). \quad (3.3)$$

С другой стороны,

$$a = \frac{2S}{t^2}. \quad (3.4)$$

Решая уравнения относительно f , получим

$$f = \operatorname{tg} \alpha - \frac{2S}{gt^2 \cos \alpha}, \quad (3.5)$$

где S , t и α – путь, время движения семени и угол наклона плоскости.

Для проведения экспериментов по определению коэффициента трения использовался прибор (рис.3.1).

Коэффициент f трения определялся для плодов арахиса сортов “Dakar”, “Damboa” и “Kampala”. По каждому сорту объем выработки составлял 100 плодов. Отбор проб проводился по ГОСТу 10852 - 64.

Расчет погрешности измерения коэффициента f трения проводился по известной методике [7, 21]. Коэффициенты трения определялись по стали, дереву и резине.

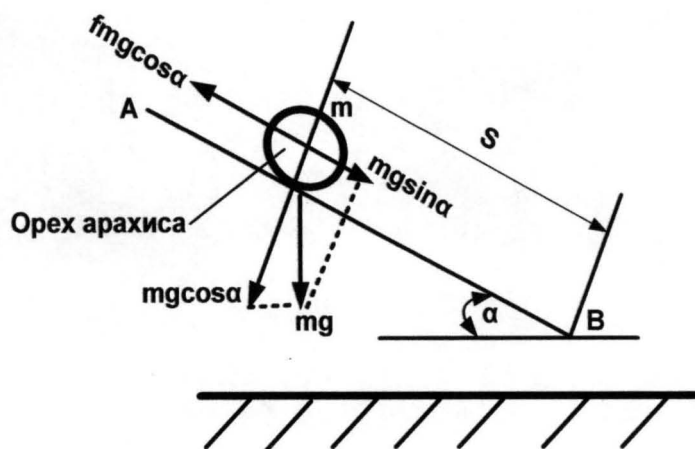


Рис. 3.1. Схема определения коэффициент трения по наклонной плоскости

3.2.2. Определение линейных размеров плодов арахиса

Изучение физико-механических показателей плодов арахиса проводилось в соответствии с общепринятой методикой по изучению физико-механических свойств сельскохозяйственных растений. разработанной ВИСХОМом [50].

Исследование проводилось, измерением штангенциркулем длины, ширины, и толщины 3 сортов плодов земляного арахиса привезенных из Нигерии.

Эти показатели используются, как признаки делимости при разработке шелушильной машины.

Экспериментальные данные обрабатывались методами вариационной статистики с определением следующих показателей [66]:

- линейные размеры (длина, ширина и толщина) 3 сортов земляного арахиса $N = 500$ штук каждого сорта;
- установлены максимальное (X_{\max}) и минимальное (X_{\min}) значения изучаемого признака,
- выбран классовый промежуток (интервал) соответственно $\lambda = 0,2$ (толщина), $\lambda = 0,3$ (ширина) и $\lambda = 0,4$ (длина),
- определено число классов:

$$n = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{\lambda}, \quad (3.6)$$

- Установлены границы классов:

$$1\text{-й класс} - [X_{\min} \dots (X_{\min} + \lambda)],$$

$$2\text{-й класс} - [(X_{\min} + \lambda) \dots (X_{\min} + 2\lambda)],$$

$$3\text{-й класс} - [(X_{\min} + 2\lambda) \dots (X_{\min} + 3\lambda)],$$

$$N\text{-й класс} - \{ [X_{\min} + (n - 1)\lambda] \dots X_{\max} \},$$

- определено количество плодов, относящихся к тому или иному классу в зависимости от признака. Для этого замерены линейные размеры у каждого плода.

Результаты замеров вносились в таблицы и проведенные расчеты по установлению вариационного ряда, вариационной кривой и статических характеристик.

Средние величины длины, ширины и толщины плодов определялись по формуле:

$$K = \frac{(M_i \cdot X_{cpi})}{N}, \quad (3.7)$$

и среднеквадратическое отклонение:

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum (K - X_{cpi})^2 \cdot m_i}{N}}. \quad (3.8)$$

3.2.3. Определение толщины кожуры плода арахиса

Толщина кожуры плода арахиса определялась с помощью микрометра МК 0 – 25. Для этого были взяты 100 плодов арахиса сорта “Dakar” как наиболее распространенному, с температурной обжарки 240°C. У каждого плода была снята часть кожуры, которая и была измерена микрометром. По итогам замеров были построены вариационная таблица и вариационная кривая, характеризующая распределение толщины кожуры. Для сопоставления вариационного ряда были найдены среднеарифметическая величина и среднеквадратичное отклонение [22, 66]:

$$t_{cp} = \frac{\sum m_i t_{cp.i}}{\sum m_i}, \quad (3.9)$$

где m_i - содержание плода арахиса в классовой промежуток (частота по количеству), шт.

$t_{cp.i}$ - среднее значение толщины кожуры в классе, мкм.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (t_{cp} - t_{cp.i})^2 \cdot m_i}{\sum m_i}}. \quad (3.10)$$

3.2.4. Определение условий разрушения кожуры плодов арахиса в зависимости от их режимов обжарки

Исследования разрушения кожуры плодов арахиса показали, что величина разрушающих усилий зависит от многих факторов, которые можно разделить на две основные группы [36]:

- определяемые физическими, структурно-механическими и химическими свойствами семян и их морфологических частей;
- определяемые характером приложения нагрузок и направлением действия сил.

Для проведения опытов были приготовлены партии плодов арахиса с различной температурой обжарки в сушильном шкафу марки (СШ) – 65/250 сорта – “Dakar”. Оптимальная температура обжарки определялась исходя из условий легкости отделения пленки ореха при сохранении качества плода (таб.3.1).

Таблица 3.1

Режим обжаривания

№. Опыта	Температура обжарки (°C)	Время жарки (мин)
1	120	20...60
2	150	15...40
3	180	10...30
4	210	8...25
5	240	5...20

Технологические показатели эффективности процесса шелушения определялись по формулам (1.1 и 1.2) описанным в главе 1.

Все опыты проведены при температуре обжарки 240 °С. Дальнейшее повышение температуры приводит к возгоранию кожицы.

При разрушении оболочки масличных плодов внешние силы могут действовать вдоль их длины, ширины и толщины [24]. Для плодов арахиса, характеризующихся шаровидной формой, направление прилагаемой нагрузки не учитывалось.

В качестве параметров, характеризующих разрушение кожуры семян, были выбраны относительная деформация при сжатии, нормальное напряжение при сжатии и модуль упругости плодов [28, 81, 88, 89].

Относительная деформация ε семян в момент разрушения кожуры определялась по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\Delta d}{d_o}, \quad (3.11)$$

где Δd - абсолютная деформация плода к моменту разрушения кожуры; d_o - диаметр плода – ширина, определяются по формулам.

$$\Delta d = \sqrt[3]{\frac{9P^2}{d_o} \left(\frac{1-V_1^2}{E_1} + \frac{1-V_2^2}{E_2} \right)} \quad (3.12)$$

V_1, V_2 - Коэффициенты Пуассона для доски и арахиса соответственно [6].

E_1, E_2 - Модули упругости, соответственно, доски и арахиса, Н/м².

P - нормальное усилие в момент разрушения кожуры, Н;

Нормальное напряжение σ при сжатии кожуры в момент ее разрушения находилось по формуле

$$\sigma = \frac{P}{S_k}, \quad (3.13)$$

где S_k - площадь контакта плода арахиса.

$$S_k = 2\pi r_o \Delta r \left(1 - \frac{\Delta r}{2r_o} \right) \quad (3.14)$$

где $r_o = \frac{d_o}{2}$ - радиус плода арахиса, мм.

Δr - радиус деформации плода, мм.

$$\Delta r = \frac{3P}{2d_1} \left(\frac{1-V_1^2}{E_1} + \frac{1-V_2^2}{E_2} \right) \quad (3.15)$$

d_1 - диаметр поверхности контакта, мм.

$$d_1 = \sqrt[3]{3Pd_o \left(\frac{1-V_1^2}{E_1} + \frac{1-V_2^2}{E_2} \right)} \quad (3.16)$$

Модуль упругости E кожуры семян арахиса в момент ее разрушения определялся как отношение нормального напряжения при сжатии к относительной деформации:

$$E = \frac{\sigma}{|\varepsilon|}, \quad (3.17)$$

Для определения необходимых нагрузок для разрушения кожуры плодов арахиса, использовалась установка (рис.3.2) описанная ниже.

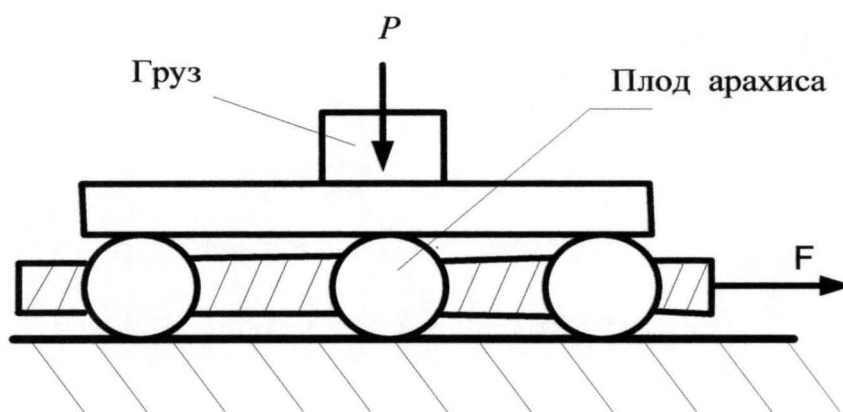


Рис.3.2. Схема установки для определения усилия разрушения кожуры арахиса

Нормальное усилие, которое действует на плод арахиса между двумя пластинками, характеризуется их сжатием. Нормальное усилие разрывает кожуру или приводит к появлению трещины, причем, чем больше усилия, тем существеннее разрушения.

При сжатии семени силой P вдоль нормали, возникают местные деформации, приводящие к контакту семени с пластинкой по малой круговой поверхности диаметром d_1 .

Усилие для разрушения кожуры плодов арахиса можно определить по формуле:

$$F = m_2 a \quad (3.18)$$

где F - усилие, Н; m_2 - масса груза, г, a - ускорение, м/с^2

$$\therefore F_d = m_2 \left(\frac{S_d}{t_d^2} \right); F_{db} = m_2 \left(\frac{S_{db}}{t_{db}^2} \right); F_k = m_2 \left(\frac{S_k}{t_k^2} \right)$$

где F_d, F_{db}, F_k - усилие для снятия кожи арахиса сортов (Dakar, Damboa и Kamrara), S_d, S_{db}, S_k - путь проходила плодов арахиса до начала снятия кожуры сортов за время t_d, t_{db}, t_k ,

3.3. Методика лабораторно-производственных исследований

3.3.1. Лабораторные установки для исследований

Для исследования процесса удаления кожуры арахиса были изготовлены три типа лабораторных установок: дискового, цилиндрического и лопастного типа (рис. 3.3, 3.4, и 3.5).

Установка дискового типа (рис.3.3), состоит из двух рабочих поверхностей расположенных горизонтально на некотором расстоянии один от другого. Нижний диск 12 вращается, а верхний диск не вращается. Орехи через заслонку 2 из бункера 1 расположенного на неподвижном верхнем диске 3 поступают на нижний диск, вращающийся с постоянной угловой скоростью. Орехи 13, попавшие, на нижний диск движутся от центра до момента их защемления рабочими поверхностями дисков за счет сил инерции и трения. В дальнейшем, шелушение орехов проходит за счет сил трения при движении их между дисками.

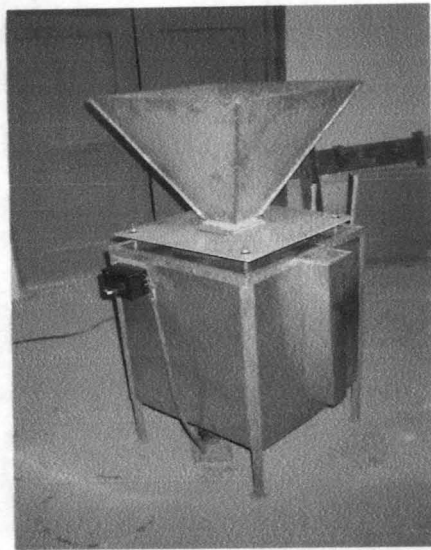
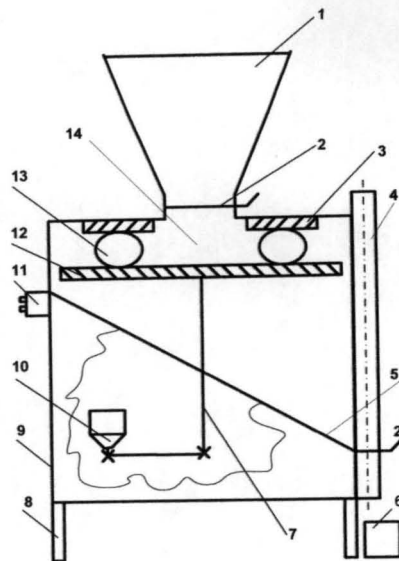


Рис.3.3. Установка дискового типа для исследования процесса удаления кожуры плода арахиса: 1- бункер; 2 – заслонка; 3 – верхний диск; 4 – аспирационный канал; 5 – лоток; 6 – приемник готовой продукции; 7 – привод нижнего диска; 8 – стойка; 9 – рама; 10 – электродвигатель; 11 – пускатель; 12 – нижний диск; 13 – арахис; 14 – камера.

Предварительные исследования по выбору материала дисков для шелушения показали, что диски не должны быть твердые. Применение твердых дисков, даже из резины, приводит к большому дроблению обрабатываемых орехов. В связи с этим, для уменьшения дробления орехов арахиса для неподвижного диска был приложен мягкий эластичный материал. Таким материалом послужила камера от автомобильной шины, с низким давлением воздуха внутри камеры. Все дальнейшие исследования проводились с камерой.

Проведенные выше теоретические исследования для дисков полностью соответствует и для камеры. Необходимое давление воздуха в камере создавали и контролировали по манометру (рис.3.4).

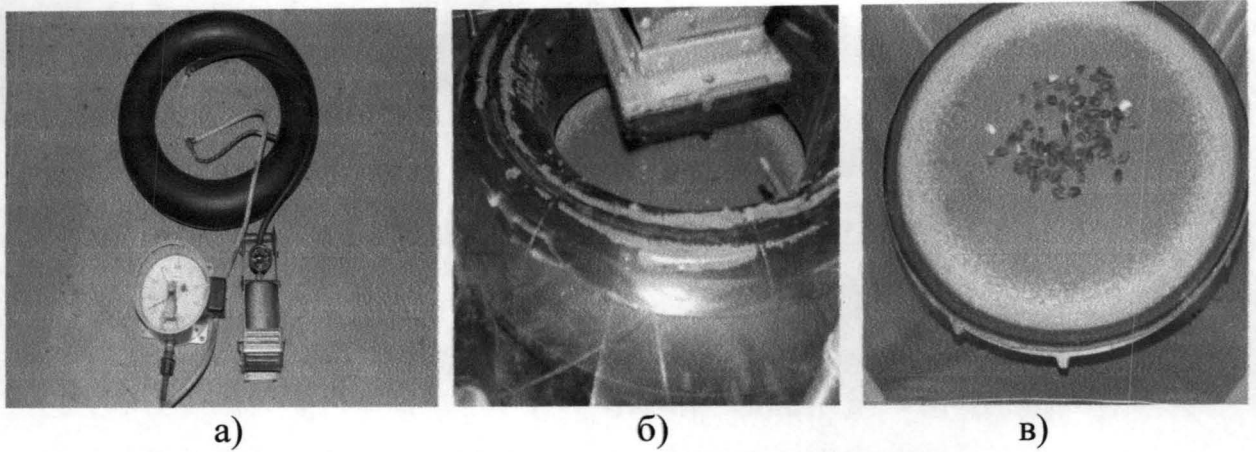


Рис.3.4. Камера и приборы для определения давления:

а - камера с манометром; б – камера в установке; в – нижний диск

Установка цилиндрического типа, диаметр – 260мм и длина – 500мм, включающая раму 2, стойки 1, приводное устройство 4, и электродвигатель 5 (рис.3.5). Цилиндр 3 изготовлен из прозрачного стеклопластика для визуального наблюдения с гладкой поверхностью и совершает возвратно-поступательное движение в двух плоскостях (горизонтальной и вертикальной).

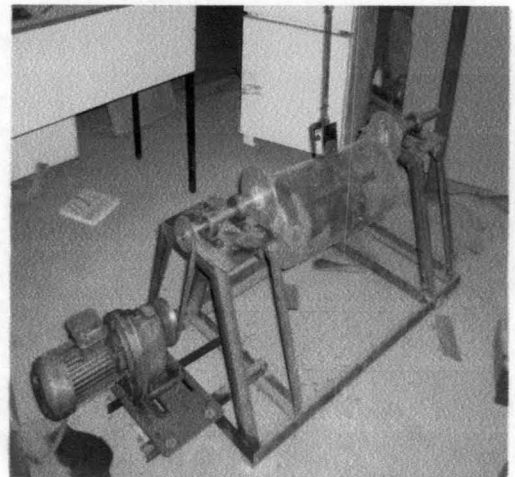
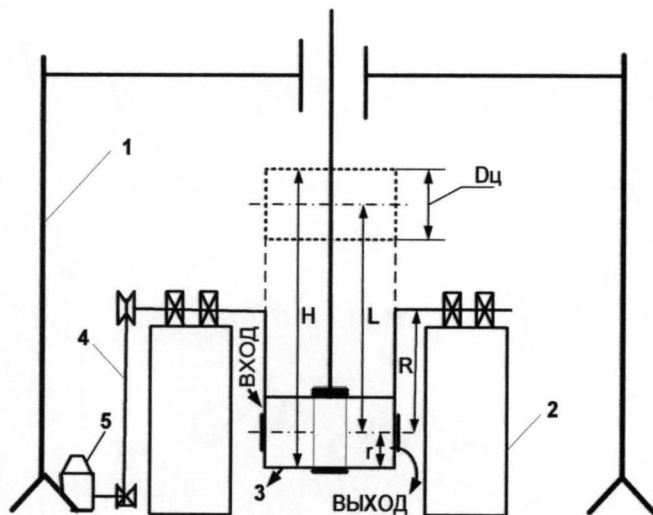


Рис.3.5. Установка цилиндрического типа для исследования процесса удаления кожуры плода арахис: 1- стойка; 2 - рама; 3 – цилиндр; 4 - приводное устройство; 5 - электродвигатель

Где, $H = D_{\text{ц}} + L$ - диаметр траектория движения, мм; $D_{\text{ц}}$ - диаметр цилиндра, мм; L - расстояние от центра цилиндра когда цилиндр находится в нижнем и верхнем положении или в крайнем левом и правом положении

Установка лопастного типа (рис.3.6), представляет собой неподвижный цилиндр 5, внутренняя поверхность которого может быть гладкой, абразивной или в виде решетки (дека). Внутри цилиндра вращаются лопасти 2. Орехи захватываются лопастями и протаскиваются по окружности цилиндра. Шелушение проходит за счет трения ореха о поверхность цилиндра и самошелушением (т.е. за счет трения семян друг о друга). Загрузка цилиндра осуществляется с одного торца цилиндра (вход), а выход готовой продукции – с другой (выход).

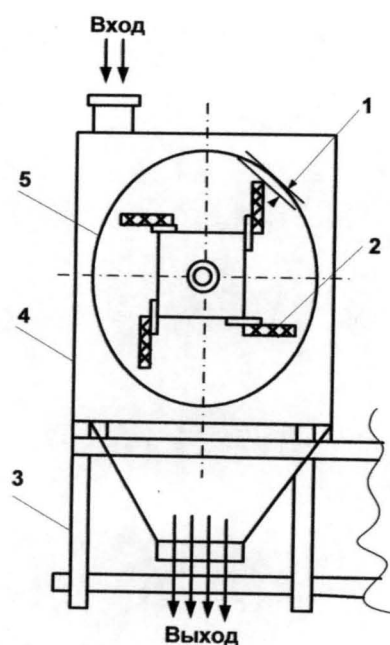


Рис.3.6. Установка лопастного типа для исследования процесса удаления кожуры плода арахис: 1 – зазор; 2 – лопатка; 3 – стойка; 4 – рама; 5 – неподвижный цилиндр.

3.3.2. Планирование экспериментальных исследований

Планирование эксперимента заключается в выборе такой стратегии экспериментирования, которая позволяет принимать обоснованные решения

после каждой серии опытов. Оно позволяет определить заранее схему шагового процесса проведения эксперимента, включить в него минимальное число опытов при одновременном варьировании всеми факторами без снижения количества и качества получаемой информации.

Если в эксперименте одновременному варьированию подлежат несколько факторов, то такой эксперимент называется факторным. В сложном факторном эксперименте уровни одного фактора сочетаются с уровнями всех остальных факторов [1, 7, 17, 38, 41, 44, 48, 79]. Под уровнями факторов понимают значение их величин, которые принимают при варьировании в эксперименте, а факторы - независимые переменные величины, которые влияют на значение отклика - результата опыта зависящего от них.

Одними из характерных факторов влияющих на показатели процесса шелушения являются следующие независимые величины:

- для установки дискового типа - частота вращения диска n , об/мин., зазор Z , мм и давление P , кПа в камере.
- для установки цилиндрического типа – частота вращения цилиндра n , об/мин.;
- для установки лопастного типа - частота вращения лопаток n , об/мин. и зазор z , м;

За функции отклика приняты: чистота шелушения – $Kш$ и целостность ядра – $Kц.я$.

При проведении опытов использована общепринятая методика математической теории планирования экспериментов [8, 44, 48, 69, 83].

При выборе числа повторностей опыта задавались допустимой ошибкой ε , выраженной в долях среднеквадратического отклонения σ . Из классической теории ошибок измерений известно, что результаты многократны измерений одной и той же величины должны лежать в пределах $\pm 3\sigma$. Поэтому, для сокращения числа экспериментов, можно задаться ошибкой $\pm 3\sigma$. Далее задавали доверительную вероятность,

которая, при обычных исследованиях в технике, равна 0,95 и уровень значимости 0,05. По таблице [17, 39, 44] выбирали необходимое число повторностей опыта равное -3.

Ниже приведен план экспериментальных исследований одной из установок имеющих большее число факторов.

3.3.3. Обоснование уровней и интервалов варьирования факторов для установки дискового типа

При проведении экспериментов на установке дискового типа изменяемыми параметрами являются частота вращения диска - n , об/мин, зазор z , мм и давление P , кПа в камере. Оптимальная температура обжарки составляла 240 °С (таб.3.1).

Разрушающее усилие, оказываемое, на кожуру плода арахиса во многом зависит от сил трения о рабочую поверхность камеры установки, а это в свою очередь зависит от частоты вращения диска. Проведенные лабораторные исследования показали диапазон значений кинетической энергии, при затрачивании которых происходит качественное шелушение плода арахиса. Диапазон изменений частоты вращения диска 420630 мин⁻¹.

Действительные и кодированные значения уровней и интервалов варьирования представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2

Значение уровней и интервалов варьирования

Наименование	Факторы			Код
	n , мин ⁻¹ .	z , мм	P , кПа	
Нулевой уровень	525	1	6	0
Интервал варьирования	105	0,5	3	-
Верхний уровень	630	8,5	16	+1
Нижний уровень	420	7,5	10	-1

Для обобщения плана эксперимента составили матрицу планирования трехфакторного эксперимента (таб. 3.3).

Таблица 3.3

Матрица планирования эксперимента 2^3

№. опыта	Факторы и их взаимодействия								Параметры оптимизации	
	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	$Y_{1ш}$	$Y_{1ц.я}$
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	$Y_{1ш}$	$Y_{1ц.я}$
2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	$Y_{2ш}$	$Y_{2ц.я}$
3	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	$Y_{3ш}$	$Y_{3ц.я}$
4	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	$Y_{4ш}$	$Y_{4ц.я}$
5	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	$Y_{5ш}$	$Y_{5ц.я}$
6	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	$Y_{6ш}$	$Y_{6ц.я}$
7	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	$Y_{7ш}$	$Y_{7ц.я}$
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	$Y_{8ш}$	$Y_{8ц.я}$

Математическая модель, связывающая критерии оптимизации с выбранными факторами, приведенными выше, запишется в следующем виде

$$K = f(n, z, P)$$

По результатам теоретических исследований и исходя из опытных данных делаем вывод, что наиболее существенное влияние факторов на шелушение плода и целостность плода арахиса (функцию цели Y) оказывают три фактора: x_1 – частота вращения диска, x_2 – зазор и x_3 – давление в камере.

Для определения зависимостей шелушения и целостности плода от трех выбранных факторов проводили однофакторные эксперименты, результаты которых обрабатывались методом математической статистики, строили графики функциональной зависимости степени шелушения и степени целостности ядра от оптимальных факторов:

$$K = f(n); f(z); f(P)$$

Для отыскания математической модели функции цели Y , а также для нахождения оптимальных значений факторов n , z и P , влияющих на шелушение, использовали метод поверхности отклика «RSM» [9, 32, 121].

Тогда, чтобы определить вид поверхности отклика с помощью возможно меньшего числа экспериментов, сначала принимаем неполную квадратную модель для параметра оптимизации и использовали факторный план с центральными добавочными точками. Интервалы и уровни варьирования факторов приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4
Интервалы и уровни варьирования факторов

Факторы	Уровни		Интервал варьирования
	Нижний (-)	Верхний (+)	
$X_1, \text{ мин}^{-1}$	420	630	52,5
$X_2, \text{ мм}$	7,5	8,5	0,25
$X_3, \text{ кПа}$	10	16	3

Неполная квадратная модель запишется:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 \quad (3.19)$$

где Y – выходной параметр;

b_0 - общий всего эксперимента;

b_1, b_2, b_3 - эффекты факторов;

$b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{123}$ - эффекты взаимодействий.

Если результаты анализа уравнения регрессии (3.19) показал, что неполная квадратная модель адекватна, тогда можно продолжать решить задачу по этой модели, а если неадекватна, тогда надо приходиться к использованию уравнения регрессии второго порядка и продолжать решать задачу. Например, по некомпозиционному трехуровневому плану Бокса – Бенкина [35, 121].

Для получения математической модели уравнения с достаточной точностью описывающего поведение функции в интересующей нас области изменения факторов, эксперимент был спланирован и реализован по плану второго порядка Бокса – Бенкина (т.е. на трех уровнях).

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i < j}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 \quad (3.20)$$

Где Y - выходной параметр;

b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} - теоретические коэффициенты регрессии;

x_i - i -я независимая переменная (фактор).

Интервалы и уровни варьирования факторов приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5

Интервалы и уровни варьирования факторов

Факторы	Уровни			Интервал варьирования
	Нижний (-)	Основной (0)	Верхний (+)	
$X_1, \text{мин}^{-1}$	420	525	630	105
$X_2, \text{мм}$	7,5	8,0	8,5	0,5
$X_3, \text{кПа}$	10	13	16	3

Опытные испытания проводятся по плану Бокса - Бенкина. Планы Бокса - Бенкина в сравнении с ортогональными более экономичны по числу опытов и обладают их свойствами [80, 121]. Матрица планирования эксперимента по плану второго порядка представлена в таблице 3.6. Опыты согласно матрице некомпозиционного плана 3^k (плана Бокса - Бенкина), проводились в лабораторных условиях.

Полученные по результатам исследований уравнения были проанализированы на компьютере с использованием программы «STATGRAPHICS Plus», по результатам которой построены графические изображения поверхности отклика и определены оптимальные значения факторов.

Таблица 3.6

Матрица эксперимента по плану Бокса – Бенкина

Опыт	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ ²	X ₂ ²	X ₃ ²	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃
1	1	0	-1	1	0	1	0	-1	0
2	0	-1	-1	0	1	1	0	0	1
3	0	1	1	0	1	1	0	0	1
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1	0	1	1	0	1	0	1	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	-1	-1	0	1	1	0	1	0	0
8	0	-1	1	0	1	1	0	0	-1
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1	-1	0	1	1	0	-1	0	0
11	0	1	-1	0	1	1	0	0	-1
12	-1	1	0	1	1	0	-1	0	0
13	-1	0	1	1	0	1	0	-1	0
14	-1	0	-1	1	0	1	0	1	0
15	-1	1	0	1	1	0	1	0	0

3.3.4. Методика математической обработки результатов экспериментальных исследований

Проведение экспериментальных исследований и обработки опытных данных осуществлялись согласно ПФЭ 2³ и некомпозиционному трехуровневому плану Бокса – Бенкина по методике, изложенной в источнике [121].

Все опыты повторялись в трехкратной повторности. По результатам определялось средняя арифметическая величина изучаемого показателя по формуле:

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i, \quad (3.21)$$

где y_i – значение показателя при i -ой поверхности;

n – число повторностей (измерений).

Среднее квадратичное отклонение изучаемого показателя определялся по формуле:

$$S_j = \pm \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2}, \quad (3.22)$$

а коэффициент вариации:

$$v = \pm \frac{S_j}{\bar{Y}} 100\% \quad (3.23)$$

Обработка результатов исследований проводилась в следующей последовательности:

1. Дисперсия ошибок опытов определялась по формуле:

$$S_j^2 = \frac{1}{n-1} \sum (Y_j - \bar{Y}_j)^2, \quad (3.24)$$

где n – число повторностей одного опыта;

\bar{Y}_j – значение критерия оптимизации в параллельных опытах;

2. Для определения возможности проведения регрессионного анализа рассчитали, используя данные, приведенные в приложении, однородности дисперсии параллельных опытов по критерию Кохрена [7, 9, 30] по формуле:

$$G_{\text{расч}} = \frac{S_{j \text{ max}}^2}{\sum S_j^2} < G_{\text{таб}}, \quad (3.25)$$

где $G_{\text{расч}}$ и $G_{\text{таб}}$ – вычисленное и табличное значения критерия Кохрена (при выполнении условия однородности дисперсии);

$S_{j \text{ max}}^2$ – наибольшая построчная дисперсия ошибки,

$\sum S_j^2$ – Сумма дисперсии.

3. Дисперсия воспроизводимости эксперимента определяется следующим образом:

$$S_e^2 = \frac{\sum S_j^2}{f_e} \quad (3.26)$$

где f_e – число степени свободы

4. Дисперсия адекватности также определялась следующим образом:

$$S_{ad}^2 = \frac{1}{f_{ad}} \sum \left(\bar{Y} - \hat{Y} \right)^2 \quad (3.27)$$

$f_{ad} = N - (d + 1)$ - число степени свободы;

d - число независимых эффектов,

N = число опытов в матрице.

5. Адекватность линейной модели оценивается с помощью критерии Фишера:

$$6. F_{расч} = \frac{S_{ad}^2}{S_{\epsilon}^2} \quad (3.28)$$

7. Оценка значимости коэффициентов уравнения оценивалась с помощью критерии Стьюдента:

$$8. t = \frac{|b_j|}{S_{\epsilon i}} \quad (3.29)$$

где b_j - коэффициент

$$S_{\epsilon i} = \sqrt{\frac{S_{\epsilon}^2}{N}} \quad - \quad \text{среднее квадратичное отклонение}$$

воспроизводимости.

Адекватность моделей проверяли с помощью компьютерной программы STATGRAPHICS Plus, в которой используется критерий Стьюдента.

3.4. Качественные показатели работы установок:

1. Установка дискового типа

Взвешенный материал пропускался через машину и собирался в одну емкость. Полученный ворох пропускался через циклон для отделения плодов от пленки. Проводился анализ работы установки. Следует отметить, что на работающей установке, установленной в линию циклон пристроен

непосредственно к выходному отверстию из машины. Легкая кожица с плодов отсасывается циклоном, а выходом является готовая продукция.

2. Установка цилиндрического типа

Обрабатываемый материал попускался через цилиндр, совершающего два возвратно - поступательных движения во взаимно перпендикулярных плоскостях (горизонтальной и вертикальной) где происходит разрушение пленки ядра за счет трения ядер между собой и стенками цилиндра. Полученный обшелушенный материал пропускался через циклон аналогично других установок.

3. Установка лопастного типа

Целые орехи, в установке захватываются лопастями и протаскиваются ими по окружности цилиндра, где они подвергался шелушению. Выход с другого торца. Обшелушенный материал пропускался через циклон, для разделения по фракциям.

ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

4.1. Результаты лабораторных исследований установок

4.1.1. Определение некоторых физико-механических и Технологических свойств арахиса

Для обоснования технологических и конструктивных параметров установок необходимо знание и изучение физико-механических и технологических свойств арахиса. Это дает возможность оптимизировать конструкцию установки и технологию шелушения для качественной работы. Знание физико-механических и технологических свойств арахиса позволяет сравнить исследуемый объект со стандартным по базисным кондициям.

Определение физико-механических и технологических свойств арахиса проводилось согласно изложенной методике. Для исследований, как было отмечено, применялись районированные сорта арахис - «Dakar», «Damboa» и «Kampala» по ГОСТу 17111-88 (приложение 1).

Определение линейных размеров арахиса проводилось с помощью штангенциркуля. Эксперимент проводился с участием одного сорта арахиса - «Dakar». По итогам замеров были построены вариационные таблицы 4.1, 4.2, 4.3 и вариационная кривая, характеризующие распределение длины, ширины и толщины плодов арахиса (рис. 4.1).

Таблица 4.1

Вариация длины плодов арахиса сорта (Dakar)

Классы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Всего
Границы	7,7...	7,9..	8,3..	8,7....	9,1...	9,5..	9,9..	10,3..	10,7..	11,1..	-
Классов	7,9	8,3	8,7	9,1	9,5	9,9	10,3	10,7	11,1	11,5	
Среднее значение	7,7	8,1	8,5	8,9	9,3	9,7	10,1	10,5	10,9	11,3	-
Частота по кол-ву	23	28	163	102	83	54	25	15	5	2	500
Чистота, %	0,46	5,6	14,9	23,1	23,9	19,9	11,8	5,9	1	0,4	100

Таблица 4.2

Вариация ширины плодов арахиса сорта (Dakar)

Классы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Всего
Границы	6,6....	6,9....	7,2....	7,5....	7,8....	8,1....	8,4....	8,7...	9,0...	9,3....	-
Классов	6,9	7,2	7,5	7,8	8,1	8,4	8,7	9,0	9,3	9,6	-
Среднее значение	6,75	7,05	7,35	7,65	7,95	8,25	8,55	8,85	9,15	9,45	-
Частота по кол-ву	6	31	58	78	178	66	48	26	7	2	500
Чистота, %	1,2	6,2	11,6	15,6	35,6	13,2	9,6	5,2	1,4	0,4	100

Таблица 4.3

Вариация толщины плодов арахиса сорта (Dakar)

Классы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Всего
Границы	6,0...	6,3...	6,6....	6,9...	7,2...	7,5...	7,8...	8,1...	8,4....	8,7...	-
Классов	6,3	6,6	6,9	7,2	7,5	7,8	8,1	8,4	8,7	9,1	-
Среднее значение	6,1	6,4	6,7	7,0	7,3	7,6	7,9	8,1	8,4	8,9	-
Частота по кол-ву	4	34	55	79	131	77	50	42	25	3	500
Чистота, %	0,8	6,8	11	15,8	26,2	15,4	10	8,4	5	0,6	100

Анализируя полученные данные по описанной методике получили следующие результаты:

- * - средняя длина арахиса: $t_{cp.\delta} = 7,79$ мм
- * - среднеквадратичное отклонение длины арахиса: $\sigma_{\delta} = 1,35$ мм
- * - средняя ширина арахиса: $t_{cp.\mu} = 7,98$ мм
- * - среднеквадратичное отклонение ширины арахиса: $\sigma_{\mu} = 0,49$ мм
- * - средняя толщина арахиса: $t_{cp.m} = 7,35$ мм
- * - среднеквадратичное отклонение толщины арахиса: $\sigma_m = 0,29$ мм

Как видно из результатов экспериментов исследуемая партия плодов соответствует базисным кондициям для получения шелушенных арахисов для различных направлений и, следовательно, может быть применена для последующих экспериментов.

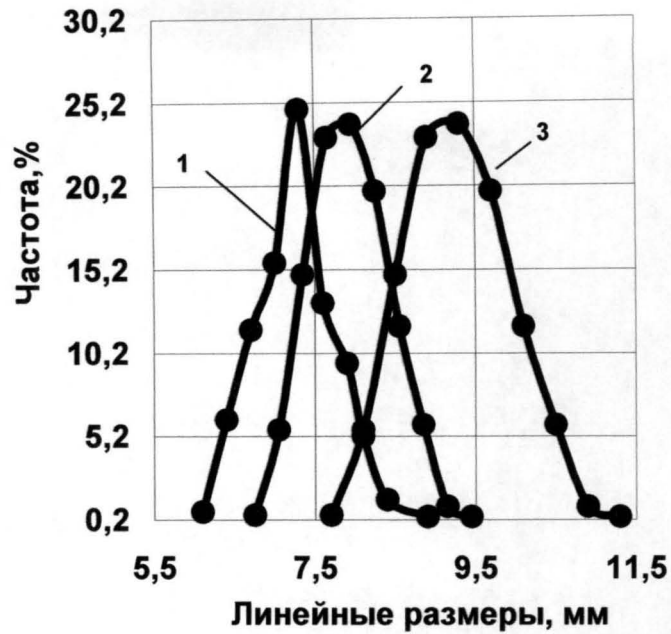


Рис. 4.1. Распределение линейных размеров плодов арахиса сорта (Dakar): 1 – толщина; 2 – ширина; 3 – длина

Определение толщины кожуры плода арахиса проводилось при стандартной температуре обжарки исследуемого объекта. Эксперимент проводился с участием одного сорта – «Dakar», так как предварительные исследования показали ничтожно малую разницу толщины кожуры между различными сортами.

По итогам замеров была построена вариационная таблица 4.4 и вариационная кривая (рис.4.2).

Таблица 4.4

Распределение толщины кожуры плодов арахиса сорта (Dakar)

Классы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Всего
Границы	0,0450	0,047	0,048	0,050	0,051	0,052	0,054	0,055	0,057	0,059	
Классов	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	–
	0,047	0,048	0,050	0,051	0,052	0,054	0,055	0,057	0,059	0,060	
Среднее значение	0,046	0,047	0,049	0,050	0,052	0,053	0,055	0,056	0,058	0,060	-
Частота по кол-ву	15	29	17	11	9	6	4	4	3	2	100
Чистота, %	15	29	17	11	9	6	4	4	3	2	100

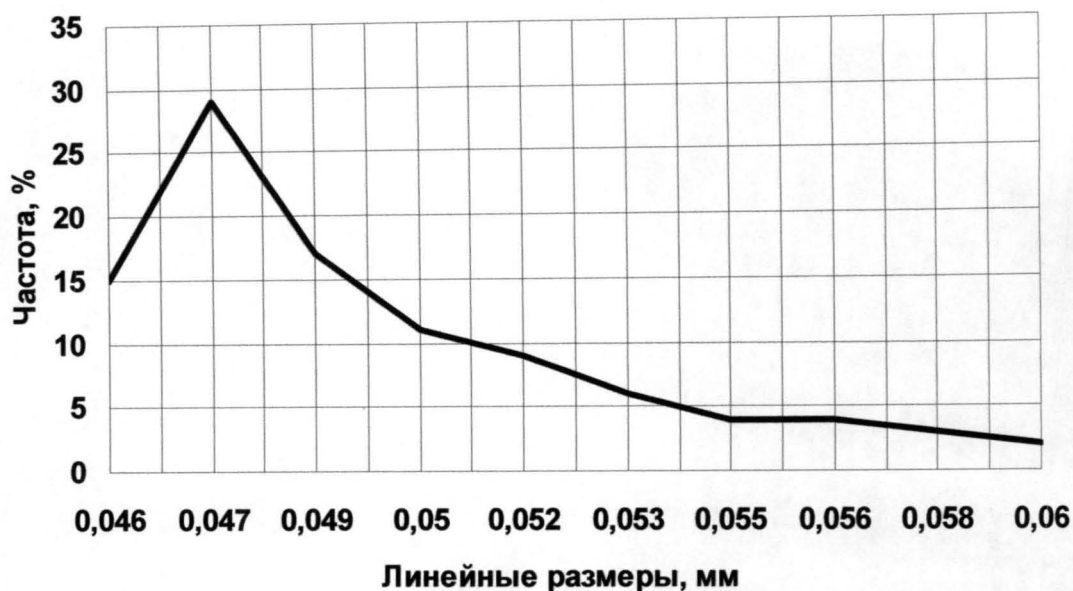


Рис. 4.2. Распределение толщины плода арахиса сорта (Dakar)

Анализируя полученные данные по описанной методике, и получили следующие результаты:

- средняя толщина кожуры арахиса: $t_{ср.тк} = 0,049$ мм

- среднеквадратичное отклонение толщины кожуры арахиса: $\sigma_{тк} = 0,0035$ мм. Определение коэффициента трения плодов арахиса проводилось на сортах «Dakar», «Damboa» и «Kampala» [7, 21]. Для экспериментов использовалось оборудование, описанное в третьей главе. Результаты экспериментов сведены в таблицу 4.5.

Таблица 4.5

Коэффициент трения скольжения и качения плодов арахиса о материалы рабочих органов

Сорт арахиса	Поверхность трения					
	по стали		по дереву		по резине	
	$f_{ск}$	$f_{кч}$	$f_{ск}$	$f_{кч}$	$f_{ск}$	$f_{кч}$
Dakar	0,21	0,20	0,33	0,22	0,32	0,28
Damboa	0,23	0,22	0,36	0,23	0,37	0,24
Kampala	0,25	0,25	0,30	0,27	0,34	0,31

$f_{ск}$ - коэффициент скольжения плодов арахиса

$f_{кч}$ - коэффициент качения плодов арахиса

Анализ результатов показал, что значения коэффициенты трения арахиса зависят только от вида опорной поверхности. По результатам определения коэффициента трения плодов арахиса видно, что при фактически используемых углах наклона плоскости $\alpha = 14 - 38^\circ$, происходит скольжение или качение орехов арахиса. Результаты определения коэффициента трения плодов арахиса по стальной шлифованной пластине, по дереву и по резине, показали, что для разных сортов он имеет значения 0,20 – 0,26; 0,26 – 0,35 и 0,32 – 0,41 соответственно (рис.4.3.).

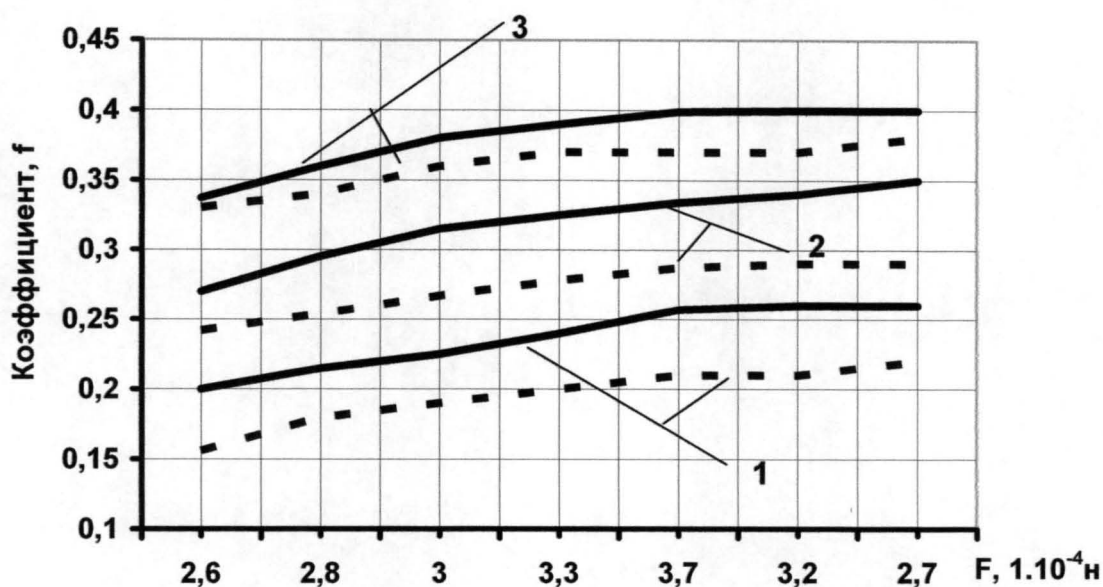


Рис. 4.3. Статические (—) и динамические (— — —) коэффициенты трения арахиса в зависимости от нормальных сил по опорным поверхностям: 1 – шлифованная стальная пластинка; 2 – дерево; 3 – резина

4.1.2. Определение усилия разрушения кожуры орехов (плодов) арахиса в зависимости от температуры обжарки

В процессе разработки конструктивных параметров дисковой, цилиндрической и лопастной установки важно знать, при каких условиях будет производиться качественное отделение кожуры от ядра. Также это даст возможность определить технологический режим работы разрабатываемой установки. Для определения таких условий найдем разницу между усилиями

затрачиваемыми на шелушение плодов арахиса при различных температурах обжарки.

Для нахождения разницы между усилиями разрушения кожуры и ядра были проведены эксперименты, методика которых была описана в третьей главе. Следует заметить, что по описанной методике находится только разность между усилиями разрушения, а не действительное ее значение (приложение 2). По полученным экспериментальным данным построен график зависимости усилия разрушения кожуры плода арахиса от пути перемещения (рис. 4.4, 4.5 и 4.6).

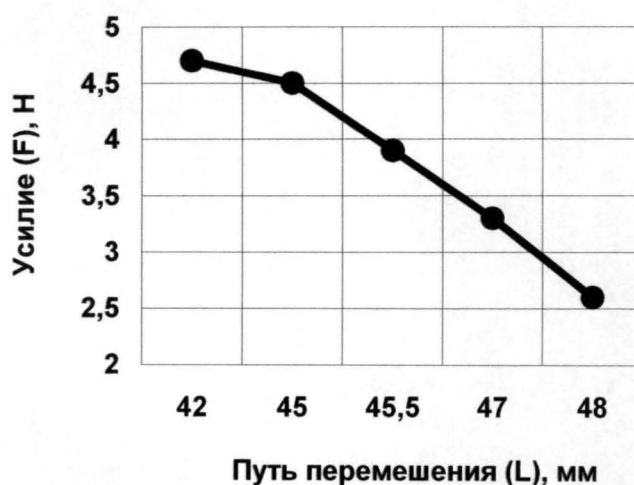


Рис. 4.4. Усилия разрушения кожуры плода арахиса сорта «Dakar» в зависимости от пути перемещения

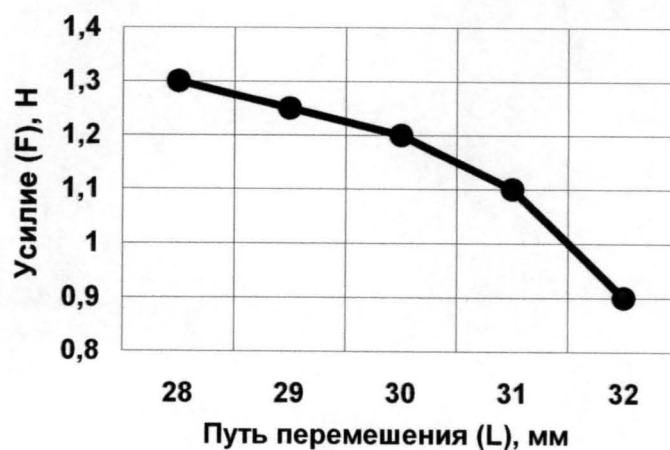


Рис. 4.5. Усилия разрушения кожуры плода арахиса сорта «Damboa» в зависимости от пути перемещения



Рис. 4.6. Усилия разрушения кожуры плода арахиса сорта «Kampala» в зависимости от пути перемещения

Эксперимент проводился по пяти значениям температуры обжарки ($t = 120; 150; 180; 210; 240$ °C) (таб.4.6), сорта арахиса - «Dakar», «Damba» и «Kampala».

По полученным экспериментальным данным также построен график зависимости усилия разрушения кожуры из ядра арахиса от температуры обжарки (рис. 4.7).

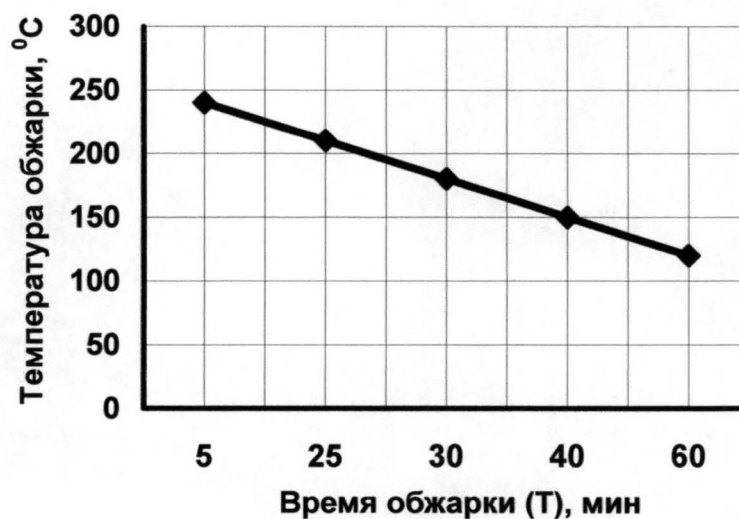


Рис.4.7. Зависимость изменения времени обжарки от температуры

По итогам исследования можно сделать вывод, что шелушение целесообразно проводить при температуре обжарки плодов арахиса - 240°C.

В соответствии с методикой определения условий разрушения кожуры семян арахиса были определены величины и относительной деформации и нормального напряжения при сжатии, а также модуль упругости, при достижении которых происходит разрушение кожуры.

Относительная деформация ε семени вычислялась по формуле (3.9) после подстановки в нее значений диаметра семени и абсолютной деформации. Для семян диаметром 7,60 мм абсолютная деформация, при которой происходило разрушение кожуры, составила 0,05 мм в 43 % случаев, 0,045 мм – 26 %, 0,055 мм – 22 % (рис. 4.8). Совсем редко наблюдалось разрушение кожуры при деформации 0,04 и 0,06 мм, соответственно, 5 и 3 %. Таким образом, кожура 91 % семян диаметром 7,6 мм разрушалась при абсолютной деформации 0,045 - 0,055 мм. Аналогично изменялась абсолютная деформация семян диаметром 7,54 мм, имея только незначительные отличия по величине частоты повторения от семян диаметром 7,6 мм (рис.4.8). Наибольшую частоту повторения имела деформация 0,05 мм – 46 %. При деформации 0,045 мм разрушалась кожура 28 % семян и при деформации 0,055 мм – 21 %. Кожура остальных 5 % семян диаметром 7,54 мм разрушалась при деформации 0,04 и 0,06 мм.

Относительная деформация ε семян диаметром 7,6 мм меньше относительной деформации семян диаметром 7,54 мм на 3 %.

Нормальное напряжение σ в момент разрушения кожуры для семян диаметром 7,6 мм составило от 1,62 до 4,06 Н/м², а для семян диаметром 7,54 мм – (6,25 – 6,48) Н/м² (приложение 3).

Модуль E_2 упругости семян определялся по формуле (3.15) и равнялся (0,21 – 0,77) · 10³ Н/м² для семян диаметром 7,6 мм и (0,81 – 1,18) · 10³ Н/м² для семян диаметром 7,54 мм (приложение 4).

По результатам определения условий разрушения кожуры плода арахиса можно сделать следующие выводы:

1. Экспериментальное исследование показало, что при абсолютной деформации 0,045 – 0,055 мм происходит разрушение кожуры 91 % семян диаметром 7,6 мм и 93 % - диаметром 7,54 мм. По данной величине абсолютной деформации в зависимости от диаметра семян арахиса следует устанавливать соответствующий зазор между дисками, при котором будет осуществляться наиболее полное разрушение кожуры.
2. На основе экспериментальных данных показано (приложение 4) что разрушение кожуры семян диаметром 7,6 и 7,54 мм, происходит за счет действия нормальной нагрузки, соответственно, (2,6; 3,3; 3,9; 4,5; 2,2) · 10⁻⁴ Н и (3,5; 4,7; 5,9; 7,1; 8,3) · 10⁻⁴ Н.
3. Установлены значения предела пропорциональности σ_n и модуля упругости E_2 семян арахиса, которые равны для семян диаметром 7,6 мм, соответственно, (1,62 – 4,06) Н/м² и (0,21 – 0,77) · 10³ Н/м², для диаметром 7,54 мм – (6,25 – 6,48) Н/м² и (0,81 – 1,18) · 10³ Н/м².

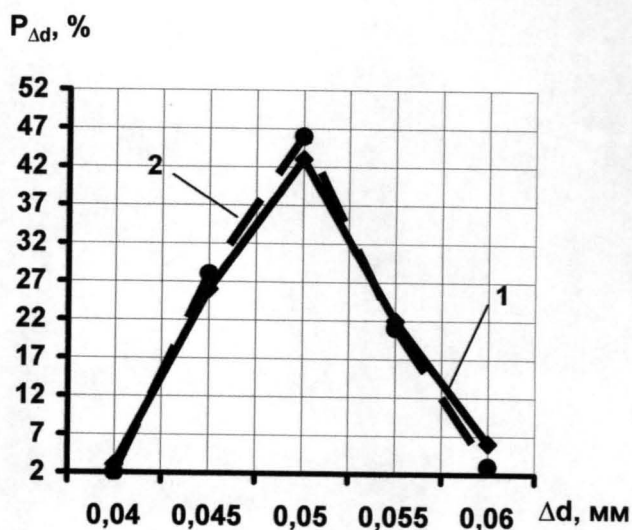


Рис.4.8. Распределение абсолютной деформации Δd семян при разрушении кожуры сжатием: 1 — $d = 7,60$ мм; 2 — $d = 7,54$ мм

Результаты замеров давления представлены в таблице 4.6

Таблица 4.6

Зазор, мм	Значение давления	
	мм.рт.ст	кПа
7,5	74,8	10
8,0	97,3	13
8,5	119,7	16

4.2. Результаты лабораторно-производственных исследований установок

4.2.1. Эффективность шелушения на установке дискового типа

На кафедре механизации растениеводства в РГАУ – МСХА проводились испытания установки дискового типа для шелушения и извлечения цельного ядра арахиса, представленной на рисунке 3.1.

Также в приложениях 5 и 6 показан арахис в оболочках, обмолоченных и обшелушенных.

Исследования проводились в два этапа. На первом этапе проводились однофакторные эксперименты, позволяющие приблизительно определить область оптимальной работы установки. На втором этапе проводились многофакторные эксперименты для определения математической модели процесса и значений факторов, при которых обеспечивается наибольшая эффективность работы установки.

Все однофакторные опыты проводились в трехкратной повторности. По результатам определялся средний арифметический действительный степенны шелушения и целостности ядра (приложения 7, 8 и 9).

Графики, отражающие зависимость степени шелушения и целостности ядра от изменения величины ранее названных управляемых факторов, приведены на рисунках 4.10. – 4.15.

Анализируя рис.4.9. – 4.14., заметим, что с увеличением, зазора между дисками и давления в камере при разных частотах вращений, степень

шелушения увеличивается, тогда, как целостность ядра уменьшается. Данный показатель закономерно возрастает и уменьшается при увеличении числа оборотов диска до 630 мин^{-1} . Это можно объяснить тем, что при малой частоте вращения диска, плоды меньше взаимодействуют друг с другом, и поэтому сравнительно быстро двигаются внутри камеры и также быстро выходят из неё. С увеличением частоты вращения диска они больше встречаются и соприкасаются друг с другом, в результате чего задерживаются в приемной камере.

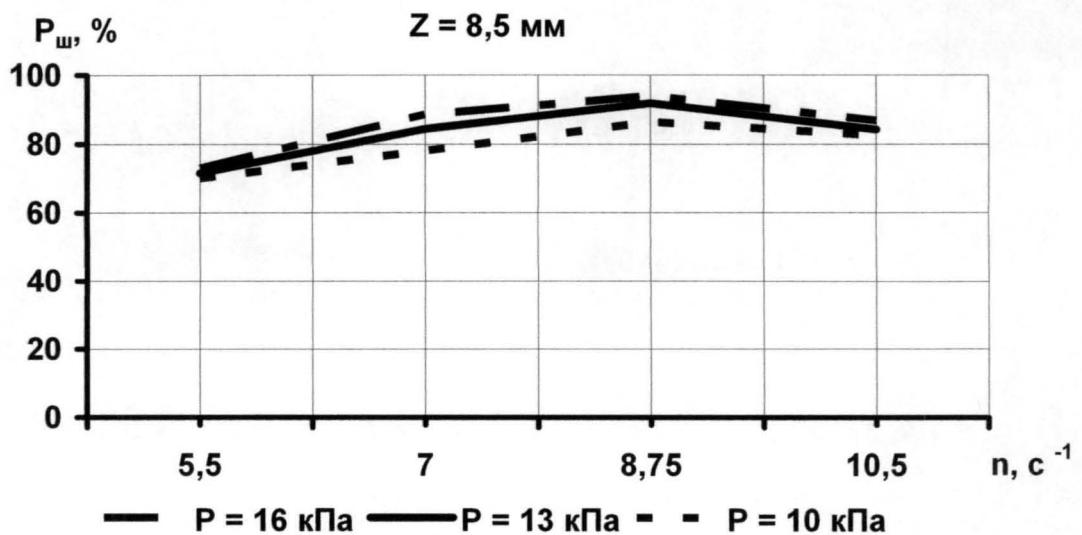
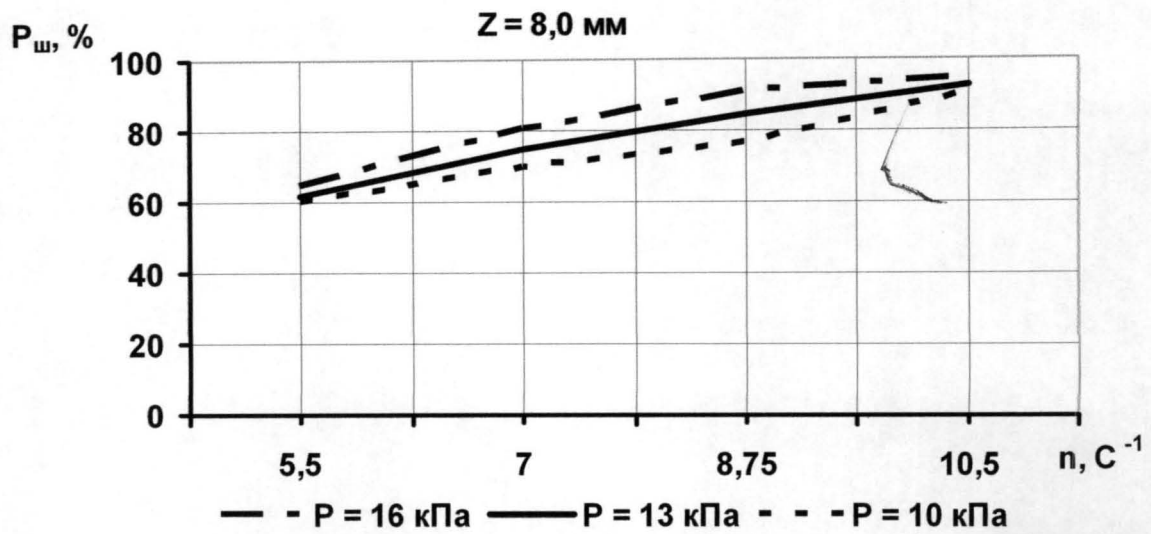
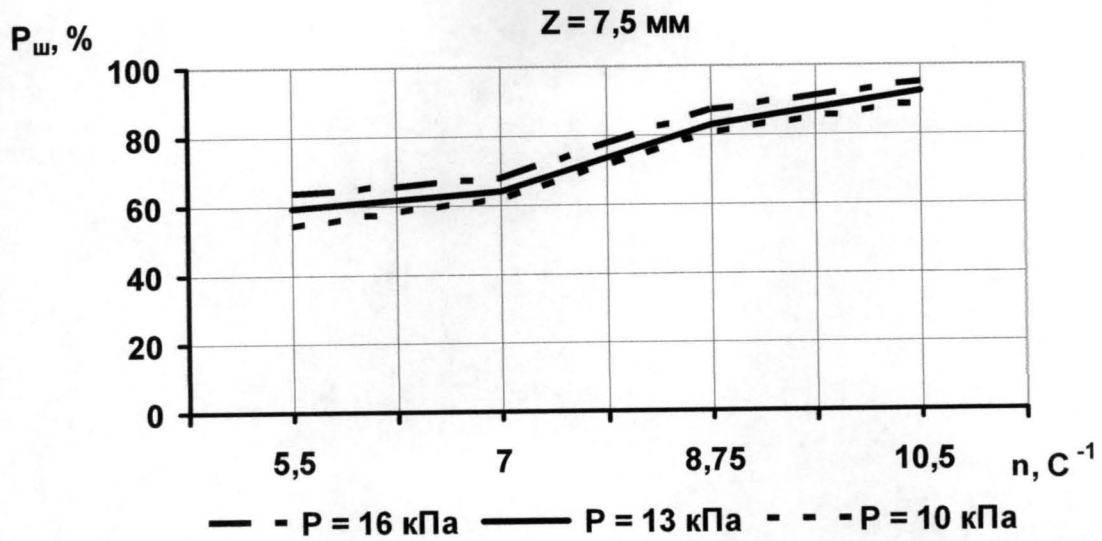


Рис. 4.9 Степень шелушения в зависимости от частоты вращения диска

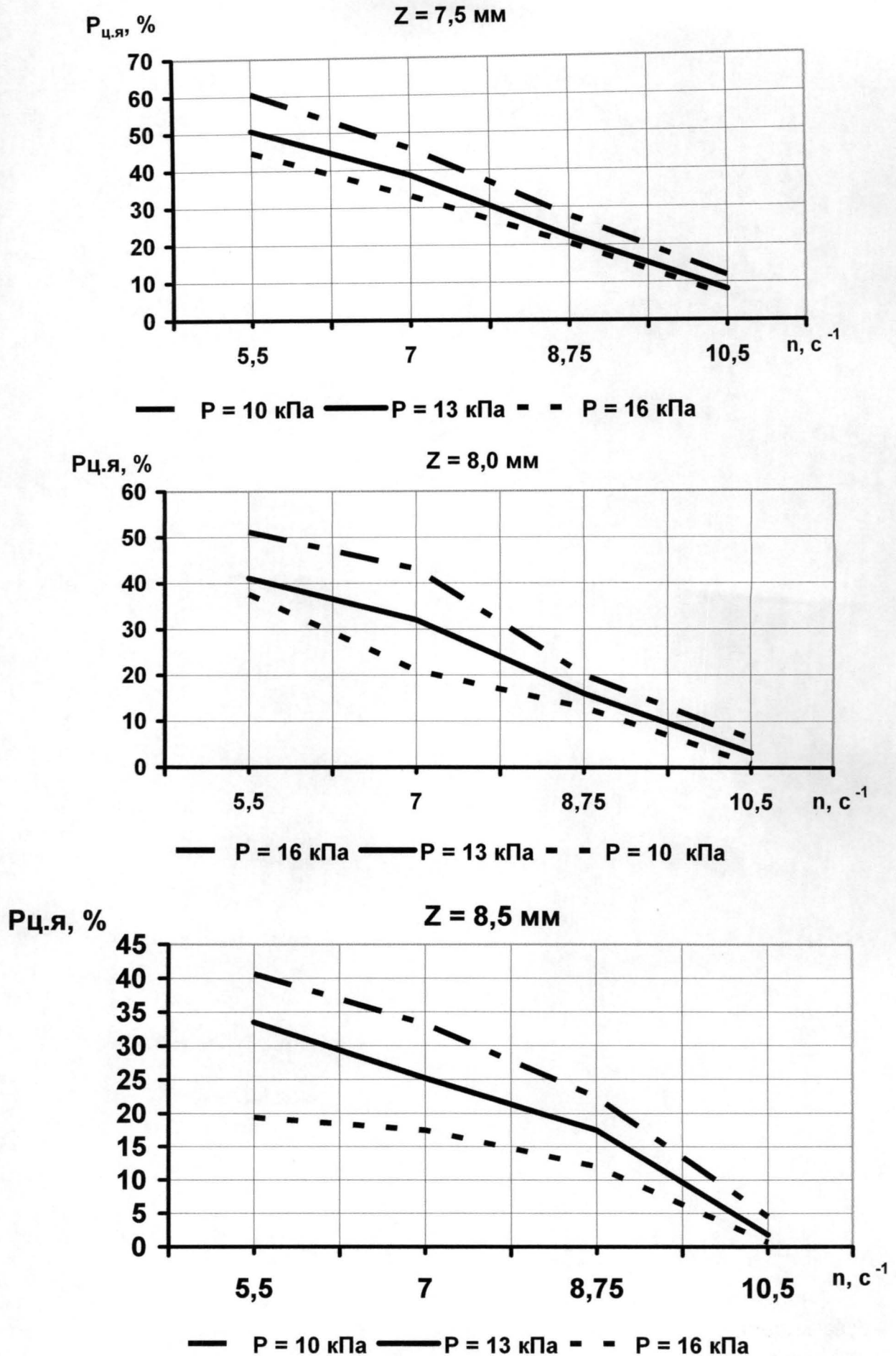


Рис. 4.10. Целостность ядра в зависимости от частоты вращения диска

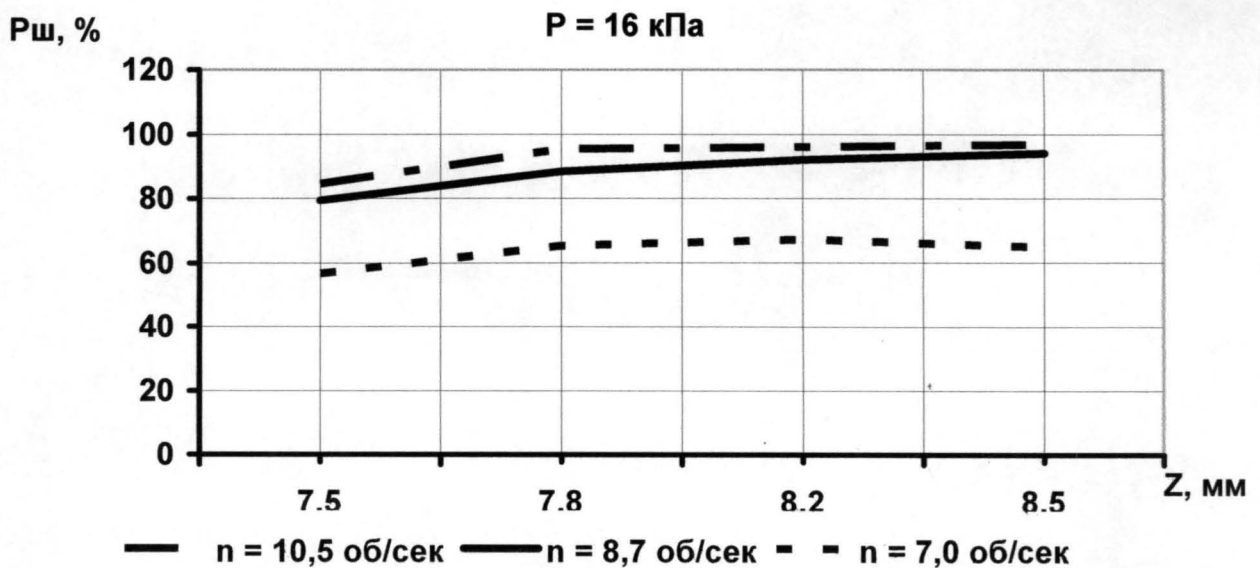
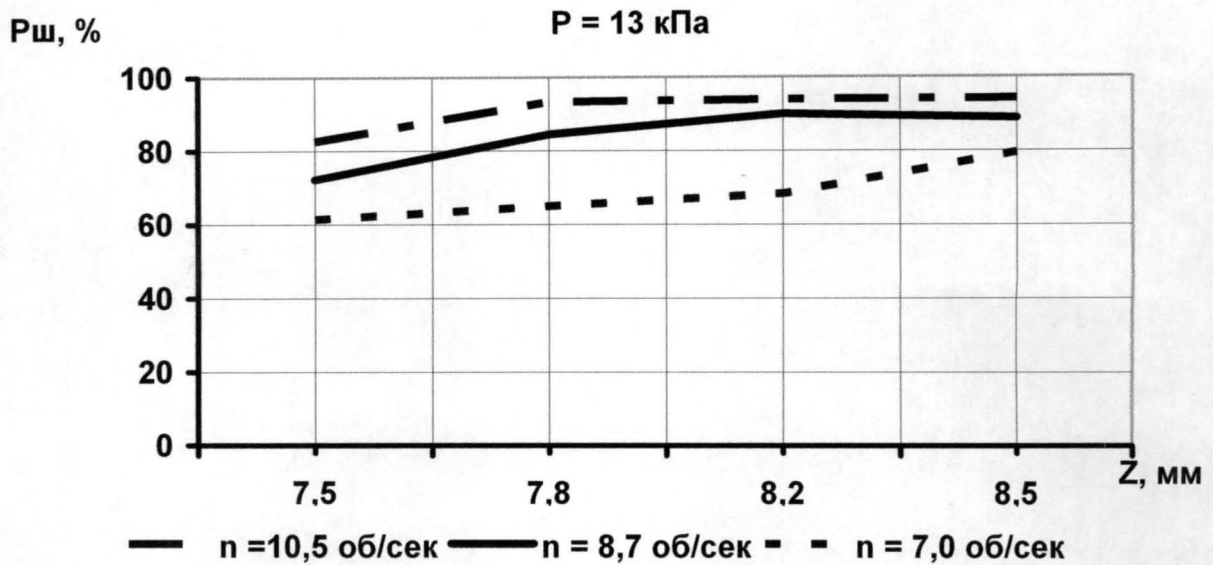
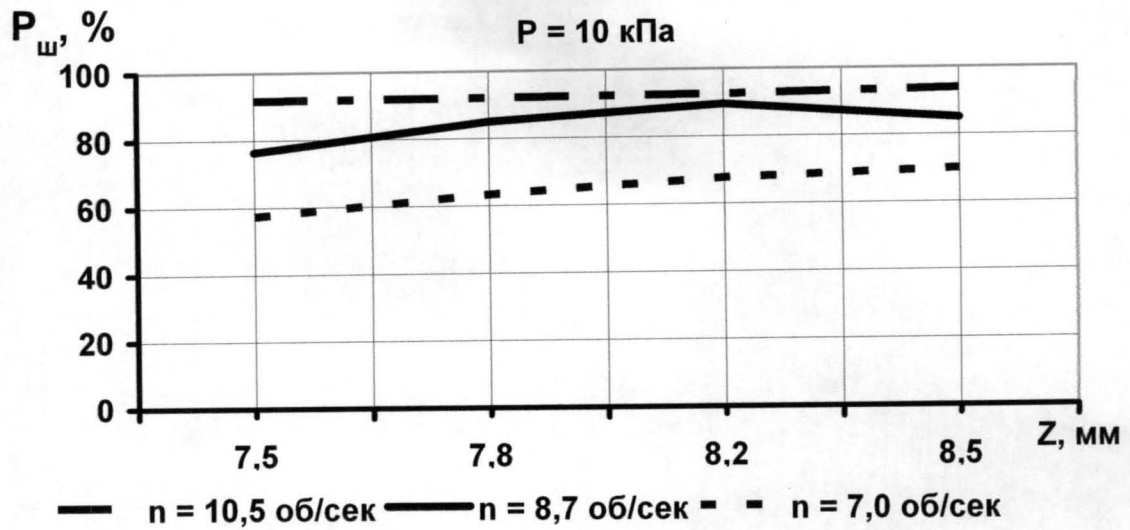


Рис. 4.11. Степень шелушения в зависимости от зазора между дисками

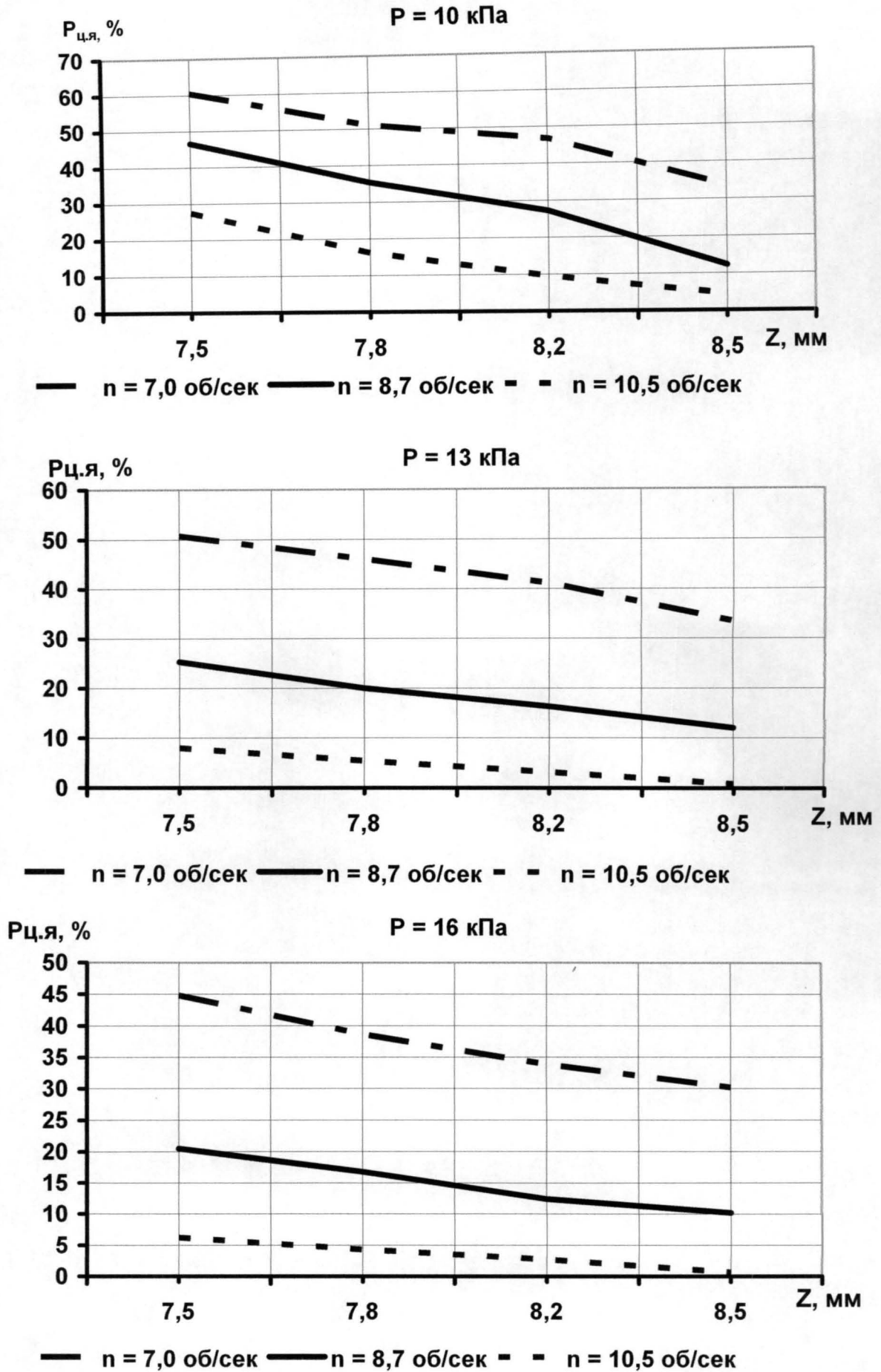


Рис.4.12. Целостность ядра в зависимости от зазора между дисками

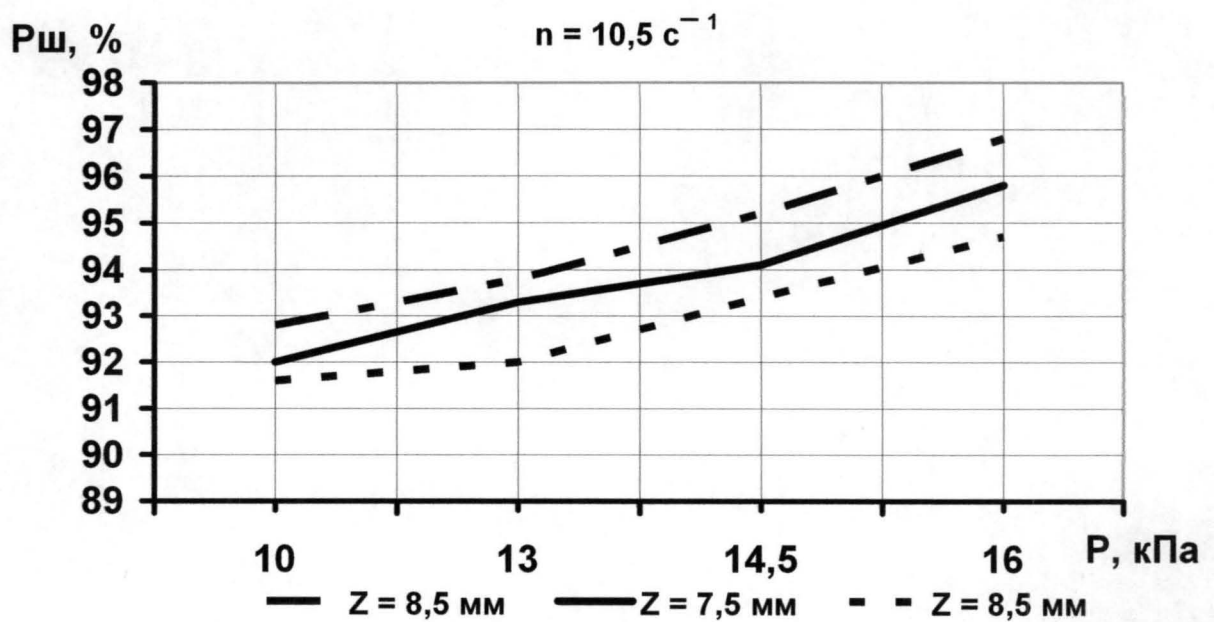
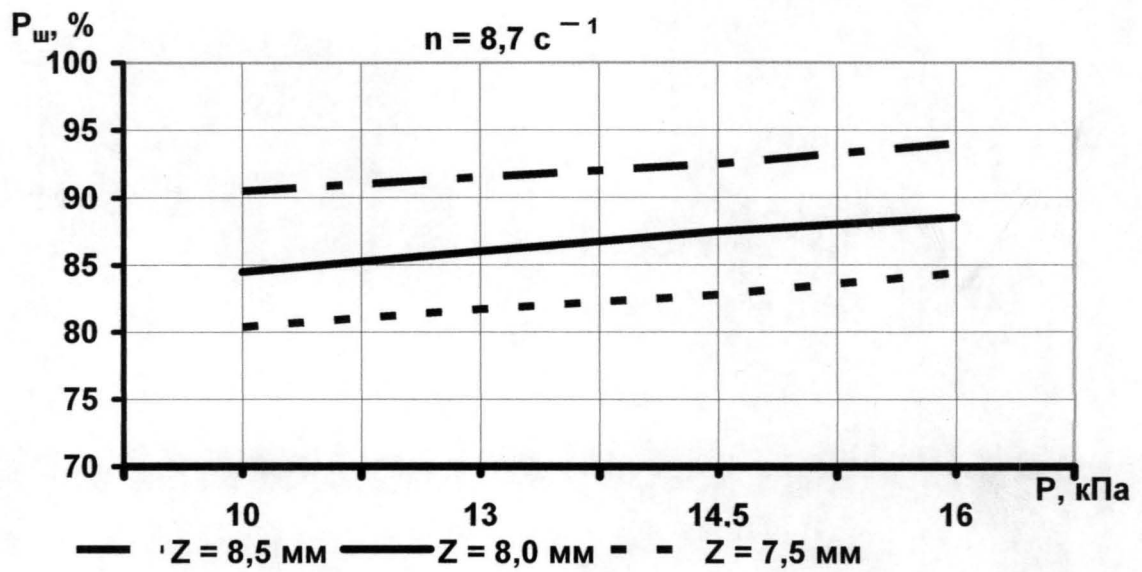
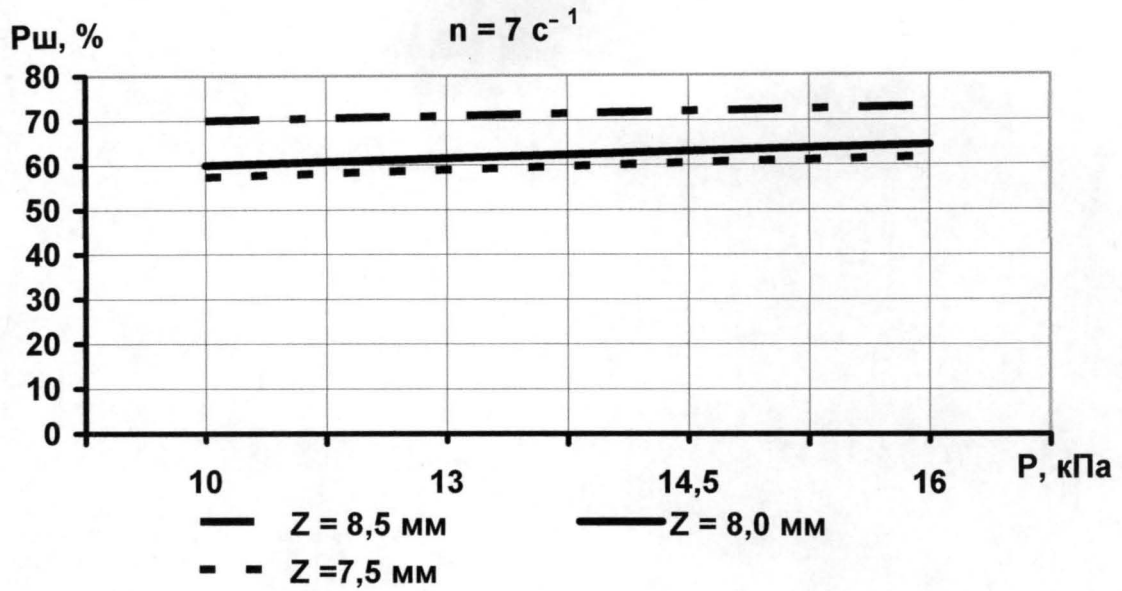


Рис.4.13. Степень шелушения в зависимости от давления в камере

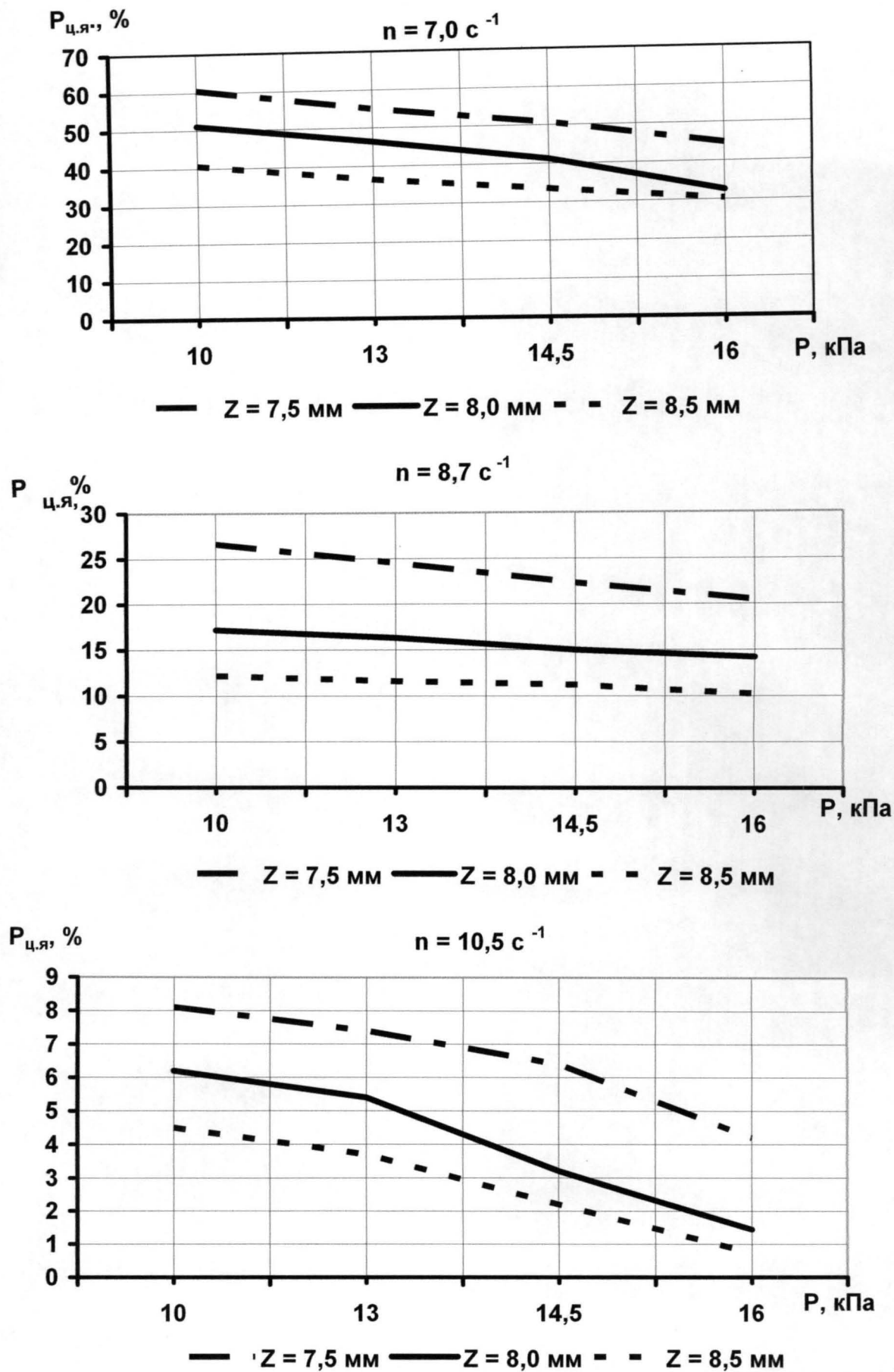


Рис.4.14. Целостность ядра в зависимости от давления в камере

Для оптимизации конструктивных и технологических параметров установки дискового типа (камера) был спланированы и реализованы активный трехфакторный эксперимент неполной квадратной модели, согласно методике. Технологический процесс шелушения оптимизировали по максимуму степени шелушения (Y_1).

Результаты экспериментальных исследований процесса удаления семенной кожуры арахиса на установке дискового типа приведены (приложение 8).

Для определения возможности проведения регрессионного анализа рассчитывались однородности дисперсий параллельных опытов по критерию Кохрена по формуле (3.25).

Условие $G_{кр} \equiv G_{\alpha; m; n-1} = 0,516$ - табличное значение

где $\alpha - 95\% = 0,05$; $m - 8$; $n - 3$

$$G_{ш} = \frac{S_{ш \cdot \max}^2}{\sum S_{ш}^2} = \frac{1,42}{5,45} = 0,26$$

Полученные значения $G_{ш}$ и $G_{кр}$ сравнивались с табличным при выбранном уровне значимости $\alpha = 0,05$ [42].

$$\therefore G_{ш \cdot \text{расч}} < G_{кр} \equiv 0,26 < 0,516$$

На основании этого гипотеза об однородности дисперсий параллельных опытов принималась.

Дисперсия воспроизводимости равнялась:

$$\therefore S_{\sigma(ш)}^2 = \frac{\sum S_{ш}^2}{f_{\sigma}} = \frac{5,45}{8} = 0,68$$

Ошибка эксперимента составляла:

$$S(Y_{ш}) = \sqrt{0,68} = 0,82$$

После расчета всех коэффициентов уравнение приняло вид:

$$Y_{uu} = 79,7 + 14,2x_1 + 3,34x_2 + 1,81x_3 - 2,61x_1x_2 + 0,013x_1x_3 - 0,013x_2x_3 + 0,34x_1x_2x_3 \quad (4.1)$$

Для полного факторного эксперимента дисперсии ошибки коэффициентов регрессии определялись по формуле (3.26)

$$S_{uu}^2(vi) = \frac{0,68}{\sqrt{8.3}} = 0,139$$

Далее определялась значимость коэффициентов по критерию Стьюдента по выражению (3.29). Для числа степеней свободы 8 при уровне значимости $q = 5\%$ $t_{кр} = 2,31$. При выполнении условия $t_p > t_{кр}$, тогда только коэффициенты признавались значимыми, водились в уравнение.

После исключения статистически незначимых коэффициентов уравнение регрессии (4.1) приняло вид:

$$Y_{uu} = 79,7 + 14,2x_1 + 3,34x_2 + 1,81x_3 - 2,61x_1x_2 \quad (4.2)$$

Получена функция в зависимости от натуральных значений факторов:

$$Y_{uu} = 79,7 + 14,2n + 3,34z + 1,81P - 2,61nz \quad (4.3)$$

Полученные уравнения проверялись на адекватность. В приложение 6 представлены результаты расчета адекватности.

Дисперсии адекватности, вычисленные по формуле (3.27), составили:

$$S_{ад(у)}^2 = \frac{1,0}{4} = 0,25$$

Адекватность модели проверялась по выражению (3.28).

Гипотеза об адекватности уравнения (4.2) была принята при уровне значимости 0,05 (критерий Фишера - $F_{табл} = 3,04$) только для параметра оптимизации (Y_1) при выполнении условия:

$$F_{расч(у)} = \frac{0,25}{0,68} = 0,37 < F_{табл} = 3,04$$

Анализ уравнения (4.1) регрессии для параметра оптимизации (Y_1) показал, что с увеличением частоты вращения дисков, зазора между дисками и давления в камере степень шелушения $K_{ш}$ увеличиваются, так как коэффициенты b_1 , b_2 , и b_3 при X_1 , X_2 и X_3 положительны. Причем наибольшее влияние на $K_{ш}$ оказывает частота вращения дисков n , так как

$|b_1| > |b_2|$ и $|b_3|$. Взаимодействие факторов оказалось несущественным.

По результатам эксперимента были найдены параметры установки дискового типа, обеспечивающие максимальный эффект удаления кожуры арахиса. Степень шелушения имеет наибольшее значение 97,87 % при частоте вращения диска 620 мин^{-1} , зазоре 8,0 мм и давлении в камере 13 кПа.

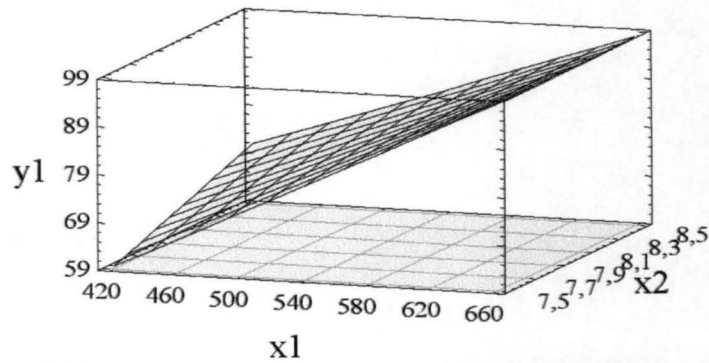
Анализ модели (4.3) показывает, что наибольшее влияние в заданном интервале варьирования факторов на параметр оптимизации оказывает частота вращения. Меньше влияние оказывает давление в камере. Отрицательный знак перед коэффициентом указывает на уменьшение параметра оптимизации при возрастании изучаемого фактора, положительный – на возрастание.

Анализ поверхностей откликов, представленных на рисунке 4.15., удобней проводить с помощью двумерных сечений, которые представлены на рисунке 4.17. При построении этих графиков один фактор подставляли на оптимальном уровне, и рассматривали два других.

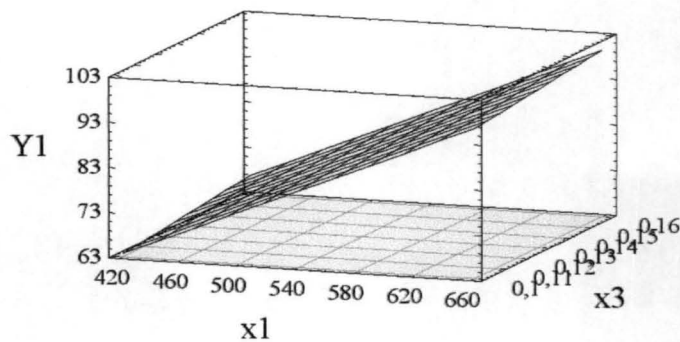
Рассмотрение представленных двумерных сечений дает наглядное представление о значениях критерия оптимизации, которые он будет принимать при варьировании уровней каждой пары факторов.

Для удобства наглядности и интерпретации полученных результатов были построены поверхность отклика (параметра оптимизации) и двумерные сечения поверхности отклика [51], для чего в математической модели эксперимента один фактор подставляли на оптимальном уровне, и рассматривали для других. Для построения графической интерпретации полученной математической модели

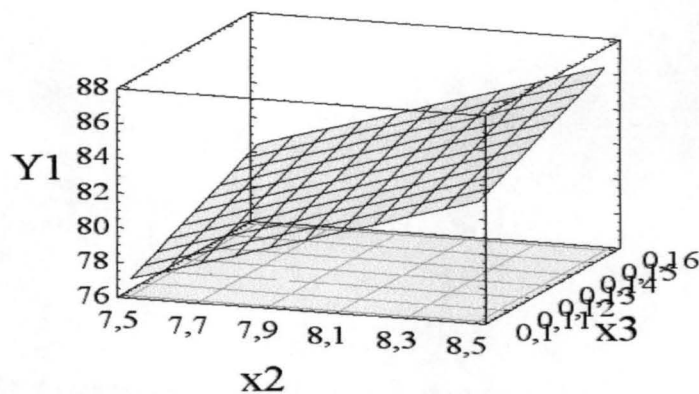
использовалась программа Statgraphics Plus version 2.1 for Windows. Поверхность отклика, построенная в координатах факторов, изображена на рис.4.15., а двумерные сечения поверхности отклика – на рис.4.16. Также графики изменения степени шелушения арахиса ($Y_1 = Y_{ш}, \%$) в зависимости от факторов (рис.4.17).



а) Поверхность отклика $Y = f(X_1; X_2)$ при $X_3 = 0$

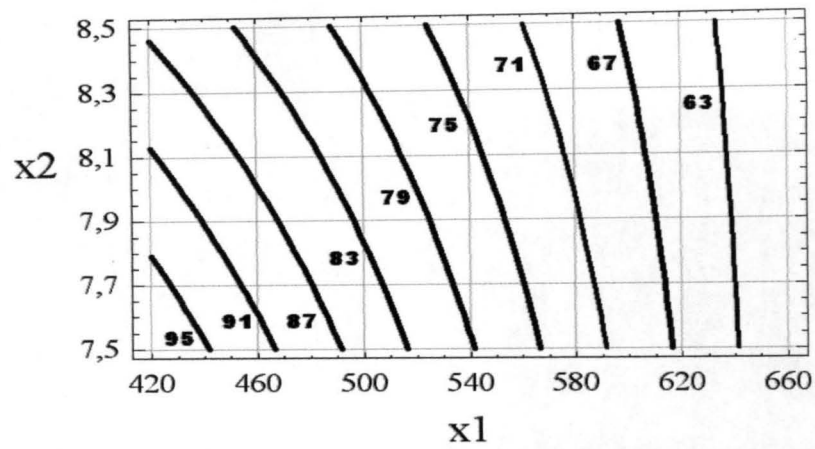


а) Поверхность отклика $Y = f(X_1; X_3)$ при $X_2 = 0$

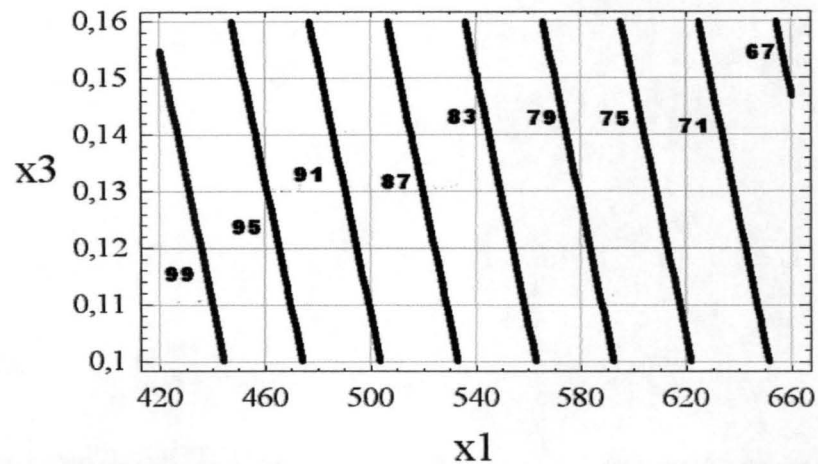


а) Поверхность отклика $Y = f(X_2; X_3)$ при $X_1 = 0$

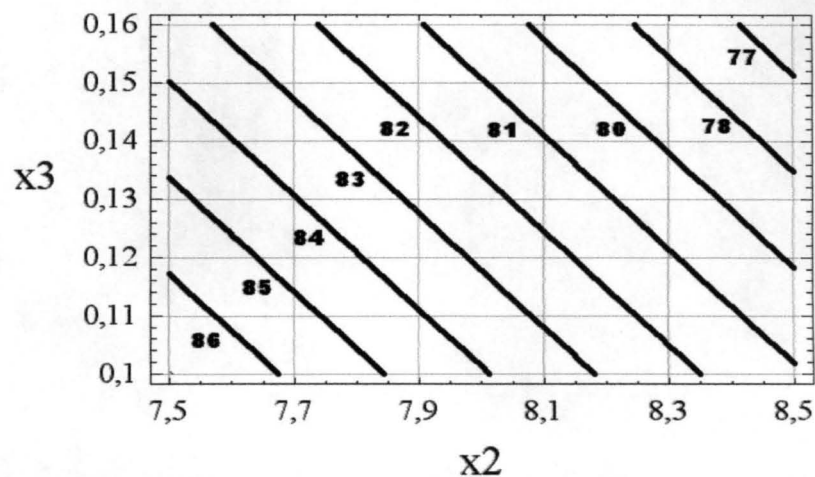
Рис.4.15. Графическое изображение поверхности отклика, характеризующей зависимость степени шелушения от: а) частоты вращения диска (x_1) и зазора между дисками (x_2); б) частоты вращения диска (x_1) и давление в камере (x_3); в) зазора между дисками (x_2) и давление (x_3)



а) Изолинии параметра Y (%) на плоскости $X_1 - X_2$ при $X_3 = 0$

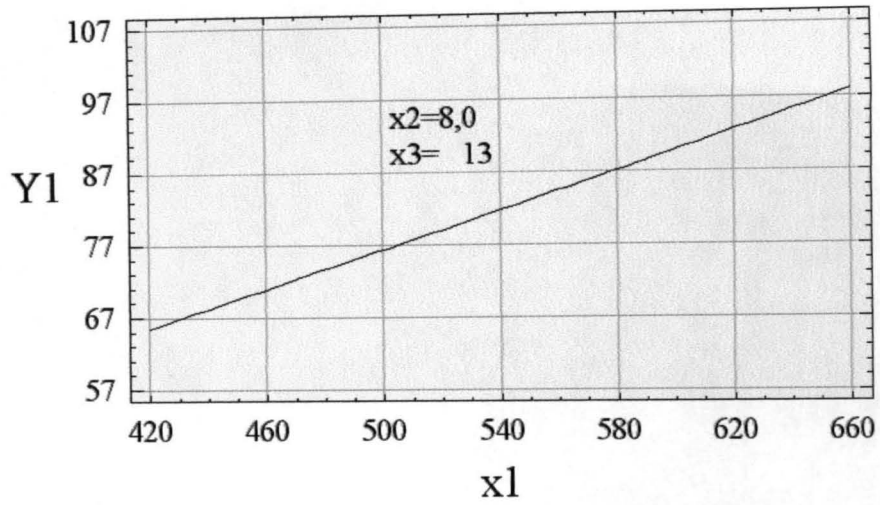


б) Изолинии параметра Y (%) на плоскости $X_1 - X_3$ при $X_2 = 0$

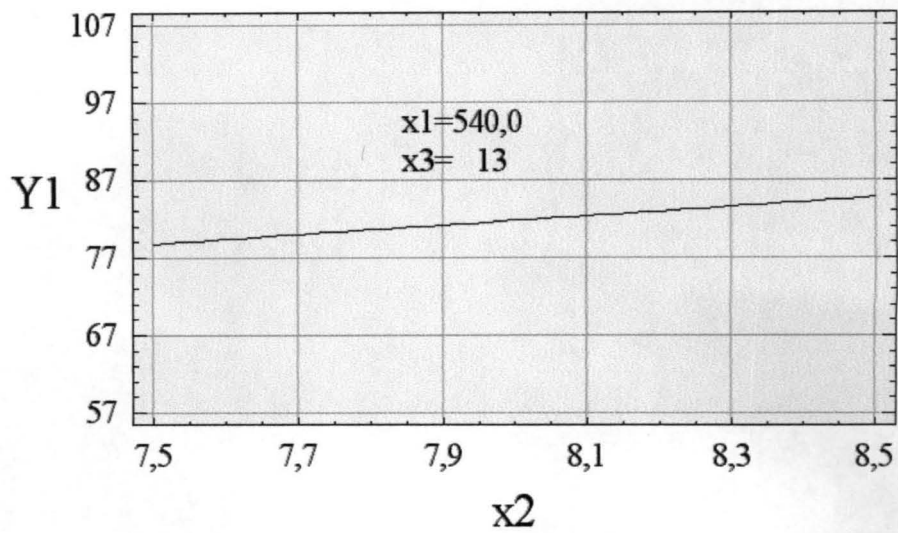


в) Изолинии параметра Y (%) на плоскости $X_2 - X_3$ при $X_1 = 0$

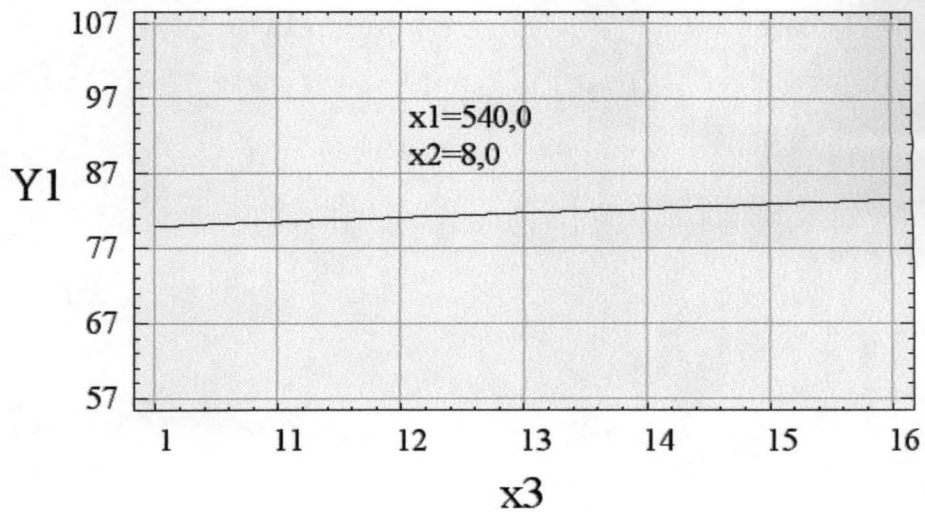
Рис.4.16. Двумерные сечения поверхности отклика, характеризующей зависимость степени шелушения от: а) частоты вращения диска (X_1) и зазора между дисками (X_2); б) частоты вращения диска (X_1) и давление в камере (X_3); в) зазора между дисками (X_2) и давление (X_3)



а)



б)



в)

Рис.4.17. Графики изменения степени шелушения арахиса ($Y_1 = Y_{ш}, \%$) в зависимости от: а - частоты вращения диска ($X_1 = n, \text{мин}^{-1}$); б - зазора между дисками ($X_2 = z, \text{мм}$); в - давления в камере ($X_3 = P, \text{кПа}$)

Двумерные сечения дают наглядное представление о значениях критерия оптимизации, которые он будет принимать, при варьировании уровней каждой пары факторов.

Так, если два фактора X_2 и X_3 находятся на своих оптимальных значениях $X_2 = 8,0$ мм и $X_3 = 13$ кПа (рис.4.17а), то видно, что точка с такими координатами лежит внутри линии $Y = 97,87$ %. Аналогично, если два фактора X_1 и X_3 находятся на своих оптимальных значениях $X_1 = 540$ мин⁻¹ и $X_3 = 13$ кПа (рис.4.17б), то видно, что точка с такими координатами лежит между линиями $Y = 84$ % - 85 %. Также, если два фактора X_1 и X_2 находятся на своих оптимальных значениях $X_1 = 540$ мин⁻¹ и $X_2 = 8,0$ мм (рис.4.17в), то видно, что точка с такими координатами лежит между $Y = 83,5$ % - 85%.

4.2.2. Выводы по степени шелушения: По результатам лабораторного многофакторного эксперимента установки для шелушения арахиса можно сделать следующие выводы:

- Экспериментальные исследования процесса шелушения плодов арахиса на установке дискового типа позволили изучить влияние основных факторов: частоты вращения диска, зазора между дисками и давления в камере на степень шелушения.
- Анализ уравнения регрессии показал, что наиболее влияние на параметр оптимизации оказывает зазор между дисками, с уменьшением которого степень шелушения возрастает;
- Наименьше влияние на степень шелушения оказывает давление в камере;
- При удалении кожуры арахиса степень шелушения

достигает значения 97,87 % при зазоре между дисками 8,0 мм и давление в камере 13 кПа.

Для оптимизации конструктивных и технологических параметров установки дискового типа (камера) для получения целостности ядра был спланированы и реализованы активный трехфакторный эксперимент неполной квадратной модели. Технологический процесс извлечения цельного ядра оптимизировали по максимуму целостности ядра и (Y_2).

Результаты экспериментальных исследований процесса получения целостности ядра арахиса на установке дискового типа приведены в приложение 9.

Для определения возможности проведения регрессионного анализа рассчитывались однородности дисперсий параллельных опытов по критерию Кохрена по формуле (3.25).

Условие $G_{кр} \equiv G_{\alpha; m; n-1} = 0,516$ - табличное значение

где $\alpha - 95\% = 0,05$; $m - 8$; $n - 3$

$$G_{ц.я.} = \frac{S_{ц.я. \max}^2}{\sum S_{ц.я.}^2} = \frac{1,32}{4,07} = 0,32$$

Полученные значения $G_{ш}$ и $G_{ц.я.}$ сравнивались с табличным при выбранном уровне значимости $\alpha = 0,05$ [44].

$$G_{ц.я. \text{ расч}} < G_{кр} \equiv 0,32 < 0,516$$

На основании этого гипотеза об однородности дисперсий параллельных опытов принималась.

Дисперсия воспроизводимости равнялась:

$$\therefore S_{\sigma(ц.я.)}^2 = \frac{\sum S_{ц.я.}^2}{f_{\sigma}} = \frac{4,09}{8} = 0,51$$

Ошибка эксперимента составляла:

$$S(Y_{ц.я.}) = \sqrt{0,51} = 0,71$$

После расчета всех коэффициентов уравнение приняло вид:

$$Y_{ц.я} = 24,34 - 19,7x_1 - 5,35x_2 - 3,87x_3 + 3,23x_1x_2 + 2,604x_1x_3 + \left. \begin{array}{l} \\ + 0,354x_2x_3 - 1,02x_1x_2x_3 \end{array} \right\} \quad (4.4)$$

Для полного факторного эксперимента дисперсии ошибки коэффициентов регрессии определялись по формуле (3.26)

$$S_{ц.я}^2(vi) = \frac{0,51}{\sqrt{8.3}} = 0,104$$

Далее определялась значимость коэффициентов по критерию Стьюдента по выражению (3.29). Для числа степеней свободы 8 при уровне значимости $q = 5\%$ $t_{кр} = 2,31$. При выполнении условия $t_p > t_{кр}$, тогда только коэффициенты признавались значимыми, водились в уравнение.

После исключения статистически незначимых коэффициентов уравнение регрессии (4.1) приняло вид:

$$Y_{ц.я} = 24,34 - 19,7x_1 - 5,35x_2 - 3,87x_3 + 3,23x_1x_2 + 2,604x_1x_3 \} \quad (4.5)$$

Получена функция в зависимости от натуральных значений факторов:

$$Y_{ц.я} = 24,34 - 19,7n - 5,35z - 3,87P + 3,23nz + 2,604nP \} \quad (4.6)$$

Полученные уравнения проверялись на адекватность. В приложение 10 представлены результаты расчета адекватности.

Дисперсии адекватности, вычисленные по формуле (3.27), составили:

$$S_{ад(ц.я)}^2 = \frac{8,5}{4} = 2,13$$

Адекватность модели проверялась по выражению (3.28).

Параметр оптимизации (Y_2) при уровне значимости 0,05 (критерий Фишера - $F_{табл} = 3,04$) не выполнял условия гипотезы об адекватности:

$$F_{расч(ц.я)} = \frac{2,13}{0,51} = 4,2 > F_{табл} 3,04$$

Так как неполная квадратная модель для параметра оптимизации (Y_2) при уровне значимости 0,05 (критерий Фишера - $F_{табл} = 3,04$) не выполнял

условия гипотезы об адекватности (приложение 11), приходим к некомпозиционному трехуровневому плану Бокса – Бенкина. Для определения возможности проведения регрессивного анализа рассчитаны, однородность дисперсии параллельных опытов по критерию Кохрена [44,

121]. При этом имеем табличное $G_{ц.я} = \frac{1,82}{5,97} = 0,3$. Расчетное значение

критерия Кохрена $G_{ц.я}$ сравниваем с табличным $G_{табл}$ для степени свободы числителя $f_1 = 2$ и $f_2 = N = 15$. При выбранном уровне значимости $\alpha = 0,05$, получим $G_{табл} = 0,3346$. Видим, что $G_{табл} > G_{ц.я}$, следовательно, гипотеза об однородности дисперсии воспроизводимости (приложение 13) опытов принимается. Отсюда дисперсия воспроизводимости

$$S_{в(ц.я)}^2 = \frac{5,97}{15(3-1)} = 0,2, \text{ тогда ошибка эксперимента } S(Y_{ц.я.}) = \sqrt{0,2} = 0,45.$$

В результате второго этапа экспериментов и последующего расчета на их основе величин коэффициентов уравнения регрессии при помощи программы «SPSS»: была получена математическая модель исследуемого процесса в виде уравнения регрессии второго порядка, имеющая вид:

$$Y = 20,1 + 12,24x_1^2 + 10,84x_2^2 + 10,67x_3^2 - 10,14x_1 + \left. \begin{array}{l} + 2,09x_2 - 2,81x_3 + 0,66x_1x_2 + 0,89x_1x_3 + 0,27x_2x_3 \end{array} \right\} \quad (4.7)$$

Результаты дисперсионного анализа полученной математической модели приведены в табл. 4.7 и (приложение 14).

Таблица 4.7

Результаты дисперсионного анализа

Источник рассеяния	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	Отношение средних квадратов (Fp)
Регрессия	9616,83	10	961,683	2,8
Остаток	1717,29	5	343,458	—
Сумма	11334,12	15	—	—

Сравнивая расчетное отношение средних квадратов (F_p) и критическое значение F – отношения (при 5% - ном уровне значимости и степенны свободы $f_1 = 10$ и $f_2 = 5$), заметим, что $F_{0,95} = 4,7$. Тогда $F_p < F_{таб.} = 2,8 < 4,7$.

Следовательно, гипотеза о неадекватности уравнения не подвергается. Тогда делаем вывод, что, квадратное приближение оказывается удовлетворительным и получение регрессии с вероятностью 95 % можно считать адекватным реальному процессу.

Следовательно, гипотеза о неадекватности уравнения не подвергается. Тогда делаем вывод, что, квадратное приближение оказывается удовлетворительным и получение регрессии с вероятностью 95 % можно считать адекватным реальному процессу.

Значимость коэффициентов полученного уравнения проверялась по критерию Стьюдента. Коэффициенты модели регрессии считаются значимым, если расчетные значения t_p , больше $t_{кр(табл)}$ критерия табличного, равного 2,06 для уровня значимости $P = 0,05$ [1, 44, 121].

После отсева незначимых коэффициентов математическая модель процесса имеет вид:

$$Y_{ц.я} = 20,1 + 12,24x_1^2 + 10,84x_2^2 + 10,67x_3^2 - 10,14x_1 + 2,09x_2 - 2,81x_3 \quad (4.8)$$

Анализ модели (4.8) показывает, что наиболее влияние в заданном интервале варьирования факторов на параметр оптимизации оказывает частота вращения. Меньшее влияние оказывает давление в камере. Отрицательный знак перед коэффициентом указывает на уменьшение параметра оптимизации при возрастании изучаемого фактора, положительный – на возрастание.

Анализ поверхностей откликов, представленных на рисунке 4.19, удобней проводить с помощью двухмерных сечений, которые представлены на рисунке 4.20. При построении этих графиков один фактор подставляли на оптимальном уровне, и рассматривали два других.

Рассмотрение представленных двухмерных сечений дает наглядное представление о значениях критерия оптимизации, которые он будет

принимать при варьировании уровней каждой пары факторов.

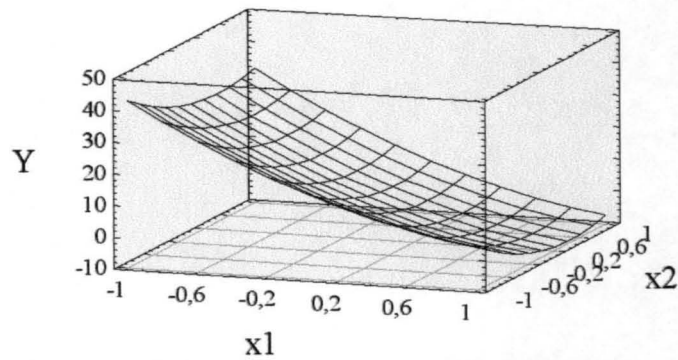
С целью определения числовых значений основных факторов n , z и P , обеспечивающих наибольшую эффективность работы установки, на основе полученной модели составлена система дифференциальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial Y}{\partial X_1} &= 24,48 X_1 - 10,14 = 0 \\ \frac{\partial Y}{\partial X_2} &= 21,68 X_2 + 2,09 = 0 \\ \frac{\partial Y}{\partial X_3} &= 21,34 X_3 - 2,81 = 0 \end{aligned} \right\} \quad (4.9)$$

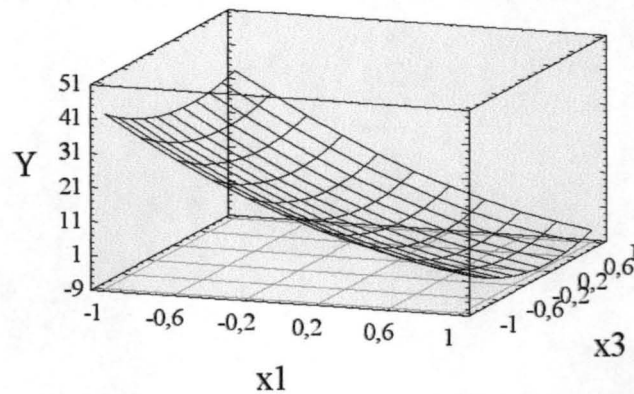
После приравнивания частных производных к нулю и решения системы уравнений относительно неизвестных были определены оптимальные значения факторов, обеспечивающих наибольшую эффективность процесса получения целевого ядра арахиса: $X_1 = 0,414$; $X_2 = -0,096$; $X_3 = 0,132$. Для удобства интерпретации полученных результатов оптимальные значения раскодированы: частота вращения дисков $n = 571,2 \text{ мин}^{-1}$; зазор между дисками $z = 7,95 \text{ мм}$ и давление в камере $P = 13,4 \text{ кПа}$. Степень целостности ядра при данных значениях параметров получился 17,62 %.

Для наглядности результаты были построены поверхность отклика (параметра оптимизации) и двумерные сечения поверхности отклика [51, 121], для чего в математической модели эксперимента один фактор подставляли на оптимальном уровне, и рассматривали для других. Для построения графической интерпретации полученной математической модели использовалась программа Statgraphics Plus version 2.1 for Windows. Поверхность отклика, построенная в координатах факторов, изображена на рис.4.18, а двумерные сечения

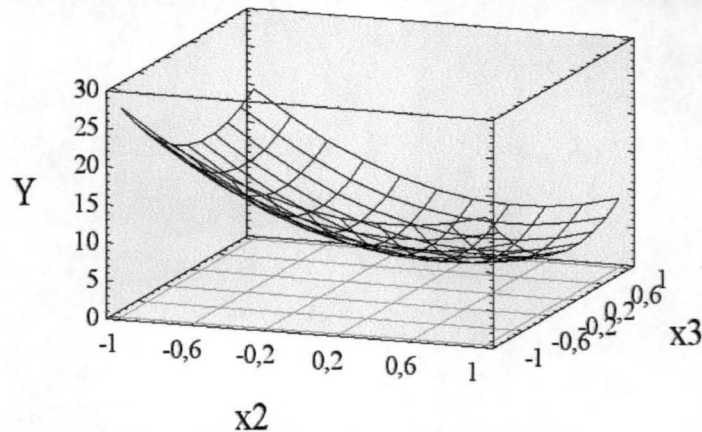
поверхности отклика – на рис.4.19 и графики изменения степени целостности ядра ($Y_2 = Y_{ц.я}$, %) в зависимости от факторов на рис.4.20.



а) Поверхность отклика $Y = f(X_1; X_2)$ при $X_3 = 0,132$

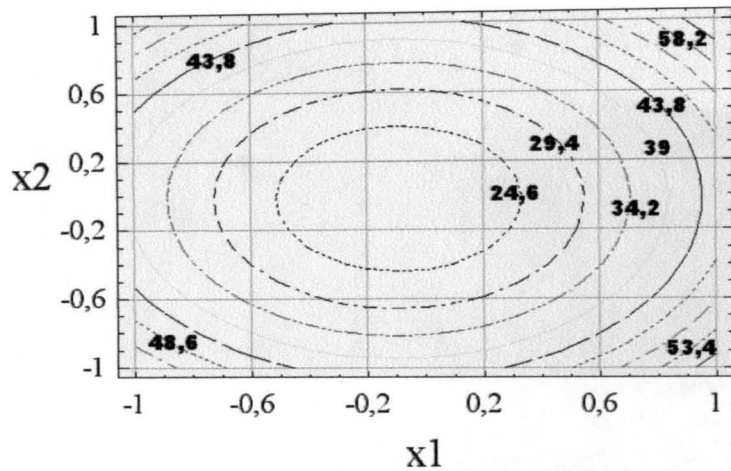


б) Поверхность отклика $Y = f(X_1; X_3)$ при $X_2 = -0,096$

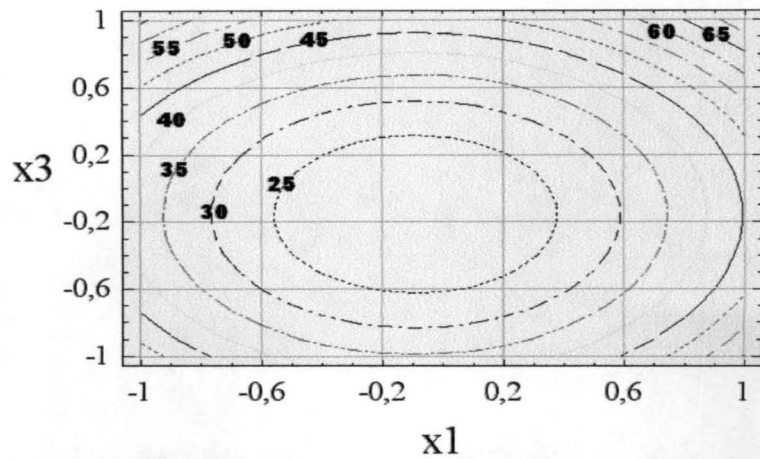


в) Поверхность отклика $Y = f(X_2; X_3)$ при $X_1 = 0,414$

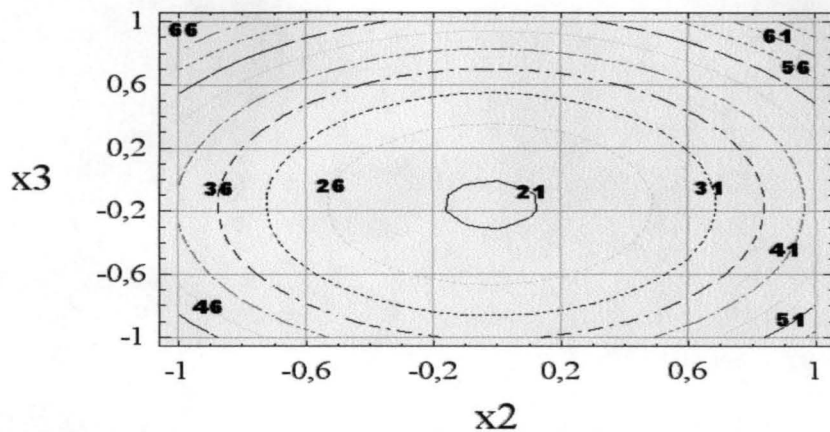
Рис.4.18.. Графическое изображение поверхности отклика, характеризующей зависимость степени целостности ядра от: а) частоты вращения диска (x_1) и зазора между дисками (x_2); б) частоты вращения диска (x_1) и давление в камере (x_3); в) зазора между дисками (x_2) и давление (x_3)



а) Изолинии параметры Y (%) на плоскости $X1 - X2$ при $X3 = 0,132$

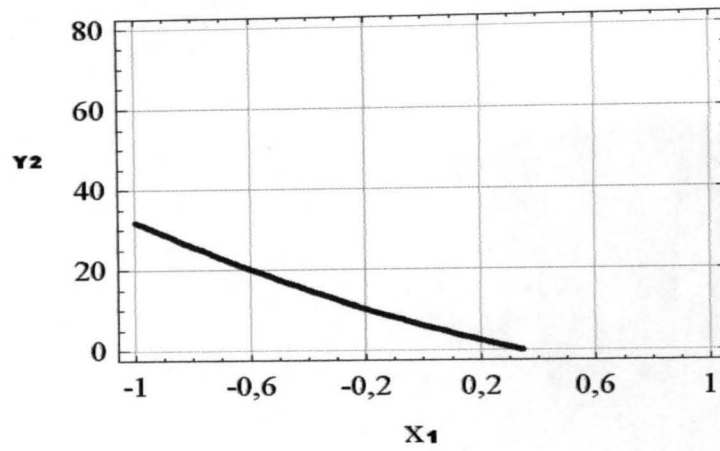


б) а) Изолинии параметры Y (%) на плоскости $X1 - X3$ при $X2 = -0,096$

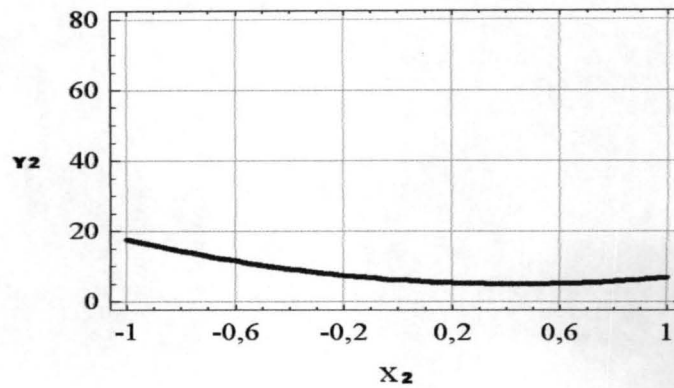


в) а) Изолинии параметры Y (%) на плоскости $X2 - X3$ при $X1 = 0,414$

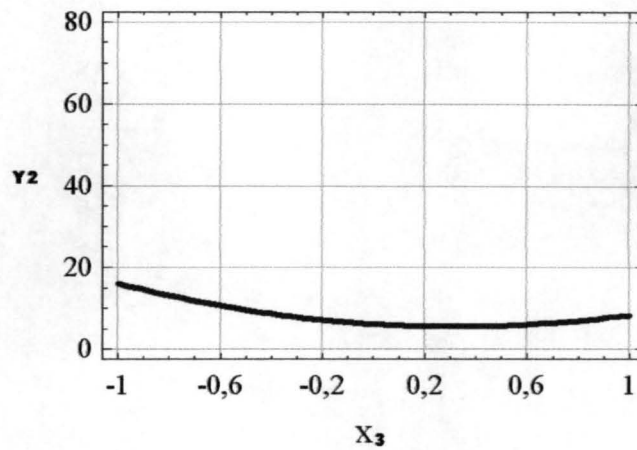
Рис.4.19. Двумерные сечения поверхности отклика, характеризующей зависимость степени целостности ядра от: а) частоты вращения диска ($X1$) и зазора между дисками ($X2$); б) частоты вращения диска ($X1$) и давление в камере ($X3$); в) зазора между дисками ($X2$) и давление ($X3$)



а) При $X_2 = -0,096$ и $X_3 = 0,132$



б) При $X_1 = 0,414$ и $X_3 = 0,132$



в) При $X_1 = 0,414$ и $X_2 = -0,096$

Рис.4.20. Графики изменения степени целостности ядра арахиса ($Y_2 = Y_{ц.я}, \%$) в зависимости от: а - частоты вращения диска ($X_1 = n, \text{мин}^{-1}$); б - зазора между дисками ($X_2 = z, \text{мм}$); в - давления в камере ($X_3 = P, \text{кПа}$)

Двумерные сечения дают наглядное представление о значениях критерия оптимизации, которые он будет принимать, при варьировании уровней каждой пары факторов.

Так, если два фактора X_2 и X_3 находятся на своих оптимальных значениях $X_2 = -0,096$ и $X_3 = 0,132$ (рис.4.20а), то видно, что точка с такими координатами лежит внутри линии $Y = 18\%$.

Аналогично, если два фактора X_1 и X_3 находятся на своих оптимальных значениях $X_1 = 0,414$ и $X_3 = 0,132$ (рис.4.20б), то видно, что точка с такими координатами лежит между линиями $Y = 14\%$. Также, если два фактора X_1 и X_2 находятся на своих оптимальных значениях $X_1 = 0,414$ и $X_2 = -0,096$ (рис.4.20в), то видно, что точка с такими координатами лежит между $Y = 17,62\% - 17,98\%$.

4.2.3. Выводы по степени целостности ядра: По результатам лабораторного многофакторного эксперимента установки для получения целостности ядра арахиса можно сделать следующие выводы:

- Полученная математическая модель процесса получения целостности ядра арахиса в виде уравнения регрессии позволила определить оптимальные значения управляющих факторов: частоты вращения диска, зазора между дисками и давления в камере на степени целостности ядра.
- Анализ уравнения регрессии показал, что наиболее влияние на параметр оптимизации оказывает зазор между дисками, с увеличением которого целостность ядра возрастает;
- Наименьше влияние на степени целостность ядра оказывает давление в камере;

- При извлечении ядра арахиса целостность ядра достигает значения 18 % при зазоре между дисками 8,0 мм и давление в камере 13 кПа.

4.3. Рекомендация по использованию установок

По полученным результатам как показаны (таб.4.8) рекомендуется использовать установку дискового (с заменой жесткого диска на эластичный материал, например камеру от колеса) для получения разделенных орехов на семядоли, установку цилиндрического типа для получения целых орехов и установку лопастного типа для получения измельченных орехов для получения масла.

Таблица 4.8

Сравнительная эффективность установок

Показатели	Тип установок		
	Дискового типа	Цилиндрического типа	Лопастного типа
Производительность, кг/ч	420	156	248
Чистота шелушения, %	97,7	92,5	89
Целостность ядра, %	18	84	53
Стоимость установки, руб.	30 000	16 650	48 800
Годовая экономия, руб.	49 593,6	18 420,5	29 283,8
Стоимость обработки 1 т арахиса, руб.	684	4940	1960
Срок окупаемости, лет	0,61	0,9	1,7
Потребляемая мощность, кВт	1,1	0,75	0,75
Повышение производительности труда	14	4,8	8,3
Предлагаемое использование	Разделенные орехи на семядоли	Целые орехи	Измельченные орехи

4.4. Экономическая эффективность применения установки дискового типа

Технико-экономические показатели установки дискового типа для шелушения плоды арахиса определены согласно известной методике [10, 31, 42, 49, 62, 74]. Разработанная установка были испытана на кафедре РГАУ-МСХА им. Тимирязева в Москве. Для сравнения технико-экономических показателей и определения годового экономического эффекта, показатели разработанных установок сравнивались с показателями ручного способа шелушения для производства арахисового масла и так для кондитерских целей.

Производительность ручного способа шелушения арахиса составляет 240 кг/день (30 кг/ч), тогда как производительность предлагаемой установки (машиного способа), шелушения арахиса составляет 3360 кг/день (420 кг/ч).

Необходимые данные для сравнения вышеуказанных установок представлены в виде таблиц 4.9 и 4.10.

Годовой объём работ определяет по формуле:

$$A_{Г} = T_{Год} \cdot W, \quad (4.10)$$

где $T_{Год}$ - годовая загрузка машины, ч;

W – Производительность, т/ч.

Амортизационные отчисления на единицу работы определяет по формуле:

$$Z_a = \frac{B \cdot H_a}{100 A_{Г}}, \quad (4.11)$$

где B – балансовая стоимость.

H_a - норма амортизационных отчислений, %.

Исходные данные для сравнения технико-экономических показателей

Показатели	Единица измерения	Варианты шелушения	
		Ручной	Машинной
Производительность	т/ч	0,03	0,420
Коэффициент использования времени смены	—	0,75	0,75
Время смены	ч	8	8
Количество обслуживающего персонала	Чел.	1	2
Оплата труда за смену	Руб.	240	240
Балансовая стоимость установки	Руб.	7872	30000
Норма амортизационных отчислений	%	20	11
Норма отчислений на ремонт и ТО	%	10	18
Удельный расход электроэнергии	кВт. ч/т	—	0.2
Стоимость электроэнергии	Руб./кВт. ч	—	0,52

Затраты на техническое обслуживание и ремонт определяем:

$$Z_{ТО} = \frac{B \cdot H_{ТО}}{100 A_{Год}}, \quad (4.12)$$

где $H_{ТО}$ - норматив затрат на техническое обслуживание и ремонт машин, % балансовой стоимости.

Стоимость расхода электроэнергии на единицу работы:

$$Z_{э} = \frac{N_{э} \cdot Ц_{э}}{W_M}, \quad (4.13)$$

где $Ц_{э}$ - удельная стоимость электроэнергии, руб./кВт.ч;

$N_{э}$ - установленная мощность электродвигателя, кВт.;

W_M - производительность установки, т/ч.

Затраты на оплату труда

$$Z_{П} = \frac{C_{Тар} \cdot n}{W_ч}, \quad (4.14)$$

где $C_{\text{Тар}}$ - тарифная ставка рабочих за выполненные работы, руб./ч.;

$W_{\text{ч}}$ - производительность машины или рабочего, т/ч;

n - число рабочих.

Общие эксплуатационные затраты Z_o определяем:

$$Z_o = Z_a + Z_{\text{ТО}} + Z_{\text{Э}} + Z_{\text{П}}, \quad (4.15)$$

Сравнительную экономическую эффективность за счет снижения расхода электроэнергии, затраты труда и др. эксплуатационных расходов при неизменном объеме производства продукции определяем по формуле

$$\text{Э}_{\text{СР}} = Z_{\text{Б}} - Z_{\text{Н}}, \quad (4.16)$$

где $Z_{\text{Б}}$ и $Z_{\text{Н}}$ - эксплуатационные затраты при ручном и машинном способе, руб.

Годовая экономия составляет:

$$\text{Э}_{\text{Г}} = C_m \Pi_{\text{ч}} \cdot T_{\text{Год}}, \quad (4.17)$$

C_m - себестоимость шелушения 1 тонны арахиса предлагаемой машины, руб./т; $T_{\text{Г}}$ - годовой фонд времени.

Удельная экономия эксплуатационных затрат:

$$K_{\text{ээ}} = \frac{C_{\text{б}}}{A_{\text{Г}}}, \quad (4.18)$$

Срок окупаемости машины:

$$T_o = \frac{C_{\text{б}}}{\text{Э}_{\text{Г}}}, \quad (4.19)$$

где $\text{Э}_{\text{Г}}$ - годовая экономия, руб.;

Эксплуатационные затраты

№. п/п	Показатели	Единица измерения	Варианты шелушения	
			Ручной	Машинный
1	Оплата труда	Руб./т	2000	960
2	Амортизационные отчисления	Руб./т	2,95	4,0
3	Затраты на электроэнергию	Руб./т	—	0,52
4	Затраты на техническое обслуживание	Руб./т	—	6,53
5	Общие прямые эксплуатационные затраты	Руб./т	2016,28	971,05
6	Удельная экономия эксплуатационных затрат	Руб./т	—	36,3
7	Снижение эксплуатационных затрат	%	—	10,45
8	Годовая экономия от сокращения эксплуатационных затрат	Руб.	—	49 593,6
9	Срок окупаемости машин	лет	—	0,61

Результаты расчетов вышесказанных показаны в табл. 4.9.

Из анализа таблица 4.9 и 4.10 следует, что применение установки дискового типа в условиях индивидуального предприятия (перерабатывающего) при объеме производстве арахиса 103 т (объем производства среднего аграрного предприятий), позволяет получить годовой экономической эффект от снижения эксплуатационных затрат в сумме 49 593,6 руб. в ценах 2007 г, а срок окупаемости составит 0,61 год.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Послеуборочную обработку и шелушение арахиса в развивающихся странах Африки особенно в Нигерии, выполняют вручную, что сопровождается большими затратами труда, составляющими 33 чел.час/т. Для механизации этого процесса необходимо создать шелушительные установки. Наиболее перспективной является установка дискового типа.
2. На основании теоретических исследований получены зависимости, позволяющие, описать закономерности движения ореха по поверхностям рабочих органов трех типов установок и условиях их работы.
3. Исследованиями установлено, что коэффициенты трения плодов арахиса при фактически используемых углах наклона плоскости $\alpha = 14 - 38^\circ$, происходит скольжение или качение плодов. Коэффициенты трения плодов арахиса по стальной шлифованной пластине, по дереву и по резине, показали, что для разных сортов они имеют значения 0,20 – 0,26; 0,26 – 0,35 и 0,32 – 0,41 соответственно (рис.4.3.).
4. Экспериментальные исследования показали, что при абсолютной деформации 0,045 – 0,055 мм происходит разрушение кожуры 91 % семян диаметром 7,6 мм и 93 % - диаметром 7,54 мм. По данной величине абсолютной деформации в зависимости от диаметра семян арахиса следует устанавливать соответствующий зазор между дисками, при котором будет осуществляться наиболее полное разрушение кожуры.
5. На основе экспериментальных данных установлено, что разрушение кожуры семян диаметром 7,6 и 7,54 мм, происходит за счет действия нормальной нагрузки, соответственно, $(2,6; 3,3; 3,9; 4,5; 2,2) \cdot 10^{-4}$ Н и $(3,5; 4,7; 5,9; 7,1; 8,3) \cdot 10^{-4}$ Н.
6. Установлены значения предела пропорциональности σ_n и модуля упругости E_2 семян арахиса, которые равны для семян диаметром 7,6 мм, соответственно, $(1,62 - 4,06) \text{ Н/м}^2$ и $(0,21 - 0,77) \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2$, для диаметром 7,54 мм – $(6,25 - 6,48) \text{ Н/м}^2$ и $(0,81 - 1,18) \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2$.
7. При испытании установок, замечено, что с увеличением частотой вращения диска (установка дискового типа), цилиндра (установка

цилиндрического типа) и лопасти (установка лопастного типа) увеличивается степень шелушения, тогда как целостность ядра уменьшается. Результаты исследования установок показали что, степень шелушения достигает 97,8% для установки дискового типа, 92,5% для установки цилиндрического типа и 89% для установки лопастного, тогда как целостность ядра находится в пределах 18%, 84% и 53% соответственно. Рекомендуется использовать установку дискового типа (с заменой жесткого диска на эластичный материал, например камеру от колеса) для получения разделенных орехов на семядоли, установку цилиндрического типа для получения целых орехов и установку лопастного типа для получения измельченных орехов для получения масла.

8. Лабораторными исследованиями с применением методики планирования многофакторного эксперимента получена математическая модель в виде уравнения регрессии, устанавливающая связь между степенью шелушения и целостностью ядра, частотой вращения диска, зазором между дисками и давлением в камере. Определены оптимальные значения параметров и режимов работы установки: степень шелушения $K_{ш} = 97,8 \%$ и целостность ядра $K_{ц.я.} = 18 \%$ при частоты вращения диска ($n = 620 \text{ мин}^{-1}$); зазор между дисками ($z = 8,0 \text{ мм}$) и давление ($P = 13 \text{ кПа}$).
9. Применение установки дискового типа для шелушения арахиса в условиях индивидуального хозяйства (перерабатывающего предприятия) при объеме переработки арахиса 103 т (объем производства среднего аграрного предприятий) позволяет получить годовой экономической эффект от снижения эксплуатационных затрат в сумме 49 593,6 руб. в ценах 2007 г., а срок окупаемости составит 0,61 год.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адлер Ю. П. и др. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. – 279 с.
2. Анискин В.И., основные принципы перспективного развития послеуборочной обработки и хранения зерна в сельском хозяйстве: Проблемы механизации сельскохозяйственного производства/ В.И. Анискин, Г. И, Гозмам., В. Д, Олейников. - М.: Колос, 1985. - С. 19-27.
3. Анискин В.И. Состояние, основные задачи и направления работ в области механизации послеуборочной обработки и хранения зерна/ В.И. Анискин.- Труды ВИМ, 1974. - Т. 65, ч. 1- С.
4. Аппель, П. А. Теоретическая механика, том второй. Государственное издательство Физико-математической литературы. М.: 1960. – 487 с.
5. Боронов, Н.Ф. Классификация пневмосепараторов для разделения сыпучих материалов /Н.Ф. Боронов //Межвуз. сб. науч. тр./ Пермь. – 1982. –с.25-26.
6. Бутковский В.А., Мельников Е.М. Технология мукомольного крупного и комбикормового производства (с основами экологии). – М.: Агропромиздат, 1989. – 463 с.
7. Веденяпин, Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г.В.Веденяпин. - М.: Колос, 1973. - 199 с.
8. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных. - М.: Колос, 1967. - 159 с.
9. Вознесенский В. А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. М.: Финансы и статистика, 1981. – 263 с.
10. Гинзбург, А. С. Сушка пищевых продуктов. – М.: - Пищевая промышленность, 1976. – 240с.

11. Гинзбург, М.Е. Технология крупного производства /М.Е. Гинзбург. – М.: Колос, 1981. -208 с.
12. Голубев Ю. Ф. Основы теоретической механики. – М.: Издательство Московского Университета, 2000. – 719 с.
13. Горячкин В.П. Собрание сочинений: В.3 т/ В.П. Горячкин, 2-е изд. – М.: Колос, 1968-3т.
14. Гортинский, В. В. Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях /В.В. Гортинский. – М.: 1980. – 304 с.
15. Гречиха / [А.И. Терехов, А.Д. Совкина, Н.В. Фасенко и др.; Сост. С.И. Лосев]. – М.: Россельхозиздат, 1978. – 148 с.
16. Гринберг Е.Н. Производство крупы. – М.: Агропромиздат, 1986. – 174 с.
17. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с. Доспехов Б. А. Планирование полевого опыта и статистическая обработка его данных. М.: Колос, 1972. – 207 с.
18. Егоров Г. А. Влияние тепла и влаги на процессы переработки и хранения зерна. М.: Колос, 1973. -264 с.
19. Егоров Г. А. и др. Технология получения муки, крупы и комбикормов. – М.: Колос, 1984. -240 с.
20. Заика, П. М. Сепарация семян по комплексу Физико-механических свойств /П. М. Заика, Г. Б. Мазнев. – М.: Колос, 1978.
21. Кассандрова, О. Н. Обработка результатов наблюдений / О.Н. Кассандрова, В. В. Лебедев.- Наука, Главная редакция физ.-мат. литературы, 1970. -108 с.
22. Кленин Н. И., Сакун В. А. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины: Элементы теории рабочих процессов, расчет регулировочных параметров и режимов работы. 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Колос, 1980.671 с.

23. Комплекс оборудования по производству гречневой крупы//Механизация и электрификация. – 1995. – No.1/ -24 с/
24. Кошевой Е. П. Технологическое оборудование предприятий производства растительных масел. - СПб: ГИОРД, 2001. -368 с.
25. Константинова И. С. Обоснование фракционирования семян рапса по упругим свойствам / И. С. Константинова// Тезисы докладов на XL научно-технической конференции. ЧГАУ.- Челябинск, 2001.- С. 201.
26. Косилов Н. И. Состояние и тенденции совершенствования зерноуборочных машин/ Н.И. Косилов. - Челябинск: ЧИМЭСХ, 1983. - 100 с.
27. Косилов Н. И. Пути совершенствования технологии и технических средств для предварительной очистки зерна в хозяйствах/ Н. И. Косилов. - Челябинск, 1985. - 32 с.
28. Краткий физико-технический справочник./Под общ. Ред. К.П. Яковлева. Госизд. Физ.мате. лит. – М.: 1962. 417 с.
29. Кубышев В.А. Основные направления развития индустриальной технологии и обработки зерновых культур/ В.А. Кубышев// Сб. тр. НТВ ВАСХНИЛ. - Новосибирск, 1977.- Вып. 4-5. - 37-49.
30. Кубышев В.А. Интенсификация технологических процессов в организации уборки и переработки зерновых культур: Основные направления промышленного развития уборки и обработки зерновых культур в Сибири / В.А. Кубышев // Науч.-тех. бюлл., СО ВАСХНИЛ. - Новосибирск. 1975.-С. 116-120.
31. Кулинич, Е. И. Статистика заготовок сельскохозяйственной продукции. – М.: - Статистика, 1980. – 254с.
32. Лавренчик И. Н. Постановка физического эксперимента и статистическая обработка его результатов. М.: Энергоатомиздат, 1986. – 270 с.

33. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика. Гидродинамика/Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Наука, 1986, -Т.6 - 736 с.
34. Лачуга Ю. Ф, Ксендзов В. А. Теоретическая механика. – 2-е ИЗД., перераб. и доп. – М.: КолоС, 2005. – 576 с.
35. Леонтьев Н. Л. Техника статистических вычислений. М.: Лесная промышленность, 1966. – 250 с.
36. **Летошнев М.Н. Сельскохозяйственные машины/ - М. Н. Летошнев. - М.: Сельхозгиз, 1965 - 424 с.**
37. Линия по переработке зерна крупяных культур. Информационный листок. – Казань: Вакууммаш, 1999.
38. Листопад И. А. Планирование эксперимента в исследованиях по механизации сельскохозяйственного производства. М.: ВО Агропромиздат, 1989. – 89 с.
39. Литгл Е. и Хиллз Ф. Сельскохозяйственное опытное дело. М.: Колос, 1981. – 819 с.
40. Лутиков, И.Е. орех и его назначение. Гос. изд. с/х. литер. - М.1949. -С.31
41. Максимов В. Н. Многофакторный эксперимент в биологии. М.: Московский университет, 1980. – 279 с.
42. Машины для послеуборочной поточной обработки семян / Тиц З. Л., Анискин В. И., Баснакьян Г. А и др.; под ред. Тица З. Л. Машиностроение, 1967. 467 с.
43. Машиностроение энциклопедия.// Расчет и конструирование машин. Том IV – 16 Сельскохозяйственные машины и оборудование. Под ред. И. П. Ксеневица. – М.: - Машиностроение, 1998. – 719с.
44. Мельников, С.В. и др. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов/ С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рошин. - 2-е изд., перераб. и доп. - Л.: Колос. Ленинградское отделение, 1980. -168 с.

45. Мельников Е.М. Технология крупяного производства. – М.: Агропромиздат, 1991. -206 с.
46. Мельников Е.М. Основы крупяного производства /Е.М. Мельников. – М.: Агропромиздат, 1989. – 173 с.
47. Мерко, И. Т. Технология мукомольного и крупяного производства. – М.: Агропромиздат, 1985. – 288 с.
48. Методика математической обработки лабораторных опытов по изучению качества семян. / Под ред. И.Г. Страна. - М.: Колос, 1964. - 32 с.
49. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники. М.: 1998.-219 с.
50. Методика изучения физико-механических свойств сельскохозяйственных растений. М.: ВИСХОМ. 1960.- 277 с.
51. Митков, А.Л., Кардашевский СВ. Статистические методы в сельхозмашиностроении.- М.: Машиностроение, 1978.- 360 с.
52. Некрасов, А. И. Курс теоретической механики//Том второй. М.: Л.: 1960. – 453 с.
53. Нечипоренко В. Н. Состояние и факторы увеличения производства семян льна масличного, клещевины, кунжута, арахиса. Москва, ВНИИТЭИагропром, 1990г.
54. Нелюбов, А.И. Пневмосепарирующие системы сельскохозяйственных машин /А.И. Нелюбов, Е.Ф. Ветров. – Машиностроение, 1977. – 192 с.
55. Нигматуллин, Р. И. Динамика многофазных сред/Р. И. Нигматуллин. М.: Наука, 1987. –Ч.1. -464 с.
56. Нигматуллин, Р. И. Основы механики гетерогенных сред./Р.И. Нигматуллин. – М.: Наука, 1979. -336 с.
57. Нуруллин, Э. Г. Шелушитель зерна гречихи /Э. Г. Нуруллин//Нива Татарстана. -2000. -№.5-6.-с.40.

58. Нуруллин Э.Г., Дмитриев А.В. Способы шелушения крупяных культур. / Информационный листок №.97-99. Татарский центр научно-технической информации – Казань, 1999г.
59. Нуруллин Э.Г., Дмитриев А.В. Основные направления развития машин для шелушения крупяных культур и их классификация.// Труды Казанской государственной академии (раздел: технические науки), Том 70./ Центр оперативной печати – Казань. 2002. с. 140-144.
60. Нуруллин Э. Г. Разработка и обоснование параметров пневмомеханической установки для шелушения зерна гречихи. – Дисс. ...канд. Техн. Наук, - Казань, 1995. – 162 с.
61. Оборудование для производства муки и крупы: Справочное пособие / А.Б. Демский и др. – М.: Агропромиздат, 1990. – 349 с.
62. Определение экономической эффективности использования в сельском хозяйстве капитальных вложений и новой техники. - Л., 1986.-58 с.
63. Пат. 2196000 РФ, МКИ 7 В02В 3/00. Устройство для шелушения зерна/Э. Г. Нуруллин, А. В. Дмитриев, А. И. Закиров. – Заявлено 06.03.2000. Опубл. 10.01.2003. Бюл. №.1.
64. Пневмомеханическое устройство для шелушения зерна/Э. Г. Нуруллин, А.И. Дмитриев//Решение о выдаче патента на изобретение по заявке №.2003100567/15(000341).
65. Попов В. П. и др. Возделывание масличных, асприльных и просовидных культур в тропических и субтропиках. М. 1988. Издательство Университета Дружбы Народов.
66. Практикум по сельскохозяйственным машинам/ А.И Любимов, З.И Воцкий, Р.С Бледных, и др. - М.: КолосД999. 191 с.: ил. - (Учебники и учеб. Пособия для высших учебных заведений).

67. **Промышленное семеноводство: Справочник / В.И. Анискин, А.И. Батурчук, Б.А. Весна и др.; Под ред. И.Г. Строны. - М.: Колос, 1980. - 287 с.**
68. **Руководство по технологии получения и переработки растительных масел и жиров/ под общ. ред. А. Г. Сергеева.-Л.: 1975. - Т. 1, КН. 1.- 726 с.**
69. **Румшицкий Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента. М.: Физико-математической литературы, 1971. - 192 с.**
70. **Сельскохозяйственные и мелиоративные машины/ под общ. ред. Г.Е. Листопада. - М.: Агропроиздат, 1986. - 688 с.**
71. **Семенов, Е.В., Фетисов А.Л., Карамзин В.А. Расчет процесса измельчения зернопродуктов в межпальцевом зазоре. / Хранение и переработка сельхозсырья. No.5, 1996. -с. 12-13.**
72. **Соколов А.Я. Технологическое оборудование предприятий по хранению и переработке зерна. Изд. 4-е доп. И перераб. М.: Колос, 1975. - 496 с.**
73. **Справочник по оборудованию зерноперерабатывающих предприятий./ А.Б. Демский, М.А. Борискин, Е.В. Томаров и др. - М.: Колос, 1970. - 431 с.**
74. **Справочник конструктора сельскохозяйственных машин/ Под ред. М. И. Клецкина. - М.: - Машиностроение, том 3, 1969. - 743с.**
75. **Терсков Г. Д. Расчет зерноуборочных машин/ Г. Д. Терсков. - М.: Машгиз, 1961. - 270 с.**
76. **Терентьев Ю. В. Механизация возделывания сои/ Ю. В. Терентьев. - М.: Россельхозиздат. 1982 - 128 с.**
77. **Терентьев Ю. В. Теоретические предпосылки для сортирования семян сои по упругим свойствам: Технология возделывания и уборки сельскохозяйственных культур на Дальнем Востоке/ Ю. В. Терентьев, С. А. Шукюров.- Новосибирск, 1980. - С. 10-14.**

78. Устройство для шелушения зерна/ Х. С. Гайнанов, Э. Г. Нуруллин//Решение о выдаче патента на изобретение по заявке №.93-003048/13/003007 КГСХА, Казань, 1996.
79. Финни Д. Введение в теорию планирования экспериментов. М.: Наука, 1970. – 287 с.
80. Фирсов М. М. Планирование эксперимента при создании сельскохозяйственных техники. М.: МСХА, 1999. – 127 с.
81. Харламов С.А. Методика изучения коэффициента восстановления семян рапса/ С.А. Харламов, И.С. Константинова// Вестник ЛГТУ-ЛЕГИ.-Липецк, 1999(3), № 2. - С.55-56.
82. Черепанов Г. П. Механика разрушения композиционных материалов. М.: Агропромиздат, 1983.
83. Шиголев Б. М. Математическая обработка наблюдений. М.: Физико-математической литературы, 1962. – 344 с.
84. А. С. 1323120 СССР, Устройство для шелушения зерна. Акылбеков А.А. Алимбиев Л.Н., Дженкулов С.А. - Оpubл. 15.07.87. Бюл. No.26.
85. Abalu, G. O. I., and E. G Etuk (1986). Traditional Versus Improved Groundnut Production Practices: Some Further Evidence from Northern Nigeria. *Experimental Agriculture* 22: pp. 33-38.
86. Beasley, E. O. Digging, shaking and windrowing///1987. Peanut. The North Caroline Agr. Ext. Serv. 1987, p.51-60/.
87. Cobb, W.Y. and B.R. Johnson, 1993: Physiochemical Properties of Peanut. In Peanut: Culture and Uses. Amer. Peanut Research and Educ. Assoc. Stillwater, OK.
88. Davison E., F.J. Middendorf: Mechanical properties of rapeseed// Canadian Agricultural Engineering. - 1975.№ 17/1. p. 50-54.
89. Davison E., A.G. Meiering, F.J. Middendorf. A theoretical stress molel of rapeseed // Canadian Agricultural Engineering. - 1979.- № 21/1. p. 45 - 46.

90. FAO, (2004): Food and Agricultural Organization, Rome, Italy, Statistics.
91. Internet, <http://arachis.com>
92. Internet, <http://www.futureharvest.org>
93. Internet, <http://www/cee.mtu.edu>
94. Internet, <http://www.peanutsheller.org>
95. Internet, <http://www.idrc.ca>
96. Internet, <http://indrinfo.idrc.ca>
97. Internet, <http://www.bpre.gov.ph>
98. Internet, <http://www.tifac.org.in>
99. Internet, <http://www.universalblanchers.com>
100. Internet, <http://www.texomapeanut.com>
101. Internet, <http://en.wikipedia.org>
102. Internet, <http://www.kelleymfg.com>
103. Internet, <http://www.encarta.msn.com>
104. Internet, <http://www.nass.usda.gov>
105. Internet, <http://www.pca.com.au>
106. Internet, <http://www.ext.vt.edu>
107. Internet, <http://www.bioline.org.br>
108. Internet, <http://www.answers.com>
109. Internet, <http://www.campsilos.org>
110. Internet, <http://www.idei.by.ru>
111. Internet, <http://www.lidiya.ru>
112. Internet, <http://www.shop.foodmarket.info>
113. Internet, <http://www.technology.com.ua>
114. ICRISAT, Annual Report, (1995) Relationship between blanching quality and Seed physical characteristics, pp. 46.
115. International Agricultural Research Center (IAR, ZARIA). 1992. Description list of the types of groundnut available under research. IAR, ABU, 3241, Nigeria. Pp.50 – 59.

116. Jasper Guy Woodroof. Peanuts: Production, Processing, Products, 3rd Edition, Avi Publishing Company, Westport, CT, 1983.
117. KMC unveils 4 – row peanut combine// Progressive Farmer, 1989. Vol.104. No.4 p.993 – 995.
118. Kowal, J.W. and Knabe, D.T. (1972) An Agro chemistry Atlas of Northern States of Nigeria. ABU Press, Zaria, Nigeria.
119. Mehan, V.K (1989) Screening groundnut for resistance to seed invasion by *Aspergillus's flavus* and aflatoxin production. Pp. 323-334 in Aflatoxin contamination of groundnut: Proceedings of the international workshop, 6-9 oct. 1987, ICRISAT Center, India (MacDonald, D. and Mehan, V.K. Ed.) Patancheru 5023234, Andhra Pradesh India: International Crops Research Institute for Semi-Arid Tropics.
120. Misari, S. M. S. Boye-Goni, and B. K. Kaigama (1988). Groundnut Improvement, Production, Management, and Utilization in Nigeria: Problems and Prospects. First ICRISAT Regional Groundnut Meeting for West Africa, Niamey, Niger, 1988, pp. 61-64.
121. Montgomery, D.C. Design and Analysis of Experiments. New York: John Wiley & Sons, 1991. P. 758.
122. Peanut: A food for Minnesota. 1984. R.G. Robinson. University of Minnesota Agric. Expt. Sta. Buln. AD-SB-2478.
123. Reddy, P.S. 1988. (ed.) Groundnut, Publication and Information Division Indian Council of Agric. Res. Krishi Anushandan Bhavan, Pusa, New Delhi.
124. The catalogue of the firm "Sataki" (Japan).
125. The catalogue of the firm "Buler" (Germany).
126. Wrenshall, C. L., (1949). American peanut industry, Economic Botany 3: pp. 159 – 169.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Параметры некоторых сортов арахиса, возделываемых в Нигерии

Сорт	Характер куста	Родина	Вес 1000 Бобов, г	Период вегетации (дней)	% содерж. масла	Цвет	Урожайн. (кг/га)
Samnut-1	Полу-кустовая	Вирджений	500-550	130-150	53-55	Коричневый	2500-3000
Samnut-2	Полу-кустовая	Вирджений	500-550	130-150	53-55	Коричневый	2500-3000
Samnut-3	Полу-кустовая	TBU5913x52-14	520-550	130-150	53-55	Коричневый	2800-3500
Samnut-4	Полу-кустовая	55-455x28-206	440-520	130-150	55-65	Коричневый	2500-3000
Samnut-5	Полу-кустовая	TBU5913x52-14xF452.8	460-540	130-150	51,5	Коричневый	2500-3000
Samnut-6	Полу-кустовая	205x52-14xF452.8	440-520	130-150	52,5	Коричневый	2000-2800
Samnut-7	Полу-кустовая	205x52-146x1865.68	440-520	110-120	51-53	Коричневый	2000-2800
Samnut-8	Полу-кустовая	205x52-146x1865.68	440-520	110-120	55-60	Коричневый	2000-2800
Samnut-9	Полу-кустовая	Длинная засухоустойчив.	440-540	130-150	50-53	Коричневый	2500-3000
Samnut-10	Полу-кустовая	1036xMani Pintar	500-550	130-150	55-60	Коричневый	2800-3500
Samnut-11	Полу-кустовая	48-37x Mani Pintar	500-550	130-150	55-60	Коричневый	2800-3500
Samnut-12	Полу-кустовая	205x52-11xGBS592	400-520	130-150	51-63	Коричневый	2500-3000
Samnut-13	Кустоваяформа	Испанский тип	320-400	90-100	50-53	Бронзы	2000-2800
Samnut-14	Кустоваяформа	55-437(Eх-Dakar)	320-400	90-100	50-52	Бронзы	2000-2800
Samnut-15	Полу-кустовая	Флюоруннерная семья	500-550	130-150	50-53	Коричневый	2500-3000
Samnut-16	Полу-кустовая	M95.71xM276.70	500-550	130-150	55-60	Коричневый	2800-3500
Samnut-17	Кустоваяформа	Короткий сезон Испанск. тип	320-450	90-100	53-55	Бронзы	2000-2800
Samnut-18	Кустоваяформа	КН149Ах2424.74	320-450	100-110	53-55	Красный	2000-2800

Усилия для удаления кожуры с плодов

Сорт арахиса	Масса груза, г	Путь, мм	Время, с	Усилие, Н
Dakar	200	48	6	$2,6 \times 10^{-4}$
	210	47	5,5	$3,3 \times 10^{-4}$
	215	45	5	$3,9 \times 10^{-4}$
	220	45	4,7	$4,5 \times 10^{-4}$
	225	42	4,5	$4,7 \times 10^{-4}$
Damboa	250	32	3	$0,9 \times 10^{-3}$
	255	31	2,8	$1,0 \times 10^{-3}$
	260	30	2,7	$1,1 \times 10^{-3}$
	265	29	2,6	$1,2 \times 10^{-3}$
	275	28	2,5	$1,3 \times 10^{-3}$
Kampala	380	25	2,4	$1,6 \times 10^{-3}$
	390	24	2,3	$1,7 \times 10^{-3}$
	400	22	2,2	$1,8 \times 10^{-3}$
	410	20	2,1	$1,9 \times 10^{-3}$
	425	19	1,9	$2,2 \times 10^{-3}$

Деформация семян арахиса при разрушении кожуры сжатием

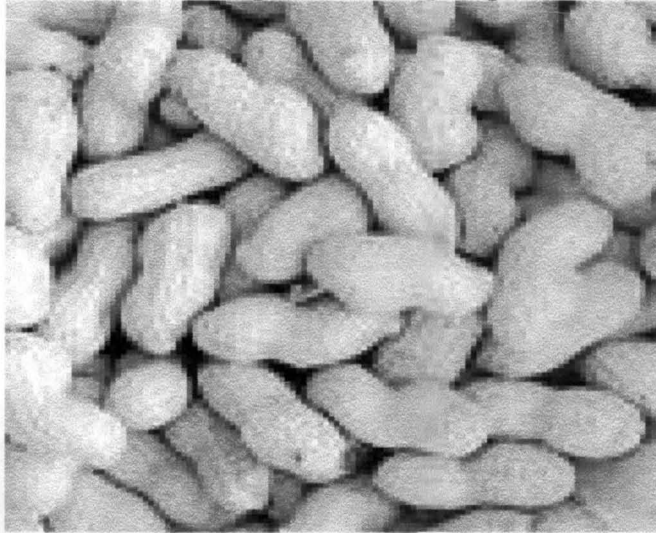
№. п/п	Диаметр плода d, мм	Размер семени в момент разрушения, d', мм	Абсолютная деформация семени, Δd, мм	Относительная деформация ε, %	Частота повторения, P _{Δd} , %
1	7,60	7,560	0,040	0,53	3
2	7,60	7,555	0,045	0,59	26
3	7,60	7,550	0,050	0,65	43
4	7,60	7,545	0,055	0,72	22
5	7,60	7,540	0,060	0,79	6
1	7,54	7,50	0,040	0,53	2
2	7,54	7,495	0,045	0,60	28
3	7,54	7,490	0,050	0,70	46
4	7,54	7,485	0,055	0,73	21
5	7,54	7,48	0,060	0,80	3

Приложение 4

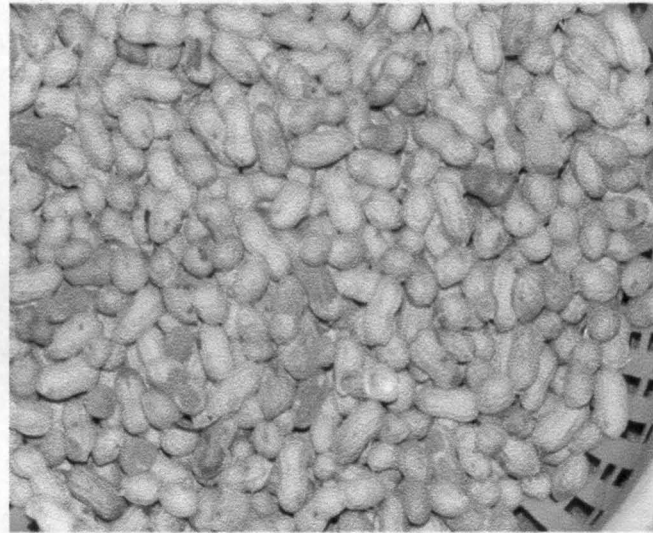
Нормальное напряжение σ при сжатии кожуров в момент ее разрушения и модель упругости E_2

№. п/п	Диаметр семя d, мм	Относительная деформация, ε	Площадь контакта $S \times 10^{-4}$, m^2	Нормальная нагрузка, $P \times 10^{-4}$ Н	Нормальное напряжение σ , Н/м ²	Модуль упругости $E \times 10^3$, Н/м ²
1	7,60	0,0053	0,64	2,6	4,06	0,77
2	7,60	0,0059	0,82	3,3	4,02	0,68
3	7,60	0,0065	1,0	3,9	3,9	0,60
4	7,60	0,0072	1,18	4,5	3,81	0,53
5	7,60	0,0079	1,36	2,2	1,62	0,21
1	7,54	0,0053	0,56	3,5	6,25	1,18
2	7,54	0,0060	0,74	4,7	6,35	1,06
3	7,54	0,0070	0,92	5,9	6,41	0,92
4	7,54	0,0073	1,11	7,1	6,40	0,89
5	7,54	0,0080	1,28	8,3	6,48	0,81

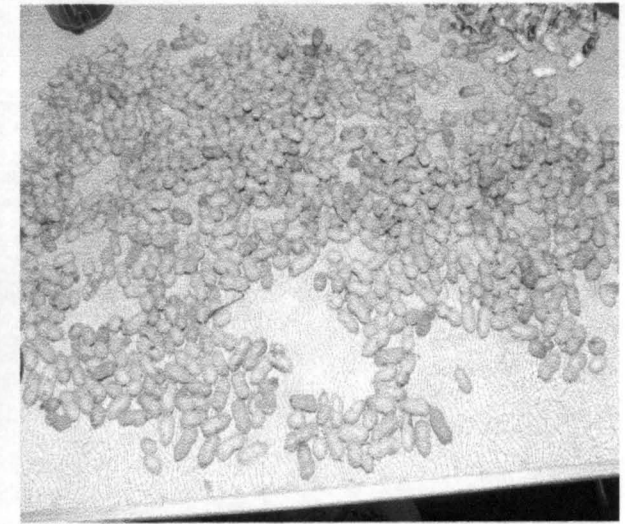
Исходные материалы «Сорт арахиса: (i – iii) – необмолоченный; (iv - vi) – обмолоченный»



i) Dakar



ii) Kampala



iii) Damboa



iv) Dakar



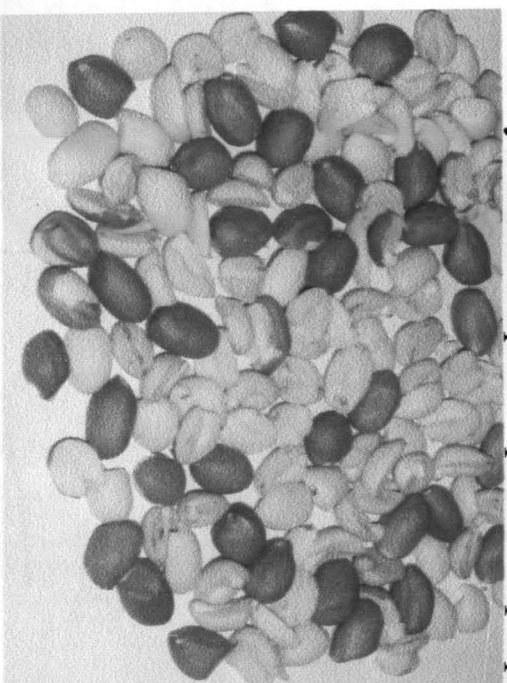
v) Kampala



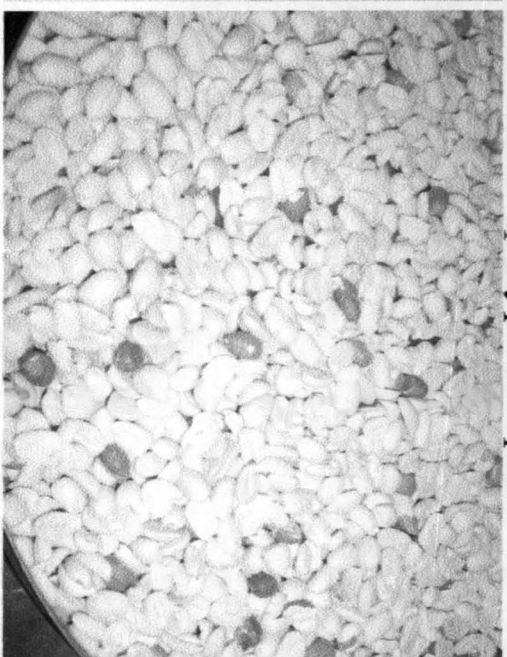
vi) Damboa

Обжаренные орехи арахиса при разных температур обжарки

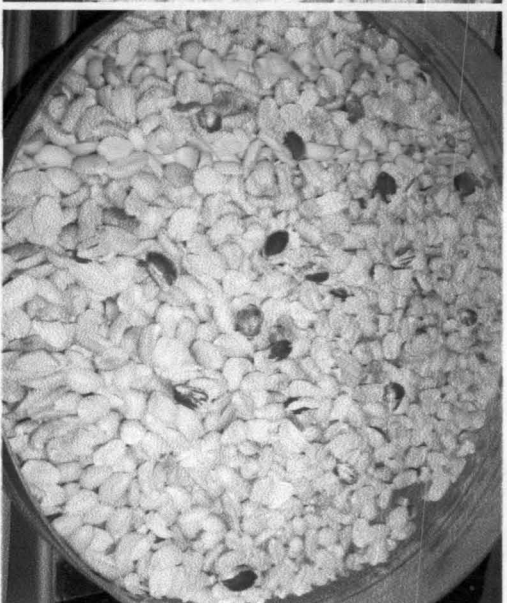
Приложение 6



ПРИ 120 °С



ПРИ 150 °С



ПРИ 180 °С



ПРИ 210 °С



ПРИ 220 °С



ПРИ 240 °С

Приложение 7

Степень шелушения и целостности ядра арахиса при 7 с^{-1} и зазор 7,5 мм для установки дискового типа (камера)

Темпер. Обж. мин	P ₁		P ₂		P ₃	
	Кш, %	Кц.я, %	Кш, %	Кц.я, %	Кш, %	Кц.я, %
120	40,5	65,5	44	63,5	48,5	53
150	49	64	52	56	58	51,5
180	58,5	60,5	60	52	63	45,5
210	64	57,5	69,5	48,5	72	43
240	76,5	48	84	38,5	85	31,5
	Ср=57,7	Ср=59,1	Ср=61,9	Ср=51,7	Ср=65,3	Ср=44,9

Степень шелушения и целостности ядра арахиса при 7 с^{-1} и зазор 8,0 мм для установки дискового типа (камера)

Темпер. Обж. мин	P ₁		P ₂		P ₃	
	Кш, %	Кц.я, %	Кш, %	Кц.я, %	Кш, %	Кц.я, %
120	49	58	51	44	55,5	41,5
150	53,5	54,5	54	41,5	59	38,5
180	60	50,5	63,5	40	65	32
210	64	44,5	66	38,5	68,5	29
240	69	32,5	70,5	31,5	73	22,5
	Ср=59,1	Ср=48	Ср=61	Ср=39,1	Ср=64,3	Ср=32,7

Степень шелушения и целостности ядра арахиса при 7 с^{-1} и зазор 8,5 мм для установки дискового типа (камера)

Темпер. Обж. мин	P ₁		P ₂		P ₃	
	Кш, %	Кц.я, %	Кш, %	Кц.я, %	Кш, %	Кц.я, %
120	62,5	47,5	64,5	45	64	40
150	68	45	68	39	69,5	41
180	70	39,5	71,5	34	73,5	30
210	74,5	37	74	31,5	77	33
240	74	28,5	77,5	26	80,5	20
	Ср=69,8	Ср=39,5	Ср=71,1	Ср=35,1	Ср=72,9	Ср=32,8

продолжение приложения 7

Степень шелушения и целостности ядра арахиса при $8,7 \text{ с}^{-1}$ и зазор $7,5 \text{ мм}$ для установки дискового типа (камера)

Темпер. Обж. мин	P ₁		P ₂		P ₃	
	Кш, %	Кц.я, %	Кш, %	Кц.я, %	Кш, %	Кц.я, %
120	73	34	75,4	31	78,5	30,5
150	77	31,5	76	28,5	78	24
180	80	26,5	83	26,5	85,5	21,5
210	82	24	87,5	25	89,5	18,5
240	87	23,5	89,5	21,5	90	17
	Ср=79,8	Ср=27,9	Ср=82,5	Ср=26,5	Ср=84,3	Ср=22,3

Степень шелушения и целостности ядра арахиса при $8,7 \text{ с}^{-1}$ и зазор $8,0 \text{ мм}$ для установки дискового типа (камера)

Темпер. Обж. мин	P ₁		P ₂		P ₃	
	Кш, %	Кц.я, %	Кш, %	Кц.я, %	Кш, %	Кц.я, %
120	86	25	87	23,5	88	21
150	86	21,5	85	20,5	89,5	18,5
180	92	17,5	93,5	16	94,5	17,5
210	94	15,5	95,5	13	96	15
240	95	10,5	96,5	10	97,5	9,5
	Ср=90,6	Ср=18	Ср=91,5	Ср=16,6	Ср=93,1	Ср=16,3

Степень шелушения и целостности ядра арахиса при $8,7 \text{ с}^{-1}$ и зазор $8,5 \text{ мм}$ для установки дискового типа (камера)

Темпер. Обж. мин	P ₁		P ₂		P ₃	
	Кш, %	Кц.я, %	Кш, %	Кц.я, %	Кш, %	Кц.я, %
120	89	19	88	20	90,5	17,5
150	90	15,5	91,5	19	93,5	17
180	90,5	12,5	92,5	13,5	94	10
210	92	8,5	94,5	10,5	96,5	6
240	94	7,5	97	6	97,5	4,5
	Ср=91,1	Ср=12,6	Ср=92,7	Ср=13,8	Ср=94,4	Ср=11

продолжение приложения 7

Степень шелушения и целостности ядра арахиса при $10,5 \text{ с}^{-1}$ и зазор $7,5 \text{ мм}$ для установки дискового типа (камера)

Темпер. Обж. мин	P ₁		P ₂		P ₃	
	Кш, %	Кц.я, %	Кш, %	Кц.я, %	Кш, %	Кц.я, %
120	86	15	87,5	13	89,5	11
150	89	11	91,5	10,5	91	7,5
180	92	7	93	8,5	95,5	6,5
210	95	6	94,5	5,5	95	3,5
240	96,5	4	97	4	98	4
	Ср=91,7	Ср=8,6	Ср=92,7	Ср=8,3	Ср=93,8	Ср=6,5

Степень шелушения и целостности ядра арахиса при $10,5 \text{ с}^{-1}$ и зазор $8,0 \text{ мм}$ для установки дискового типа (камера)

Темпер. Обж. мин	P ₁		P ₂		P ₃	
	Кш, %	Кц.я, %	Кш, %	Кц.я, %	Кш, %	Кц.я, %
120	89	10	90	3,5	92	2,5
150	90,5	9	92	3	93	1
180	93	6	94,5	3	95,5	0,5
210	94	5	96,5	2,5	97	0
240	95	4	97	0	97,5	0
	Ср=92,3	Ср=6,8	Ср=94	Ср=2,4	Ср=95	Ср=0,8

Степень шелушения и целостности ядра арахиса при $10,5 \text{ с}^{-1}$ и зазор $8,5 \text{ мм}$ для установки дискового типа (камера)

Темпер. Обж. мин	P ₁		P ₂		P ₃	
	Кш, %	Кц.я, %	Кш, %	Кц.я, %	Кш, %	Кц.я, %
120	90	8	92	3,5	94	2,5
150	91,5	6,5	93,5	1,5	96,5	1,5
180	93	4,5	94,5	1	97,5	1
210	94	3,5	96	0	97	0
240	96	1,5	97,5	0	98,5	0
	Ср=92,9	Ср=4,8	Ср=94,7	Ср=1,2	Ср=96,5	Ср=0,5

Степень шелушения и целостности ядра арахиса при $0,6 \text{ с}^{-1}$
для установки лопастного типа

Темпер. Обж. мин.	Δ_1		Δ_2		Δ_3	
	Кш, %	Кц.я, %	Кш, %	Кц.я, %	Кш, %	Кц.я, %
120	23	52	31,5	48	46,5	42
150	32,5	48	35,5	43,5	49,5	42,5
180	44,5	43,5	46,5	40,5	53	40,5
210	53,5	40,5	57	38,5	60,5	36,5
240	55	38	69	36,5	67,5	32,5
	Ср=41,7	Ср=50,4	Ср=47,9	Ср=41,4	Ср=55,4	Ср=38,8

Степень шелушения и целостности ядра арахиса при 1 с^{-1}
для установки лопастного типа

Темпер. Обж. мин.	Δ_1		Δ_2		Δ_3	
	Кш, %	Кц.я, %	Кш, %	Кц.я, %	Кш, %	Кц.я, %
120	37,5	50	42,5	43,5	48,5	40,5
150	43	44,5	45	40	53,5	36,5
180	49	37,5	54	34,5	55	32
210	53	32,5	60	30,5	59	27,5
240	58	28	63,5	26,5	63	24,5
	Ср=48,1	Ср=38,5	Ср=53	Ср=35	Ср=55,8	Ср=32,2

Степень шелушения и целостности ядра арахиса при $1,3 \text{ с}^{-1}$
для установки лопастного типа

Темпер. Обж. мин.	Δ_1		Δ_2		Δ_3	
	Кш, %	Кц.я, %	Кш, %	Кц.я, %	Кш, %	Кц.я, %
120	39	47,5	52	41,5	54,5	38,5
150	43,5	40,5	55,5	38,5	56,5	31,5
180	47	37	57,5	33,5	59	27,5
210	53,5	31,5	59	26,5	62,5	19,5
240	59	27,5	60	24	61	10
	Ср=48,4	Ср=36,8	Ср=56,8	Ср=32,8	Ср=58,7	Ср=25,4

Приложение 9

Степень шелушения и целостности ядра арахиса при $0,42 \text{ с}^{-1}$ для установки цилиндрического типа

Температура обжарки, °С	Время обжарки, минут	Степень, %			
		Кш		Кц.я	
120	20	24	43	76	60
	30	36		66	
	40	52		54	
	60	60		44	
150	15	34	48	62	48
	20	40		52	
	30	52		44	
	40	66		34	
180	10	42	58	54	39
	15	50		44	
	20	64		34	
	30	74		22	
210	8	52	62	52	38
	13	58		42	
	18	64		34	
	25	72		24	
240	5	60	71	46	35
	10	66		40	
	15	76		32	
	20	82		22	
		Ср = 56		Ср = 44	

продолжение приложения 9

Степень шелушения и целостности ядра арахиса
при $0,83 \text{ с}^{-1}$ для установки цилиндрического типа

Температура обжарки, °С	Время обжарки, минут	Степень, %			
		Кш		Кц.я.	
120	20	48	55	56	48
	30	48		54	
	40	58		46	
	60	64		34	
150	15	50	61	44	34
	20	56		38	
	30	64		30	
	40	72		24	
180	10	56	66	40	34
	15	64		40	
	20	68		32	
	30	76		24	
210	8	58	68	36	32
	13	66		32	
	18	70		32	
	25	76		28	
240	5	66	75	30	24
	10	72		26	
	15	78		20	
	20	84		18	
		Ср = 65		Ср = 34	

продолжение приложения 9

Степень шелушения и целостности ядра арахиса
при $1,25 \text{ с}^{-1}$ для установки цилиндрического типа

Температура обжарки, °С	Время обжарки, минут	Степень, %			
		Кш		Кц.я.	
120	20	60	65	44	37
	30	66		40	
	40	64		34	
	60	70		28	
150	15	60	70	32	30
	20	64		30	
	30	70		34	
	40	84		22	
180	10	58	68	32	30
	15	64		36	
	20	70		26	
	30	78		24	
210	8	60	67	22	26
	13	64		20	
	18	70		34	
	25	74		26	
240	5	66	72	20	21
	10	66		24	
	15	72		20	
	20	82		18	
		Ср= 68		Ср= 28	

продолжение приложения 9

Степень шелушения и целостности ядра арахиса
при $1,67 \text{ с}^{-1}$ для установки цилиндрического типа

Температура обжарки, °С	Время обжарки, минут	Степень, %			
		Кш	Кц.я.		
120	20	68	78	38	30
	30	74		32	
	40	82		28	
	60	88		22	
150	15	68	77	24	23
	20	72		28	
	30	80		22	
	40	86		16	
180	10	66	74	22	18
	15	68		20	
	20	74		20	
	30	88		8	
210	8	68	79	16	15
	13	74		20	
	18	80		18	
	25	92		6	
240	5	76	84	16	11
	10	74		12	
	15	88		10	
	20	96		4	
		Ср = 78		Ср = 19	

Матрица планирования и варьируемые факторы для степени шелушения (Y_1)

Уровни и шаг варьирования факторов	$X_1, \text{мм}^{-1}$	$X_2, \text{мм}$	$P, \text{Па}$	Априорные сведения	Оценка коэффициентов уравнения (Кш)											
					$b_0 = 79,7$	$b_1 = 14,2$	$b_2 = 3,34$	$b_3 = 1,81$								
Основной	525	8,0	0,13	$b_{11} = 0$ $b_{22} = 0$ $b_{33} = 0$	$b_{12} = -2,61$	$b_{13} = 0,013$	$b_{23} = -0,013$	$b_{123} = 0,34$								
Шаг варьирования	105	0,5	0,03													
Верхний (+)	630	8,5	0,16													
Нижний (-)	420	7,5	0,1													
Матрица планирования эксперимента и расчет Коэффициенты регрессии				Результаты эксперимента и проверка воспроизводимости				Проверка адекватности								
i	0	1	2	3	4	5	6	7	$Y_{ш1}$	$Y_{ш2}$	$Y_{ш3}$	\bar{Y}_u	S_u^2	\hat{Y}_u	$(\bar{Y}_u - \hat{Y}_u)$	$(\bar{Y}_u - \hat{Y}_u)^2$
j	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁₂	X ₁₃	X ₂₃	X ₁₂₃								
1	+	-	-	-	+	+	+	-	58,5	57,4	56,5	57,4	1,04	57,7	-0,3	0,09
2	+	+	-	-	-	-	+	+	92,0	91,7	90,7	91,67	0,86	91,4	0,4	0,16
3	+	-	+	-	-	+	-	+	70,0	70,0	70,6	70,0	0,30	69,7	0,4	0,16
4	+	+	+	-	+	-	-	-	93,0	92,5	91,7	92,52	0,46	92,8	-0,4	0,16
5	+	-	-	+	+	-	-	+	63,0	61,7	60,7	61,7	1,42	61,3	0,3	0,09
6	+	+	-	+	-	+	-	-	95,5	94,7	93,9	94,73	0,64	95,0	-0,3	0,09
7	+	-	+	+	-	-	+	-	73,5	72,9	72,6	72,9	0,30	72,3	-0,4	0,16
8	+	+	+	+	+	+	+	+	87,5	96,8	96,2	96,78	0,44	96,4	0,3	0,09
$\sum \bar{Y}_u = 637,7; \sum S_u^2 = 5,45; \sum (\bar{Y}_u - \hat{Y}_u) = 0; \sum (\bar{Y}_u - \hat{Y}_u)^2 = 1,0$																

Коэф bi	b0= 79,7	b1= 14,2	b2= 3,34	b3= 1,81	b12= -2,61	b13= 0,013	b23= 0,013	b123= 0,34	$S_{u \max}^2 = 1,42$			S_{ad}^2		0,25	
Проверка значимости коэффициентов									$G_{u \max} =$ $\frac{S_{u \max}^2}{\sum_{u=1}^8 S_u^2}$			0,26	F		0,37
$q_{3H},$ %	5%	$S_{e(u)}^2 = \frac{S_{e(u)}^2}{f_e}$			0,68			$q_e, \%$			5%	$q_{ad}, \%$		5%	
f_{3H}	$N-(m+1)=$ =4	S_{ei}				0,29				f_{1e}	$m-1=2$	f_{1ad}	$N-(d+1)=$ =4		
t_{max}	2,31	$t_i = \frac{|b_i|}{S_{ei}}$	274,83	48,97	1,52	6,24	9,0	0,045	0,045	1,17	f_{2e}	$N=8$	f_{2ad}	$N(m-1)=$ =16	
S_y^2	$\frac{\sum_{u=1}^8 S_u^2}{N}$	$Sign(t_i - t_{max})$	+	+	+	+	+	+	+	+	G_{max}	0,516	F_{max}	3,04	
Вывод			Зна	Зна	Зна		Зна	Незна	Незна	Незна нена	$Sign(G_{max}-G_T)$	-	$Sign(F_{max}-F_{раб})$	-	
Уравнение регрессии (неполная квадратная модель) $\hat{Y}_1 = 79,7 + 14,2x_1 + 3,34x_2 + 1,81x_3 - 2,61x_1x_2$															

Матрица планирования и варьируемые факторы для степени целостности ядра (Y_2)

Уровни и шаг варьирования факторов		$X_1, \text{мм}^{-1}$	$X_2, \text{мм}$	$P, \text{Па}$	Априорные сведения				Оценка коэффициентов уравнения (Кц.я.)							
Основной		525	8,0	0,13	$b_{11} = 0$ $b_{22} = 0$ $b_{33} = 0$				$b_0 = 24,4$		$b_{12} = 3,23$					
Шаг варьирования		105	0,5	0,03					$b_1 = -19,7$		$b_{13} = 2,604$					
Верхний (+)		630	8,5	0,16					$b_2 = -5,35$		$b_{23} = 0,354$					
Нижний (-)		420	7,5	0,1					$b_3 = -3,87$		$b_{123} = -1,02$					
Матрица планирования эксперимента и расчет Коэффициенты регрессии									Результаты эксперимента и проверка воспроизводимости				Проверка адекватности $\sum (\bar{Y}_{ц.я} - \hat{Y}_{ц.я})$			
i	0	1	2	3	4	5	6	7	$Y_{ц.я1}$	$Y_{ц.я2}$	$Y_{ц.я3}$	$Y_{ц.я}^-$	$S_{ц.я}^2$	$Y_{ц.я}^{\wedge}$	$(\bar{Y}_{ц.я} - \hat{Y}_{ц.я})$	$(\bar{Y}_{ц.я} - \hat{Y}_{ц.я})^2$
j	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁₂	X ₁₃	X ₂₃	X ₁₂₃								
1	+	-	-	-	+	+	+	-	60,5	59,4	61,7	60,5	1,32	59,45	1,05	1,103
2	+	+	-	-	-	-	+	+	7,0	7,8	7,3	7,4	0,16	8,4	-1,0	1,0
3	+	-	+	-	-	+	-	+	39,5	41,7	40,5	40,6	1,21	41,6	1,0	1,0
4	+	+	+	-	+	-	-	-	4,5	4,9	4,1	4,5	0,16	3,5	1,0	1,0
5	+	-	-	+	+	-	-	+	45,5	44,7	44,2	44,8	0,43	45,9	-1,1	1,21
6	+	+	-	+	-	+	-	-	6,5	6,7	5,9	6,2	0,17	5,3	0,9	0,81
7	+	-	+	+	-	-	+	-	30,0	29,9	31,2	30,4	0,52	29,3	1,1	1,21
8	+	+	+	+	+	+	+	+	1,0	0,5	0,4	0,63	0,10	1,7	1,07	1,14
$\sum \bar{Y}_{ц.я.} = 195,03; \sum S_{ц.я.}^2 = 4,09; \sum (\bar{Y}_{ц.я.} - \hat{Y}_{ц.я.}) = 0; \sum (\bar{Y}_{ц.я.} - \hat{Y}_{ц.я.})^2 = 8,5$																

Коэф bi	b0= 24,4	b1= -19,7	b2= -5,35	b3= -3,87	b12= 3,23	b13= 2,604	b23=- 0,354	b123 = -1,02	$S_{ц.я.маx}^2$	1,32	$S_{ад}^2$	2,13				
Проверка значимости коэффициентов									$G_{ц.я.маx} = \frac{S_{ц.я.маx}^2}{\sum_{i=1}^8 S_{ц.я}^2}$	0,32	F	4,2				
$q_{зн},$ %	5%	$S_{\sigma(ц.я)}^2 = \frac{S_{\sigma(ц.я)}^2}{f_{\sigma}}$			0,51				$q_{\sigma}, \%$	5%	$q_{ад}, \%$	5%				
$f_{зн}$	$N-(m+1)=$ =4	$S_{\sigma i}$				0,25				$f_{1\sigma}$	$m-1=2$	$f_{1ад}$	$N-(d+1)=$ =4			
$t_{табл}$	2,31	$t_i = \frac{|b_i|}{S_{\sigma i}}$			97,6	78,8	21,4	15,48	12,92	10,4	1,42	4,08	$f_{2\sigma}$	$N=8$	$f_{2ад}$	$N(m-1)=$ =16
S_y^2	$\frac{\sum_{i=1}^8 S_{ц.я}^2}{N}$	$Sign(t_i - t_{табл})$			+	+	+	+	+	+	+	+	$G_{табл}$	0,516	$F_{табл}$	3,04
Вывод					Зна	Зна	Зна	Зна	Зна	Зна	Незна	незна	$Sign(G_{маx}-G_T)$		$Sign(F_{маx}-F_{табл})$	
Уравнение регрессии (неполная квадратная модель) $\hat{Y}_2 = 24,34 - 19,7x_1 - 5,35x_2 - 3,87x_3 + 3,23x_1x_2 + 2,604x_1x_3$																

Результаты экспериментов по плану Бокса-Бенкина

X1	X2	X3	Y _{ц.я}			
			Y1	Y2	Y3	Y _{ср.}
1	0	-1	6	6,8	5,2	6,0
0	-1	-1	26,5	26,9	26,4	26,6
0	1	1	10	9,5	11	10,2
0	0	0	16	16,5	16,3	16,3
1	0	1	0,5	0,9	1,1	0,8
0	0	0	16	16,5	16,3	16,3
-1	-1	0	52	50,7	49,3	50,7
0	-1	1	21,5	20,6	19,3	20,5
0	0	0	16	16,5	16,3	16,3
1	-1	0	8,5	8	7,9	8,1
0	1	-1	12,5	12	12,2	12,2
-1	1	0	34	33,5	33	33,5
-1	0	1	32	33,4	32,3	32,6
-1	0	-1	50,5	51,7	51,2	51,1
1	1	0	1	0,7	0,8	0,8

