

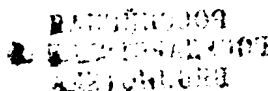
61.02-5/2460-4

Московский государственный агроинженерный  
университет им. В.П. Горячкина

На правах рукописи

ЗАВОДНОВ Сергей Викторович

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КЛУБНЕЙ  
КАРТОФЕЛЯ С РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН.



Специальность 05.20.01. – технологии и средства механизации  
сельского хозяйства

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
кандидат технических наук  
профессор Н.И. Бочаров

Москва 2002.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр.
ВВЕДЕНИЕ .....	5
 <b>ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.</b>	
1.1. Состояние вопроса по теме и выбор направления исследования .....	9
1.2. Постановка задачи .....	16
 <b>ГЛАВА 2. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТИ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ.</b>	
2.1. Виды повреждений клубней картофеля .....	21
2.2. Особенности клеточного строения клубня картофеля .....	24
2.3. Влияние параметров ударных процессов на повреждаемость клубней картофеля.....	28
2.4. Зависимость механических повреждений клубней картофеля от конструкции, формы, покрытия и режимов работы рабочих органов уборочных машин .....	29
2.5. Сортвые особенности и их влияние на устойчивость клуб- ней к механическим повреждениям .....	31
2.6. Влияние удобрений на прочность клубней картофеля .....	34
2.7. Приборы и методы оценки механической прочности клубней картофеля.....	36
2.8. Выводы по 2 главе .....	47

### ГЛАВА 3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИИ И РАЗРУШЕНИЯ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ.

3.1. Оболочка клеток клубней - основа их структурной организации и прочности. ....	48
3.2. Реологическая модель механических свойств мякоти клубней картофеля. ....	51
3.3. Теория прочности мякоти клубней картофеля. ....	73
3.4. Повреждаемость клубней при действии ударных нагрузок. ....	76
3.5. Волны деформаций и напряжений в клубнях картофеля при ударах. ....	81
3.6. Взаимодействие клубней картофеля с рабочими органами сельскохозяйственных машин. ....	87
3.7. Выводы по 3 главе. ....	95

### ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ, МАССОВЫХ И МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЯКОТИ И КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ.

4.1. Методика и результаты определения геометрических и массовых характеристик клубней картофеля. ....	97
4.2. Методика и результаты испытаний механических свойств клубней картофеля при статических нагрузках. ....	105
4.3. Методика и результаты экспериментальных исследований механических свойств клубней картофеля при ударных воздействиях. ....	114
4.4. Обеспечение механической сохранности клубнях картофеля при механизированном возделывании. ....	122
4.5. Выводы по 4 главе. ....	126

<b>ГЛАВА 5. ТЕХНИКО - ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ. ...</b>	<b>128</b>
<b>1.1 Выводы по 5 главе .....</b>	<b>132</b>
<b>ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ . .....</b>	<b>133</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>135</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Для улучшения материального и культурного благосостояния народа России в современных сложных экономических условиях, основной задачей народного хозяйства является удовлетворение спроса населения на основные товары народного потребления, в том числе на продукты питания.

Решению поставленной задачи должны способствовать: интенсивное развитие агропромышленного комплекса страны, предоставление, полной самостоятельности основному производственному звену сельского хозяйства, реорганизация управления производством, укрепление материально - технической базы на основе новейших достижений науки и техники.

Одной из важнейших отраслей сельского хозяйства нашей страны является картофелеводство. Картофель, занимая не более 3% посевных площадей, дает 14% валовой продукции растениеводства и почти 8% валового производства всего сельского хозяйства. Продукция картофелеводства широко используется на производственные цели, для технической переработки и в качестве корма в животноводстве. В мировом масштабе производства продуктов сельского хозяйства картофель, как наиболее продуктивная культура умеренного пояса, занимает также видное место.

В 1994 году, например, мировой сбор картофеля составил 265,4 млн. тонн с площади 18,2 млн. га при средней урожайности 14,0 т/га. Россия в 1999 году с площади 3,2 млн. га собрала 30,6 млн. тонн картофеля (средняя урожайность 9,6 т/га), что превышает 10% мирового его производства.

Следует подчеркнуть, что картофель не только богат крахмалом и служит источников питания, но и отличается большими запасами энергии и белка в расчете на единицу площади. Белок картофеля

благодаря сбалансированности по аминокислотному составу должен быть отнесен к биологически наиболее ценному растительному белку. Со 100 г картофеля удовлетворяется дневная потребность человека в белке на 8%, а железа - на 10%, в витамине С - на 20-50%, в витамине В - на 10% и энергетическая потребность на 3% [37].

Значение картофеля в питании человека в будущем, по мнению исследователей, не только не снизится, а наоборот, возрастет, из него будут производить новые пищевые продукты, полуфабрикаты. Для обеспечения более устойчивого развития отрасли в последние годы проводится целенаправленная работа по совершенствованию и внедрению интенсивных технологий возделывания картофеля, создаются новые высокоурожайные сорта, улучшается система первичного семеноводства. Продолжается специализация и концентрация картофелеводства. В 5 тыс. специализированных картофелеводческих хозяйствах страны (примерно 15% общего количества хозяйств возделывающих картофель) сосредоточено 50% посевных площадей и 57% общего валового производства картофеля в общественном секторе. Эти хозяйства являются основными поставщиками товарного картофеля [62].

Эффективность картофелеводства в значительной степени зависит от производства семенного картофеля. К составляющим этого производства относятся селекция, создающая генетическую основу семеноводства - сорт, и связанное с ней размножение семенного материала. Сорт во многом определяет урожай, как правило, новые сорта превосходят старые по урожайности. Исследованиями и практикой установлена высокая эффективность сортосмены: прибавка урожая составляет от 10 до 30% по сравнению со старыми сортами [37]. Однако картофель - самая энергоемкая сельскохозяйственная культура, в настоящее время производство картофеля характеризуется

высокой трудоемкостью. Около 500 Чел. ч. затрачивается на возделывание 1 га картофеля, причем от 40 до 60 % из них приходится на уборку. Недостаток рабочих в этот период приводит к растягиванию сроков выполнения работ, что отражается на потере урожая в пределах 20% и более. В то же время разработанные и испытанные в производственных условиях интенсивные технологии производства картофеля обеспечивают гарантированное получение урожайности культуры на уровне от 200 до 250 ц/га с затратами труда от 0.8 до 1 чел. ч. на 1 ц. продукции. [62]

Таким образом, современная технология производства картофеля - это высококачественный семенной материал наиболее продуктивных сортов, современная техника (система машин), оптимальные дозы удобрений, эффективные гербициды и средства защиты растений от вредителей и болезней, совершенные формы организации и оплаты труда, то есть комплексное применение всех элементов и факторов производства.

Различные сорта картофеля, кроме урожайности, в разной степени обладают такими наследуемыми признаками, как выход крахмала, продолжительность вегетации, устойчивость к болезням, вредителям, неблагоприятным факторам среды и т.д. А в связи с совершенствующимися приемами и способами возделывания и уборки, а также длительного хранения картофеля к новым сортам предъявляются дополнительные требования. Так, возрастающий удельный вес механических повреждений клубней при уборке, закладке на хранение и транспортировке определил необходимость вести селекцию на повышенную устойчивость картофеля к механическим нагрузкам [37].

В связи с этим у нас в стране и за рубежом изучаются и разрабатываются методики и средства для определения пригодности сортов к механизированной уборке. Для оценки истинной устойчивости

к механическим повреждениям лучше всего проводить обычную уборку с использованием стандартных уборочных машин и операций и с использованием больших партий клубней. Но такой метод нельзя применять непосредственно во время выведения новых сортов, он возможен только на последней стадии селекционного процесса - перед передачей сорта на государственные испытания. Поэтому необходимы методики и технические средства, позволяющие в ходе селекционного процесса оценивать селекционный материал на устойчивость к механическим повреждениям, еще на ранних этапах выведения, когда имеется в наличии небольшое количество клубней.

Несмотря на наличие и разнообразие существующих методов оценки небольших партий клубней, все они направлены в основном на выявление отдельных факторов устойчивости, к тому же, как отмечают исследователи, реакция сортов меняется в зависимости от метода испытания их устойчивости. А это означает, что испытания необходимо проводить методами и приборами наиболее близко воссоздающих условия, имеющие место при обычной комбайновой уборке. Разработка методики и приборного комплекса удовлетворяющих выше перечисленным условиям, позволит вести направленную селекцию сортов, пригодных к механизированной уборке и создавать машины не повреждающие клубни. В настоящее время не определяется физиологическая зрелость клубней картофеля перед уборкой, что приводит часто к большим механическим повреждениям их при уборке. Недостаточно разработаны методы расчетов рабочих органов машин и подбора материалов для их изготовления, позволяющих снизить повреждаемость.



## Глава 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.

### 1.1. Состояние вопроса по теме и выбор направления исследований.

Изучением физико - механических свойств клубней картофеля в период его уборки и послеуборочной доработки занимались многие исследователи, так в Советском Союзе этим занимались: В.П.Горячкин, М.Е.Мацепуро, В.С.Митрофанов, В.Н.Табачук, Р.М.Махароблидзе, А.И. Бжезовская и другие, а за рубежом : Финней, Халь, Парке, Вилиамс и другие.

Исследованиями было установлено, что в период уборки применяемые конструкции машин повреждают около 43% клубней. При этом около половины повреждений приходится на картофелеуборочный комбайн. В то же время при транспортировке и закладке на хранение также повреждается значительное количество клубней. Механические повреждения клубней приводят к значительным потерям клубней при хранении (до 20%), к таким выводам пришли: И.Л.Волкинд, А.С.Лобанова, Ю.В.Волосов, В.П.Жиглевич, М.А.Мосин, П.Ф.Сокол, Burton, Hine, Nilson. Проблемы уменьшения механических повреждений клубней картофеля занимались : Е.А.Глухих, Г.Д.Петров, С.А.Герасимов, О.А.Сафразбекян, Н.И.Верещагин и другие.

Механические повреждения клубней картофеля классифицируются многими исследователями по разному. Так, некоторые исследователи разделяют повреждения на слабые, средние и сильные в зависимости от площади потемневшей мякоти или подразделяют на срезы, царапины, сдавливания не учитывая внутренних повреждений. Например, М.А.Мосин и В.А.Толопилов [59] в НИИКХ различали 10 видов повреждений клубней и при том только внешних. Семикин В.Т. [66] разделял повреждения только на две группы: с ободранной кожурой

и с поврежденной и потемневшей мякотью. Леппак [101] разделяет механические повреждения на три группы:

- 1 - вызываемые ударами или давлением при уборке и транспортировке;
- 2 - черные пятна, появляющиеся в глубине мякоти как результат старения и высыхания клубней;
- 3 - изменения клубней при хранении под давлением верхних слоев картофеля.

А. О. А. Сафразбеян [65] разделял механические повреждения на шесть видов наружных и один вид внутренних повреждений:

- 1 - содранная кожура с 1/4 по 1/2 поверхности;
- 2 - содранная кожура со свыше 1/2 поверхности;
- 3 - вырывы мякоти на глубину более 5 мм;
- 4 - трещины на поверхности длиной более 5 мм;
- 5 - разрывы и надрезы;
- 6 - раздавленные клубни;
- 7 - потемнения мякоти от удара на глубину более 5 мм.

Следовательно, можно отметить, отсутствие единой классификации повреждений способствует расхождению в результатах исследований при проведении экспериментов, так как различны сами оценки повреждений клубней.

Повреждаемость клубней картофеля при механизированной уборке зависит от многих факторов. Это, прежде всего, конструкция картофелеуборочных машин, материал, из которого изготовлены рабочие органы машин и режимы работы. Не последнюю роль играют физико-механические свойства клубней, зависящие, в свою очередь, от сорта, агротехники возделывания, структуры почвы, климатических условий. Так, по результатам исследований, оптимальная температура для уборки должна быть от 10 до 16 °С [114]. Снижение температуры на каждый градус ниже 10 °С дает прирост повреждений на 10% [87,105,113,115]. Резкое увеличение повреждений клубней при

температуре ниже 4 °С обусловлено повышением содержания сахара в клетках, вследствие чего они становятся менее эластичными.

Как показали исследования [95], изменения механической повреждаемости клубней обусловленные факторами среды составляют от 20 до 22%, а обусловленные влиянием сорта - от 52 до 56%. Таким образом, генотип имеет большее значение для устойчивости к механическим повреждениям, чем факторы окружающей среды.

Устойчивость клубней картофеля к механическим повреждениям в зависимости от сорта изучалась многими исследователями. Так, Мунцерт и Гунниус [107], изучавшие в течение двенадцати лет 133 сорта, пришли к выводу, что особенно восприимчива к повреждениям группа средне - поздних. Аналогично в нашей стране, в 1983 году [44], оценивалась повреждаемость двенадцати сортов различных групп спелости на Дмитровском сортоучастке, где было установлено, что наибольшее количество поврежденных клубней в группе позднеспелых, а наименьшее - в группе раннеспелых. Исследованиями Митруса [105] также установлено, что повреждения клубней в значительной мере (до 40%) зависят от сорта. Подобным исследованиям посвящены работы [58,13,83,85,87].

В настоящее время наиболее пригодными для механизированной уборки являются сорта, обладающие такими свойствами, как быстрый первоначальный рост, быстрое и одновременное увядание ботвы, компактное расположение клубней и легкое отделение их от столонов. Большую роль играет форма самих клубней, более предпочтительна округло - овальная. Размер клубней также имеет значение, так как крупные клубни повреждаются сильнее, чем мелкие. Таким образом, сортовые особенности имеют большое значение в уменьшении повреждаемости клубней при уборке, а следовательно и в уменьшении потерь при длительном хранении, то есть назрела необходимость в выведении сортов, пригодных к механизированному возделыванию и

уборке. При этом важную роль играет применение наиболее достоверной оценки устойчивости клубней к механическим повреждениям и притом на более ранних стадиях выведения.

Оценка истинной устойчивости, как считают селекционеры [64], возможна только при проведении обычной уборки (стандартные уборочные машины и операции) с использованием большой партии клубней. Однако такие опыты нельзя проводить с молодыми селекционными линиями, когда число клубней ограничено. Поэтому для выявления отдельных факторов устойчивости к механическим повреждениям были разработаны методы оценки небольших партий клубней.

Так, например, В.И.Табачук [70] определял коэффициент восстановления свежевыкопанных клубней, пользуясь маятниковым копром. Он определил, что коэффициент восстановления при ударе у сорта "Калев" 0,55, у сорта "Берлихинген" - 0,6, а у сорта "Лорх" - 0,63. В.С.Митрофанов [57] определял величину разрушающего усилия при статическом сжатии и пришел к выводу, что она зависит от размера клубней и степени их зрелости. В лаборатории агрофизики ВИСХОМ изучали зависимость прочности от скорости приложения нагрузки [15].

А.А.Герасимов и О.А.Сафразбекян [22] применяли методику оценки повреждаемости на приборе динамической прочности ( ПДП ), которая может быть пригодна на ранних этапах селекции. Удовлетворительные результаты были получены в подобных экспериментах со сбрасыванием с определенной высоты стальных цилиндров с клубнями [116, 79, 98 ].

П.В.Демирчиев [30] определял такие показатели, характеризующие устойчивость клубней к механическим повреждениям, как коэффициент трения, прочность кожуры, прочность мякоти, упругие свойства.

В.Н.Кирсановой и В.П.Кайданом [39] был предложен специальный прибор для динамического исследования клубней.

В Английском институте механизации сельского хозяйства [118] применяют немецкий прибор пенетрометр. При этом об устойчивости судят по усилию, необходимому для проникновения иглы пенетрометра в клубень. Устойчивость считается тем ниже, чем меньше усилие для проникновения иглы в верхний слой клубня. Однако измерения пенетрометром, как считают другие исследователи [104,99,84], необоснованны при определении устойчивости мякоти к повреждениям. В Английском национальном институте сельскохозяйственной техники применяют прибор для определения устойчивости кожуры к царапинам и два прибора для определения устойчивости мякоти к повреждениям при ударе.

В США применяют прибор, определяющий устойчивость кожуры к царапинам [31].

В Чехословакии и Польше для лабораторной оценки сортов применяют пенетрометр.

В ФРГ наряду со всевозможными приборами по исследованию чувствительности клубней картофеля к механическим повреждениям была разработана установка барабанного типа [89]. Но в данном случае не удалось получить удовлетворительных результатов относительно устойчивости клубней к повреждениям. В то же время некоторые исследователи [117] считают этот метод вполне приемлемым хотя бы для разделения генотипов со стабильной и нестабильной реакцией на изменения окружающей среды. Степень устойчивости они оценивали по количеству крахмала, вымываемого из поврежденных клубней.

Галл [90] предложил для оценки устойчивости к повреждениям на ранних этапах селекционного процесса метод маятника. Но по мнению Фукса [89] маятник не дает убедительных результатов. В то же время Вебер [117] считает этот метод пригодным для ранних отборов. Грант и Ньюджес [91] усовершенствовали аппаратуру Галла, соединив ее с

микрокомпьютером, что позволило измерять поглощенную энергию и оценивать устойчивость к повреждениям исходя из устойчивости клеточной стенки к разрыву. Измерение энергии можно также проводить с помощью метода продавливания мякоти клубня через перфорированную пластинку [102].

Мейнл [104] применял два устройства для измерения упругости при вращении образца с целью оценки взаимосвязи эластичности и массы клубня. Создан также прибор, который с помощью спектральной дефектоскопии клубней позволяет дифференцировать одиннадцать типов повреждений, включая поражение паразитами.

Литовские специалисты для определения устойчивости пользуются приборами ОПТ-10, с помощью которого определяют усилие к продавливанию [5].

В Эстонии, для этих целей используется ударный маятник Галла и изготовлена опытная барабанная установка по типу ФРГ [67, 68].

В лаборатории механизации и уборки ЦНИИМЭСХ была разработана специальная установка для определения чувствительности клубней к ударному воздействию при прямом центральном ударе [8,9].

Таким образом, можно отметить, что существует довольно много разнообразных методов и средств для изучения физико-механических свойств клубней. В Советском Союзе в довоенный период и в первые послевоенные годы исследованиями физико-механических свойств клубней картофеля занимались М.Е.Мацепуро, В.С.Митрофанов, Е.А.Глухих, В.Н.Табачук, С.А.Комарова и другие. В последующие годы проводились исследования на более высоком уровне. Из них следует отметить исследования А.И.Бжезовской [10,8], Н.И. Верещагина [17], А.И.Вольникова и В.М.Годухина [27], В.Г.Гагаулиной, [20], А.А.Герасимова [22], С.К.Головицына [28], В.Ионелюнаса [36], С.А.Каспаровой [38], Н.Н.Колчина и В.П.Васеничева [42],

Р.М.Махароблидзе [51]. Некоторые из этих исследователей остановились на разработке простых и удобных в эксплуатации приборов, а другие применяли относительно сложные установки, преимущественно для динамических исследований с применением тензометрии, скоростной киносъемки, электроизмерительной и другой аппаратуры. Однако все вышеперечисленные методы и средства направлены на определение отдельных факторов устойчивости и их невозможно применять для оценки реальной устойчивости клубней к механическим повреждениям при уборке картофелеуборочными машинами.

В настоящее время в России оценка устойчивости селекционного картофеля к механическим повреждениям проводится по методике [56], включающей в себя: на первом этапе селекционного процесса – лабораторный метод оценки повреждаемости на приборе ПДП, а на последнем – механизированную уборку в поле с помощью "комбайнового теста". Но эта методика имеет ряд существенных недостатков. Это, прежде всего, невозможность применять "комбайновый тест" непосредственно в ходе селекционного процесса, а только на последнем его этапе, перед передачей сорта на государственные испытания (точнее при основном и конкурсном сортоиспытаниях). А метод оценки повреждаемости на приборе ПДП дает возможность оценивать устойчивость только к одному из основных видов механических повреждений - потемнению мякоти.

В связи с этим, возникает необходимость совершенствовать существующую методику оценки устойчивости к механическим повреждениям. Требуется применение такой методики, которая позволила бы оценивать селекционный материал на ранних стадиях выведения (при наличии небольшого количества клубней), а также характеризовало устойчивость по отношению ко всем видам механических повреждений, имеющих место при обычной комбайновой уборке.

## 1.2. Постановка задачи.

Одной из главных причин, сдерживающих широкое применение комплексной механизации уборки картофеля в настоящее время, является повреждение клубней. Механические повреждения клубней обуславливают низкую производительность картофелеуборочных комбайнов, а в отдельных случаях делают комбайновую уборку невозможной. Механические повреждения клубней картофеля, как отмечалось выше, зависят от целого ряда факторов: сортовых особенностей, времени начала массовой уборки картофеля и биологической зрелости клубней, физико - механических свойств почвы, уровня агротехники, конструкции уборочных машин и т.д.

Вообще, устойчивость к механическим повреждениям контролируется целым рядом физических факторов и кроме того, влияние каждого из них у разных сортов разное. Это говорит о наличии сортотипичной структуры комплекса, ответственного за конечную общую устойчивость. Поскольку главный фактор устойчивости выбранной родительской формы, как правило, выяснен не до конца, вести направленную селекцию очень трудно. Но некоторые исследователи, в частности Умаерус [116], пришли к выводу, что реакция сорта картофеля меняется в зависимости от метода испытания их устойчивости. Поэтому напрашивается вывод, что для выявления истинной устойчивости необходимо проводить испытания методами наиболее близкими к воспроизведению реальных условий механизированной уборки, то есть воспроизведению тех видов, характера и параметров нагрузок на клубни, которые имеют место при прохождении клубней по рабочим органам картофелеуборочных комбайнов. А поскольку все картофелеуборочные комбайны в настоящий момент имеют в основном однотипные рабочие органы, то остановимся на рассмотрении самых распространенных сейчас комбайнах типа ККУ-2А.



В 1970-1972 годах в НИИКХ совместно с ГСКПТТБ г.Рязани были проведены исследования повреждаемости клубней отдельными рабочими органам комбайна ККУ-2А. Исследования проводились в Рязанской и Московской областях. В каждом из опытов определение повреждений клубней проводились путем отбора проб на остановках комбайна с каждого рабочего органа последовательно. Клубни отбирались небольшими партиями по 8 - 10 штук после каждой остановки. Регулировки комбайна в процессе отбора не проводились. Недостатком данного способа явилось невозможность взятия проб непосредственно после схода клубней с ряда рабочих органов (например, с баллонов-комкодавителей). Исследования показали, что процент повреждений клубней во всех опытах намного превышал допустимые агротребованиями пределы. Оказалось, что большое количество повреждений (69,4%) приходится на внутренние повреждения (потемнения мякоти) глубиной до 5мм (рис. 1.1) [23].

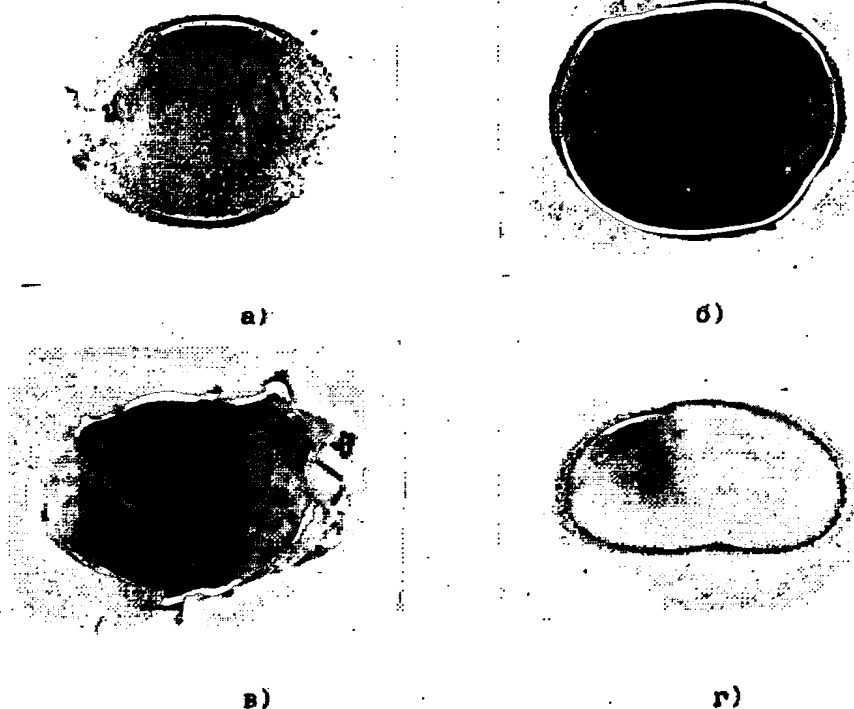


Рис. 1.1. Виды механических повреждений клубней картофеля.  
а) трещины ; б) вырывы ; в) обдир кожуры ; г) потемнение мякоти.

Кроме того, эти исследования подтверждают, что при ранней уборке невызревшие клубни более подвержены обдиру кожурой, но в то же время мякоть клубней более упруга и менее подвержена трещинам и потемнениям. При температуре 0°C в почве картофель был очень предрасположен к повреждениям, особенно к образованию трещин и внутренних повреждений мякоти. Это согласуется с данными других исследователей [87,105,113], свидетельствующими о том, что при понижении температуры повреждения при уборке машинами увеличиваются. Выяснилось также, что при условиях повышенной влажности, когда рабочие органы комбайна покрыты слоем налипшей почвы, играющей роль буфера, повреждения клубней снижаются до минимума. Из анализа данных исследований следует вывод, что такие повреждения, как потемнения мякоти возникают прежде всего в результате перепадов с одного рабочего органа на другой. Так, наибольший процент повреждений (до 12%) [23] дает перепад с загрузочного транспортера в приемный бункер, то есть там, где имеет место наибольшая высота падения и почти нет почвы.

Как выяснилось, при уборке повреждается в среднем 40% клубней по массе [23]. Если принять общее количество повреждений за 100%, то из этого следует, что только на перепадах повреждается 67,5%, а на перепадах и сепарирующих органах вместе повреждается уже 95% клубней (рис. 1.2) [35].

Следовательно, можно сделать вывод, что устройство для оценки повреждаемости клубней картофелеуборочными комбайнами должно прежде всего имитировать перепад с одного рабочего органа на другой, а также воздействие на клубни сепарирующих рабочих органов.

В настоящее время многие хозяйства выращивают картофель по интенсивной технологии. При этом особое значение приобретает внедрение новых сортов картофеля с комплексной устойчивостью

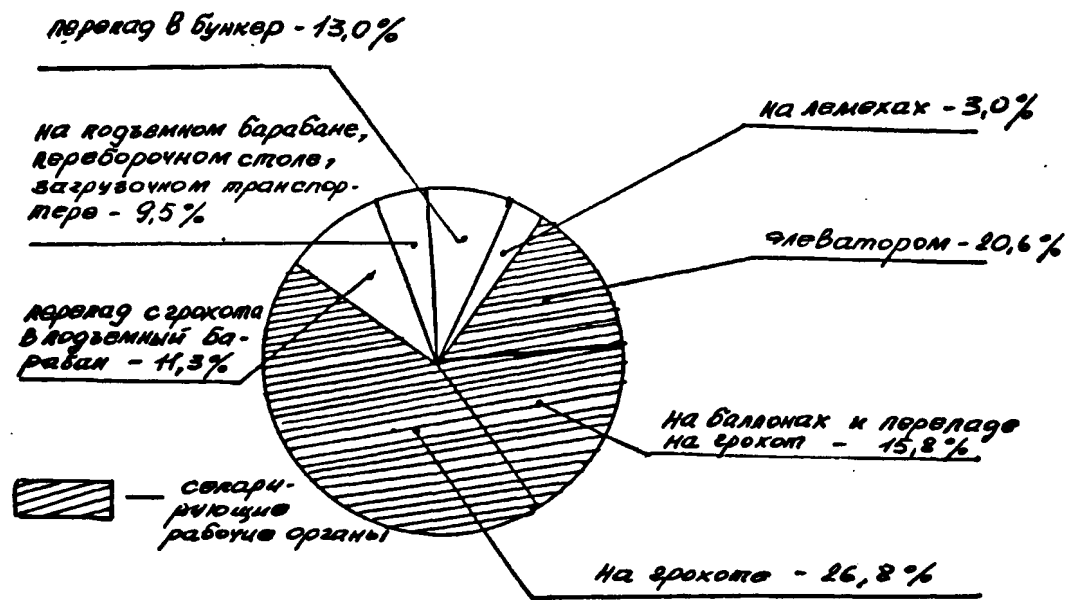


Рис.1.2. Повреждаемость клубней картофеля рабочими органами картофелеуборочного комбайна (% от общего количества повреждений по весу)

к основным болезням и вредителям, пригодных к механизированному возделыванию и длительному хранению. Следует иметь в виду, что применение технологии, разработанной для определенного сорта и зоны, на других сортах и в других почвенно-климатических условиях не дает положительных результатов. В связи с этим в условиях современного ведения хозяйства, особое значение приобретают разработка и использование в практике колхозов и общественных хозяйств, а также фермерских хозяйств приемов возделывания рассчитанных на конкретный сорт или группу сортов [61].

Перед селекционерами поставлена задача создать интенсивные сорта картофеля с различными сроками созревания, отвечающих требованиям зон и механизированной технологии возделывания и уборки.

Для успешного ускоренного выведения новых сортов картофеля, пригодных для механизированного возделывания и уборки необходимо

применять специальную методику оценки устойчивости к механическим повреждениям небольших партий клубней.

Настоящая работа посвящена теоретическим и экспериментальным исследованиям процесса повреждения клубней при механизированном возделывании картофеля с целью:

1. обеспечить разработку технических средств для оценки устойчивости к механическим повреждениям как селекционного материала, так и картофеля в условиях производства;

2. разработать методы инженерных расчетов процессов взаимодействия рабочих органов сельскохозяйственных машин с клубнями картофеля.

В соответствии с поставленной целью, задачами настоящей работы являются:

- теоретические исследования с целью выявления основных механических свойств, определяющих устойчивость клубня к механическим повреждениям;
- теоретические исследования влияния параметров ударных процессов на повреждаемость клубней картофеля;
- анализ существующих технических средств для оценки механических повреждений клубней и выбор принципиальной схемы устройства, позволяющего в лабораторных условиях вести оценку механической прочности клубней картофеля;
- разработка установки для оценки устойчивости мякоти клубней к механическим повреждениям на первых этапах селекционного процесса;
- разработка методики расчета параметров рабочих органов, обеспечивающих сохранность клубней картофеля.
- определение эффективности применения предложенных технических средств на примере оценки устойчивости клубней селекционного картофеля.

## Глава 2 . ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ .

### 2.1. Виды повреждений клубней картофеля.

В настоящее время все большее внимание уделяется проблеме повреждения клубней, от которой зависит сохранность картофеля во время зимнего хранения. Различают механические повреждения и повреждения, вызываемые болезнями и вредителями. Потери урожая, причиняемые болезнями в картофелеводстве, составляют ежегодно 22% [64]. Картофель поражается многими грибными, бактериальными, вирусными, вириодальными, микоплазменными и нематодными заболеваниями. Кроме этого, существует группа непатогенных функциональных болезней, вызываемых неблагоприятными факторами внешней среды.

Из всех болезней наибольшей вредоносностью отличаются грибные заболевания, такие как фитофтороз, альтернариоз, ризоктониоз, сухая и фомозная гнили клубней, парша обыкновенная, парша серебристая, рак картофеля.

Из бактериальных заболеваний широко распространены и вредоносны: черная ножка, кольцевая гниль и мокрые гнили клубней.

К инфекционным заболеваниям относят также вирусные болезни, которые носят характер разнообразных мозаик, деформации, хлороза, угнетения роста, отмирания отдельных частей растения или участков тканей.

Заболевания картофеля вызывают нематоды, из которых наиболее распространены и вредоносны стеблевая (дитиленхоз), картофельная золотистая (глободероз, гетеродероз) и галловая (мелаидогиноз).

Функциональные болезни отмечаются при нарушениях в сбалансированном питании растений (признаки недостатка или избытка азота, калия, фосфора и микроэлементов); высоких температурах (израстание клубней, ложный рак), недостатке кислорода в почве или в период хранения (удушение клубней и разрастание чечевичек клубня), пониженных и отрицательных температурах (переохлаждение и подмораживание клубней); нарушениях в нормальном метаболизме тканей (деформирующая желтуха, нитевидность ростков, железистая пятнистость, потемнение мякоти, дуплистость клубней, детки и другие); загрязнении воздуха (различные пятнистости листьев) и т.д.

Однако из всего этого многообразия повреждений наиболее важное значение имеют механические повреждения клубней. Поскольку такие организмы, как грибки и бактерии, не могут проникнуть через неповрежденную кожуру и получают доступ в ткани клубня только при механических повреждениях. Поэтому инфекция зависит от наличия механических повреждений, а устойчивость к последним обеспечивает защиту клубней от болезней. Лангерфельд [100] даже считает, что в селекции данный фактор имеет большее значение, чем устойчивость к патогенам. Адамс М.Дж. также отмечал, что число, тип и сила механических повреждений, как мест внедрения грибков, в значительной мере определяют степень вредоносности болезни.

Кроме того, механические повреждения приводят к дополнительным потерям в виде повышенных отходов при использовании картофеля в столовых целях. К тому же картофель с механическими повреждениями очень быстро теряет в весе за счет усиленного испарения с поврежденной поверхности и быстрого дыхания. По некоторым данным [113], потери веса после 4-х месяцев хранения составляют: у порезанного картофеля - до 15%, с повреждением мякоти - до 12%, а у неповрежденного картофеля - до 7-10 %. Механические повреждения можно разделить на две группы: внешние

(поверхностные) и внутренние. К внешним повреждениям относятся повреждения, которые можно определить внешним осмотром. Это - обдир кожуры, царапины, трещины, вмятины, вырывы, порезы, раздавленные клубни и т.д. Внутренние повреждения: потемнения мякоти, внутренние трещины, повреждения сосудистых пучков.

На рисунке (рис. 2.1) приведены некоторые примеры видов механических повреждений клубней картофеля [23].

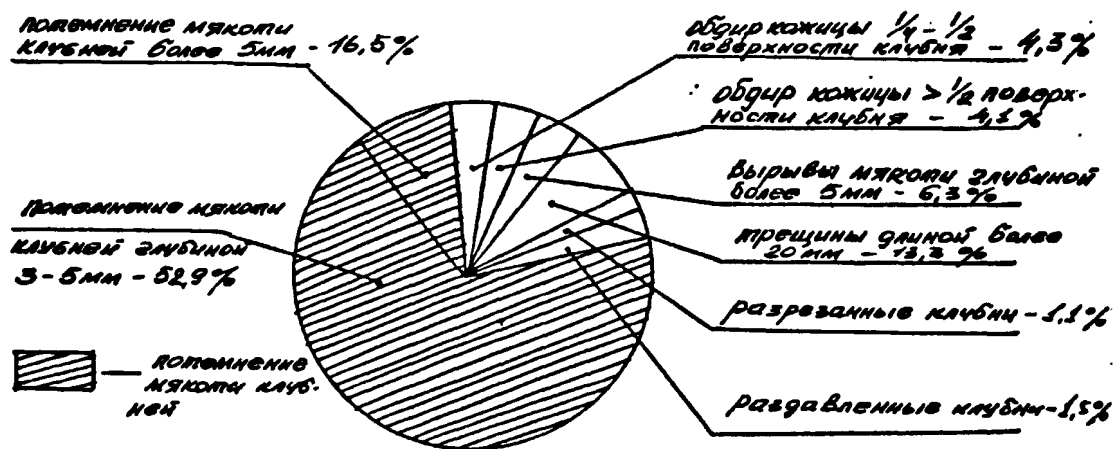


Рис. 2.1. Структура повреждений (в % от общего количества повреждений)

Разрезы и порезы клубней при уборке вызываются в основном неправильной регулировкой глубины лемеха.

Обдир кожуры возникает при скольжении клубней по поверхности рабочих органов при наличии относительно высокого коэффициента трения.

Такие повреждения, как вмятины, раздавливания, трещины, вырывы возникают от давления на клубни при статических нагрузках.

Но наибольшее количество повреждений таких серьезных, как трещины, вмятины, повреждения сосудистых пучков, потемнения мякоти вызываются исключительно динамическими нагрузками - соударениями клубней с рабочими органами.

Из внутренних повреждений наиболее распространенными, как мы уже отмечали в предыдущей главе, являются потемнения мякоти. С точки зрения химии изменения цвета мякоти клубня (потемнение) вызывается гидролизом ферментов и окислением аминокислоты тирозина и другим фенольных соединений [106]. Различия между сортами картофеля по устойчивости к потемнению мякоти велика [92], причем около 40% изменчивости определяется генетически [78]. Наиболее восприимчивы к потемнениям мякоти поздние сорта и, кроме того, крупноклубневые с высоким содержанием сухих веществ [82, 86]. На потемнения мякоти влияют также структура и химический состав клубней, факторы окружающей среды. Баумгартнер [82], изучая устойчивость к потемнениям мякоти и стабильность этого признака в разные годы и в разных местностях, выявил, что наиболее устойчивые сорта одновременно были самыми стабильными по этому признаку.

## 2.2 Особенности клеточного строения клубня

В природе все живое состоит из клеток. Мякоть клубней картофеля также имеет клеточное строение, причем растительные клетки имеют довольно жесткие стенки. Клеточные стенки - оболочки бывают толщиной от десятых долей микрона до десятков микронов и состоят в основном из целлюлозы. Целлюлоза, как и вообще клеточная оболочка в целом обладает упругими свойствами, которые можно выразить модулем упругости. Модуль упругости для чистой целлюлозы равен примерно  $10^4$  МПа. Но в клеточную оболочку помимо целлюлозы входят и другие компоненты, поэтому модуль упругости у нее ниже и составляет примерно около  $7 \cdot 10^2$  МПа.

Внутри клетки существует определенное гидростатическое давление, называемое тургорным. Из-за этого давления в клеточной



оболочке возникают напряжения, которые зависят от физиологического состояния растений. Но при этих довольно больших напряжениях и давлениях относительная деформация оболочки не велика (порядка нескольких процентов). Из этого следует, что оболочка растительных клеток довольно прочная и хорошо приспособлена в условиях нагружения сохранять размеры клеток.

Вообще сопротивление клеток деформированию и разрушению зависит от сложных процессов, протекающих внутри мякоти клубней, что в свою очередь зависит от физического состояния клубня, вида и режима механического нагружения, условий испытания, среды и т.д.

Вопросы определения прочности мякоти клубней в инженерном понимании сводятся к расчету факторов, определяющих появление предельных напряженных или деформированных состояний, при которых наступает частичное разрушение или разрушение клубня в целом.

Существуют различные теории прочности: теория дислокаций [110], теория трещин [98], статистическая теория прочности [3], но все они практически неприемлемы для расчетов, так как результаты прочностных расчетов в значительной степени зависят от принятой теории прочности.

В настоящее время оценку прочности производят при использовании той или иной, чисто феноменологической теории, основанной на методах механики сплошной среды. Применение таких теорий прочности требует значительно меньше информации о материале, чем микроскопические или атомистические теории и формулируются удобными для практического применения критериями.

Деформируемое тело в механике сплошных сред рассматривается как сплошная среда с непрерывным распределением вещества. Предполагается, что частицы тела обладают одинаковыми свойствами. Однако такой подход к строению и свойствам тел, в частности, клубней,

не соответствует действительности, так как в природе все является неоднородным в микроскопическом смысле. Неоднородность объясняется клеточным строением материала, местными нарушениями постоянства химического состава, наличием инородных примесей, микротрещин и другими дефектами, влияющими на местные возмущения поля напряжений. Но в силу статистических законов относительные перемещения точек реального тела можно считать практически совпадающими с перемещениями соответствующих точек однородной модели. Чем меньше относительные размеры дефектов, тем больше оснований считать приемлемыми методы механики сплошной среды, оперирующей с усредненными характеристиками механических свойств материала.

Вопрос о возможности замены реальной среды идеальной при решении задач механики методами теории упругости, был поставлен и решен профессором Ф.С.Ясинским в 1897 г. [77]. При этом он показал, что причина возможной ошибки зависит от размеров тела и степени неоднородности свойств микрообъектов материала, согласно его концепции, реальную среду можно считать идеальной (в смысле применимости уравнений теории упругости), если сохраняется неравенство:

$$\frac{L}{\tau} \geq a^2 \quad (2.1)$$

где  $L$  – некоторая выбранная для сравнения конечная длина одного порядка с размерами рассматриваемого тела;

$\tau$  - длина одного порядка с размерами элемента, сохраняющего характерные для тела физические свойства

$a$  - достаточно большое число, выбранное с таким расчетом, чтобы при принятой степени точности величиной  $1/a$  можно было пренебречь по сравнению с единицей.

Было, например, показано, что проволока из специальной стали с

ясно выраженной зернистостью имеет по длине достаточно одинаковые механические свойства при наличии в поперечном сечении более 30 зерен. Есть и другие попытки оценить погрешность результатов, подтверждающие практическую пригодность гипотез сплошности и однородности [7]. ✓

Из постулата однородности следует гипотеза изотропности. Чем более однороден материал, тем ближе он к изотропному телу, обладающему одинаковыми свойствами в любом направлении. В действительности изотропны только аморфные тела, сельскохозяйственные продукты, как растительные материалы вообще обладают в большей или меньшей степени волокнистостью и, следовательно, неоднородны по строению. Но это относится в основном к стеблям и листьям. Что же касается таких продуктов, как клубни, то решая задачи, например, контактной прочности, особенностями клеточного строения можно пренебречь, считая их изотропными [32].

Растительным тканям свойственны также явления ползучести и релаксации, то есть непрерывно (сравнительно медленно) растущая во времени деформация тканей под действием постоянных по величине сил или напряжений, а также уменьшение напряжений в результате постепенного нарастания пластической деформации за счет упругой, при постоянной величине общей деформации. Это свидетельствует о том, что деформация при одних и тех же нагрузках зависит от скорости приложения нагрузки. То есть, чем медленнее возрастание нагрузки, тем меньше величина разрушающего усилия.

Для растительных тканей характерно также то, что если, например, у многих металлов отношение остаточных деформаций к упругим увеличивается по мере возрастания нагрузки, то для растительных тканей оно изменяется в меньшей мере, вплоть до разрушения тканей. Отсюда отсутствие предела упругости, если, например, для стеблей предел пропорциональности и временное сопротивление

настолько близки друг другу, что разница между ними не всегда может быть установлена, то для клубней предела пропорциональности вообще не существует и можно говорить лишь о временном сопротивлении мякоти напряжению сжатия. Следовательно, при анализе условий разрушения тканей можно, с достаточной достоверностью, пользоваться законом Гука лишь когда скорость деформации велика, то есть, например, при ударном взаимодействии клубней при уборке картофеля уборочными машинами.

В связи с тем, что нагрузка при деформации воспринимается мякотью клубня, а кожура лишь распределяет ее на большую площадь, все прочностные, упругие и пластические свойства клубня можно изучать, исследуя процесс деформации мякоти.

### 2.3. Влияние параметров ударных процессов на повреждаемость клубней картофеля.

Как уже отмечалось выше, в процессе машинной уборки, в частности, комбайном, основную долю в повреждаемости клубней занимают перепады и воздействие сепарирующих рабочих органов, то есть ударные нагрузки на клубни. Н.И.Верещагин [18] также отмечает, что от борозды до бункера комбайна клубень за отрезок времени от 14 до 33 секунд воспринимает от 4 до 7 статических (сжимающих) и от 53 до 84 динамических (ударных) нагрузок. Поэтому исследования процесса соударения клубня с другими телами позволяет раскрыть механизм его повреждения.

Так, в клубне при ударе, как показывает В.Г.Гагаулина [20] возникают волны, содержащие две компоненты: вертикальную, распространяющуюся вглубь клубня в виде волны сжатия и горизонтальную, распространяющуюся по поверхности клубня во все

стороны от контактной площадки в виде волны расширения. Вертикальная компонента волны сжатия, хотя и быстро затухает, вызывает разрушения мякоти клубня, что подтверждается микроструктурным анализом срезов. Горизонтальная же составляющая волны распространяется только по внешнему слою клубня, что объясняется разной плотностью наружных слоев клубня и сердцевины. В результате удара возникает сложное поле давлений, изменяющееся не только от точки к точке, но и в каждой точке со временем. К тому же поле напряжений еще усложняется из-за отражения волны сжатия от граничных поверхностей, которыми являются наружные оболочки, сосудистые пучки, границы (стенки) клеток и крахмальных зерен. Когда все волны накладываются друг на друга, это вызывает микроструктурные изменения, то есть возникают пластические волны, действие которых можно наблюдать и анализировать [12, 21].

А.И.Бжезовская [11] для описания процессов, происходящих в клубне, использует в качестве модели упругий однородный стержень и отмечает, что при больших скоростях соударения колебания не успевают распространиться по всему клубню и часть клубня, до которой не дошла волна, ведет себя как твердое тело.

Для оценки устойчивости клубней картофеля к механическим повреждениям при механизированной уборке необходимо применять методы испытаний, воспроизводящие условия удара, имеющие место в машине (комбайне).

#### 2.4. Зависимость механических повреждений клубней от конструкции, формы, покрытия и режимов работы рабочих органов картофелеуборочных комбайнов.

Как мы уже отмечали выше, механические повреждения клубней

зависят от многих факторов, в том числе существенную роль играют такие, как форма конструкции, материал покрытия и режимы работы рабочих органов картофелеуборочных машин.

Многие исследователи указывали на большую зависимость механических повреждений клубней от конструкции и формы рабочих органов. Так, например, М.Т.Ткачев [72] показал, что лопастной элеватор в 2,65 - 6,53 раза производительнее пруткового элеватора при одинаковой повреждаемости клубней. Г.П.Солодужин [69] исследовал роторный сепарирующий рабочий орган и отметил, что при хорошем крошении почвенного пласта повреждения клубней здесь наименьшие (4-5%). П.К.Белевич [7] указывал, что применение ротационных рабочих органов (битеров) также позволит снизить повреждаемость клубней картофеля при уборке. П.Т.Туксс [73] отмечает, что картофелекопатели швыряльного типа гораздо меньше повреждают клубни, чем картофелекопатели с элеваторами. А.И.Бжезовская [11] также склоняется к выводу, что ротационные рабочие органы: прутковые роторы, ротационные сепараторы, битерные сепараторы и другие по характеру динамического воздействий на клубни отличаются от элеваторов и грохотов, что позволяет создавать более высокие скорости соударения, необходимые для разрушения почвенных комков при допустимых повреждениях клубней. А.И.Бжезовская кроме того отмечает, что и в случае пруткового элеватора при изменении диаметра прутков изменяется степень механических повреждений клубней. Так, объем поврежденной при ударе ткани увеличивается с уменьшением диаметра прутка до определенного значения скорости соударения, после которого зависимость меняет свой характер на противоположный: чем меньше диаметр прутка, тем меньше величина повреждения. Таким образом, конструкция и форма рабочих органов оказывают значительное влияние на степень механических повреждений клубней.

Материал покрытий рабочих органов также оказывает влияние на степень повреждения клубней. Так, резиновое покрытие металлических прутков элеваторов в случае прямых ударов значительно смягчает удар и уменьшает механические повреждения клубней [6], а в случае скользящих ударов наоборот увеличивает повреждения кожуры клубней [93]. А.И.Бжезовская [11] применяла покрытие обрезиненных прутков и полых резиновых элементов пленкой фторопласта толщиной 0,55 мм. Такое покрытие показало полное преимущество при скользящем ударе и почти не уступало обрезиниванию при прямом ударе.

Режимы работы рабочих органов также оказывают огромное влияние на степень механических повреждений клубней при прочих равных условиях. В этом случае основное внимание надо уделять скорости соударения клубня с рабочим органом, так как скорость соударения зависит не только от высоты падения клубня, но и от скорости самих рабочих органов. Так, например, если при падении клубня на прутковый элеватор с высоты 0,25 м (скорость клубня будет 2,2 м/с) вертикальная составляющая элеватора будет 0,7 м/с, то скорость соударения клубня с колеблющимся полотном элеватора составит уже 2,9 м/с [11]. А так как многие исследователи указывали на первостепенное значение скорости соударения, то режимы работы рабочих органов также выдвигаются на первый план по влиянию на степень механических повреждений клубней картофеля при уборке машинами.

## 2.5. Сортовые особенности и их влияние на устойчивость клубней к механическим повреждениям.

В связи с постоянным улучшением конструкций картофелеуборочной техники и совершенствованием методов уборки, влияние сортовых особенностей на повреждаемость клубней картофеля приоб-

ретают все более важное значение. Вообще зависимость устойчивости к механическим повреждениям от сортовых особенностей гораздо выше, чем, например, зависимость от факторов среды и составляет 52-56% против 20 - 22% [95].

Сортовые особенности у картофеля довольно разнообразны. Это, во-первых, различия по скороспелости: ранние, среднеранние, средне-спелые, среднепоздние и позднеспелые сорта. Среди этих групп скороспелости особенно восприимчива к повреждениям группа среднепоздних [107]. Различают также многостебельные и малостебельные сорта, со слабой облиственностью и с сильной. По форме куста различают сорта компактной формы, раскидистые и полураскидистые. В данном случае устойчивость клубней к механическим повреждениям при уборке будет выше при быстром первоначальном росте, быстром и одновременном увядании ботвы, а также при компактном, расположении клубней и компактной форме куста.

Для снижения механических повреждений при уборке большое значение имеют, конечно, сортовые особенности самих клубней. Важное значение имеет форма клубня, она может быть круглая, удлиненная, овальная, округло - овальная, удлинено - овальная, реповидная, бочковидная и более сложная. Более предпочтительны для механизированной уборки округлая и округло-овальная формы, так как округлые клубни лучше передвигаются по элеватору и меньше повреждаются, по сравнению с удлинено-овальными. Не менее важное значение имеет вес и размеры клубня: более крупные клубни всегда повреждаются сильнее, поэтому предпочтительнее сорта со средним размером клубней. Кроме того, как отмечают некоторые исследователи [26], клубни с высоким удельным весом и высоким содержанием сухого вещества менее чувствительны к потемнению мякоти.

Исследования устойчивости клубней селекционного картофеля в



зависимости от сорта (гибрида) проводились также в Научно-исследовательском институте картофельного хозяйства (НИИКХ) [35]. Устойчивость изучалась на материале отдела селекции из питомника конкурсного испытания ОПХ "Заворово". В данном случае прочность соединения кожуры с мякотью клубней определялась на приборе ПКК-1 (давление на клубень было 35Н, глубина внедрения абразива составляла 0,01 мм). Динамическая прочность клубней исследовалась на приборе ПДК-1. При определении коэффициента восстановления и количества клубней, имеющих внутренние потемнения, ударник массой 500 г с диаметром полушара 20мм сбрасывался с высоты 20 см. Исследованиями было установлено, что в зависимости от сорта картофеля изменяются и прочностные характеристики клубней. Так, например, более высокая прочность соединения кожуры с мякотью была у клубней гибридов 133к,681е и сорта Приекульский ранний, наименьшая - у клубней гибридов 540с/66 и 34с/65. Коэффициент восстановления был более высокий у клубней гибридов 78с/66, 3х-12 и 34с/65, а меньший - у клубней гибридов 13с/65 и 681е. Средняя глубина прокола наименьшей была у клубней гибридов Надежда, 3390 и сорта Лорх, а большей - у гибридов 102с/66 и 42с/65. Менее устойчивы к потемнению мякоти в условиях крайне засушливого года были клубни гибридов 78с/66 и 102с/66, а более устойчивыми – клубни гибридов 3390, 133к и 681 [35]. При проведении же экспериментов по определению повреждаемости клубней при механизированной уборке копателем КСТ 1,4 выявили, что сравнительно устойчивыми к механическим воздействиям были клубни гибридов 133к, 3х-12, 100с/66, 13с/65 и 681е, а больше других повреждались клубни гибридов 4916, 181с/66, 102с/66 и 66с/65 [35]. Выяснилось также, что у клубней неустойчивых к механическим повреждениям преобладали такие сильные виды повреждений, как вырывы глубиной более 5мм и трещины длиной более 20 мм [35].

Таким образом, для снижения механических повреждений клубней при уборке наряду с совершенствованием конструкций уборочных машин приобретает важность задача создания сортов специально предназначенных для механизированной уборки и возделывания. Для решения этой задачи необходимо применять на самых ранних стадиях селекции оценку истинной устойчивости к механическим повреждениям, то есть подвергать селекционный материал механическим воздействиям, близким, к реальным условиям уборки.

## 2.6. Влияние удобрений на прочность клубней картофеля

Физико-механические свойства клубней картофеля, а следовательно и устойчивость их к механическим повреждениям зависят, как уже отмечалось выше, от многих факторов: сорта, сроков уборки, типа почвы и ее состояния, температуры и т.д. То есть важным фактором являются условия произрастания. Одним из этих условий является вид удобрений, применяемых при выращивании картофеля.

Для выявления влияния удобрений на прочность клубней были проведены специальные исследования в НИИКХ [35]. Эксперименты проводили на картофеле, сорта Лорх в ОПХ "Коренево" на связно-песчаной почве при орошении. Удобрения в форме аммиачной селитры, суперфосфата и хлористого калия вносились весной вразброс. После предварительной заделки удобрений дисковой бороной БДТ-2,2 на глубину 10 см поле перепахивалось на глубину 18 - 20 см плугом со снятыми отвалами. Уборка приводилась в середине сентября. Клубни выкапывали копателем КТН - 2Б, собирали вручную и взвешивали отдельно по делянкам.

Выяснилось, что под действием азота, внесенного в дозе 150 кг действующего вещества на 1 га ухудшались прочностные свойства клубней (уменьшались прочность соединения кожуры с мякотью,

коэффициент восстановления, увеличивались глубина прокола и количество клубней с потемнением мякоти) [35]. Действие фосфора в такой же дозе противоположно действию азота: при внесении фосфорных удобрений прочность клубней повышалась. Менее отчетливо проявилось действие калия в дозе 225 кг/га: под влиянием его несколько уменьшилась прочность соединения кожуры с мякотью, коэффициент восстановления и глубина прокола практически изменились незначительно и в то же время резко возростала устойчивость клубней к потемнению мякоти.

Внесение полного минерального удобрения в дозе  $N_{120} P_{120} K_{180}$  по сравнению с неудобренным вариантом несколько увеличивало устойчивость клубней к механическим воздействиям (потемнение мякоти уменьшилось). В связи с увеличением дозы удобрения до  $N_{150} P_{150} K_{250}$  и до  $N_{180} P_{180} K_{270}$  отмечено некоторое ослабление прочности клубней по сравнению с предыдущим вариантом ( $N_{120} P_{120} K_{180}$ ), хотя потемнение мякоти несколько уменьшилось. При увеличении в составе полного минерального удобрения доз азота, фосфора или калия действие этих питательных элементов на физико-механические свойства клубней аналогично их действию, когда они вносятся отдельно (азот ослабляет устойчивость к повреждениям, фосфор - усиливает, калий усиливает по некоторым показателям, а по другим ослабляет) [35].

В некоторой степени прочностные характеристики клубней связаны с содержанием в них крахмала, хотя строго определенной зависимости между этими показателями не проявилось [35].

Таким образом, между устойчивостью клубней к механическим повреждениям и применяемыми удобрениями есть вполне определенная зависимость и, следовательно, при оценке селекционного материала на устойчивость к механическим воздействиям необходимо учитывать вид и дозы внесенных удобрений.

## 2.7. Приборы и методы оценки механической прочности клубней картофеля.

В основу селекции картофеля входит получение гибридных популяций и отбор среди них наиболее продуктивных гибридов с комплексом ценных признаков (обязательных и отдельных дополнительных). К числу обязательных признаков относятся: высокая урожайность; округлая и округло - овальная форма клубней; поверхностные или мелкие глазки; устойчивость к раку; средняя степень устойчивости к фитофторозу, вирусным болезням, бактериальным гнилям и парше; пригодность к механизированной уборке; хорошая лежкость. К дополнительным признакам относятся также: устойчивость к нематоду, высокая устойчивость к вирусам, фитофторозу, жаре, засухе и переувлажнению, повышенное содержание крахмала, белка и другие признаки. Процесс селекции картофеля складывается из трех основных этапов: подбора родительских пар, гибридизации и отбора. После отбора дальнейшее размножение отобранных гибридов осуществляется вегетативно. Схема селекции картофеля представлена в таблице 1.1 [60].

В большинстве научно - исследовательских учреждений принята восьмилетняя схема селекционного процесса, однако последовательность оценок по различным признакам, представленная в таблице 2.1, может меняться в зависимости от направления селекционной работы. Гибриды, особо выделяющиеся по хозяйственно - ценным признакам, с четвертого года испытаний подвергаются отбору в специальных питомниках, а с пятого года вовлекаются в поддерживающую селекцию с целью их более быстрого размножения. В целях ускоренного размножения и оценки в более короткие сроки применяют размножение черенками, отводками и четвертинками клубней. Лучшие гибриды по результатам трехлетнего конкурсного испытания передают

в Госсортсеть. Перечень контролируемых параметров в селекции картофеля представлен в таблице 2.2 [60].

Как мы уже отмечали в первой главе, существует множество приборов и методов для исследований механических характеристик клубней картофеля. Остановимся на рассмотрении некоторых из них. Так, статическую прочность клубней определяют с помощью динамометров, различных конструкций: пружинным динамометром, динамометром - работомером, масляным динамометром и т.д. Определяют также прочность соединения кожуры с мякотью клубней с помощью прибора ПКК-1. Изучение прочности клубней в статических условиях дает значительно меньшее рассеивание точек на диаграммах в сравнении с исследованиями в динамических условиях. Однако исследования в динамических условиях ближе отвечают условиям работы различных картофелеуборочных машин, поэтому большее внимание будем уделять таким приборам.

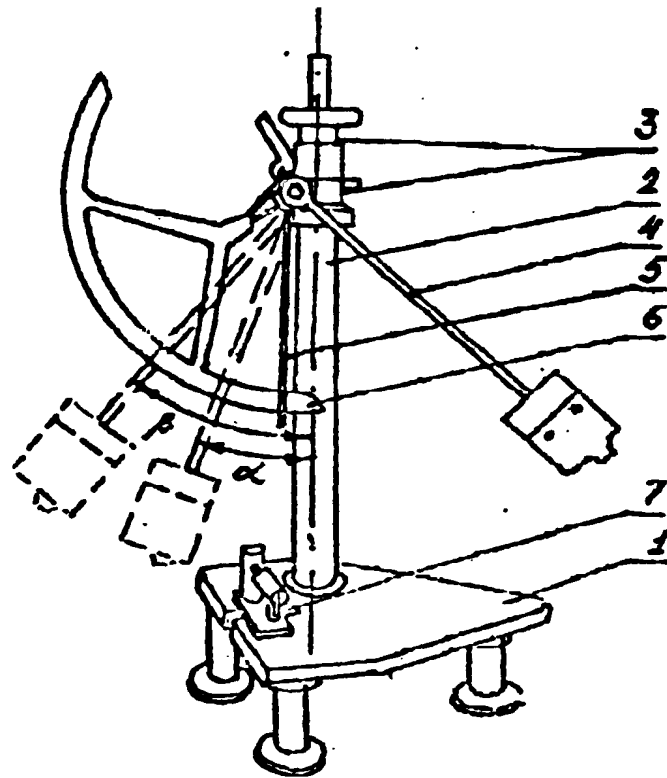


Рис. 2.2. Маятниковый копёр.

Таблица 2.1. Схема селекции картофеля

Признаки, по которым ведется визуальный отбор и оценка гибридов	Питомник	Признаки, по которым ведется отбор с применением лабораторных методов оценки
<p>Подбор исходного материал</p>		
<p>Скрещивание</p>		
<p>Негативный отбор (выбраковка гибридов с явно отрицательными признаками)</p>	<p>Сеянцы (одно растение)</p>	<p>Искусственное заражение сеянцев специально отобранных комбинаций для оценки на устойчивость к фитофторозу, вирусам X и Y</p>
<p>Пораженность вирусами по внешним симптомам, время созревания, компактность гнезда, длина столонов, форма клубней, глубина 'глазков, урожайность, пораженность паршой, устойчивость к фитофторозу</p>	<p>Одноклубневки (одно растение)</p>	<p>Оценка комбинаций по устойчивости к фитофторозу, механические повреждения и другим признакам</p>
<p>Пораженность вирусами по внешним симптомам, устойчивость к фитофторозу (в поле), время созревания, урожайность, Пораженность паршой, бактериальными гнилями и другими болезнями (в поле), склонность к израстанию клубней</p>	<p>Гибриды второй клубневой репродукции ( 10 - 20 растений)</p>	<p>Серологическа проверка на вирусы в скрытой форме , определение крахмала , белка</p>
<p>Пораженность вирусами, фитофторозом и другими болезнями (в поле), урожайность в сравнении со стандартными сортами, оценка на ракоустоиоивость</p>	<p>Предварительное испытание (120 растений)</p>	<p>Оценка полевой устойчивости листьев к фитофторозу путем искусственного заражения суспензией зооспор расы 1.2.3.4. Определение крахмалистости и белковости, вкусовых качеств</p>
<p>Оценка по тем же признакам и экологическое испытание</p>	<p>Основное испытание ( 480 растений )</p>	<p>Оценка полевой устойчивости листьев и клубней к фитофторозу, устойчивость к кольцевой гнили, определение крахмала и белка, дегустация</p>

Продолжение табл. 2.1

Оценка гибридов по тем же признакам и способности к хранению	Конкурсное испытание первого года (800 растений)	Оценка по тем же признакам, лабораторная оценка по устойчивости к механическим повреждениям, к парше, ризоктониозу
Оценка гибридов по тем же признакам	Конкурсное испытание второго года (800 растений)	Оценка по тем же признакам, определение К-генов
Оценка гибридов по тем же признакам, описание гибрида по морфологическим признакам, производственное испытание	Конкурсное испытание третьего года (800 растений)  Испытание в Госсортсети	Повторное определение К-генов, учет лежкости в период зимнего хранения после обычной механизированной уборки

Таблица 2.2. Перечень контролируемых параметров в селекции картофеля

№	Наименование параметров	Един. измерения	Диапазон измерения	Абсолютная погрешность измерения	Частота измерения
Контроль клубней					
1.	Масса	г	5 - 500	1	После уборки
2.	Длина	мм	15 - 220	1	- // -
3.	Ширина	мм	10 - 200	1	- // -
4.	Толщина	мм	5 - 180	1	- // -
5.	Коэффициент формы	мм	1,0 - 1,7	0,1	- // -
6.	Плотность				
7.	Статическая прочность	Н	300 - 1500	10	- // -
8.	Коэффициент упругости	%	5 - 30	0,1	- // -
9.	Сопротивление на прокол	мм	3 - 20	0,1	- // -
10.	Повреждаемость при ударе	мм	0 - 20	0,1	- // -

Продолжение табл. 2.2

1	2	3	4	5	6
11.	Прочность соединения кожуры с мякотью	2 Н / см	5 - 50	0.1	После уборки
12.	Динамическая твердость	кол-во ударов	10 - 20	0.1	- // -
13.	Статическая твердость	3 Н / мм	20 - 100	0.5	- // -
14.	Устойчивость к вырыву	3 Н / мм	50 - 500	1	- // -
15.	Сопротивление на разрыв	2 Н / мм	10 - 100	0.1	- // -
16.	Деформация	мм	1 - 10	0.01	- // -

Так имеется маятниковой копер (рис. 2.2), который позволяет исследовать динамическую прочность клубней при ударных нагрузках и определять работу, затрачиваемую на разрушение.

Копер позволяет изучать следующие деформации: раздавливание клубней, деформации излома и изгиба. Он устроен следующим образом. На металлическом столе 1 укреплен труба 2. К верхней части трубы прикреплен головка с пальцем 3, который является осью подвеса маятника 4, посаженного на шариковых подшипниках. Головку можно передвигать по трубе вверх и вниз. На палец надета с некоторым трением стрелка 5, позволяющая отсчитывать по шкале 6 угол подъема маятника. На этом же пальце имеется приспособление, которое дает возможность устанавливать маятник для бросания под углом в 30, 60, 90 и 120 градусов. На металлическом столе, к которому прикреплен труба, перпендикулярно к плоскости качания маятника установлен зажим 7, позволяющий осуществлять поперечный разрыв или срез клубня. Для определения величины работы, затраченной на разрыв, имеется набор сменных маятников и бойков разного веса.



Работа, расходуемая маятником на разрыв (излом) образца выражается через константы маятника и величину его углов взлета: холостого и рабочего (рис. 2.2):

$$A = G \cdot r \cdot (\cos \alpha - \cos \beta) \quad (2.2)$$

где:  $A$  - работа, затраченная маятником на разрушение образца;  
 $G$  - вес маятника;  
 $r$  - радиус вращения центра тяжести маятника;  
 $\alpha$  - угол рабочего взлета маятника;  
 $\beta$  - угол холостого взлета маятника.

Скорость маятника в момент удара:

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (2.3)$$

где:  $g$  - ускорение свободного падения;  
 $h$  - высота падения центра тяжести маятника.

Скорость удара, в зависимости от угла бросания маятника, колеблется в пределах от 2,5 до 5,5 м/с и определяется по формуле:

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot r \cdot (1 - \cos \gamma)} \quad (2.4)$$

где:  $\gamma$  - угол бросания.

Помимо маятникового копра в НИИКХ при содействии А.А.Герасимова и Е.А. Глухих был в свое время сконструирован и изготовлен прибор для определения динамической прочности клубня ДПК-1 (рис.2.3) [24].

Прибор имеет столик 1 для испытываемого клубня, Над ним расположен вертикальный цилиндр 2, внутри которого перемещается боек с ударников 3, с указателем 4, с ручкой 5 и упором 6, жестко закрепленная с цилиндром шкала 7 и уровень 8.

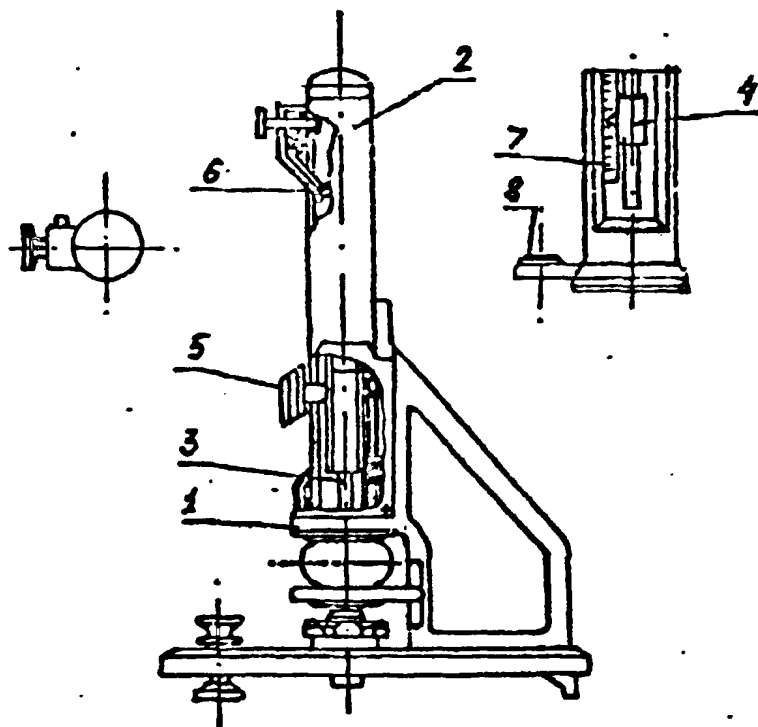


Рис. 2.3. Прибор ДПК - 1.

Прибор укомплектован двумя сменными ударниками 3, нижний полушар одного из них имеет диаметр 20 мм, другой - 10 мм. Для определения коэффициента восстановления и потемнения мякоти клубня обычно используется ударник с диаметром полушара 20 мм, а для глубины прокола клубня - ударник диаметром 10 мм. Перед работой цилиндр 2 по уровню 8 устанавливают в вертикальном положении. Затем на столик 1 устанавливают клубень и вращением гайки совмещают указатель ударника с нулевым значением шкалы 7. Потом за ручку поднимают ударник 3 на нужную высоту и замыкают его упором 6. Высота отскока бойка от клубня или глубина прокола фиксируется по шкале 7. Определение устойчивости клубней к потемнениям мякоти производится после удара по клубню стандартным бойком при сбрасывании стандартного груза с определенной высоты и последующего десятидневного хранения [24].

Кроме перечисленных приборов и методов существует ряд мето-

дов исследований с применением более сложных приборов. Так, определенный интерес представляет метод исследования повреждаемости клубней В.А.Мацепуро и В.Н.Кирсановой [52]. Этот метод учитывает совместное действие статических и динамических нагрузок и многократность их приложении, определяя критерий повреждаемости. Ударная установка [39], применяемая при этом, состоит из ударного механизма 1 пружинного действия, плиты 2 с приспособлением для жесткого крепления испытываемых образцов и механизма свободного крепления клубня 3, смонтированных на общей плите-основании 4, устройства для динамической тарировки датчиков измерения ударного усилия и ускорения ударника. Ударный механизм пружинного действия состоит из направляющего цилиндра, пружины и ударника, в носовой части которого крепят различные по массе и форме сменные бойки. Для изменения массы ударника предусмотрены специальные грузы (рис.2.4).

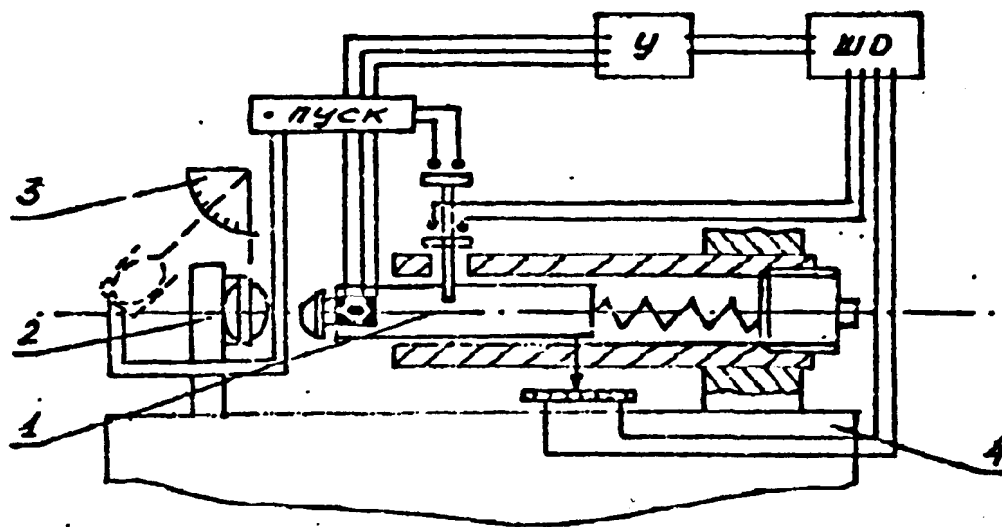


Рис. 2.4. Схема ударной установки.

При экспериментальных исследованиях в данном случае измеряют ударное усилие, время соударения и скорость удара. Однако этот метод отличается определенной сложностью и, главное, не отражает

реальной повреждаемости клубней при уборке картофелеуборочными машинами, так как исследует клубни при разнообразных нагрузках, но не имеющих связи с реальными процессами движения клубней в реальной машине. Поэтому этот метод неприемлем для оценки новых сортов и гибридов на устойчивость к механическим повреждениям, хотя может применяться для изучения физико-механических свойств клубней. Маятниковый копер (рис. 2.2) также мало пригоден для оценки устойчивости селекционного материала к механическим повреждениям, так как на нем создаются нагрузки, действующие на излом, (разрыв) клубня, тогда как в действительности такие нагрузки редко встречаются при уборке машинами. В настоящее время в нашей стране испытание клубней селекционного картофеля на устойчивость к механическим повреждениям рекомендуют проводить ежегодно, начиная с питомника гибридов второго года. На первом этапе селекционного процесса рекомендуется применять лабораторный метод оценки, на последнем - механизированную уборку в поле с помощью "комбайнового теста" [56]. В лабораторных условиях используют методику оценки повреждаемости клубней на приборе динамической прочности ГЦЩ (аналогичном ДПК-1) (рис. 2.3). Первоначальное описание метода было сделано А.А.Герасимовым и О.А.Сафразбеяном в 1973 году. Принцип работы на приборе следующий: испытуемый клубень укладывают на столик, который поднимают вращением гайки, и клубень прижимают к нижней части цилиндра. Затем ударник поднимают на требуемую высоту и закрепляют зажимом. При нажатии на замок боек ударяет по клубню. Боек массой 100 г и диаметром 200 мм сбрасывают с высоты 25 см. Место контакта клубня с бойком обводят химическим карандашом. Затем испытуемые клубни закладывают на 10-дневное хранение при комнатной температуре. По истечении этого срока исследуют степень потемнения, для чего от клубня отсекают сегмент с

пятном контакта толщиной от 0,6 до 1,0 см и разрезают на дольки толщиной от 2 до 3 мм. Дольки просматривают и отмечают потемнения мякоти, применяя следующую шкалу оценки: 1 балл - потемнения отсутствуют; 3 балла - потемнения глубиной до 3 мм; 5 баллов - потемнения глубиной свыше 3 мм. Минимальный объем пробы составляет 20 клубней. Для получения более точных данных число клубней в пробе увеличивают до 50. ✓

Оценку же устойчивости клубней картофеля к механическим повреждениям методом "комбайнового теста" проводят для гибридов основного и конкурсного испытаний. Уборку гибридов рекомендуют проводить комбайном и картофелекопателем КСТ-1,4, который наиболее сильно повреждает клубни. Длина двухрядковой делянки должна быть не менее 35 - 40 м, чтобы обеспечить нормальный рабочий процесс. При большей площади делянки или на участке размножения уборку и оценку можно проводить комбайнами.

Ботву скашивают в день уборки или накануне. При уборке с каждого варианта отбирают по две пробы клубней в двухкратной повторности до 50 клубней в каждой (всего 4 пробы). Пробы для оценки отбирают, отступив от границ делянка на 5 м, избегая при этом скученности клубней и остатков ботвы. Клубни массой менее 30 г, а также пораженные фитофторозом исключают. Отобранные пробы разбирают непосредственно в поле или в хранилище, в последнем случае перевозки должны быть одинаковыми. В день уборки учитывают внешние повреждения. Затем все клубни закладывают в хранилище при температуре 16 - 8°C. После десятидневного хранения клубни разрезают перпендикулярно продольной оси на дольки толщиной от 2 до 3 мм. Дольки рассматривают и отмечают потемнения мякоти на глубину менее 3 мм, от 3,0 до 4,9 мм, от 5,0 до 7,0 мм и более 7 мм. Если на клубне несколько однотипных повреждений, то учитывают каждое из

них. По результатам учета вычисляют процент поврежденных клубней, в том числе по видам механических повреждений. По результатам оценки выделяют гибриды, превосходящие по устойчивости к механическим повреждениям стандартные сорта.

Но, как отмечалось уже в предыдущей главе, "комбайновый тест" возможен только перед передачей гибридов на государственные испытания (при основном и конкурсном испытаниях), то есть в конце селекционного процесса. Применение же прибора ПДП оценивает только устойчивость к потемнениям мякоти и при этом необходимо иметь не менее 50 клубней (в крайнем случае не менее 20 клубней). Поэтому будет целесообразным применение наряду с "комбайновым тестом", но на ранних этапах выведения, устройства, моделирующего рабочий процесс картофелеуборочного комбайна, а также наряду с применением прибора ПДП для определения устойчивости к потемнению мякоти клубней необходимо применять устройство, позволяющее определять предел прочности и модуль упругости мякоти клубней (образцов, вырезанных из клубней) на еще более ранних стадиях выведения (при наличии менее 20 клубней селекционного материала).

В 1988 - 1990 годах в НИИКХ были проведены хозяйственные испытания, ранее разработанного имитатора повреждения клубней (тема 0005, позиция 03.01) [46]. Он предназначен для оценки устойчивости клубней селекционного картофеля к механическим повреждениям на третьем - четвертом годах селекционного процесса. Кроме того нами, была усовершенствована установка маятникового типа для исследования прочности и упругости образцов мякоти клубней при динамических нагрузках.

## 2.8. Выводы по 2 - й главе.

1. Определение прочности мякоти клубней картофеля при действии динамических нагрузок имеет исключительно важное значение как в селекции, так и при его производстве.

2. Влияние сортовых особенностей на прочность мякоти клубней составляет от 52 до 56%, а влияние факторов среды - от 20 до 22%.

3. На прочность мякоти картофеля влияют вид и доза внесенных минеральных удобрений.

4. Для оценки прочности мякоти клубней на начальных стадиях селекционного процесса необходимо применять методы испытаний, воспроизводящие условия удара, имеющие место в комбайне.

5. Приборный комплекс и методы расчетов, используемые для оценки прочности мякоти клубней, должны прежде всего моделировать перепады и работу сепарирующих рабочих органов уборочного комбайна.

6. В начальной стадии селекционного процесса (при наличии менее 20 клубней селекционного материала) для оценки прочности мякоти клубней следует определять предел прочности и модуль упругости мякоти. Для этого испытываются образцы из мякоти или в клубни внедряются цилиндрические наконечники.

## Глава 3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИИ И РАЗРУШЕНИЯ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ.

### 3.1. Оболочки клеток клубней - основа их структурной организации и прочности.

Как известно, все живое в природе состоит из клеток, причем, растительные клетки имеют достаточно жесткие стенки определяющие размер и форму клеток, а в конечном счете и общую структуру мякоти клубня, корнеплода или плода. Внутреннее гидростатическое давление в клетке вызывает упругое растяжение оболочки и, поэтому, клеточная оболочка наряду с другими выполняет опорную функцию. Толщина клеточной оболочки варьирует от десятых долей микрона до десятков микронов и в ней обычно различают три части. Первичная оболочка окружает делящиеся меристематические клетки, а также удлиняющиеся в процессе роста клетки. Наряду с этим клеточная оболочка часто утолщается за счет образования вторичной оболочки, которая накладывается на первичную изнутри, что делает клетку менее эластичной. Между первичными оболочками двух смежных клеток находится третья, имеющая аморфное строение и называемая срединной пластинкой. Хотя целлюлоза, из которой в основном и состоит оболочка, входит и в срединную пластинку, последняя в основном состоит из кальциевых солей пектиновых кислот, благодаря которым смежные клетки соединяются воедино.

Глюкоза - наиболее распространенное органическое соединение в растительном и животном мире. Она является характерным веществом клеточной оболочки растения составляющим от 25 до 50% органического вещества этого компонента клетки. Целлюлоза является линейным (неразветвленным) полисахаридом, состоящим из остатков



$\beta$  - D - глюкозы, соединенных 1,4 - гликозидной связью. Максимальная ширина этого полимера составляет около 0,8 нм, а площадь поперечного сечения 0,33 нм. Поскольку кольца остатков глюкозы расположены в одной плоскости, вся молекула полимера напоминает ленту. В клеточной оболочке молекулы глюкозы образуют различные структурные единицы. Примерно 100 параллельных цепей образуют структурную единицу называемую элементарной микрофибрилой. Около 20 элементарных микрофибрил, параллельных друг другу образуют микрофибрилу, диаметр которой составляет около 25 нм, а длина ее может достигнуть 10 мкм. Микрофибрилы являются основными структурными единицами клеточной оболочки и легко различимы на электронных микрофотографиях. В первичной оболочке микрофибрилы расположены беспорядочно, переплетаясь друг с другом, а во вторичной они расположены параллельно друг другу. Промежутки между микрофибрилами имеют обычно несколько десятков нанометров в поперечнике. Эти щели, окружающие микрофибрилу целлюлозы, заполнены матриксом из аморфных компонентов, которые могут занимать больший объем в клеточной оболочке, чем сами микрофибрилы целлюлозы. Так основным компонентом клеточной оболочки по массе является вода. Матрикс клеточной оболочки содержит лингнины, полисахариды нецеллюлозной природы, например, пектины, небольшое количество белка, свободную и связанную воду, значительное количество кальция, другие катионы и иногда силикаты. Лигнины представляют собой сложный полимер, построенный из фенилпропаноидных (C<sub>6</sub>, C<sub>3</sub>) единиц, в состав основной цепи которых входят разные остатки. Этот полимер является вторым по распространенности классом органических веществ в растениях, составляя примерно 50% от количества целлюлозы. Лигнины обладают заметной гидрофобностью и поэтому играют в клеточных оболочках роль водоотталкивающих агентов. Пектин

состоит в основном из остатков  $\alpha$  - D - галактуроновой кислоты, связанных 1,4 - гликозидным связями. Карбоксильная группа остатков уроновой кислоты в обычных условиях диссоциирована и имеет отрицательный заряд. Наличие этого отрицательного заряда приводит к тому, что способность клеточной оболочки связывать катионы оказывается огромной. В частности клеточная оболочка связывает много двухвалентных катионов кальция ( $Ca^{2+}$ ), который помогает объединению в одно целое различных полимеров.

Клеточные оболочки зрелых растений обычно вполне устойчивы к действию силовых нагрузок, хотя и деформируются и растягиваются под их действием.

Как оболочка в целом, так и целлюлоза обладают упругими свойствами, которые можно выразить через модуль упругости (модуль Юнга). Модуль упругости для чистой целлюлозы равен примерно  $10^4$  МПа. Вследствие сложной трехмерной упаковки микрофибрил в оболочке и присутствия других компонентов модуль упругости клеточной оболочки значительно ниже чем у целлюлозы. Так экспериментально было найдено, что модуль упругости для оболочки клетки *Nitella* составляет около 700 МПа.

Внутри клеточных оболочек существует давление, являющееся по существу гидростатическим давлением называемым тургорным. Вследствие этого давления в клеточной оболочке возникают напряжения, которые варьируют в зависимости от физиологического состояния растения. Так при 6 атм в оболочке клетки *Nitella* возникают напряжения около 3.1 МПа в направлении совпадающим с продольной осью цилиндрической клетки и около 6.1 МПа в поперечном. При этих больших давлениях и напряжениях относительная деформация оболочки не велика всего лишь 4%. Это указывает на то, что оболочка растительных клеток довольно прочная и хорошо приспособлена в условиях нагружения сохранять размеры клеток, а следовательно

служить основой их структурной организации и определять прочность как клеток, так и клубней в целом.

### 3.2. Реологическая модель механических свойств мякоти клубней картофеля.

Соппротивление клубней деформированию и разрушению определяется сложными процессами, характер протекания которых зависит от природы и физического состояния деформируемого тела, вида и режима механического нагружения, условий испытания, среды и многих других факторов. В зависимости от аспекта, в котором исследуется прочность, в это понятие вкладывается различный смысл.

Вопросы прочности растительных тканей могут рассматриваться в физическом аспекте, образуя отдельную область физики твердого тела. Современный уровень развития физики, благодаря широкому использованию аппарата математики и механики, а также результатов сложных опытов, позволяет вплотную подойти к непосредственному изучению атомарного механизма деформирования и разрушения.

Оценка прочности в инженерном понимании сводится к расчету факторов лимитирующих установление предельных напряженных или деформированных состояний клубней, при которых наступает частичное разрушение их мякоти или разрушение клубней в целом.

Напряженное состояние реальных деталей механизмов, элементов сооружений, да и сельскохозяйственных продуктов, даже при самых простых схемах приложения сил, всегда являются сложными. В связи с этим результаты прочностного расчета в значительной степени зависят от принятой теории прочности, на базе которой можно исходя из данных о поведении материала при простейших нагружениях предсказать, когда наступит опасное состояние при

действии любой сложной системы напряжений. Учитывая сказанное выше, оценку прочности клубней в настоящее время возможно проводить лишь при использовании той или иной, чисто феноменологической, теории, основанной на методах механики сплошной среды. Такие теории прочности, как правило, требуют значительно меньшей информации о материале, чем любые микроскопические или атомистические теории, и формулируются критериями, удобными для практического применения.

В механике сплошных сред деформируемые тела рассматриваются как сплошная среда с непрерывным распределением вещества. Поэтому напряжения, деформации и перемещения считаются непрерывными и дифференцируемыми функциями координат точек. Предполагается, что любые сколь угодно малые частицы твердого тела обладают одинаковыми свойствами. Такое толкование строения и свойств тел в том числе и сельскохозяйственных продуктов, строго говоря, противоречит действительности, так как все существующее в природе в микроскопическом смысле является неоднородным. Под дефектами структуры ("неоднородность") следует понимать поликристаллическое или клеточное строение материала, местные нарушения постоянства химического состава, наличие инородных примесей, микротрещины и другие дефекты, приводящие к локальным возмущениям поля напряжений. Однако в силу статистических законов относительные перемещения точек реального тела можно считать практически совпадающими с перемещениями соответствующих точек однородной модели. Чем меньше относительные размеры дефектов, тем больше оснований считать приемлемыми методы механики сплошной среды, оперирующей с усредненными характеристиками механических свойств материала.

В соответствии с гипотезой однородности материала, заключенного в объеме рассматриваемого тела, внутренние связи, возникающие

в материале при деформировании тела, можно формально характеризовать величиной усилия, приходящегося на единицу площади. Интенсивность внутренних сил в данной точке обычно называют напряжением, которое можно определить как предел отношения  $\Delta P / \Delta F$  при стягивании площадки  $\Delta F$  в точку (рис. 3.1).

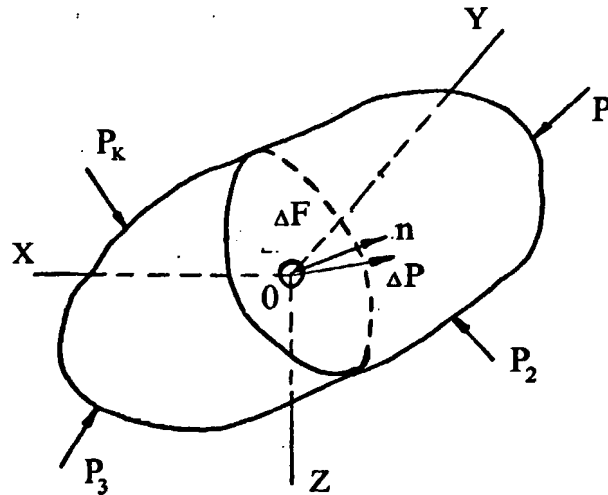


Рис. 3.1. Напряжения в точке O определяемые методом сечений.

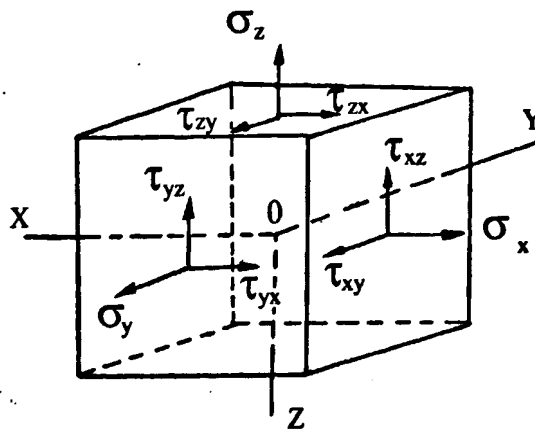


Рис. 3.2. Напряжения на гранях элементарного параллелепипеда выделенного в точке O.

Напряжение в точке не совпадает в общем случае с направлением внешней нормали к площадке, проходящей через данную точку. Направление напряжения совпадает с направлением равнодействующей  $\Delta P$ . Окрестность точки O можно ограничить шестью взаимно

перпендикулярными плоскостями и полученный прямоугольный параллелепипед сориентировать так, чтобы направления его ребер совпали с направлениями осей координат. В этом случае на каждой из граней будут действовать напряжения, при этом полные напряжения можно разложить по направлениям, параллельным осям координат ( рис. 3.2 ).

Полученные девять компонентов напряжений полностью определяют напряженное состояние в точке и образуют тензор напряжений, который можно представить в виде :

$$T_{\sigma} = \begin{vmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{vmatrix}$$

Касательные напряжения имеющие индексы состоящие из одних и тех же букв равны между собой :  $\tau_{xy} = \tau_{yx}$  ,  $\tau_{yz} = \tau_{zy}$  ,  $\tau_{zx} = \tau_{xz}$  в силу закона парности касательных напряжений. Следовательно, для полного определения напряженного состояния в рассматриваемой точке необходимо знать не девять, а шесть величин :

$$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy} = \tau_{yx}, \tau_{yz} = \tau_{zy}, \tau_{zx} = \tau_{xz}$$

В каждой точке тела существуют три такие взаимно перпендикулярные площадки, касательные напряжения на которых равны нулю. Эти площадки называются главными, а действующие на них напряжения - главными и обозначаются он  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ . При этом

$$\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3.$$

В точке тела можно выделить и такие три пары площадок, на которых касательные напряжения достигают экстремума. Это главные касательные напряжения и равны они

$$\tau_{12} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}, \quad \tau_{23} = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2}, \quad \tau_{13} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

Изменение формы и размеров тела - его деформация, является следствием напряженного состояния тела и складывается из деформаций элементарных объемов, составляющих тело. Деформация элементарного параллелепипеда определяется изменением длины ребер (рис. 3.3 а) и сдвигами параллельных плоскостей (рис. 3.3 б).

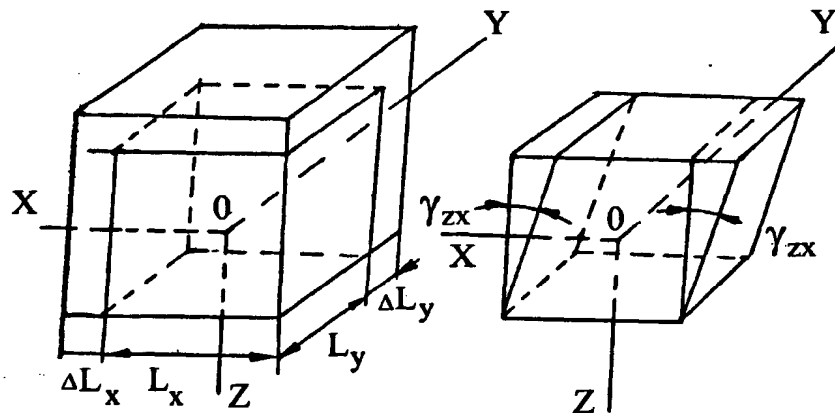


Рис. 3.3. Деформации элементарного параллелепипеда.

Относительные деформации ребер в направлении осей и относительные сдвиги в соответствующих плоскостях обозначаются следующим образом:

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta L_x}{L_x}, \quad \varepsilon_y = \frac{\Delta L_y}{L_y}, \quad \varepsilon_z = \frac{\Delta L_z}{L_z}$$

$$\gamma_{xy} \approx \text{tg} \gamma_{xy}, \quad \gamma_{yz} \approx \text{tg} \gamma_{yz}, \quad \gamma_{zx} \approx \text{tg} \gamma_{zx}$$

Если предположить, что длины ребер параллелепипеда стремятся к нулю, то составляющие деформации будут определять полную деформацию в окрестности рассматриваемой точки и образуют тензор деформаций, который можно записать в виде следующей симметричной матрицы:

$$T_{\varepsilon} = \begin{vmatrix} \varepsilon_x & \frac{\gamma_{xy}}{2} & \frac{\gamma_{xz}}{2} \\ \frac{\gamma_{yx}}{2} & \varepsilon_y & \frac{\gamma_{yz}}{2} \\ \frac{\gamma_{zx}}{2} & \frac{\gamma_{zy}}{2} & \varepsilon_z \end{vmatrix}$$

В выражении тензора деформации компонентами его являются не полные сдвиги ( угловые деформации ) , а их половины. При таком подходе теория деформированного состояния оказывается подобной теории напряженного состояния.

Определение прочности сельскохозяйственных продуктов может быть сведено к решению одной из задач теории упругости или пластичности - определение деформаций по заданным напряжениям или по известным изменениям взаимного расположения частиц тела необходимо охарактеризовать его напряженное состояние. Решение задач прочности сельскохозяйственных продуктов в такой постановке требует прежде всего установления физических закономерностей сопротивления тела всевозможным видам деформаций, т.е. выявления взаимосвязи между напряжениями и деформациями.

Однозначное описание законов деформирования всех или хотя бы большинства физических сред практически невыполнимая задача. Поэтому возникла необходимость в условном разделении их на упругие и неупругие. Такая классификация условна, т.к. не учитывает многих свойств реальных тел. Так, упругие тела можно подразделить еще на линейно - упругие и нелинейно - упругие; неупругие - на упруго - пластические, пластические и т.п. Сложность состоит еще и в том, что многие материалы при определенных условиях обладают свойствами любого из названных тел. Особенно ярко проявляется сказанное при деформации образцов из малоуглеродистой стали, когда на отдельных этапах деформирования материал может быть



линейно - упругим, нелинейно - упругим, упруго - пластическим и пластическим. В каждом отдельном случае связь между напряжениями и деформациями различна. Так в основе классической теории упругости лежит представление об линейно - деформируемом теле. Основной закон, определяющий общую зависимость между напряжениями и деформациями для линейно - упругого тела, был сформулирован в 1678г. Робертом Гуком в следующей форме: " Каково перемещение - такова сила. "

В современной формулировке этот закон для сложного напряженного состояния звучит так: в каждой точке деформируемого тела компоненты тензора деформаций являются линейными функциями от компонентов тензора напряжений. Поэтому чтобы выразить соотношения между напряжениями и деформациями для линейно - упругого тела необходимо знать 21 упругую постоянную. Поскольку большинство материалов в том числе и мякоть клубней можно считать изотропными, то указанные соотношения существенно упрощаются и как показал Кирхгоф число необходимых постоянных сократится до двух. Таковыми являются модули упругости первого и второго рода связанные между собой соотношением :

$$\frac{E}{G} = 2 \cdot (1 + \mu)$$

где  $\mu = -\frac{\varepsilon_{\text{попер.}}}{\varepsilon_{\text{прод.}}}$  ,  $\mu$  - коэффициент Пуассона.

Когда главные оси напряжений и деформаций совпадают, обобщенный закон Гука для объемного напряженного состояния можно записать в следующем виде:

$$\varepsilon_1 = \frac{\sigma_1 - \mu \cdot (\sigma_2 - \sigma_3)}{E} ; \varepsilon_2 = \frac{\sigma_2 - \mu \cdot (\sigma_3 - \sigma_1)}{E} ; \varepsilon_3 = \frac{\sigma_3 - \mu \cdot (\sigma_1 - \sigma_2)}{E}$$

Если характерным признаком упругих тел является отсутствие остаточной деформации при снятии нагрузки, то неупругое тело после снятия нагрузки в исходное положение не возвращается, деформации сохраняются полностью (пластическое тело) или частично (упруго-пластическое тело), причем величина деформации в общем случае зависит не только от конечных значений сил, но и от порядка их приложения, то есть от всей истории нагружения.

Взаимосвязь между напряжениями и деформациями для нелинейно - упругих тел и для неупругих тел, при нагружении и разгрузке, можно установить на базе следующих гипотез:

1. Шаровой тензор деформаций прямо пропорционален шаровому тензору напряжений. Коэффициент пропорциональности для нелинейно - упругих тел тот же, что и для тел, подчиняющихся закону Гука.

Первая гипотеза в скалярной форме записывается в виде :

$$\sigma_o = \frac{E}{1 - 2 \cdot \mu} \cdot \varepsilon_o$$

2. В каждой точке тела девиатор напряжений прямо пропорционален девиатору деформаций.

Эта гипотеза в скалярной форме записывается так :

$$\frac{\sigma_x - \sigma_o}{\varepsilon_x - \varepsilon_o} = \frac{\sigma_y - \sigma_o}{\varepsilon_y - \varepsilon_o} = \frac{\sigma_z - \sigma_o}{\varepsilon_z - \varepsilon_o} = \frac{2 \cdot \tau_{xy}}{\gamma_{xy}} = \frac{2 \cdot \tau_{yz}}{\gamma_{yz}} = \frac{2 \cdot \tau_{zx}}{\gamma_{zx}} = 2 \cdot G'$$

Коэффициент пропорциональности  $G'$  для нелинейно - упругого и неупругого тела (при простом нагружении) в свою очередь зависит от компонентов напряжений и деформаций и поэтому в общем случае напряженного состояния от точки к точке меняется.

3. Интенсивность напряжений является вполне определенной, не зависящей от вида напряженного состояния функцией интенсивности деформаций, т.е.  $\sigma_i = \phi(\varepsilon_i)$ .

---

Поскольку функция  $\phi$  зависит только от материала, то любой вид объемного напряженного состояния как в области нелинейно - упругих, так и в области неупругих деформаций можно свести к простейшим видам нагружения, построив кривую по результатам опытов на одноосное сжатие образца. Это положение является исходным пунктом теории пластичности. Вторым положением теории пластичности является условие, что изменение объема остается чисто упругим  $e = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z$ . Это хорошо согласуется с экспериментальными данными по которым видно, что при всестороннем сжатии сейчас не удастся достичь пластических деформаций. Кроме того при деформировании материала пластические деформации, как правило, заметно больше упругих. Так как  $e$  является величиной порядка упругих удлинений, то обычно принимают, что при пластических деформациях объем меняется незначительно. Тогда при построении формул, связывающих компоненты напряжений и деформаций в пластической зоне, принимают  $\mu = 1/2$ . При одноосном растяжении или сжатии когда

$$\sigma_x = \sigma ; \quad \sigma_y = \sigma_z = \tau_{yz} = \tau_{zx} = \tau_{xy} = 0 ; \quad \varepsilon_x = \varepsilon$$
$$\varepsilon_y = \varepsilon_z = -\mu \cdot \varepsilon ; \quad \gamma_{yz} = \gamma_{zx} = \gamma_{xy} = 0$$

интенсивность напряжений и интенсивность деформаций обращаются соответственно в  $\sigma$  и  $\varepsilon$ . Согласно первому положению теории

пластичности получаем величину переменного модуля  $E = \frac{\sigma_i}{\varepsilon_i}$ .

Теперь аналогично выражениям (1) соотношения пластичности имеют следующий вид

$$\varepsilon_x = \left( \sigma_x - \frac{\sigma_y + \sigma_z}{2} \right) \cdot \frac{\varepsilon_i}{\sigma_i} ; \quad \gamma_{yz} = 3 \cdot \tau_{yz} \cdot \frac{\varepsilon_i}{\sigma_i}$$

---

$$\varepsilon_y = \left( \sigma_y - \frac{\sigma_z + \sigma_x}{2} \right) \cdot \frac{\varepsilon_i}{\sigma_i} \quad ; \quad \gamma_{zx} = 3 \cdot \tau_{zx} \cdot \frac{\varepsilon_i}{\sigma_i}$$

$$\varepsilon_z = \left( \sigma_z - \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \right) \cdot \frac{\varepsilon_i}{\sigma_i} \quad ; \quad \gamma_{xy} = 3 \cdot \tau_{xy} \cdot \frac{\varepsilon_i}{\sigma_i}$$

где  $\frac{1}{E'} = \frac{\varepsilon_i}{\sigma_i}$  , а  $G = \frac{E}{2 \cdot (1 - \mu)}$

Преобразования выполнены с учетом того, что  $\mu = 1/2$  , т.е.

$$G' = \frac{E'}{3} = \frac{\sigma_i}{3 \cdot \varepsilon_i} .$$

Растительные ткани характеризуются волокнистостью, неоднородностью строения и весьма большой разностью в сопротивлении тканей вдоль и поперек волокон. Последнее относится в основном к стеблям и , в меньшей степени, к плодам и клубням.

Характерным для растительных тканей является еще и то, что если у многих металлов отношение остаточных деформаций к упругим увеличивается по мере возрастания нагрузки, то для растительных тканей, как было установлен нами, оно изменяется в меньшей мере, вплоть до разрушения тканей, отсутствует у них и предел упругости. Проверка закона Гука на стеблях и листьях показала, что зависимость между усилием и удлинением выражена прямой линией почти до начала разрушения.

Проверка этого закона, проведенная нами на образцах вырезанных из мякоти клубней картофеля, дала зависимости деформации от напряжения в виде кривых изображенных на рис. 14 . При этом предела пропорциональности не существует и можно лишь говорить о временном сопротивлении мякоти клубней напряжению сжатия. При больших скоростях относительной деформации (рис. 14) ,

а также при ударных воздействиях, как показывают опыты, можно пользоваться законом Гука.

Существенную роль при нагружении и деформации растительных тканей и мякоти овощей, в частности, играют явления ползучести и релаксации и одним из главных факторов при этом становится фактор времени. Так при транспортировке и хранении плодов и овощей основными, обуславливающими деформацию и разрушение продуктов будут два фактора: фактор характеризуемый нагрузками и фактор связанный с длительностью силового воздействия. В совокупности они и дадут те условия, при которых происходит чрезмерное деформирование и как результат - разрушение или повреждение клубней или плодов.

Обращаясь к истории развития механики, следует отметить, что уже Максвелл в своей теории упруго - вязких тел показал, что в каждом теле существуют упругие и пластические деформации, причем последние зависят от длительности нагружения. Наличие пластических деформаций обуславливает явление ползучести, релаксации и гистерезиса. По Максвеллу напряжения определяются следующим образом

$$\sigma = k \cdot \varepsilon + \eta \cdot \frac{d\varepsilon}{dt}$$

где  $k$  - модуль пропорциональности,

$\varepsilon$  - относительная деформация,

$\eta$  - коэффициент вязкости,

$d\varepsilon / dt$  - скорость относительной деформации.

Для различных сплошных сред зависимости тензора напряжений от тензора скоростей деформаций отличаются друг от друга, и такие зависимости называют часто реологическими уравнениями. Планк как и Максвелл для не абсолютно упругих материалов предлагает

реологическое уравнение выражающее величину напряжения как сумму упругого и вязкого напряжений:

$$\sigma = \sigma_1 + \phi \cdot \frac{d\varepsilon}{dt}$$

где  $\sigma$  - общее напряжение ,

$\sigma_1$  - упругое напряжение,

$d\varepsilon / dt$  - скорость относительной деформации,

$\phi$  - постоянная.

Механическая модель такого тела может быть представлена пружиной и цилиндром с поршнем, имеющим колюбованное отверстие. Цилиндр заполняется вязкой жидкостью которая при движении поршня течет через отверстие создавая силу сопротивления движению поршня. Сила сопротивления при этом пропорциональна скорости движения поршня и вязкости жидкости. Пружину и поршень можно соединять последовательно и параллельно получая различные по свойствам упруго – вязкие модели тел.

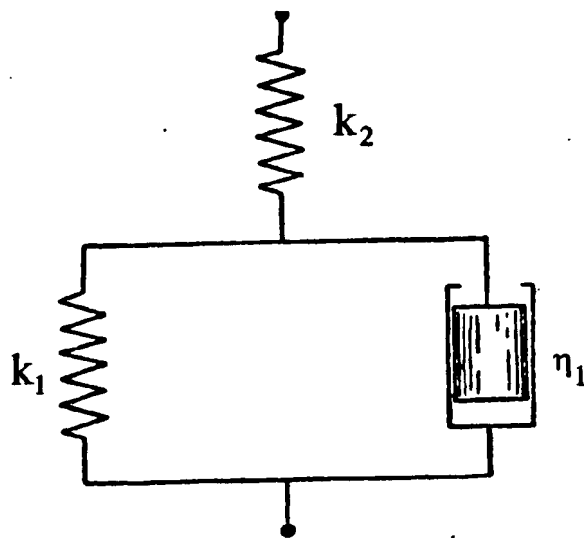


Рис. 3.4. Механическая модель мякоти клубней картофеля.

Так при исследовании работы модели состоящей из упругой и упруго - вязкой частей (рис. 3.4) видно, что при больших скоростях деформаций поршень практически блокирует параллельную ему пружину и у модели тела работает лишь упругая часть. У таких тел вполне очевидно, что величина модуля пропорциональности будет возрастать при увеличении скорости нагружения. Что касается нагрузок необходимых для разрушения, то они будут тем меньше, чем больше длительность силовых воздействий и чем в большей мере проявляют себя механизмы вязкого течения - механизмы пластических деформаций.

Пластические, упругие и прочностные свойства клубней, как уже было рассмотрено выше, связаны с их клеточным строением и физическими свойствами.. Рассматривая, например, на разрезе клубня картофеля его строение, даже невооруженным глазом можно различить следующие части: кору, сосудистое кольцо и сердцевину. Так как нагрузку воспринимает в основном кора, то на ее строении остановимся более подробно.

Самые внешние слои тканей - кожица ( перидерма ) состоят из клеток феллогена, которые при росте клубня откладываются снаружи, быстро пробкуются и дают начало образованию кожицы. Число слоев этих клеток колеблется от 9 до 17 в зависимости от внешних условий. Далее в клубне между кожицей и кольцом сосудистых пучков расположена кора состоящая из крупных тонкостенных паренхимных клеток.

Из вышеуказанного строения клубней и будем исходить составляя наше представление о их упругих, пластических свойствах и прочностном механизме.

Поскольку оболочки клеток являются основой структурной организации сельскохозяйственных продуктов, а оболочка содержит целлюлозу, то в молекулах целлюлозы как и у всех других молекул

электрические поля электронов взаимодействуют с электрическими полями положительно заряженных ионов. В результате этого взаимодействия возникают электрические силы межатомного сцепления - источник упругих связей. Упругость мякоти обуславливается также скоплением газов в межклеточных пространствах.

Клеточная оболочка находится в каллоидном состоянии и представляет собой гель, который под нагрузкой течет сопротивляясь в большей или меньшей степени, что можно характеризовать его вязкостью. Оболочка заключает в себе живое тело клетки или протопласт, который состоит из органоидов: протоплазмы, одного или нескольких клеточных ядер, пластид и хондриосом. В протопласте обычно находятся вакуоли - пространства заполненные водой с растворенными в ней минеральными и органическими веществами, представляющими запасы или же отбросы жизнедеятельности клетки. Запасы веществ и отбросы встречаются и в твердом виде в цитоплазме (протоплазма клетки) и в других органоидах клетки. Таким образом клетка в нашем случае - резервуар той или иной формы заполненный твердой или жидкой практически несжимаемой фазой.

Деформируя клетку мы тем самым изменяем площадь ее поверхности, заставляя оболочку сразу же или после определенного формоизменения растягиваться, чтобы попрежнему заключать в себе несжимаемое содержимое. Клетки деформированные под действием нагрузок, передают давления на соседние, деформируя их, хотя и в меньшей степени. Именно предельно допустимые деформации клеток и являются по, нашему мнению, фактором, ограничивающим нагружение клубней как статическими, так и ударными нагрузками.

Из анализа литературных источников следует, что изучение упругих и пластических свойств велось, в основном, методом определения коэффициента восстановления их при ударе, а



прочностных свойств путем определения допустимой высоты падения и величины нагрузки разрушающей плод или клубень. К таким работам следует отнести работы А.Н. Тимофеева по определению коэффициента восстановления клубней картофеля при ударе, Н.В.Клем по физико-механическим свойствам яблок.

Более совершенные и глубокие исследования прочностных и упругих свойств плодов яблок провели Х.Гелих и Н.Мозенин в университете штата Пенсильвания.

При опытах использовалась аппаратура, позволяющая измерять и регистрировать давление, а также степень деформации пробы, взятой из свежего плода. В качестве силового источника брался гидравлический моторчик, позволявший внедрять с разной скоростью в мякоть плода цилиндрический наконечник. Процесс деформации фиксировался тензометрической измерительной аппаратурой, которая хорошо фиксировала деформацию образца наконечником. Исследовались также действия ударных сил, при этом использовался копер маятникового типа. Масса маятника и его отклонение от нейтрального положения определяли энергию удара, а реохордный датчик устанавливал ход деформации мякоти плода под наконечником в процессе удара. Для опытов брались пробы диаметром 38 мм и высотой 12 мм или целые плоды. Через час после испытаний пробы разрезались и определялась прочность ее клеток на разрыв по замерам глубины изменения окраски. В результате описанных экспериментов было установлено, что процесс деформации плода под действием наконечника состоял из деформации клеток под кожицей, повреждения отдельных клеток под кожицей, которая еще была цела и, наконец, повреждение с прорывом кожицы. Величина деформации плода под действием наконечника до момента начала разрушения клеток в случае статического и ударного приложения нагрузок близки.

---

Остаточная деформация мякоти плодов при ударе меньше. В связи с тем, что нагрузка при деформации воспринимается мякотью плода или клубня, а кожица лишь распределяет ее на большую площадь, все прочностные и упругие свойства клубней и близких к ним по строению овощей можно изучать, исследуя процесс деформации мякоти. Моделирование процессов силового взаимодействия клубней друг с другом и с рабочими органами машин требует выбора механической модели мякоти клубней. Для выбора модели, которая наиболее полно и точно описывала бы процесс деформации мякоти, нам необходимо знать соотношения таких величин, как напряжение и, связанная с ним, относительная деформация при разных условиях нагружения. Это требует проведения испытаний образцов из мякоти клубней на прочность при действии статических, ударных и циклических нагрузок. Применявшиеся ранее методы не позволяли решать подобных задач. Поэтому нами был выбран метод деформации цилиндрических образцов, вырезанных из мякоти. Образец вырезался специальным приспособлением (рис. 4.5). При этом получался цилиндрический образец диаметром 19 мм и высотой от 10 до 15 мм, вырезанный из мякоти клубня.

Для выбора модели отражающей упругие и вязкостные свойства мякоти клубней необходимо было исследовать процессы текучести и релаксации (рис.4.7). При этом текучесть - деформация образцов в условиях постоянного напряженного состояния, а релаксации - падение напряжения при постоянной по величине относительной деформации. Анализ результатов указывает на возможность применения модели изображенной на рис. 3.4. Деформация образца из мякоти клубня, как и деформация модели является суммой деформаций упруго-вязкой и упругой частей [62], т.е.

$$\varepsilon = \varepsilon_y + \varepsilon_{yv} \quad (3.1)$$

---

При этом деформация упругого элемента равна

$$\varepsilon_y = \frac{\sigma}{k_2}$$

В случае асимметричности циклического нагружения, имеющего место, например при транспортировке, когда максимальные ускорения колебаний меньше  $1 \cdot g$ , напряжение в упругом элементе равно

$$\sigma = \sigma_{cp} + \sigma_a \cdot \sin(vt)$$

где;  $\sigma_a$  - амплитуда колебаний напряжения сжатия ,

$$\sigma_{cp} = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} = \text{- среднее значение напряжения сжатия за цикл,}$$

$v$  - циклическая частота колебаний напряжения.

Деформация при этом равна :

$$\varepsilon_y = \frac{\sigma_{cp}}{k_2} + \sin(vt) \cdot \frac{\sigma_a}{k_2}$$

При деформации упруго - вязкой части модели напряжение равно:

$$\sigma = \sigma_{y1} + \sigma_b \tag{3.2}$$

где:  $\sigma_{y1} = k_1 \cdot \varepsilon_{yb}$  - напряжение вызванное деформацией упругого звена упруго - вязкой части модели,

$$\sigma_b = \eta_1 \cdot \frac{d\varepsilon_{yb}}{dt} \text{ - напряжение вызванное деформацией звена}$$

моделирующего вязкостное сопротивление, пропорциональное скорости относительной деформации и зависящего от коэффициента вязкости.

---

В случае постоянной скорости относительной деформации напряжение в вязком звене упруго – вязкой части модели может быть вычислено по формуле:

$$\sigma_{\text{в}} = \eta_1 \cdot \frac{d\varepsilon}{dt}$$

При постоянном напряжении деформация этого элемента пропорциональна времени:

$$\varepsilon_{\text{в}} = \frac{\sigma \cdot t}{\eta_1}$$

В случае асимметричного циклического напряжения деформация определится по формуле :

$$\varepsilon_{\text{в}} = \frac{\sigma_{\text{ср}} \cdot t}{\eta_1} + (1 - \cos vt) \cdot \frac{\sigma_a}{\eta_1 v} \quad (3.3)$$

Напряжение в упруго - вязкой части модели определяется следующим образом :

$$\sigma_{\text{ув}} = k_1 \cdot \varepsilon + \eta_1 \cdot \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (3.4)$$

Для случая постоянного напряжения деформация этой части определяется путем интегрирования уравнения (3.4).

При этом постоянную интегрирования определяем исходя из начальных условий : при  $t = 0$  ;  $\varepsilon = 0$  . В результате интегрирования получим следующее уравнение деформации :

$$\varepsilon_{\text{ув}} = \left( 1 - e^{\frac{-k_1 \cdot t}{\eta_1}} \right) \cdot \frac{\sigma}{k_1} \quad (3.5)$$

В случае симметричного напряженного состояния уравнение (3.4) примет следующий вид :

$$\sigma_a \cdot \sin vt = k_1 \cdot \varepsilon_{\text{ув}} + \eta_1 \cdot \frac{d\varepsilon_{\text{ув}}}{dt}$$

---

$$\text{или} \quad \frac{d\varepsilon_{yв}}{dt} + \frac{k_1 \cdot \varepsilon_{yв}}{\eta_1} = \sin vt \cdot \frac{\sigma_a}{\eta_1}$$

Решая это дифференциальное уравнение получим :

$$\varepsilon_{yв} = \sigma_a \cdot \frac{\eta_1}{k_1^2 \cdot \eta_1^2 \cdot v^2} \cdot \left( \frac{k_1}{\eta_1} \cdot \sin vt - v \cdot \cos vt + C \cdot e^{\frac{-k_1 \cdot t}{\eta_1}} \right)$$

Постоянную интегрирования C находим из условий :  $t = 0$  ;  $\varepsilon = 0$

$$C = \sigma_a \cdot \frac{\eta_1}{k_1^2 \cdot \eta_1^2 \cdot v^2}$$

Окончательно получаем :

$$\varepsilon_{yв} = \sigma_a \cdot \frac{\eta_1}{k_1^2 \cdot \eta_1^2 \cdot v^2} \cdot \left( \frac{k_1}{\eta_1} \cdot \sin vt - v \cdot \cos vt + v \cdot e^{\frac{-k_1 \cdot t}{\eta_1}} \right) \quad (3.6)$$

При асимметричном напряженном состоянии деформация этой части модели выразится формулой, учитывающей выражения (3.5) и (3.6):

$$\varepsilon_{yв} = \sigma_a \cdot \frac{\eta_1}{k_1^2 \cdot \eta_1^2 \cdot v^2} \cdot \left( \frac{k_1}{\eta_1} \cdot \sin vt - v \cdot \cos vt + v \cdot e^{\frac{-k_1 \cdot t}{\eta_1}} \right) + \frac{\sigma_{сп}}{k_1} \cdot \left( 1 - e^{\frac{k_1 \cdot t}{\eta_1}} \right)$$

Проанализировав процессы деформации отдельных частей модели, приступим к аналитическому исследованию напряженного состояния модели в целом. Совместное решение (3.1) и (3.2) дает уравнение деформации модели мякоти клубня картофеля :

$$\sigma + \frac{\eta_1}{k_1 + k_2} \cdot \frac{d\sigma}{dt} = k \cdot \left( \varepsilon + \frac{\eta_1}{k_1} \cdot \frac{d\varepsilon}{dt} \right) \quad (3.7)$$

где  $k = \frac{k_1 \cdot k_2}{k_1 + k_2}$  - приведенный коэффициент упругости модели.

Рассмотрим несколько случаев напряженного состояния, которые возникают в мякоти клубней при их транспортировке и хранении. Так при хранении в местах контакта возникают напряжения близкие к постоянным. Деформацию определяем с помощью уравнения (3.1).

Учитывая равенства  $\varepsilon_y = \frac{\sigma}{k_2}$  и (3.5), получаем:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{k_2} + \frac{\sigma}{k_1} \cdot \left( 1 - e^{\frac{-k_1 \cdot t}{\eta_1}} \right) \quad (3.8)$$

Экспериментальное исследование этого процесса представлено на рис. 4.7. Анализ уравнения (3.8) как и результатов экспериментального исследования указывает на то, что предельное значение деформации практически достигается за время

$t = 5 \frac{\eta_1}{k_1}$  т.к. ( $e^{-5} \approx 0$ ) и она равна при этом:

$$\varepsilon_{np} = \frac{\sigma}{k_1} + \frac{\sigma}{k_2} = \frac{\sigma}{k} \quad (3.9)$$

Используя выражение (3.9) и результаты исследований процесса текучести образцов, вырезанных из мякоти клубней картофеля сорта "Невский" (рис. 4.7) определяем:

$k_2$  - коэффициент упругости упругой части модели;

$k_1$  - коэффициент упругости упруго - вязкой части модели;

$k = \frac{k_1 \cdot k_2}{k_1 + k_2}$  - приведенный коэффициент упругости всей модели.

---

Процесс релаксации напряжения в образце из мякоти клубня, связанный с наличием вязкостных свойств, представлен на рис. 4.7. Процесс представляет собой уменьшение напряжения сжатия со временем, при сохранении постоянной по величине относительной деформации ( $\varepsilon = \text{const}$ ). Для этого случая нагружения уравнение напряжения имеют вид:

$$\sigma + \frac{\eta_1}{k_1 + k_2} \cdot \frac{d\sigma}{dt} = k \cdot \varepsilon$$

и оно имеет решение :

$$\sigma = k \cdot \varepsilon + C \cdot e^{-\left(\frac{k_1+k_2}{\eta_1}\right) \cdot t}$$

Постоянную интегрирования  $C$  находим из начальных условий: при  $t = 0$ ,  $\sigma = 0$ :

$$C = \sigma_0 \cdot k \cdot \varepsilon$$

Следовательно релаксирующее напряжение как модели, так и мякоти клубней выразится следующим образом:

$$\sigma = k \cdot \varepsilon + (\sigma_0 - k \cdot \varepsilon) \cdot e^{-\left(\frac{k_1+k_2}{\eta_1}\right) \cdot t} \quad (3.10)$$

Из выражения (3.10) видно, что наименьшего значения напряжение достигнет за время

$$t = 5 \frac{\eta_1}{k_1+k_2}$$

Наименьшее напряжение будет равно  $\sigma_{\text{пр}} = k \cdot \varepsilon$

Для определения вязкостных свойств мякоти и определения коэффициента вязкости модели необходимо провести исследования деформации образцов при постоянной скорости деформации. При этом уравнение напряжений (3.7) имеет вид :

---

$$\sigma + \frac{\eta_1}{k_1 + k_2} \cdot \frac{d\sigma}{dt} = k \cdot \left( t \cdot \frac{d\varepsilon}{dt} + \frac{\eta_1}{k_1} \cdot \frac{d\varepsilon}{dt} \right)$$

а решение его будет следующим:

$$\sigma = \frac{d\varepsilon}{dt} \cdot \left( \eta_1 \cdot \frac{k_2^2}{k_1^2} + k \cdot t \right) \cdot C \cdot e^{-\left(\frac{k_1+k_2}{\eta_1}\right) \cdot t}$$

Постоянную интегрирования находим из начальных условий

$$t = 0, \sigma = 0, \quad C = -\frac{d\varepsilon}{dt} \cdot \eta_1 \cdot \frac{k_2^2}{k_1^2}$$

Следовательно напряжение в образце при постоянной скорости деформации, может быть вычислено по формуле:

$$\sigma = k \cdot t \cdot \frac{d\varepsilon}{dt} + \left( \frac{d\varepsilon}{dt} \cdot \eta_1 \cdot \frac{k_2^2}{k_1^2} \right) \cdot \left( 1 - e^{-\left(\frac{k_1+k_2}{\eta_1}\right) \cdot t} \right) \quad (3.11)$$

Как видно в уравнении (3.11) первое слагаемое - уравнение прямой, а второе - уравнение экспоненты. Выразив в уравнении (3.11) время деформации  $t$  через  $\varepsilon / v$ , получим связь между напряжением и деформацией

$$\sigma = k \cdot \varepsilon + \left( \frac{d\varepsilon}{dt} \cdot \eta_1 \cdot \frac{k_2^2}{k_1^2} \right) \cdot \left( 1 - e^{-\left(\frac{k_1+k_2}{\eta_1 \cdot \frac{d\varepsilon}{dt}}\right) \cdot \varepsilon} \right) \quad (3.12)$$



### 3.3. Теория прочности мякоти клубней картофеля.

Соппротивление клубней деформированию и разрушению определяется сложными процессами, характер протекания которых зависит от природы и физического состояния деформируемого тела, вида и режима нагружения. Под термином " расчет на прочность" будем понимать установление предельных напряжений или деформированных состояний при которых наступает разрушение мякоти продуктов или расчленение клубней на отдельные части.

Напряженное состояние в клубнях даже при самых простых схемах их нагружения всегда является сложным. Поэтому результаты прочностного расчета в значительной мере зависят от принятой нами при расчетах гипотезы прочности. Гипотеза , исходя из данных о поведении материала при простейших видах нагружения, позволяет предсказать, когда наступит опасное состояние при действии любой сложной системы напряжений.

Справедливость гипотезы можно подтвердить только путем сопоставления результатов расчета с экспериментально известными фактами. Надежных экспериментальных данных о сопротивлении материалов при сложном напряженном состоянии пока явно недостаточно, особенно это касается растительных материалов, поэтому сформулируем лишь основные требования теории прочности.

Теория прочности по нашему мнению должна иметь четкий физический смысл. Для понимания сути сложных процессов и получения необходимой информации о веществе иногда целесообразно исследовать его физические свойства в возможно более общей форме и охарактеризовать вещество, воплощенное в реальное тело, веществом с которым мы встречаемся в повседневной жизни. Именно такой подход с элементами идеализации некоторых свойств твердых тел характерен для механических подходов при исследовании

прочности. Из большого числа факторов, прямо или косвенно влияющих на закономерности деформирования и величину прочности, очень важно выбрать те которые являются определяющими для рассматриваемого процесса. От правильного физически обоснованного выбора отправных гипотез зависит точность полученных на основе данной теории расчетных формул. Теория прочности должна формулироваться уравнением с минимальным количеством констант материала, определяемых из простейших опытов. Если прочность считается функцией только напряженного состояния, то основные механические свойства подавляющего числа реальных материалов, по разному сопротивляющихся растяжению и сжатию можно отразить в расчетных формулах двумя константами. Учет таких факторов, как температура, скорость нагружения, градиент напряжений, масштабный фактор и другие, не всегда представляются возможными. Поэтому параметры, отражающие влияние указанных факторов, должны входить в критерий прочности в виде удобном для их исключения, если отсутствует необходимая информация о влиянии того или иного фактора.

Теория прочности должна формулироваться уравнениями удобными для практического применения. Дело в том, что при расчетах в пластической области или ползучести использование сложных функций вызывает значительные математические трудности. Большинство разработанных на сегодня теорий прочности не нашло распространения в научной и технической литературе в виду не только отсутствия достаточного экспериментального обоснования того или другого предложения, но и часто из-за громоздкости их расчетных уравнений, а также необходимостью опытного определения большого числа констант, отражающих механические свойства материала.

Широкое распространение в инженерной практике получила теория Мора. Она носит полуэмпирический характер, так как для достаточно точной аналитической аппроксимации огибающих кругов напряжений необходима постановка соответствующих опытов ( что и обеспечивает ее хорошее соответствие эксперименту ).

В настоящее время проводятся, как правило, простейшие испытания мякоти клубней и образцов вырезанных из них. Так нами проводились испытания на растяжение, сжатие и срез, при которых была установлена разная сопротивляемость мякоти клубней растяжению и сжатию. Так предел прочности при сжатии образцов из мякоти клубней картофеля сорта "Невский" был около 1,7 МПа, а при растяжении около 1,03 МПа. При этом следует отметить, что разрушение, например при сжатии цилиндрических образцов, происходит путем сдвига одних частей относительно других по площадкам, наклоненным к оси образца и линии действия силы. При этом угол наклона близок к 45°, а именно на этих площадках и возникают максимальные касательные напряжения. Подобное разрушение мякоти указывает на преимущество теории наибольших касательных напряжений перед другими классическими теориями прочности, то есть теории Кулона - Мора. Распространяя теорию максимальных касательных напряжений на материалы по разному сопротивляющиеся растяжению и сжатию, Кулон предложил зависимость касательных напряжений разрушающих материал в виде линейной функции среднего нормального напряжения в плоскости расположения  $\tau_{max}$ .

Условие наступления предельного состояния по теории Кулона - Мора будет отражаться равенством

$$\sigma_{эКВ} = \sigma_1 - \sigma_3 \cdot \frac{\sigma_{вр}}{\sigma_{вс}} = \sigma_1 - k \cdot \sigma_3 \leq \sigma_{вр}$$

где  $\sigma_{\text{экв}}$  - эквивалентное напряжение – напряжение которое следует создать в растянутом образце, чтобы его напряженное состояние было равноопасно с заданным сложным напряженным состоянием,

$\sigma_1$  - наибольшее, а  $\sigma_3$  - наименьшее напряжение с учетом знака,  
 $\sigma_{\text{вр}}$  - предел прочности при растяжении,  
 $\sigma_{\text{вс}}$  - предел прочности при сжатии.

Предельная поверхность в пространстве напряжений, соответствующая условию  $\sigma_1 - \sigma_3 \cdot \frac{\sigma_{\text{вр}}}{\sigma_{\text{вс}}} < \sigma_{\text{вр}}$  шестигранная равнонаклоненная к осям пирамида, представлена на рис. 3.5.

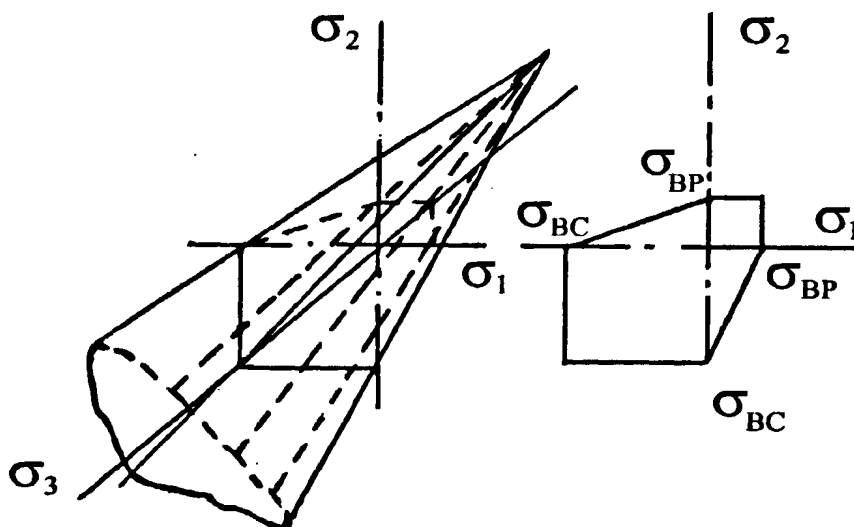


Рис. 3.5. Геометрическая интерпретация теории Мора.

### 3.4. Повреждаемость клубней при действии ударных нагрузок.

При уборке, сортировке и транспортировке клубни испытывают как отдельные ударные нагрузки, так и ударные нагрузки циклического характера, что приводит в конечном счете к значительной механи-

ческой повреждаемости продукции. При этом длительность ударного воздействия составляет доли секунды.

Так, например, при падении клубней картофеля на металлическую поверхность с высот от 5 до 10 см длительность удара около 0,1 секунды. Подставляя в уравнение деформации (3.8), полученные нами данные по упруго - вязким свойствам, мякоти клубней картофеля сорта "Невский" имеем:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{k_2} + \frac{\sigma}{k_1} \cdot (1 - e^{\frac{-50.7}{4 \cdot 10^4} \cdot 0.1}) \approx \frac{\sigma}{k_2}$$

Таким образом при ударных нагрузках возникающих при падении клубней и при их соударении, мякоть ведет себя как упругое тело. В принятой нами модели вязкое звено блокирует упругий элемент и упруго - вязкая часть модели выступает абсолютно твердым телом. Работает лишь упругая часть модели. Поэтому, проводя исследования процессов деформации и разрушения мякоти клубней при действии ударных нагрузок, достаточно знать предел прочности, модуль упругости и коэффициент Пуассона мякоти. Для определения предела прочности и модуля упругости нами был усовершенствован комплекс состоящий из копра маятникового типа и тензометрического оборудования (рис 3.6) .

На копре (рис.3.6), образец 4 устанавливается на тензометрическую балку . На образец опирается пластина, по которой в процессе испытания прокатывается ролик 1, опуская ее и деформирую при этом образец, доводя его до разрушения. Вылет маятника характеризуемый углом , определяет ту часть энергии, которая не была израсходована на разрушение образца. По разнице углов и судим о работе, затраченной на разрушение образца. Тензометрический мост позволяет определить предельную силу сжимающую образец Р.

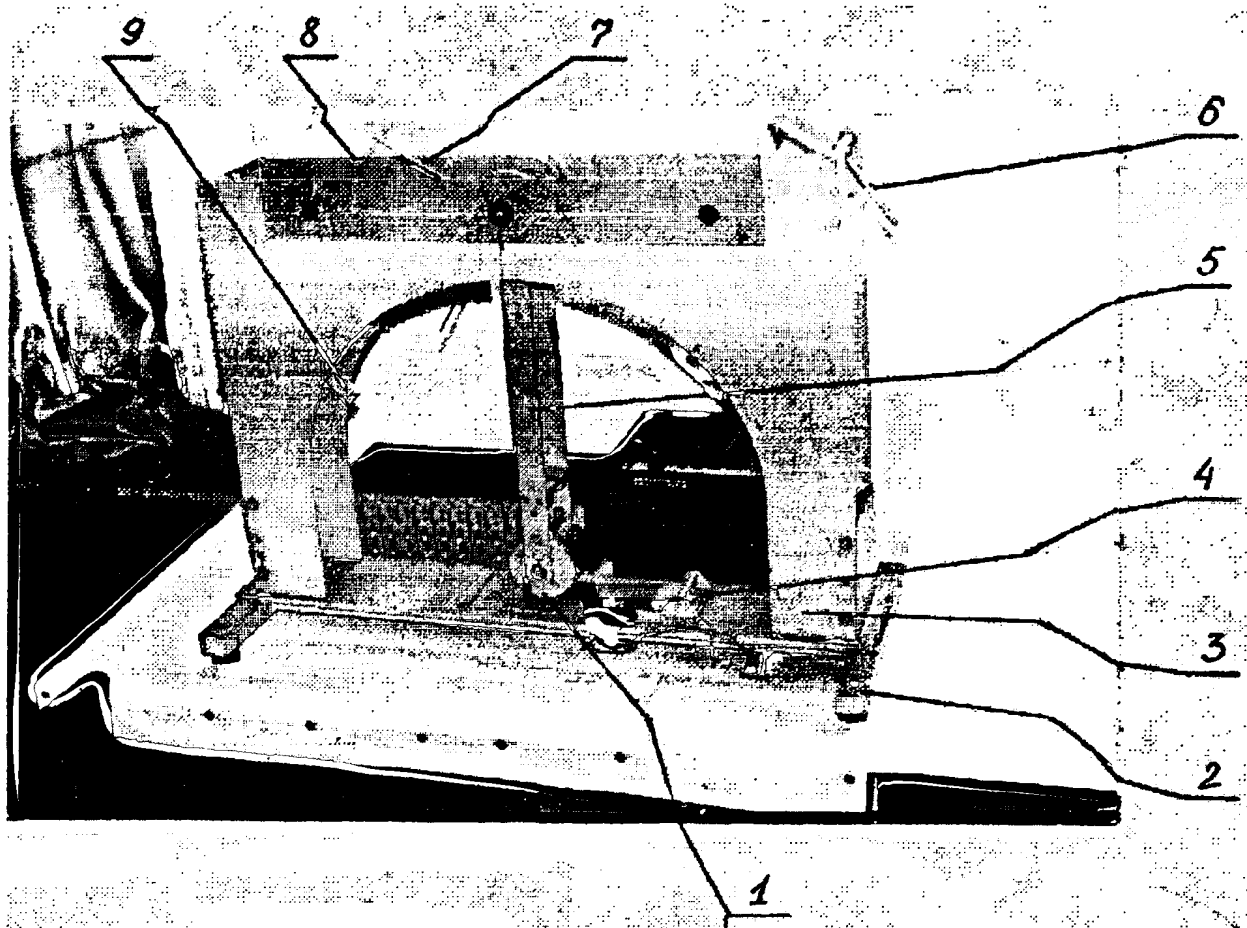


Рис 3.6. Комплекс приборов для динамических исследований мякоти клубней картофеля.

Это дает возможность определить предел прочности мякоти клубней по формуле

$$\sigma = \frac{P}{F}$$

где  $F$  - площадь поперечного сечения образца.

Работу затраченную на разрушение образца, можно определить как разницу потенциальных энергий маятника копра в начале и конце опыта:

$$A = \Pi_1 - \Pi_0 = \frac{V \cdot E}{2},$$

где  $V$  и  $E$  - объем и модуль упругости образца.

Из последней зависимости определим модуль упругости мякоти клубней, учитывая, что предел прочности уже известен:

$$E = \frac{2 \cdot A}{V}.$$

Для накопления массового материала по механическим свойствам сельскохозяйственных продуктов чаще пользуются более удобными методами которые могут быть применены и в полевых условиях. Так в целые плоды, ягоды, клубни и корнеплоды вдавливают металлические наконечники различных форм и размеров. Сопротивление мякоти внедрению в нее наконечника характеризует и жесткость мякоти и ее прочность.

При взаимодействии жесткого металлического наконечника с клубнем, наконечник практически не деформируется. В мякоти клубня возникают напряжения распределение которых существенно зависит от формы внедряемого наконечника. Так действуя цилиндрическим наконечником создаем под ним контактные напряжения [76] подчиняющиеся зависимости выражаемой формулой

$$q = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot a \cdot \sqrt{a^2 - r^2}}$$

где  $P$  - нагрузка на штамп - наконечник,

$a$  - радиус штампа,

$r$  - расстояние от данной точки до центра штампа.

Из формулы следует, что наименьшее контактное напряжение возникает в центре контактной площадки получаемой при внедрении цилиндрического штампа под действием силы  $P$  в плоскую поверхность мякоти клубня или плода и оно равно:

$$q_{\min} = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot a^2}$$

Наибольшее напряжение возникает по периметру, где и наблюдается появление местного разрушения мякоти продуктов (рис. 3.7)

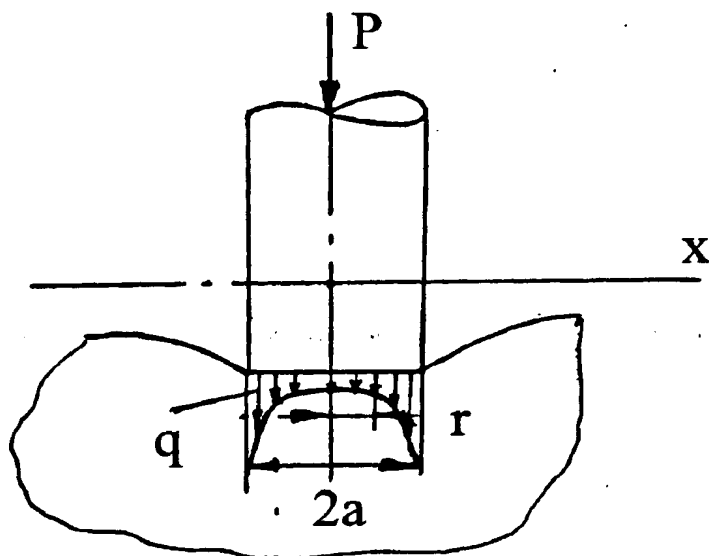


Рис. 3.7. Контактные напряжения под цилиндрическим штампом.

Перемещение штампа определяется формулой

$$W = \frac{P \cdot (1 - \mu^2)}{2 \cdot E \cdot a}$$

откуда видна линейная зависимость деформации от нагрузки. Последнее дает возможность при ударном воздействии приравнять работу упругой деформации  $\frac{P \cdot W}{2}$  кинетической энергии которую имеет наконечник в момент удара. Отсюда максимальная сила удара при которой начинается проникновение цилиндрического наконечника в клубень определяется через кинетическую энергию ударяющего наконечника, его диаметр и жесткость мякоти следующим образом:

$$P_{\max} = \sqrt{\frac{4 \cdot E \cdot a \cdot T}{0.9}}$$

Зная разрушающую силу можно определить и предел прочности мякоти при ударном приложении нагрузки .



$$\sigma_{\max} = \frac{P_{\max}}{2 \cdot \pi \cdot a^2}$$

Именно такое напряжение будет в средней части пятна контакта в момент разрушения мякоти по всему пятну и началу проникновения наконечника вглубь мякоти клубня.

Для определения предела прочности при таком эксперименте получим следующую зависимость:

$$\sigma_{\max} = \sigma_{\text{вс}} = 0.33 \cdot \sqrt{\frac{T \cdot E}{a^3}}$$

Для определения модуля упругости при ударных нагрузках, нами предлагается, увеличив энергию удара, дополнительно определять глубину проникновения наконечника в клубень.

$$\text{Тогда } E = \frac{2 \cdot T}{V},$$

где  $V$  - объем поврежденной наконечником мякоти.

### 3.5. Волны деформаций и напряжений в клубнях картофеля при ударах.

При ударных воздействиях рабочих органов на клубни или при соударении их от области контакта по клубню распространяются упругие волны продольных и поперечных колебаний. Скорость распространения волн зависит от упругих свойств мякоти и ее плотности. При этом могут возникать случаи, когда размеры длин волн ударного возбуждения сравнимы с линейными размерами клубня в результате чего возникают отраженные волны их суперпозиция и в теле клубня устанавливаются сложные колебания

которые могут повлиять на прочность. Рассмотрим удар рабочего органа или падающего клубня о клубень лежащий на неподвижной поверхности (рис. 3.8).

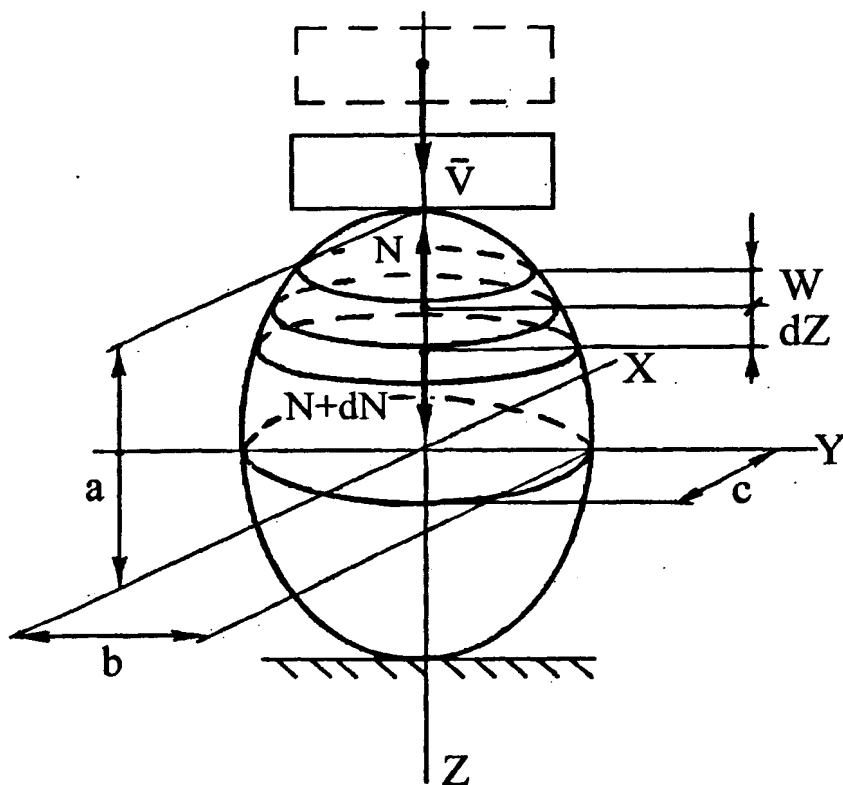


Рис. 3.8. Удар по клубню.

Клубень представим эллипсоидом

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1$$

где a, b и c - полуоси эллипсоида, которые определяются длиной, шириной и толщиной клубня.

По принципу Даламбера уравнение равновесия элемента клубня, подверженного ударному воздействию, можно записать в

виде дифференциального уравнения  $\frac{dN}{dz} = -q$

где  $N$  – продольная составляющая главного вектора внутренних сил действующих в сечении клубня,  
 $q$  – распределенная по длине клубня нагрузка от сил инерции.

Для единицы длины клубня эта нагрузка будет выражена следующим образом:

$$q = -m \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}$$

где  $m = \rho F$ ,

$\rho$  - плотность мякоти клубня,

$F = \pi \cdot b \cdot c \cdot \left(1 - \frac{z^2}{a^2}\right)$  - площадь поперечного сечения,

$w$  - перемещение сечения вдоль оси  $z$ .

Учитывая, что  $N = E \cdot F \frac{dw}{dz}$ , где  $E$  - модуль упругости мякоти клубней картофеля, уравнение равновесия элемента длиной  $dz$  получим в виде

$$\frac{d}{dz} \left( E \cdot F \frac{dw}{dz} \right) = \rho \cdot F \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}$$

В тоже время уравнение равновесия элемента длиной  $dz$  однородного стержня постоянного сечения  $\Delta F$ , соединяющего оба пятна контакта, имеет вид

$$\frac{d}{dz} \left( E \cdot \Delta F \frac{dw}{dz} \right) = \rho \cdot \Delta F \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}$$

Обозначив  $\sqrt{\frac{E}{\rho}} = C$  получим, так называемое, волновое уравнение

$$C^2 \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} = \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \quad (3.13)$$

Решение этого уравнения можно записать в виде

$$w = f_1(z - Ct) \quad (3.14)$$

где  $f$  - возмущение полученное на верхнем конце клубня.

На рисунке 3.9 видно, что зависимость (3.14) выражает поступательное движение кривой  $f$  вниз вдоль оси клубня со скоростью  $C$  м/с. Аналогично можно видеть, что  $w = f_2(z + Ct)$  выражает движение кривой  $f_2$  вверх с той же скоростью.

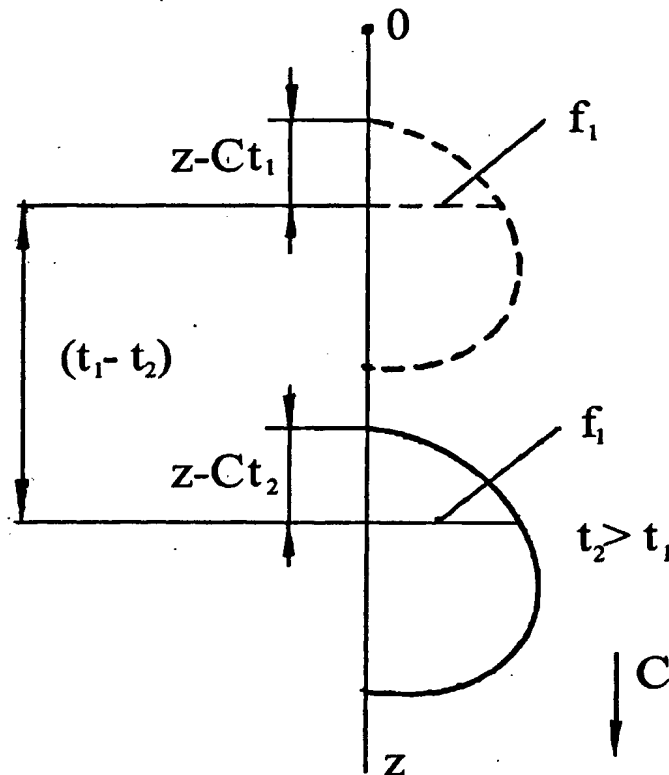


Рис. 3.9. Движение бегущей волны в клубне.

Сумма возмущений  $w = f_1(z - Ct) + f_2(z + Ct)$  выражает распространение деформаций и напряжений в виде бегущих волн в положительном и отрицательном направлениях оси  $z$ . В частности, при  $f_1 = f_2$  второе слагаемое выражает волну отраженную от жесткой

поверхности. Скорость продольных волн велика. Так для мякоти картофеля у которой при ударных воздействиях модуль упругости и плотность соответственно равны 45 Мпа и 1100 кг/м<sup>3</sup>, скорость получается 200 м/с.

При ударе, как уже отмечалось, в упругих телах возникают колебания, причем напряжения и деформации могут достигать опасных для прочности значений. Расчет максимальных перемещений точек тела при ударе, а также соответствующих деформаций и напряжений выполняется с помощью аппарата теории колебаний. При этом надо иметь в виду, что силы воздействующие на клубень в процессе удара заранее не известны. Эти силы могут быть найдены лишь из совместного решения уравнений движения частиц мякоти клубня и ударяющего тела. Известно, что механические свойства конструкционных материалов не зависят от скорости нагружения, но предел текучести, например, у стали увеличивается с увеличением скорости нагружения приближаясь к пределу прочности. Предел прочности мало зависит от скорости нагружения. Для мякоти клубней картофеля, как показали наши эксперименты, предела текучести не существует, а предел прочности растет особенно при статическом нагружении. Соударение клубней картофеля с массивными рабочими органами и друг с другом рассмотрим с учетом распространения волн упругих деформаций.

В процессе удара за малый промежуток времени  $dt$  ударяющее тело пройдет путь  $dS = V \cdot dt$ , создавая на торце деформацию сжатия  $\varepsilon$ . От торца эта деформация будет распространяться вдоль клубня со скоростью  $C$  и за время  $dt$  создаст сжатие на длине  $S = C \cdot dt$ . Считая на бесконечно малом отрезке  $dS$  деформацию  $\varepsilon$  распределенной равномерно, найдем деформацию и напряжения на торце:

$$\varepsilon = \frac{dS}{S} = \frac{V dt}{C dt} = \frac{V}{C} \quad \sigma = E \cdot \varepsilon = E \frac{V}{C}$$

Полученный результат говорит о том, что в пятне контакта клубня и ударяющего тела деформации и напряжения зависят только от скорости ударяющего тела. Так как для мякоти картофеля при ударе разрушения наступают при напряжениях от 2 до 3 Мпа, то предельной будет скорость соударения  $V = \sigma \frac{C}{E}$ , то есть от 9 до 13 м/с.

В зоне контакта при этой скорости мякоть будет повреждаться не зависимо от массы ударяющего тела.

Скорость ударяющего тела в процессе удара убывает и в тоже время определяется производной

$$\frac{dw}{dt} = \sigma \frac{C}{E} \quad \text{или} \quad \frac{dw}{dt} = \frac{C \cdot P}{E \cdot F} \quad (3.15)$$

где  $P$  - сила ударного взаимодействия падающего тела и клубня,

$F = \pi \cdot b \cdot c \cdot (1 - \frac{z^2}{a^2})$  - площадь поперечного сечения клубня на расстоянии  $z$  от торца.

Дифференцируя (3.15) по времени получим ускорение

ударяющего тела  $\frac{d^2w}{dt^2} = \frac{C}{E \cdot F} \cdot \frac{dP}{dt} \quad (3.16)$

По закону Ньютона  $\frac{d^2w}{dt^2} = -\frac{P}{M}$ ,

где  $M$  - масса ударяющего тела.

Подставив ускорение в дифференциальное уравнение (3.16) получим:

$$\frac{dP}{dt} + \frac{E \cdot F}{C \cdot M} \cdot P = 0 \quad \text{или} \quad \frac{dP}{dt} + \alpha \cdot P = 0 \quad (3.17)$$

где  $\alpha = \frac{E \cdot F}{C \cdot M}$

При начальных условиях, когда  $t = 0$ ,  $P = \sigma_0 \cdot F = \frac{V_0}{C} E \cdot F$

решение уравнения (3.17) дает выражения для силы, напряжений и деформаций плоскости контакта клубня и ударяющего тела.

$$P = \frac{V_0 \cdot E \cdot F}{C} e^{-\alpha t}, \quad \varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{P}{E \cdot F} = \frac{V_0}{C} e^{-\alpha t}$$

Время прохождения волны от контактной поверхности до сечения с координатой  $(a+z)$  равно  $(a+z)/C$ . Поэтому подставляя в выражение деформации аргумент  $t$  в виде  $t - \frac{a+z}{C}$ , получим закон распространения волн деформаций от поверхности контакта со скоростью  $C$ .

$$\varepsilon = \frac{V_0}{C} e^{-\alpha(t - \frac{a+z}{C})}, \quad \text{где } a + z \geq c$$

### 3.6. Взаимодействие клубней картофеля с рабочими органами сельскохозяйственных машин.

Наибольшее количество механических повреждений при уборке картофеля (около 70 %), проявляющиеся в потемнении мякоти, происходит при ударных нагрузках на клубни на сепарирующих рабочих органах и перепадах.

В случае прямого удара [76] между контактной силой  $P$  и сближением центров масс соударяющихся тел  $\alpha$  существует зависимость

$$P = k \cdot \alpha^{\frac{3}{2}},$$

где  $k = \frac{4}{3 \cdot \eta} \cdot \sqrt{R}$  ;  $\eta = \frac{1 - \mu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \mu_2^2}{E_2}$  ;

$\mu$  и  $E$  - коэффициенты Пуассона и модули упругости материалов соударяющихся тел.

Уравнение сближения тел имеет вид

$$\frac{d^2\alpha}{dt^2} = -\frac{1}{m} \cdot P(\alpha) \quad (3.18)$$

где  $m = \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2}$  .

Решение уравнения 3.18 позволяет найти  $\alpha_{\max}$  и

$$P_{\max} = k \cdot \left[ \frac{5}{4} \cdot \frac{m \cdot v_0^2}{k} \right]^{\frac{3}{5}} .$$

где  $v_0$  - скорость сближения тел в момент соударения.

Напряжения в соударяющихся телах, обусловленных контактной силой  $P_{\max}$  определяются по формуле

$$\sigma_{\max} = 0.388 \cdot \sqrt[3]{\frac{P_{\max} \cdot E^2}{R^2}} \quad (3.19)$$

При соударении клубней

$$\sigma_{\max} = 0.388 \cdot \sqrt[3]{P_{\max} \cdot E^2 \cdot \left( \frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2} \right)^2} \quad (3.20)$$

Упругий удар сопровождается малым поглощением энергии удара на допустимую деформацию клубней. Снизить или вообще исключить повреждаемость клубней можно лишь за счет гашения энергии удара самим рабочим органом.



Подбор рациональной толщины и жесткости упругих покрытий рабочих органов является одним из практических выходов наших исследований.

Клубни картофеля, с достаточно хорошим приближением, в месте контакта имеют сферическую поверхность, поэтому при дальнейших расчетах клубни представим в виде шаров. Подбор упругих свойств покрытий и их толщины ведем при тех условиях, что давление по пятну контакта даже в самой опасной точке не должно превосходить напряжений разрушающих мякоть клубней.

Из рисунка 3.10 видно, что при прямом ударе, в момент наибольшей деформации покрытия (скорость клубня уже равна нулю) на элементарной кольцевой площадке шириной  $d\alpha \cdot R$  и длиной  $2 \cdot \pi \cdot R \cdot \sin \alpha$  действует сила равная

$$E \cdot \frac{\Delta \delta}{\delta} 2 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot \sin \alpha \cdot d\alpha$$

где  $E$  - модуль упругости покрытия (жесткость).

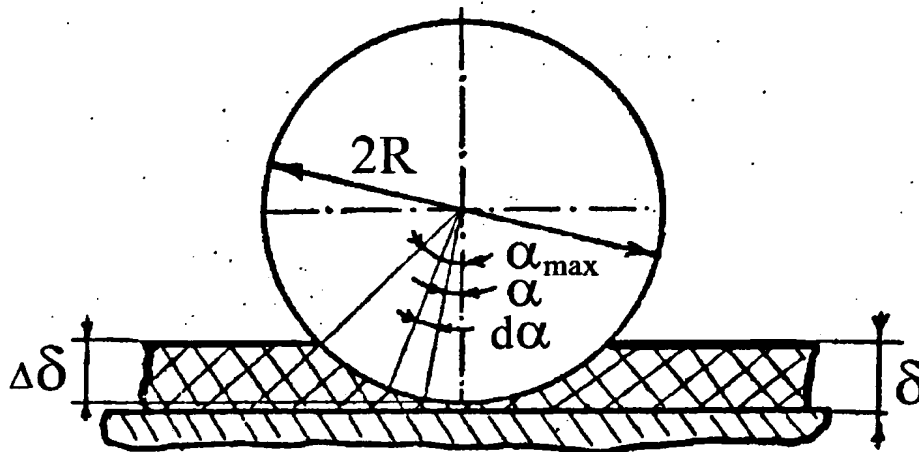


Рис. 3.10. Удар клубня по упругому покрытию.

Во время удара для деформации упругого покрытия на выделенной нами элементарной площадке тратится энергия равная

$$dA = \frac{E \cdot 2 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot \sin \alpha \cdot \Delta \delta^2}{2 \cdot \delta} \cdot d\alpha$$

где  $\Delta \delta = R \cdot (\cos \alpha - \cos \alpha_{\max}) = 2 \cdot R \cdot \sin \frac{\alpha + \alpha_{\max}}{2} \cdot \sin \frac{\alpha_{\max} - \alpha}{2}$  (3.21)

Откуда получим

$$dA = \frac{4 \cdot \pi \cdot E \cdot R^4 \cdot \sin \alpha}{\delta} \cdot \sin^2 \frac{\alpha + \alpha_{\max}}{2} \cdot \sin^2 \frac{\alpha_{\max} - \alpha}{2} d\alpha$$
 (3.22)

где  $\alpha_{\max}$  - характеризует максимальную глубину проникновения клубня в покрытие, которая ограничивается или прочностью мякоти  $\sigma_{\text{вс}}$  или максимально допустимой деформацией покрытия  $\varepsilon_{\text{пр}}$ .

Исходя из этого в наиболее опасной точке на клубень может действовать покрытие создавая давление равное

$$\sigma_{\text{вс}} = E \cdot \frac{\Delta \delta_{\max}}{\delta} \quad \text{или} \quad \sigma_{\varepsilon_{\text{пр}}} = E \cdot \frac{\Delta \delta_{\max}}{\delta}$$
 (3.23)

Из рисунка 3.10 видно, что

$$\Delta \delta_{\max} = R \cdot (1 - \cos \alpha_{\max}) = 2 \cdot R \cdot \sin^2 \frac{\alpha_{\max}}{2}$$

Подставляя в 3.23 получим

$$\sigma_{\varepsilon_{\text{пр}}} = \frac{2 \cdot E \cdot R \cdot \sin^2 \frac{\alpha_{\max}}{2}}{\delta}$$
 (3.24)

При  $\alpha < 20^\circ$  ошибка из-за замены  $\sin \alpha$  на  $\alpha$  менее 2% в сторону увеличения запаса прочности. что при технических расчетах вполне допустимо.

Используя такую замену из уравнения 3.24 получим

$$\alpha_{\max} = 2 \cdot \sqrt{\frac{\sigma' \cdot \delta}{2 \cdot R \cdot E}} \quad (3.25)$$

где  $\sigma_{\varepsilon_{\text{пр}}}$  обозначено через  $\sigma'$ .

Заменяя в уравнении (3.22)  $\sin \alpha$  на  $\alpha$  получим линейное дифференциальное уравнение

$$dA = \frac{4 \cdot \pi \cdot E \cdot R^4}{\delta} \cdot \alpha \cdot (\alpha_{\max}^2 - \alpha^2)^2 \cdot d\alpha \quad (3.26)$$

Интегрируя это уравнение с учетом уравнения (3.25) и того, что постоянная интегрирования при  $\alpha = 0$  равна нулю, получим уравнение работы затраченной на деформацию упругого покрытия

$$A = \frac{4 \cdot \pi \cdot R \cdot (\sigma')^3 \cdot \delta^2}{3 \cdot E^2} \quad (3.27)$$

Эта работа может быть приравнена кинетической энергии ударяющего клубня

$$T = \frac{m \cdot v^2}{2} \quad (3.28)$$

где  $m$  - масса клубня,

$v$  - скорость соударения клубня с рабочим органом.

Приравнивая правые части уравнений (3.27) и (3.28) получим зависимость связывающую скорость удара с характеристиками упругого покрытия и ударяющего плода.

$$v^2 = \frac{8 \cdot \pi \cdot R \cdot (\sigma')^3 \cdot \delta^2}{3 \cdot E^2 \cdot m} \quad (3.29)$$

Из уравнения (3.29) видно, что варьируя жесткостью и толщиной покрытия, можно предохранить клубни от повреждений при ударе, выбрав при этом наиболее экономичный вариант.

Создавая специальные упругие покрытия с большой пористостью, а следовательно и большой предельно допустимой относительной деформацией ( $\varepsilon_{\text{пр}}$ ) можно существенно уменьшить толщину покрытия. Так, задавшись  $\varepsilon_{\text{пр}} = 0.5$  можно построить графики зависимости жесткости покрытия от толщины при разных высотах падения клубней картофеля. Для построения этой зависимости уравнение (3.29) преобразуем помня, что  $\sigma' = E \cdot \varepsilon_{\text{пр}}$  в результате получим

$$v^2 = \frac{8 \cdot \pi \cdot R \cdot \varepsilon_{\text{пр}}^3 \cdot E \cdot \delta^2}{3 \cdot m}$$

Откуда 
$$E = \frac{3 \cdot v^2 \cdot m}{8 \cdot \pi \cdot R \cdot \varepsilon_{\text{пр}}^3 \cdot \delta^2} = \frac{3 \cdot g \cdot H \cdot m}{4 \cdot \pi \cdot R \cdot \varepsilon_{\text{пр}}^3 \cdot \delta^2}$$

При транспортировке клубней картофеля наряду с асимметричным нагружением на сжатие силами тяжести вышележащих слоев, клубни испытывают еще и ударные воздействия. Из всех случаев возникновения ударных нагрузок в массе перевозимого груза, рассмотрим два наиболее неблагоприятных случая соударения клубней с полом кузова или тарой, а также между собой.

Первый случай соударения возникает при переезде отдельных глубоких выбоин, расположенных на значительном расстоянии друг от друга. При переезде возникает единичное подбрасывание груза с последующим падением его на плоскость днища кузова, которое успевает погасить свою амплитуду колебаний. В этом случае подбрасывание клубней происходит за счет значительной величины кинетической энергии воспринятой клубнями от кузова транспортного средства. При движении транспортных средств по дорогам, неровности которых носят периодический характер, может наблюдаться второй неблагоприятный случай соударения.

При переезде отдельных неровностей наблюдается вынужденное вертикальное колебание кузова по закону:

$$z_v = A_0 \sin(vt - \beta),$$

где  $A_0$  и  $v$  - амплитуда и частота колебания кузова;

$\beta$  - сдвиг фаз возмущающего воздействия и колебания;

$t$  - время.

Потери энергии в подвеске приводят практически к затуханию колебаний по истечению одного периода.

Максимальная скорость движения кузова в вертикальном направлении при этом равна

$$\dot{z}_v = A \cdot v,$$

Кинетическая энергия клубней, соответствующая этой скорости, определяет высоту подброса их и последующего падения на дно контейнера.

При движении по участку дороги, имеющему "ребристую" поверхность, возникают периодически действующие вынужденные колебания, вызывающие встречные соударения клубней с колеблющейся плоскостью. Максимальная скорость при этом равна:

$$\dot{z}_v = A \cdot v(1 + \lambda),$$

где  $\lambda$  - коэффициент восстановления скорости при ударе.

Из литературных источников и проведенных нами экспериментов известно, что для свежесобранных клубней картофеля допустимая высота падения на сосновую доску равна от 20 до 25 см, а коэффициент восстановления скорости при ударе от 0,55 до 0,63. При многократных ударах допустимая высота сбрасывания снижается в  $N$  раз.

При внутрихозяйственных перевозках допустимую высоту сбрасывания снижаем в  $N_1$  раз, при этом учитываем действие лишь одиночных колебаний.

$$\text{При этом получим: } A_0 = \frac{1}{v} \sqrt{\frac{2gH}{N_1}}, \quad (3.30)$$

где  $H$  - допустимая высота падения клубней.

При длительных перевозках допустимую высоту падения снижаем в  $N_2$  раз, но при этом учитываем наличие встречного соударения клубней с колеблющейся плоскостью.

В результате получим:

$$A_0 = \frac{1}{(1+\lambda) \cdot v} \cdot \sqrt{\frac{2gH}{N_2}}. \quad (3.31)$$

Зависимости (3.30) и (3.31) являются предельно - допустимыми амплитудно - частотными характеристиками колебаний транспортных средств, определяющими допустимые скорости движения при перевозке картофеля по дорогам и полям с известными характеристиками их неровностей. Их можно использовать также при расчете режимов работы сепарирующих органов уборочных машин.

### 3.6. Выводы по 3 главе.

1. Оболочки клеток мякоти клубней картофеля, содержащие нитроцеллюлозу, обладают высокой механической прочностью. Они являются основой структурной организации мякоти и определяют ее прочность.

2. В силу того, что размеры клеток несоизмеримо малы по сравнению с объемами мякоти клубней, вовлеченными в процесс деформации при различных видах нагружения, то мякоть при расчетах можно считать сплошной средой.

3. Упругие и вязкостные свойства мякоти клубней картофеля особенно ярко проявляют себя при проведении исследований текучести и релаксации. Эти испытания позволяют выбрать механическую модель мякоти.

4. Учитывая механические свойства мякоти клубней картофеля и нагрузки, которым они подвергаются при посадке, уборке и транспортировке, наиболее рациональной является модель состоящая из упругой и упруго - вязкой частей соединенных последовательно.

5. При ударных воздействиях вязкостные свойства мякоти не проявляются и она ведет себя как упругая.

6. При соударениях клубней с рабочими органами и между собой в их мякоти распространяются волны упругих деформаций со скоростью 200 м/с. А при скоростях соударения от 9 до 13 м/с, независимо от силы удара, происходит повреждение мякоти.

7. Расчет прочности мякоти клубней нужно проводить с помощью феноменологической теории прочности Мора, учитывающей разную прочность мякоти клубней при растяжении и сжатии.

8. Определение предела прочности мякоти клубней при действии статических и динамических нагрузок, как в полевых так и в

лабораторных условиях, удобно проводить методом внедрения цилиндрического наконечника в клубни картофеля.

9. Для определения прочности мякоти предлагаем применять измерительный комплекс, фиксирующий процесс внедрения цилиндрического наконечника в клубень картофеля. Комплекс регистрирующий и обрабатывающий информацию с помощью ЭВМ, наиболее перспективен в селекции, семеноводстве и производстве картофеля.

10. Наличие механических характеристик картофеля и представленные в главе методы расчета прочности мякоти клубней позволяют проводить инженерные расчеты взаимодействия рабочих органов посадных, уборочных и транспортных машин с клубнями.

11. Для проведения инженерных расчетов необходим сбор массового экспериментального материала по геометрическим, массовым, прочностным, упругим и вязкостным характеристикам клубней картофеля.



## Глава 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ, МАССОВЫХ И МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЯКОТИ И КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ.

### 4.1 Методика и результаты определения геометрических и массовых характеристик клубней картофеля

При проведении расчетов на прочность клубней картофеля необходимо знать их размерные, геометрические и массовые характеристики.

Определяя размерные характеристики клубней картофеля различных сортов их массу, прочность мякоти, а также упругие и вязкостные свойства, необходимо помнить о вероятностном распределении их величин. Поэтому методика и приборы применяемые при исследованиях должны обеспечивать достаточную для практики точность и достоверность результатов при минимальных затратах.

Как известно из теории вероятности [16] необходимое для достижения заданной точности число измерений  $n$  мы определяли по формуле:

$$n = \left( \frac{tV}{\Delta} \right)^2,$$

где:  $t$  - нормированное значение  $t$  - критерия Стьюдента;

$V$  - рассчитанный коэффициент вариации;

$\Delta$  - заданная точность.

Основные характеристики случайных величин определялись по следующим формулам:

- математическое ожидание  $M(x)$  и дисперсия  $D$  случайной величины

$$M(x) = \frac{\sum f(x)}{n},$$

$$D(x) = \frac{\sum f[x - M(x)]^2}{n - 1} .$$

- стандартное отклонение  $\sigma$  и коэффициент вариации  $V$ :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum f[x - M(x)]^2}{n - 1}} , \quad V = \frac{\sigma}{M(x)} \times 100\% ,$$

- абсолютная  $S\bar{x}$  и относительная  $Sx\%$  ошибки выборочной средней:

$$S\bar{x} = \frac{\sigma}{M(x)} ,$$

$$Sx\% = \frac{S\bar{x}}{M(x)} ,$$

- доверительный интервал для среднего значения  $Qm(x)$ :

$$QM(x) = M(x) + t S\bar{x} ,$$

где:  $f$  - частота, численность группы;

$h$  - объем выборок;

$t$  - теоретическое значение критерия Стьюдента,  
определяемое по таблицам .

Гипотезы о законе распределения случайной величины, т.е. совпадения эмпирических и теоретических значений величин проверялись по критерию согласия Пирсона  $\chi^2$ :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^l \frac{(m_i - np_i)^2}{np_i} ,$$

где:  $i$  - число интервалов разбиений;

$m_i$  - эмпирическая частота  $i$  - го интервала;

$np_i$  - теоретическая частота  $i$  - го интервала.

Количество интервалов:  $l = \sqrt{n}$  .

Рассчитав значение  $\chi^2$  и выбрав уровень значимости критерия  $\alpha$ , по таблице  $\chi^2$  - распределения определяем  $\chi^2_{\alpha}$ . Если  $\chi^2 \geq \chi^2_{\alpha}$  , то

гипотезу о совпадении распределений отвергали, если  $\chi^2 < \chi^2_{\alpha}$ , тогда принимали.

Размерно - массовую характеристику клубней картофеля определяли путем замеров и взвешивания клубней всей выборки.

С помощью штангенциркуля ШЦ - 25 у каждого клубня определяли с точностью до 0,5 мм длину, ширину и толщину.

С помощью весов ВЛТК-500 с точностью до 0,1 г определяли массу. Результаты замеров и взвешиваний обрабатывали на ЭВМ по программам выше указанных статистических расчетов.

Вариационные показатели размеров, массы и формы клубней картофеля приведены в таблице 3. Данные таблицы 3 показывают, что по длине миниклубни изменяются в пределах от 10,5 до 62,0 мм. При средних значениях по сортам от 23,4 до 29,0 мм и коэффициенте вариации от 21,4 до 50,8 %. По ширине пределы изменения составляют от 8,0 до 40,2 мм при средних значениях от 14,6 до 21,2 мм и коэффициенте вариации от 19,1 до 29,0 %. По толщине миниклубни изменяются в пределах от 6,5 до 28,1 мм при средних значениях от 13,5 до 18,8 мм и коэффициенте вариации от 17,9 до 69,6 %. По массе пределы изменения составляют от 0,5 до 31,4 г при средних значениях по сортам от 3,4 до 7,4 г и коэффициенте вариации от 55,3 до 99,1 %. Среднее значение коэффициента формы миниклубней соответствует 1,55 при изменении по сортам от 1,27 до 1,84.

Из таблицы 4.1 видно, что размеры и масса миниклубней полученных на гидропонике, варьируется практически в тех же пределах, что и миниклубни, полученные в грунте. Ниже построены интегральные кривые варьирования линейных размеров и массы клубней. Кривые (рис. 4.1 и 4.2) характеризуют неоднородность миниклубней по признаку длины и ширины.

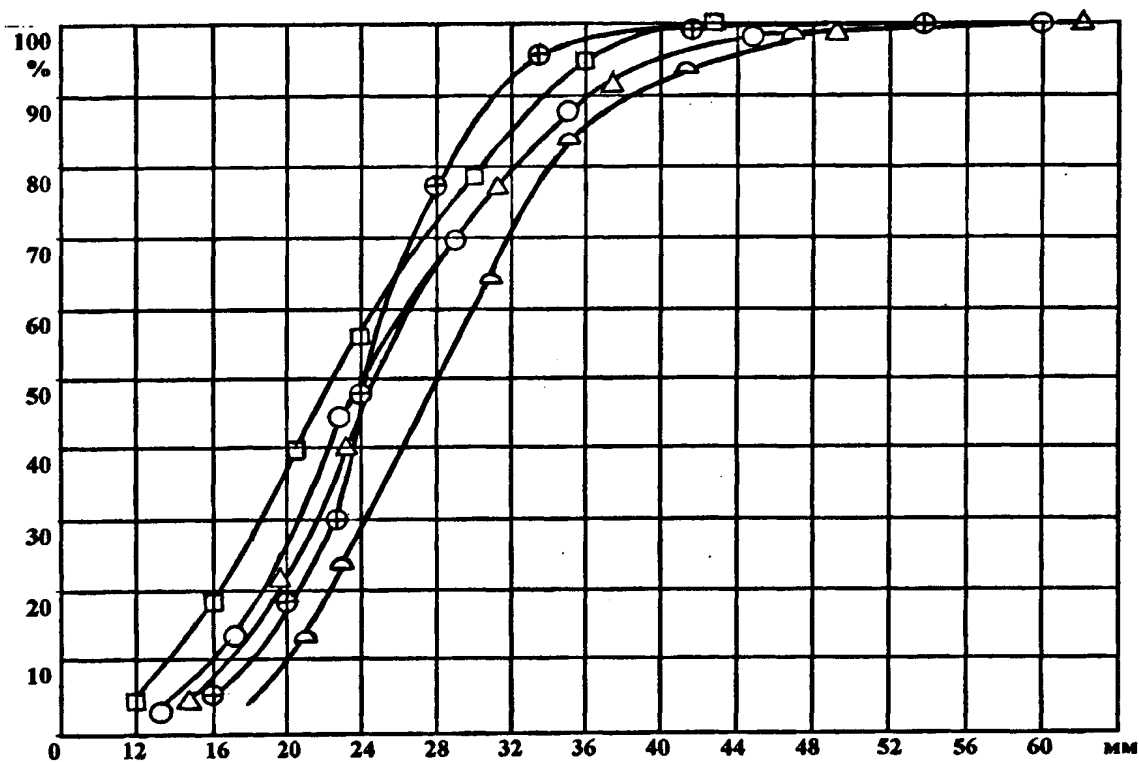


Рис. 4.1. Интегральные кривые варьирования длины миниклубней картофеля.

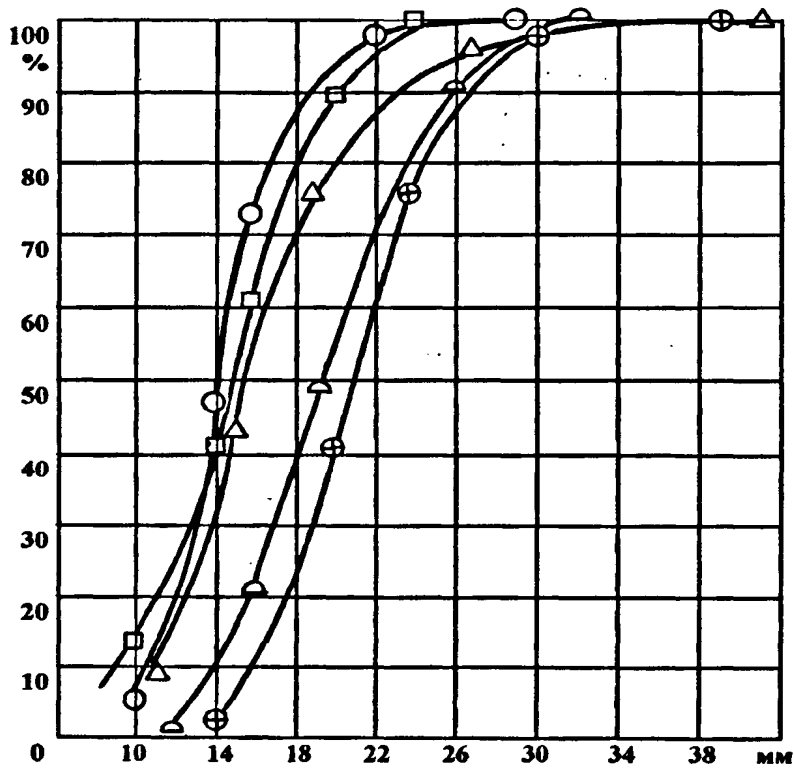


Рис. 4.2. Интегральные кривые варьирования ширины миниклубней картофеля.

Таблица 4.1.

Вариационные показатели размеров и массы миниклубней картофеля.

Вариационные показатели	Наименование сорта картофеля										Наибольший шее	Наименьший шее	Разница	Среднее	
	Весна (гидропоники)	Невский (гидропоники)	Лукьяновский (грунт)	Лукьяновский (грунт)	Невский (грунт)	Невский (грунт)	Луговской (грунт)	8	9	10					11
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Длина "а" мм				
$a_{max}$	59,0	62,0	43,0	39,0	54,0	54,0	62,0		52,0		Ширина "в" мм				
$a_{min}$	11,0	13,0	10,0	11,0	13,0	14,0		10,0			Длина "а" мм				
$a_{cp}$	25,9	27,2	23,4	24,1	29,0	24,8	29,0	23,4	5,6	26,2	Ширина "в" мм				
$\sigma$	8,3	13,8	7,5	6,5	7,6	5,3	13,8	5,3	8,5	9,6	Длина "а" мм				
V	32,0	50,8	32,2	27,1	26,2	21,4	50,8	21,4	29,4	36,1	Ширина "в" мм				
$b_{max}$	29,0	40,0	24,0	29,0	31,0	39,0	40,0		32,0		Длина "а" мм				
$b_{min}$	8,0	9,0	8,0	8,0	10,0	12,0		8,0			Ширина "в" мм				
$b_{cp}$	14,6	16,5	15,1	17,9	20,3	21,2	21,2	14,6	6,6	17,9	Длина "а" мм				
$\sigma$	3,2	4,8	3,9	4,3	4,4	4,1	4,8	3,2	1,6	4,0	Ширина "в" мм				
V	21,9	29,0	25,7	24,0	22,0	19,1	29,0	19,1	9,9	24,0	Ширина "в" мм				

Продолжение таблицы 4.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Толщина "С" мм										
С <sub>max</sub>	27,0	28,0	22,0	28,0	28,0	28,0	28,0		22,0	
С <sub>min</sub>	7,0	6,0	7,0	8,0	9,0	11,0		6,0		
С <sub>ср</sub>	13,5	14,5	13,6	15,3	18,8	17,8	18,8	13,5	5,3	16,1
σ	3,1	3,9	3,4	10,6	7,7	3,2	10,6	3,1	7,5	6,8
V	22,9	26,8	25,2	69,6	41,3	17,9	69,6	17,9	51,7	43,7
Масса "m" г										
m <sub>max</sub>	29,0	27,6	8,3	13,1	22,7	31,4	31,4		30,9	
m <sub>min</sub>	0,5	0,6	0,5	0,9	1,2	1,8		0,5		
m <sub>ср</sub>	3,7	4,9	3,4	4,3	7,4	6,7	7,4	3,4	4,0	5,4
σ	3,0	4,8	2,2	2,6	4,6	3,7	4,8	2,2	2,6	3,5
V	81,6	99,1	64,9	61,3	62,1	55,3	99,1	55,3	43,8	77,2
Кoeff. формы миниклубня	1,84	1,75	1,63	1,45	1,48	1,27	1,84	1,27	0,57	1,55

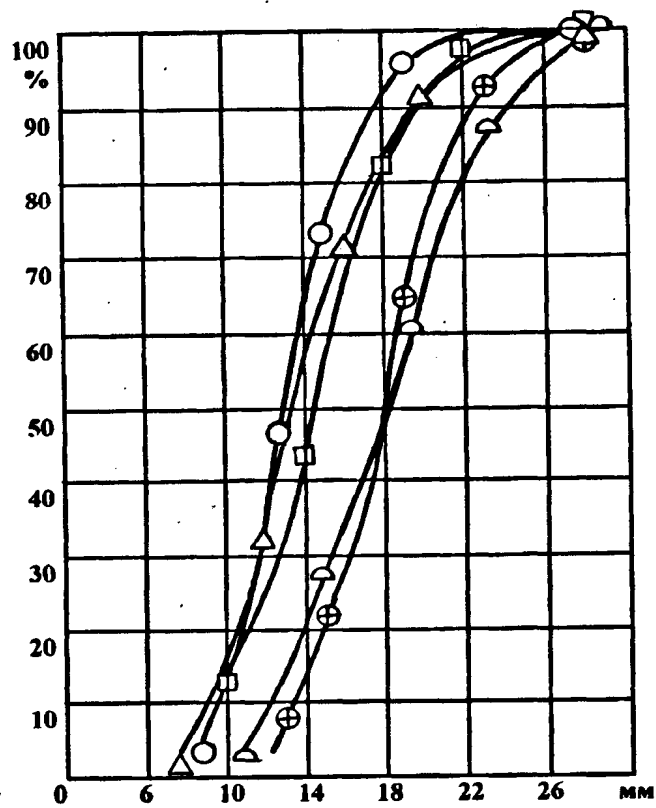


Рис. 4.3. Интегральные кривые варьирования толщины миниклубней картофеля

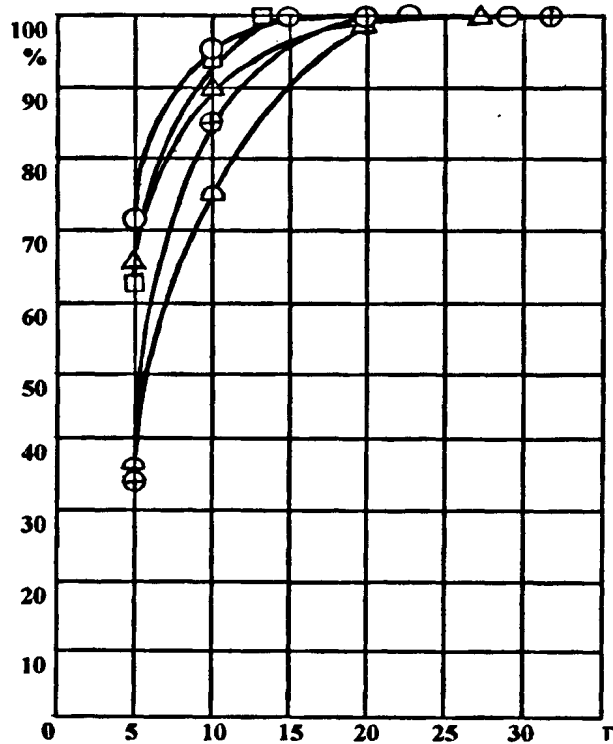


Рис. 4.4. Интегральные кривые варьирования массы миниклубней картофеля

На графиках 4.1 - 4.2 представлены результаты по следующим сортам :

○ - "Весна" (гидропоника)

∩ - "Невский"

△ - "Невский" (гидропоника)

⊕ - "Луговской"

□ - "Лукьяновский"

Функциональная зависимость кривых в табличной форме при аргументе, выраженном в единицах основного отклонения, дана в таблице 4.2.

Таблица 4.2.

u	h(u)	
	миниклубни картофеля	
	по длине	по ширине
-3	-0,0837	-0,0705
-2	-0,0455	-0,0289
-1	+0,0468	0,0965
0	+0,4125	0,3697
1	0,8501	0,7548
2	0,9612	0,8629
3	0,9721	0,9433

Из рис. 4.1 видно, что от 80 до 90 % длины миниклубней лежит в пределах от 20 до 40 мм. Из таблицы 4.1 находим, что наибольшая масса миниклубней не превышает 32 г. По данным Менькова [46] миниклубни массой до 30 г для сорта "Резерв" имеют длину до 33 мм, а для сорта "Невский" до 34 мм. По этим данным общее количество миниклубней от 1 до 30 г для сорта "Невский" составляет от 58 до 59%, а для сорта "Резерв" - от 81,9 до 82,8%.



#### 4.2 Методика и результаты определения механических свойств клубней картофеля при статических испытаниях.

Для выбора модели отражающей упругие и вязкостные свойства мякоти клубней необходимо исследовать процесс деформации образцов в условиях постоянного напряженного состояния - процесс текучести и процесс релаксации - падение напряжения при постоянной по величине относительной деформации. С этой целью нами были проведены испытания образцов вырезанных из клубней картофеля Невский. Образец вырезался специальным приспособлением (рис.4.5). При этом получался цилиндрический образец диаметром 19 мм и высотой от 10 до 15 мм.

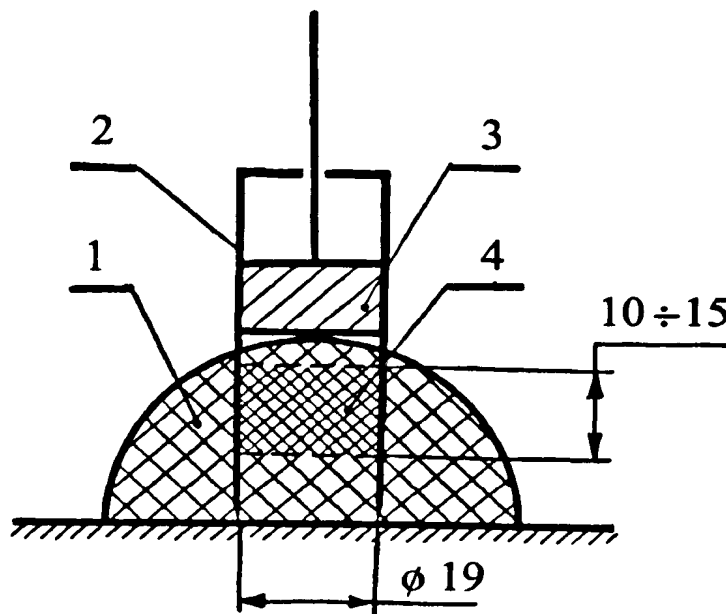


Рис. 4.5. Схема вырезания цилиндрического образца из клубня.

Цилиндрические образцы деформировались на приборе МИП - 100 (машина для испытания пружин) (рис. 4.6).

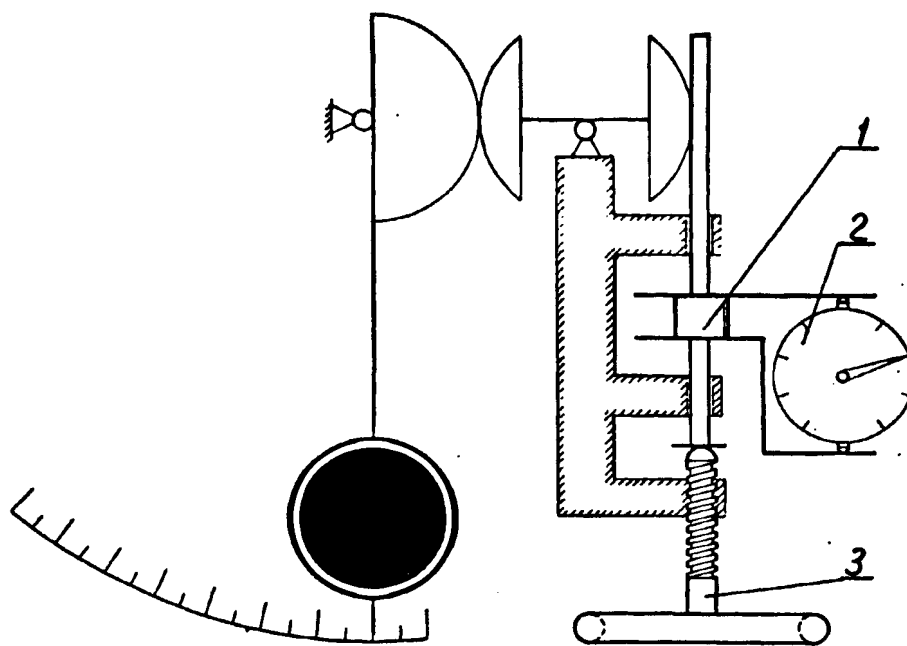


Рис. 4.6. Схема машины для испытания пружин, приспособленная для испытания образцов из клубней картофеля.

Образец 1 устанавливался на регулируемую по высоте подставку и нагружался пуансоном 3 прибора. Деформация определялась по показаниям индикаторной головки 2, укрепленной в приспособлении, а величина усилия сжатия - по шкале прибора. Точность измерения прибора МИП -100 была 2 Н , индикаторной головки - 0,01 мм. При обработке экспериментальных данных, определяя напряжения, учитывалось изменение площади поперечного сечения образца с ростом величины деформации. При этом мы принимали допущение, что объем деформирующегося образца остается постоянным, поскольку он состоит в основном из жидких и твердых веществ, практически несжимаемых, содержание же газообразных веществ незначительно. При таких допущениях

$$F_i = F_0 + \frac{1}{1 - \varepsilon_i} ,$$

где  $F_0$  и  $F_i$  - начальное и текущее значение площади поперечного сечения образца,  
 $\varepsilon_i$  - величина его относительной деформации .

Результаты исследования процессов текучести и релаксации образцов, вырезанных из мякоти клубней картофеля Невский представлены на рис. 4.7.

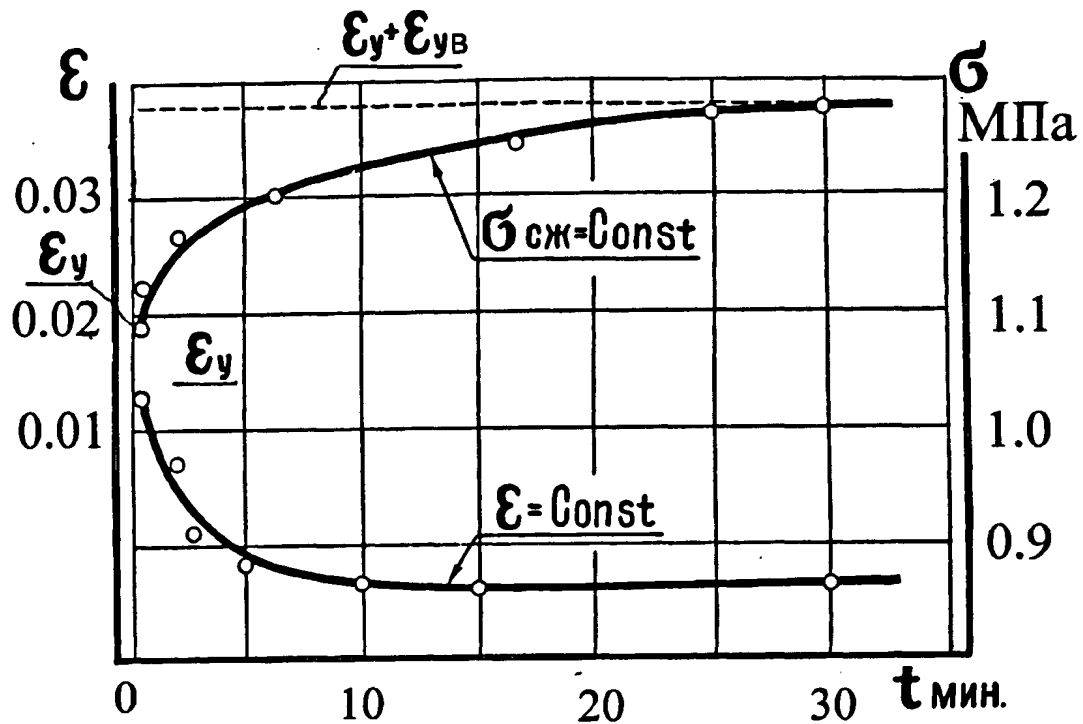


Рис.4.7. Результаты исследования процессов текучести и релаксации образцов, вырезанных из клубней картофеля сорта "Невский".

Анализ этих результатов и характер их протекания указывают на то, что мякоть клубней обладает как упругими, так и упруго - вязкими свойствами. Подобное протекание процессов характерно для тел деформации которых описываются моделью тела Зинера. Модель состоит из упругой части и упруго - вязкой соединенных последовательно (рис. 3.4).

При этом  $k_2 = \frac{\sigma_{сж}}{\varepsilon_0} = 45.6 \text{ МПа}$  - жесткость упругой части

модели, определяемая при  $t = 0$ ;

$k = \frac{k_1 \cdot k_2}{k_1 + k_2} = \frac{\sigma_{сж1}}{\varepsilon_1} = 24 \text{ МПа}$  - приведенная жесткость,

определяемая при  $t_1 = 30 \text{ мин}$ ;

$k_1 = 50.7 \text{ МПа}$  - жесткость упруго - вязкой части модели;

$\eta_1$  - вязкость.

Определение прочности, жесткости и вязкости мякоти клубней картофеля при действии статически приложенных нагрузок проводилось нами также на машине для испытания пружин МИП-100 (рис. 4.8).

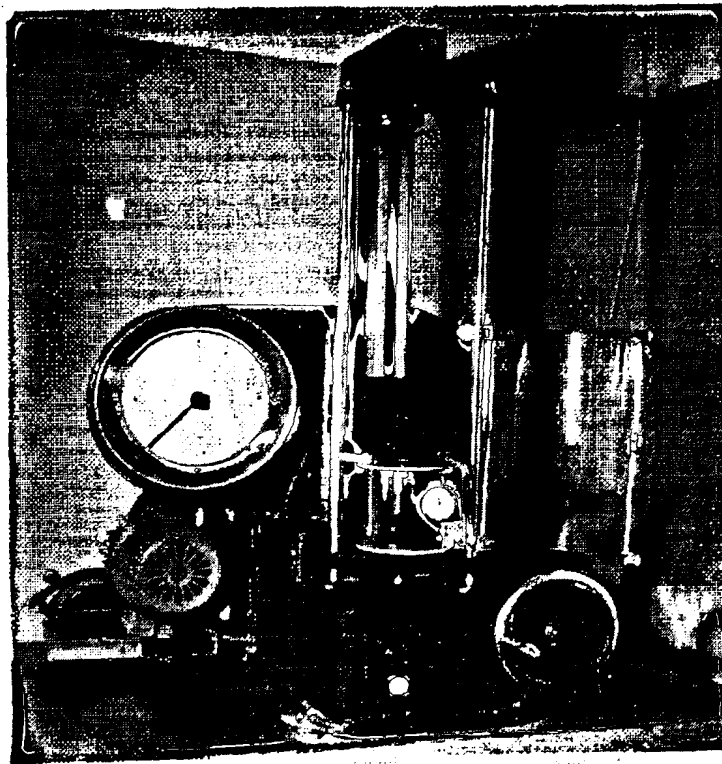


Рис. 4.8. Машина для испытания пружин, использованная при статических испытаниях образцов.

Мы провели испытания образцов из мякоти клубней картофеля сорта Невский с разными постоянными скоростями относительной деформации. При этом нами создавались с помощью привода следующие скорости относительной деформации: 0,0013; 0,0033; 0,0065; 0,0218 и 0,1153 1/мин. Применяя тензометрические методы, исследовалась деформация образцов со скоростью близкой к 26 1/мин. Результаты этих испытаний представлены графиками зависимостей напряжений сжатия от величины относительной деформации (рис.4.9).

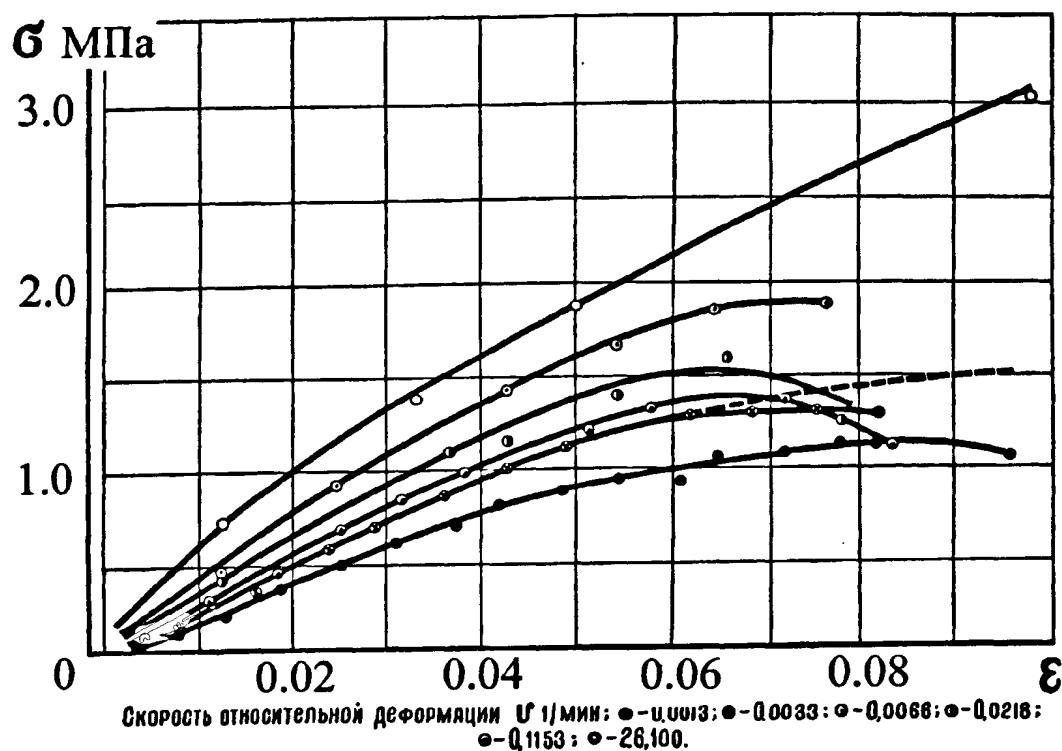


Рис. 4.9. Зависимости напряжений сжатия от относительной деформации при разных скоростях деформирования образцов из клубней картофеля сорта "Невский".

Уравнение (3.12) и экспериментальные зависимости позволили нам методом итераций определить коэффициент вязкости для разных скоростей деформации. Зависимость коэффициента вязкости от скорости относительной деформации представлены на рис.4.10 и

анализ этих результатов указывает на то, что коэффициент вязкости изменяется в широких пределах. Поэтому в общем случае возможно лишь нелинейное моделирование процессов деформации с использованием ЭВМ.

На рисунке 4.10 дана также зависимость предела прочности от скорости относительной деформации, построенная по экспериментальным данным, представленным на рис. 4.9.

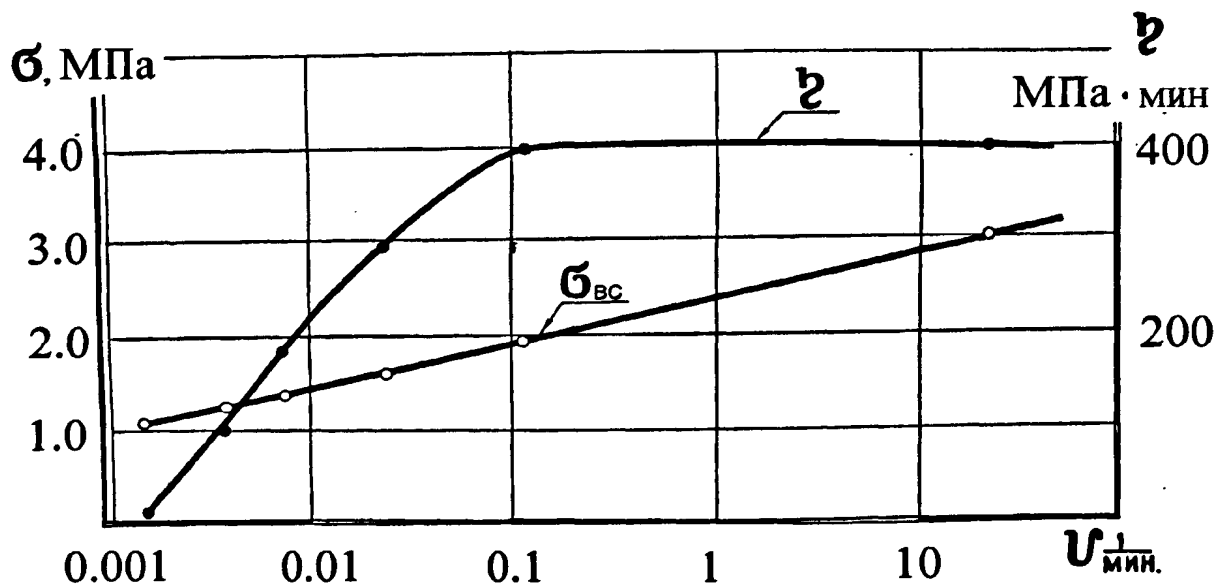


Рис. 4.10. Зависимости коэффициента вязкости и предела прочности мякоти картофеля сорта "Невский".

Анализ указывает на то, что в зависимости от скорости деформации временное сопротивление сжатию (предел прочности) колеблется в пределах от 1 МПа до 3 МПа. Аналитическая проверка процесса деформации образца при скорости относительной деформации 0,0033 1/мин представлена на рис. 4.9 (пунктирная линия). Как видно на графике, кривые полученные аналитически и экспериментально, до величин относительной деформации 0,06 совпадают. Далее экспериментальная кривая падает более резко, что можно объяснить началом разрушения наиболее слабых клеток мякоти.

При большой скорости деформации упруго-вязкое звено не вносит своей составляющей в общую деформацию, поэтому угол наклона прямой аппроксимирующей зависимость напряжения от деформации близок к  $\arctg k_2$ . При скоростях близких к ударным мякоть клубней картофеля можно считать упругой с коэффициентом упругости равным  $k_2$ .

Как видно из результатов представленных на рис. 4.9 повреждение образцов (распад их на отдельные части, которые не в состоянии нести предыдущую нагрузку) наступает, независимо от скорости деформации, при достижении относительной деформации - 0,078 - 0,100. При этом образцы, деформированные на 5 - 10% меньше, при продолжительном пребывании на воздухе не темнели и выглядели целыми. Последнее подтверждает наше мнение, что предельно допустимые деформации клеток являются фактором ограничивающим нагружение клубней.

Испытаниям на сжатие подвергались как цилиндрические образцы вырезанные из мякоти клубней, так и целые клубни. На растяжение испытывались плоские образцы 2, вставленные в специальное приспособление 1 (рис. 4.11).

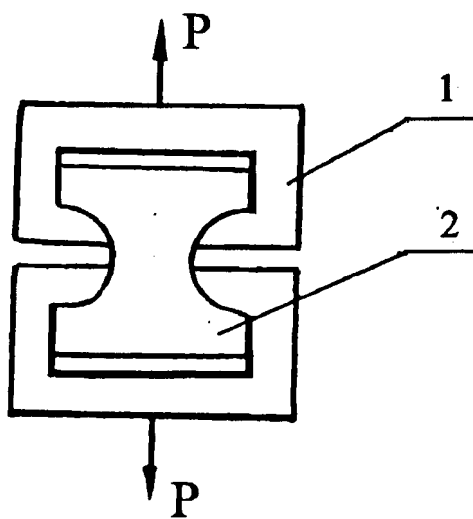


Рис. 4.11. Схема испытания образца из мякоти клубней картофеля на растяжение.

На срез испытывались цилиндрические образцы из мякоти (рис. 4.12). Предел прочности при растяжении  $\sigma_{вр}$  оказался около 1.03 МПа, предел прочности при сжатии  $\sigma_{вс} = 1.7$  МПа, а предел прочности при срезе  $\tau_{вс} = 0,64$  МПа.

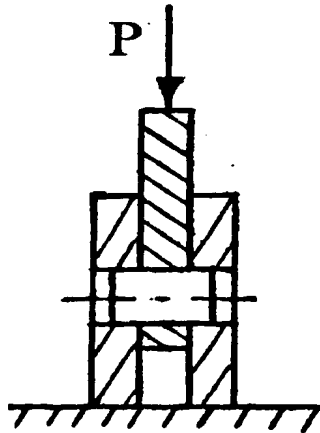


Рис. 4.12. Схема испытания на срез образцов из мякоти клубней картофеля.

По данным этих испытаний нами построены предельные круги Мора (рис. 4.13).

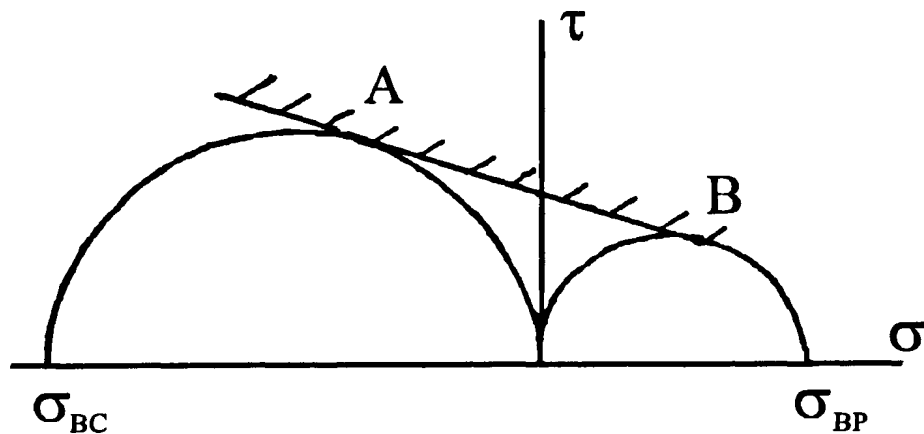


Рис. 4.13. Огибающая АВ кругов Мора.

Принимаем допущение, что огибающая кругов является единственной, независимой от величины промежуточных главных



напряжений. Беря огибающую в виде прямой касательной к предельным кругам сжатия и растяжения, получим, что эквивалентное напряжение равно:

$$\sigma_{\text{экв}} = \sigma_1 - \frac{\sigma_{\text{вр}}}{\sigma_{\text{вс}}} \cdot \sigma_3 \leq \sigma_{\text{вр}}$$

Достаточно точное определение огибающей в области всестороннего растяжения не существенно, так как в практике сельскохозяйственного производства такого вида нагружения клубней не встречаются. Что касается не учета промежуточных главных напряжений, то в отдельных случаях это может привести к отклонению результатов до 10%.

Абсциссы и ординаты точек касания кругов Мора огибающей представляют нормальные и касательные напряжения при которых начинается разрушение, если они одновременно возникают в какой-то точке мякоти клубней.

Таким образом, физический смысл выбранной нами теории предельного напряженного состояния, в основу которого положен феноменологический подход Мора, можно сформулировать следующим образом: нарушение прочности мякоти наступает при достижении касательными напряжениями некоторой критической величины.

Одинаковый результат, полученный при использовании феноменологического подхода и теории максимальных касательных напряжений, дает возможность рекомендовать последнюю при расчетах. На предпочтительное использование этой теории указывают и результаты опытов по повреждению клубней при ударе их о жесткую поверхность, поскольку первые заметные повреждения мякоти появляются в области максимальных касательных напряжений.

#### 4.3 Методика и результаты экспериментальных исследований механических свойств клубней картофеля при ударных воздействиях.

Исследование прочности мякоти и клубней картофеля при ударе проводилось нами на установке маятникового типа. Программа лабораторных исследований включала в себя проведение экспериментов на специально разработанной установке (рис.35) с целью определения:

1) промежутка времени, в течение которого происходит разрушение тканей мякоти клубней при динамических нагрузках;

2) прочностных свойств (предела прочности) мякоти клубней при динамических нагрузках, а также влияние периода зимнего хранения на прочность;

3) упругих свойств (модуля упругости) мякоти клубней в период массовой уборки картофеля при динамических нагрузках, а также после зимнего хранения.

Методика проведения экспериментов была следующая. Из клубней вырезались образцы мякоти цилиндрической формы при помощи специальных приспособлений - шаблонов разного диаметра: 14 мм, 17 мм, 20 мм.

Образцы разного диаметра и высоты подвергались разрушению при динамических нагрузках, создаваемых установкой. В момент разрушения образца маятником (рис.4.14) на осциллограмме фиксировались следующие параметры: максимальная сила разрушения, импульс силы и время, затраченное на разрушение. Маятник после разрушения образца фиксировался специальным приспособлением. Стрелка 2 потенциометра по шкале 1 фиксировала угол подъема маятника в холостом режиме и при разрушении образца. Повторность опытов с образцами каждого диаметра и высоты была принята нами 20 - кратной, что обеспечивало среднюю ошибку опыта в пределах 4,5%.

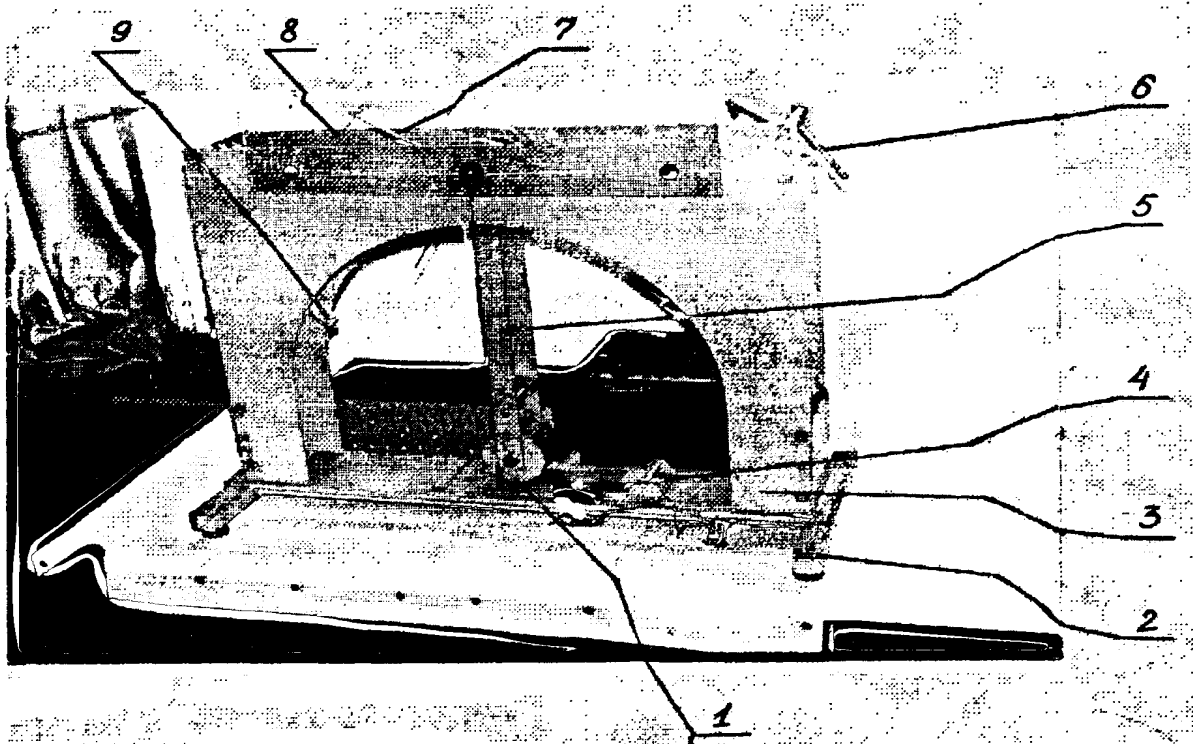


Рис. 4.14. Копер маятникового типа с тензометрическим оборудованием

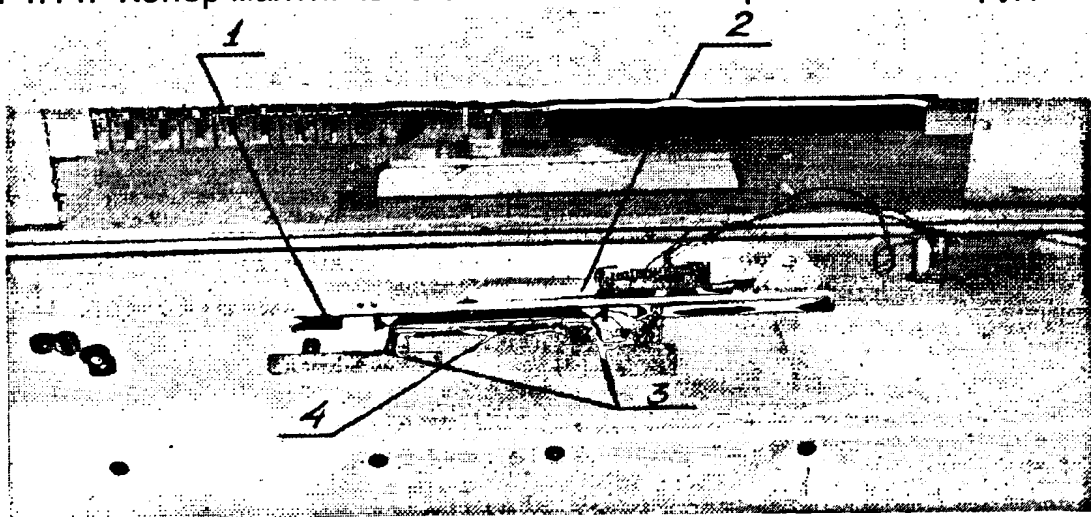


Рис. 4.15. Тензометрический узел копра.

Тензометрический узел (рис.4.15) представляет собой конструкцию состоящую из пластины 1, рычага 2, двух призм 3 и упругой пластины 4 с наклеенными на нее тензодатчиками.

Тензометрическая аппаратура включала в себя десятиканальный тензометрический усилитель типа "Топаз-3". Аппаратура предназначена для измерения динамических деформаций с помощью тензометрических датчиков и записи их светолучевым осциллографом.

Прибор имеет высокую чувствительность и достаточно широкий диапазон частот собственных колебаний шлейфов. Величина выходной мощности обеспечивает работу усилителя с большинством типов шлейфов. В каждом канале имеется возможность работы с выносным мостом или полумостом тензодатчиков. Соединение тензодатчиков ПКБ-200 Ом в нашем случае осуществлялось по полумостовой схеме (рис. 4.16).

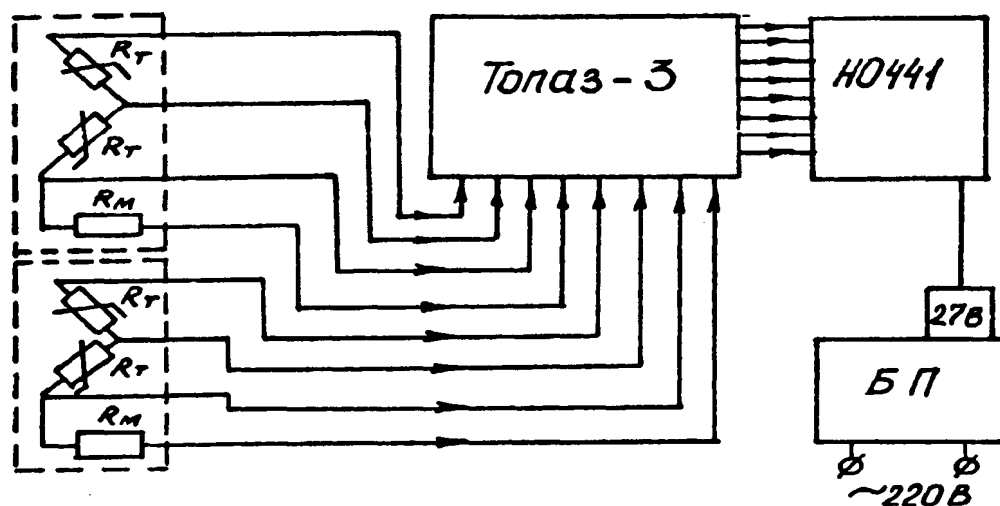


Рис. 4.16. Измерительная блок - схема.

Для регистрации сигналов, усиленных через "Топаз-3" 4, пользовались светолучевым осциллографом HO - 4413, в котором применялся гальванометр - вставка рамочного типа М.004.1.2 с рабочей полосой частот от 0 до 600 Гц.

Осциллограммы снимались на осциллографную бумагу шириной 120 мм, светочувствительностью 800 единиц ГОИ с отметкой времени через 0,01 с при скорости протяжки ленты 640 мм/с. Тарировка приборов осуществлялась перед каждым замером.

Как уже отмечалось выше, при выведении новых сортов картофеля, пригодных для механизированной уборки и возделывания, большое значение приобретает как можно более ранняя оценка гибри-

дов на устойчивость к механическим повреждениям. При этом в условиях ограниченного количества клубней селекционного материала возрастает важность оценки прочности образцов, вырезанных из клубней. Оценку образцов мякоти клубней можно производить по прочностным и упругим свойствам мякоти. С этой целью мы определяли предел прочности и модуль упругости образцов мякоти клубней. Эксперименты проводились на картофеле сорта "Пригожий" и сорта "Невский" урожая 1999 г. Масса ролика маятника - 6,7 кг.

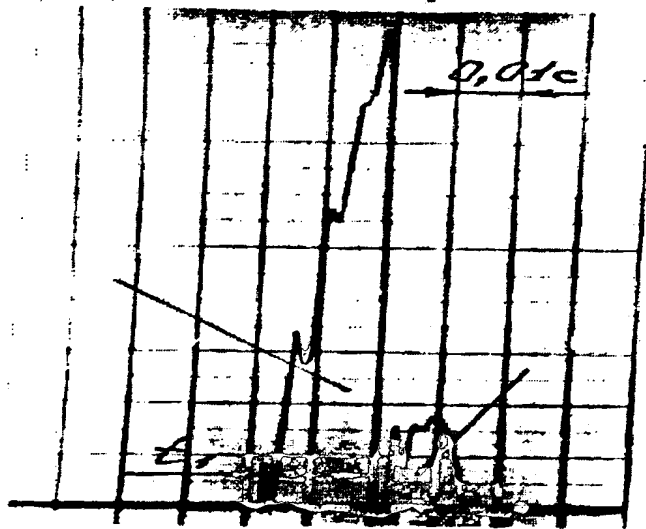


Рис. 4.17. Осциллограммы разрушения образцов мякоти клубней:

$Q_1$  - импульс затраченный на разрушение образца;

$Q_2$  - на раздавливание разрушенного образца;

$t$  - время затраченное на разрушение.

При анализе полученных осциллограмм (рис. 4.17) выявили, что работа, определенная по разности показаний стрелки потенциометра, равна сумме работ, необходимых на разрушение образца и работы, идущей на раздавливание разрушенных частей. На осциллограммах площадь под участком кривой "сила - время" представляет собой импульс ударной силы.

Механические характеристики мякоти клубней тесно связаны с ее внутренним строением и состоянием, поэтому они оказывают

непосредственное влияние на устойчивость клубней к механическим повреждениям. Таким образом, для оценки селекционного материала на устойчивость к механическим повреждениям, особенно на ранних этапах селекционного процесса (при малом количестве клубней) имеют огромное значение лабораторные испытания.

Принцип работы установки следующий. Из клубней вырезаются образцы цилиндрической формы, диаметром от 14 до 20 мм и высотой от 20 до 25 мм. Затем образец устанавливают в специальном гнезде тензометрического узла на тензометрическую балку 2. На образец накладывают нажимной рычаг. После чего производится спуск маятника, установленного предварительно на спусковом крючке 6. Маятник с роликом определенной массы, спускаясь, в нижней части своей траектории, двигаясь со скоростью от 1,3 до 1,5 м/с давит на рычаг и разрушает образец. При разрушении образца с помощью тензодатчиков фиксируются следующие параметры: максимальная сила разрушения, импульс и время, затраченные на разрушение. Работа необходимая для разрушения образца определялась по показаниям потенциометра или стрелки связанной с маятником. Стрелка фиксирует угол  $\varphi_0$  вылета маятника в холостом режиме и  $\varphi$  – при разрушении образца. Тогда из разности потенциальных энергий вылета маятника можно определить работу разрушения.

$$A_{\text{разр}} = m \cdot g \cdot h \cdot (\sin \varphi_0 - \sin \varphi)$$

где:  $m$  - масса маятника,

$h$  - высота падения маятника.

Зная разрушающую силу  $P_{\text{max}}$  и площадь поперечного сечения образца  $F$ , можно определить предел прочности мякоти клубня:

$$\sigma_{\text{вс}} = \frac{P_{\text{max}}}{F}$$

Тогда модуль упругости мякоти:

$$E = \frac{V_{\text{обр}} \cdot \sigma_{\text{вс}}^2}{2 \cdot \left( A_{\text{разр}} - c \cdot \frac{\lambda^2}{2} \right)}$$

где:  $V_{\text{обр}}$  - объем образца,

$c$  - жесткость балки тензоузла,

$\lambda$  - максимальный прогиб балки.

Таким образом при испытаниях учитывается упругость балки и работа затраченная на ее деформацию в процессе удара. Определив предел прочности и модуль упругости мякоти клубня, можно судить об устойчивости клубней к механическим повреждениям при ударе.

Для клубней сорта "Невский" модуль упругости составил в среднем 45.6 МПа, а предел прочности 3 МПа. Предел прочности у клубней сорта "Пригожий" в процессе хранения уменьшается от 1,44 МПа до 1,288 МПа (замеры производили соответственно в сентябре и в марте) Кроме того уменьшение предела прочности с увеличением скорости удара [19, 40] также не подтвердилось. С увеличением скорости удара наблюдалось увеличение силы, необходимой для разрушения, и соответственно увеличивался предел прочности. Данные выводы подтверждаются исследованиями А.И.Бжезовской [11] и В.С.Заводнова [32]. Данные исследований В.С.Заводнова также подтверждают наш вывод, что в процессе зимнего хранения предел прочности уменьшается. ✓

При действии многократно повторяющихся ударов прочность мякоти снижается. Нами был проведен эксперимент на копре маятникового типа (рис. 4.19).

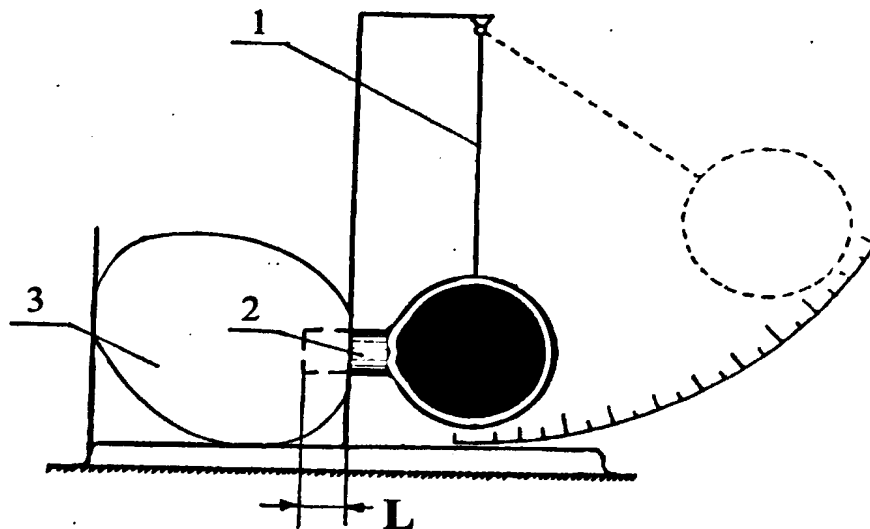


Рис. 4.19. Схема копра для определения прочности мякоти клубней при многократных ударах.

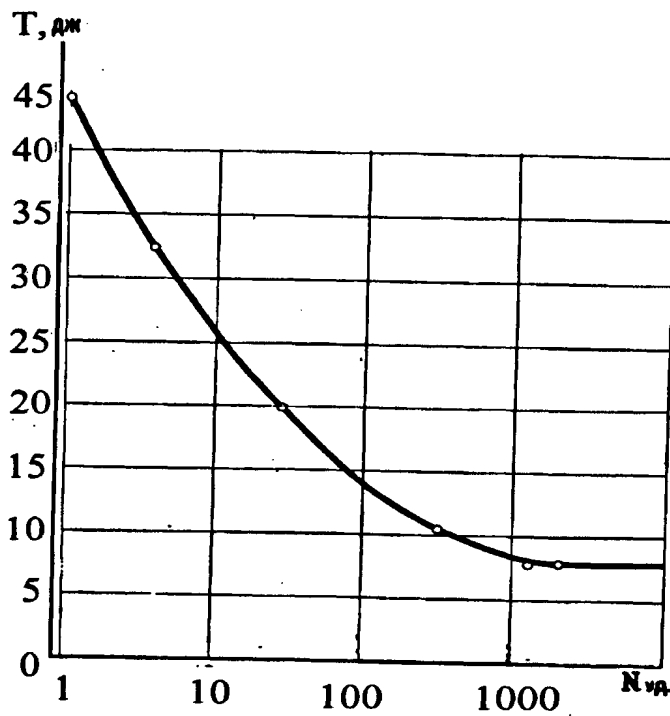


Рис. 4.20. Зависимость энергии удара, приводящего к началу проникновения штампа в клубень от количества ударов.

При разной кинетической энергии определялось количество ударов, вызывающих начало внедрения цилиндрического пуансона диаметром 19 мм в мякоть клубня.



Испытывались клубни картофеля сорта "Невский". Результаты представлены в виде графика рис. 4.20.

Из полученных результатов видно, что предельно - допустимая энергия каждого удара изменяется в 8 раз при изменении числа ударов от одного до тысячи. Используя эти данные и допустимую высоту падения клубней на сосновую доску по формулам 3.30 и 3.31 определяем допустимые амплитудно - частотные характеристики колебаний транспортных средств.

При внутрихозяйственных перевозках число отдельных ударов берем порядка 100, поэтому допустимую высоту сбрасывания снижаем в  $N_1 = 5$  раз. При длительных перевозках число ударных воздействий больше 1000, поэтому  $N_2 = 8$ . Беря допустимую высоту падения 0.2 м, мы получили допустимые амплитудно - частотные характеристики колебаний транспортных средств, представленные на рис. 4.21.

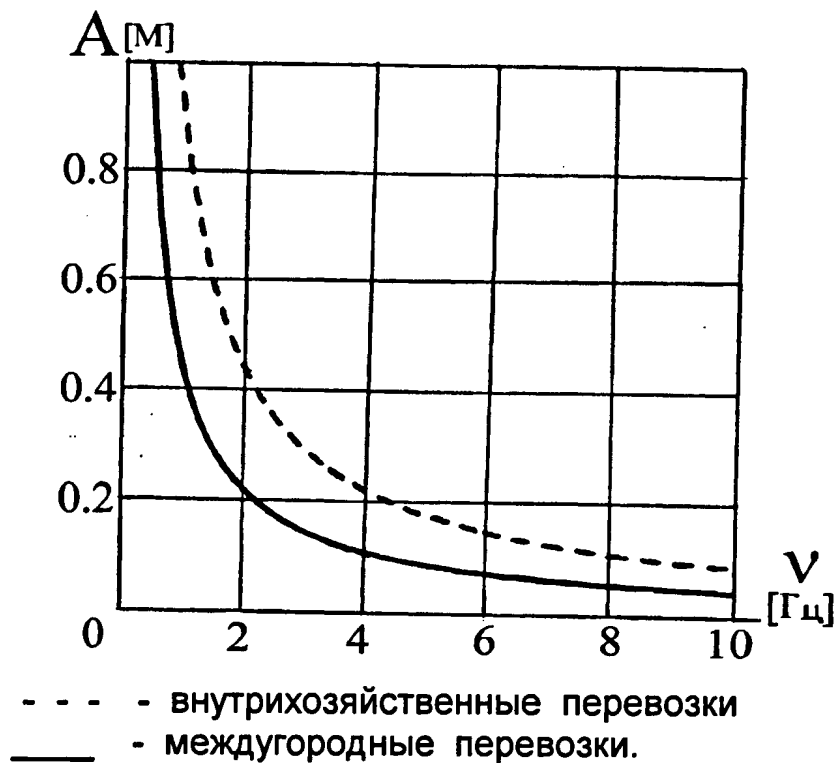


Рис. 4.21. Допустимые амплитудно - частотные характеристики колебаний транспортных средств.

#### 4.4. Обеспечение механической сохранности клубней картофеля при механизированном его возделывании.

Мякоть клубней обладает упруго - вязкими свойствами. При действии медленно изменяющейся нагрузки она проявляет свои пластические свойства. Благодаря этому в месте контакта клубня и поверхности рабочего органа образуется значительное по величине пятно контакта, что позволяет увеличить нагрузку при сохранении допустимых напряжений в мякоти клубней. Это дает возможность хранить картофель без повреждений в контейнерах и буртах значительной высоты.

При посадке, уборке, транспортировке и сортировке наблюдаются ударные воздействия на клубни и их соударение. При ударах пластические свойства не успевают проявиться и клубни ведут себя как упругие тела. Рассчитывая соударения клубней с жесткими массивными рабочими органами и друг с другом по формулам контактной прочности (3.19) и (3.20) , мы получили при прямом ударе допустимые скорости соударения соответственно 3 м/с и 2,3 м/с. Эти формулы можно использовать и при других видах ударов.

Упругий удар сопровождается малым поглощением энергии удара на допустимую деформацию клубней. Снизить или вообще исключить повреждаемость клубней можно лишь за счет гашения энергии удара самим рабочим органом.

Подбор рациональной толщины и жесткости упругих покрытий рабочих органов является одним из практических выходов наших исследований.

Клубни картофеля, с достаточно хорошим приближением, в месте контакта имеют сферическую поверхность ,поэтому при расчетах клубни представим в виде шаров. Подбор упругих свойств покрытий и их толщины ведем при тех условиях, что давление по пятну контакта даже

в самой опасной точке не должно превосходить напряжений разрушающих мякоть клубней.

Проведенные нами исследования упругих свойств листовой микропористой резины (рис. 4.22) указывают на возможность представления диаграммы сжатия в виде двух прямолинейных участков .

Первый участок характеризует жесткость пористого состояния и указывает на то, что жесткость равна 0.2 МПа. Второй - жесткость материала из которого изготовлены эти листы, она равна 3 МПа.

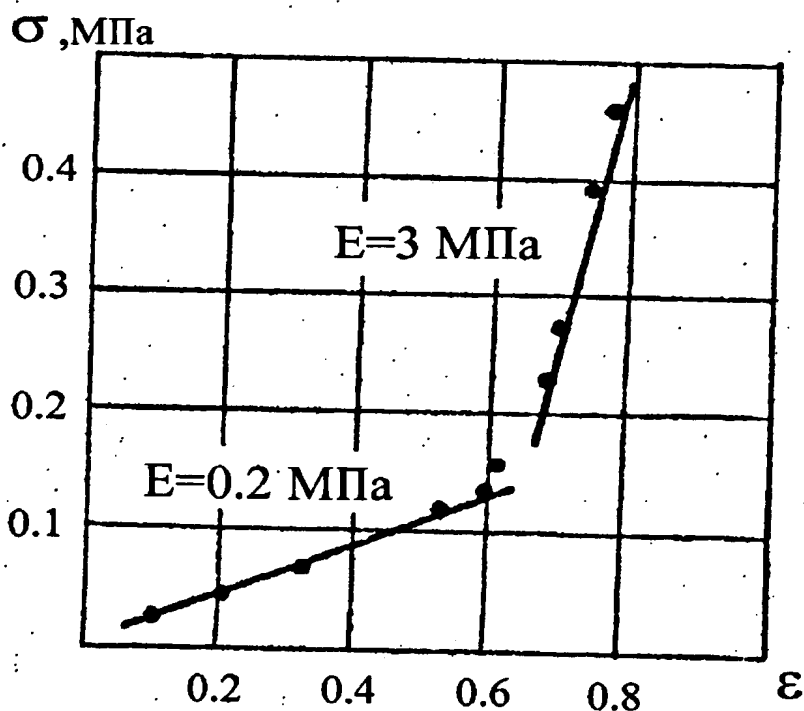


Рис. 4.22. Упругие свойства листовой микропористой резины.

Учитывая необходимость гашения значительных энергий, желательно, чтобы при ударе деформировалось упругое покрытие, а не клубни. Получить близкие к этому случаю условия можно, если жесткость мякоти клубней будет больше жесткости покрытия.

Анализ графика на рис. 4.22 указывает на то, что при ударе клубня о микропористую резину деформироваться будет сама резина, пока относительная деформация ее не превзойдет 0.6, при этом на клубень будут действовать максимальные давления не выше 0,15 МПа, что

вполне допустимо для клубней, предел прочности которых колеблется около 2 МПа в широких пределах в зависимости от сорта и сроков уборки и хранения.

Из уравнения (3.29) видно, что варьируя жесткостью и толщиной покрытия, можно предохранить клубни от повреждений при ударе, выбрав при этом наиболее экономичный вариант.

Так на графике 4.23 представлена зависимость допустимой высоты падения клубней от толщины покрытия из микропористой резины.

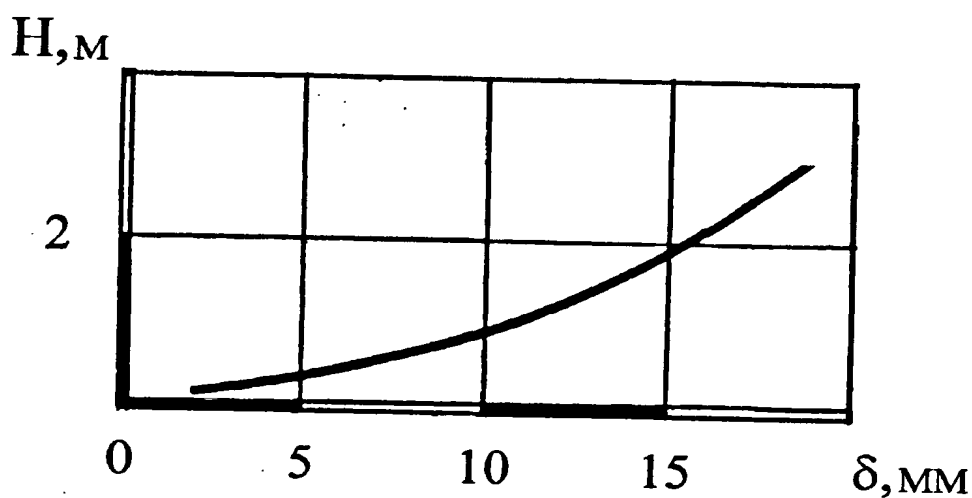


Рис. 4.23. Зависимость допустимой высоты падения клубней картофеля от толщины микропористого покрытия.

Как видно из графика уже 15 мм слоя микропористой резины достаточно, чтобы предохранить клубни от повреждения при падении их с высоты 2 м. При этом были взяты клубни с размерами около 70 мм с весом около 150 грамм.

Создавая специальные упругие покрытия с большой пористостью, а следовательно, и большей предельно допустимой относительной деформацией  $\epsilon_{пр}$ , можно снизить вес покрытия. Увеличивая жесткость пористого материала, существенно уменьшим толщину покрытия. Так, задавшись  $\epsilon_{пр} = 0.5$ , построим графики зависимости жесткости

покрытия от толщины при разных высотах падения клубней картофеля (рис. 4.24).

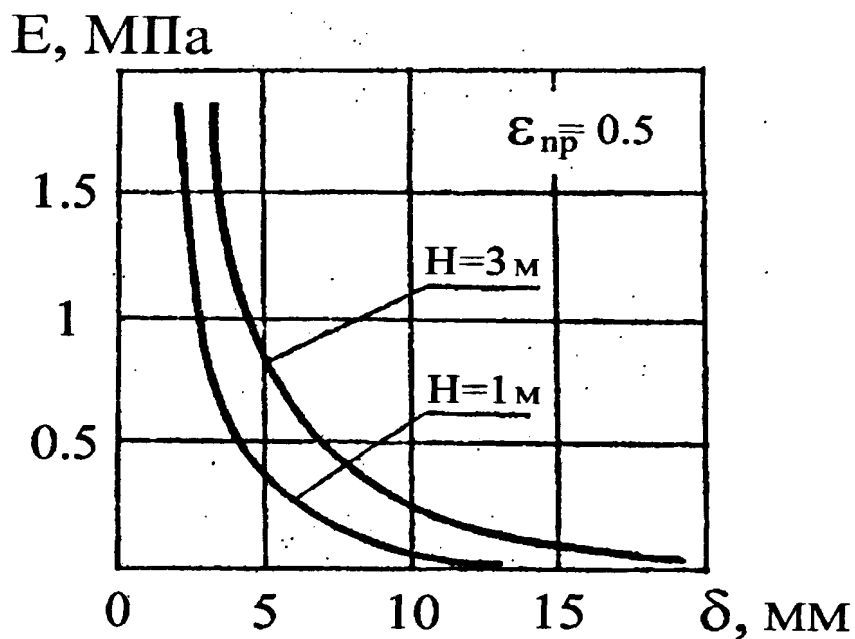


Рис. 4.24. Зависимости жесткости покрытия от толщины, при разных высотах падения клубня.

Анализ полученных графиков (рис. 4.24) указывает на то, что при повышении жесткости покрытия, например, до 1,5 МПа можно обеспечить сохранность клубней, падающих с высоты 3 м при толщине покрытия 3 мм.

#### 4.5. Выводы по 4 главе.

1. На примере семенных безвирусных миниклубней можно констатировать, что показатели размерно - массовой характеристики подчинены закону нормального распределения с параметрами: длина 26 мм, ширина 18 мм, толщина 16 мм, масса 5,4 г со средними квадратическими отклонениями, соответственно, 10 мм, 4мм, 6мм и 3,5 г. Средний коэффициент формы миниклубней - 1,55.

2. По результатам испытаний образцов из мякоти клубней, мякоть можно представить моделью тела состоящего из упругой и упруго-вязкой частей соединенных последовательно.

3. Повреждаемость клеток мякоти клубней картофеля происходит при достижении определенной величины относительной деформации (около 0,09), и не зависит от скорости относительной деформации.

4. Предел прочности мякоти клубней существенно зависит от скорости деформации и сортов картофеля и уменьшается по мере хранения.

5. Мякоть клубней по разному работает на растяжение и сжатие, так при статическом нагружении у сорта "Невский" предел прочности при растяжении 1МПа, при сжатии 2 МПа при срезе 0,64 МПа.

6. При ударных процессах работает только упругая часть модели, при этом у сорта "Невский" модуль упругости равен 45 МПа, а прочность 3 МПа.

7. Предельно - допустимая энергия каждого удара изменяется в 8 раз при изменении числа ударов от одного до тысячи. Это использовано нами при расчете предельных амплитудно - частотных характеристик колебаний рабочих органов.

8. Определенные нами размерно - массовые и механические характеристики клубней позволяют по формулам контактной прочности рассчитывать допустимые скорости соударения клубней с клубнями и

рабочими органами. При прямом ударе это соответственно 2,3 м/с и 3 м/с.

9. Используя определенные нами модуль упругости и прочность мякоти клубней при ударе, определили скорость распространения волн деформации (200 м/с). Расчитали скорость при которой независимо от энергии ударяющего тела мякоть клубней будет повреждаться (от 9 до 13 м/с).

10. Результаты экспериментов и разработанная нами методика позволяют подбирать упругие покрытия рабочих органов обеспечивающих механическую сохранность клубней.

## Глава 5. ТЕХНИКО - ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ВНЕДРЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ.

Технико - экономический эффект применения приборного комплекса для оценки устойчивости картофеля к механическим воздействиям определим на примере селекционного процесса.

В настоящее время почти все работы в селекционно - семеноводческом процессе в картофелеводстве выполняются вручную. По технологической карте, составленной в НИИ картофелеводства, затраты труда на выполнение селекционных процессов составляют: на посадке - 210,6 чел.-ч; по уходу - 408,7 чел.-ч; на уборке - 833,3 чел.-ч в расчете на 1 га.

Затраты на выведения нового сорта составляют около 10 млн. рублей при этом доход от внедрения нового сорта может быть порядка 150 млн. рублей.

Снижение затрат в селекционно - семеноводческом процессе возможно за счет внедрения новых перспективных технологий с механизированием некоторых видов работ.

Так сортоиспытания, в частности оценку селекционного материала на устойчивость к механическим повреждениям можно проводить не традиционным "комбайновым тестом" в конце селекционного процесса, а с помощью комплекса приборов причем на ранних стадиях этого процесса (3 - 4 года вместо 6 года).

В качестве базового варианта выбрана методика оценки устойчивости клубней картофеля к механическим воздействиям с применением уборочного комбайна ( "комбайновый тест" ).

Показатели экономической эффективности применения приборного комплекса для оценки устойчивости селекционного материала к механическим воздействиям определяли следующим образом:  
Все вычисления производим в расчете на единицу наработки (1 проба ).



Экономический эффект от применения приборного комплекса :

$$\text{Э}_T = \frac{(\text{ЗБ} - \text{ЗП}) \cdot V}{k_p + E_n}$$

где ,  $\text{З} = \text{И} + \text{К} \cdot (\text{k}_p + E_n)$

$$\text{И} = \text{ГСМ} + \text{ТО,ТР} + \text{ЗП}$$

$$\text{К} = \frac{\text{Бст}}{\text{T} \cdot \text{W}}$$

$$\text{ЗП} = \frac{1}{\text{W}} \cdot \sum_{i=1}^n N_i \cdot t_i$$

$$\text{ТО,ТР} = \sum_{i=1}^m K_i \cdot k_i \text{ ТО,ТР}$$

$$\text{ГСМ} = \frac{q \cdot \text{Ц}}{\text{W}}$$

Эт - экономический эффект за расчетный период (руб.)

З - среднегодовые удельные затраты (руб./ед. наработки)

И - прямые эксплуатационные издержки (руб./ед.нар.)

К - удельные капитальные вложения (руб./ед. наработ.)

Бст - балансовая стоимость ОПФ (руб.)

k<sub>p</sub> - норма отчислений на реновацию

k<sub>то,тр</sub> - норма отчислений на ТО, ТР

ГСМ - затраты на горючее и смазочные материалы

ЗП - заработная плата (руб./ед. наработ.)

ТО, ТР - затраты на ТО и ТР (руб./ед. наработ.)

W - часовая производительность (ед. наработ./час)

q - часовой расход ГСМ (кг/час)

Ц - цена ГСМ (руб./кг.)

T - годовая загрузка (час.)

V - годовой объем работ (ед./год)

t - часовая тарифная ставка с начислениями (руб./час)

Исходные данные для расчета экономической эффективности процесса сортоиспытания по оценке селекционного материала картофеля на устойчивость к механическим повреждениям.

№	Показатели	Ед. изм.	Базовый вариант		Проектный вариант
			МТЗ-80 + ККУ-2А		ИПК
1.	Производительность	ед./час	6		4
2.	Годовой объем	ед./год	400		400
3.	Годовая загрузка	час.	200		200
4.	Кол-во обслуживающего персонала	чел.	1	4	2
7.	Разряд работы		5	4	4
6.	Тарифная ставка	руб./час	8	6.5	6.5
7.	Балансовая стоимость	руб.	50380	49830	8800
8.	Норма отчислений на ТО, ТР		0.157	0.150	0.06
9.	Коэффиц. реновации		0.0627	0.0874	0.0874
10.	Расход ГСМ	кг /час	12	-	1
11.	Стоимость ГСМ	руб./кг	1.6	-	0.2

Расчет экономической эффективности.

$$K_{\text{Б}}^{\text{тр}} = \frac{50380}{6 \cdot 200} = 41.98 \text{ руб./ед.}$$

$$K_{\text{Б}}^{\text{ком}} = \frac{49830}{6 \cdot 200} = 41.52 \text{ руб./ед.}$$

$$K_{\text{пр}} = \frac{8800}{4 \cdot 200} = 11 \text{ руб./ед.}$$

$$TO, TP_{\text{Б}} = 41.98 \cdot 0.157 + 41.52 \cdot 0.15 = 12.82 \text{ руб./ед.}$$

$$TO, TP_{\text{пр}} = 11 \cdot 0.06 = 0.66 \text{ руб./ед.}$$

$$ГСМ_{\text{Б}} = \frac{12 \cdot 1.6}{4} = 3.2 \text{ руб./ед.}$$

$$ГСМ_{\text{пр}} = \frac{1 \cdot 0.2}{4} = 0.05 \text{ руб./ед.}$$

$$ЗП_{\text{Б}} = \frac{1}{6} \cdot (1 \cdot 8 + 4 \cdot 6.5) = 5.66 \text{ руб./ед.}$$

$$ЗП_{\text{пр}} = \frac{1}{4} \cdot (2 \cdot 6.5) = 3.25 \text{ руб./ед.}$$

$$И_{\text{Б}} = 12.82 + 3.2 + 5.66 = 21.68 \text{ руб./ед.}$$

$$И_{\text{пр}} = 0.66 + 0.05 + 3.25 = 3.96 \text{ руб./ед.}$$

$$З_{\text{Б}} = 21.68 + 41.98 \cdot (0.0627 + 0.1) + 41.52 \cdot (0.0874 + 0.1) = 36.29 \text{ руб./ед.}$$

$$З_{\text{пр}} = 3.96 + 11 \cdot (0.0874 + 0.1) = 6.02 \text{ руб./ед.}$$

$$ЭТ = \frac{(36.29 - 6.02) \cdot 400}{0.0874 + 0.1} = 64610.5 \text{ руб.}$$

Результаты расчета

№	Показатели	Ед. изм.	Базовый вариант		Проектный вариант
			МТЗ-80 + ККУ-2А		ИПК
1.	Удельные капитальные вложения	руб./ед.	41.98	41.52	11
2.	Затраты на ТО, ТР	руб./ед.	6.59	6.23	0.66
3.	Затраты на ГСМ	руб./ед.	3.2	-	0.05
4.	Зарплата	руб./ед.	1.33	4.33	3.25
5.	Среднегодовые удельные затраты	руб./ед.		36.29	6.02
6.	Экономический эффект за 1 год	руб.		8076	

Вывод :

Таким образом за расчетный период равный 1 году, экономический эффект от использования приборного комплекса составит 8076 руб, что свидетельствует об экономической целесообразности применения приборного комплекса при определении устойчивости клубней картофеля к механическим воздействиям.

Вывод по 5 главе:

Годовой экономический эффект от внедрения только одного приборного комплекса в селекции составит 8076 руб. в ценах 2001 года.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований можно сделать следующие основные выводы:

1. При расчетах напряжений и деформаций в клубнях картофеля мякоть считаем однородной сплошной средой. Модель мякоти состоит из упругой и упруго - вязкой частей, соединенных последовательно.

2. Предел прочности, модуль упругости и коэффициент вязкости мякоти клубней зависят от скорости относительной деформации. Разрушение происходит при достижении относительной деформации 0.08.

3. Расчет прочности клубней при сложном напряженном состоянии необходимо проводить с помощью феноменологической теории прочности Мора, учитывающей разную прочность мякоти клубней при растяжении и сжатии. У сорта "Невский" при ударе предел прочности сжатия 3 МПа, а растяжения - 1.6 МПа.

4. При ударе работает только упругая часть модели. Модуль упругости у сорта "Невский" составил, в среднем, 45.6 МПа, а предел прочности - 3 МПа. У сорта "Пригожий" - соответственно: 20.3 МПа и 1.4 МПа.

5. Соударение клубней с рабочими органами приводит к распространению волн упругих деформаций со скоростью 200 м/с. При скоростях соударения от 9 до 13 м/с мякоть повреждается независимо от силы удара. Это необходимо учитывать при измельчении клубней.

6. Разработанные методики позволяют подбирать рациональное по жесткости и толщине упругое покрытие рабочего органа и определять предельно допустимые амплитудно - частотные характеристики колебаний рабочих органов, взаимодействующих с клубнями картофеля.

7. Предел прочности и модуль упругости мякоти рекомендуется определять методом внедрения цилиндрического наконечника в клубни картофеля.

8. Определенные в работе механические и размерные характеристики клубней картофеля позволяют по формулам контактной прочности проводить расчет любых случаев соударения клубней с рабочими органами.

9. Годовой экономический эффект от внедрения только одного приборного комплекса в селекции составит 8076 руб. в ценах 2001 года.

Список литературы.

1. Адлер Ю.П. Введение в планирование эксперимента.- М.: Metallургия, 1969. - 159 с.
2. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. - М.: Наука, 1976. - с. 279.
3. Александров А.П., Журков С.Н. Явление хрупкого разрыва. ГТГИ 1933.
4. Аленицин А.Г., Бутиков Е.И., Кондратьев А.С. Краткий физико - математический справочник. - М.: Наука, 1990, с.368
5. Аудзивечене З., Ионелюнас В. Исследование повреждаемости картофеля. Труды Литовского НИИ механизации к электрификации сельского хозяйства. - 1974. – т.7. - с.37 - 40
6. Безрукий Л.П. Исследование процесса разрушения почвенных комков и повреждаемости клубней на рабочих органах картофелеуборочных машин. Дис. канд.техн.наук. - Минск, 1962.
7. Бышов Н.В. Научно - методические основы расчета сепарирующих рабочих органов и повышение эффективности картофелеуборочных машин. Дисс. док. тех. наук.- М. 2000.
8. Бжезовская А.И. К методике определения чувствительности клубней картофеля к механическим повреждениям, вызванным ударной нагрузкой. Сб. тр. аспиранта НИИ механиз. и электр. сель. хоз. Н.З. СССР. Минск.1968. с. 209 - 215.
9. Бжезовская А. И. Исследования влияния физико - механических свойств клубней картофеля на повреждаемость их при ударе. Тр. Центр. НИИ мех. и электр.с.х.Н.З.СССР. 1870.т.8. с.51 - 57.
10. Бжезовская А. И. Установка с применением скоростной киносъемки для исследования причин повреждения картофеля сепарирующими органами картофелеуборочных машин. Сб. .механизация и электрификация с/х. - Минск, 1969.
11. Бжезовская А.И. Исследование сопротивление клубней картофеля

- механическим повреждениям, вызываемым динамическими нагрузками. Дис. канд. техн. наук. - Минск. 1970.
13. Валуева Т.И. Пути снижения повреждаемости клубней картофеля при механизированной уборке. Сб. Материалы респуб. конф. мол. уч. и аспирантов. 11 - 12 марта 1974 г. - Самохваловичи. Минск. 1975.
  14. Васин В.Д. Моделирование ударных взаимодействий клубней картофеля с рабочей органами с.х. машин. Сб. Исследование рабочих органов с.х. машин. Материалы 6-ой научн.-техн. конф. молодых уч. 26-28 февраля 1975. М. 1976.
  15. Веденяпин Г. В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных. М. 1967.
  16. Верещагин Н.И., Пшеченков К.А. Комплексная механизация возделывания, уборки и хранения картофеля. - М.: Колос, 1977.
  17. Верещагин Н.И. Исследование и обоснование путей уменьшения механических повреждений клубней картофеля при поточной уборке. Дис. канд. техн. наук. М. 1972.
  18. Верещагин Н.И. Три стадии процесса соударения клубня картофеля (частично-упруго-криволинейного тела) с другими телами Тр. Москов. ин-та инжен. с.х. пр-ва. М. 1989.
  19. Вольников А.И. Исследование рабочего процесса посадочного аппарата картофелесажалки и показатели прочности клубней картофеля. Дисс. канд. техн. наук. Горький. 1972.
  20. Гагаулина В.Г. Исследование причин повреждения клубней картофеля при посадке вычерпывающим аппаратом и изыскание способов их снижения. Дис. канд. техн. наук. Л. 1980.
  21. Гагаулина В.Г., Гагаулин В.В. Разрушение семян сельскохозяйственных культур волнами напряжений. Вопросы земледельческой механики. Тезисы докл. Всесоюзной научной конф. по совр. проблемам землед. механ. ВАСХНИЛ. ВИМ. М. 1978.
  22. Герасимов А.А. Сафразбекян О.А. К методике оценки повреждения



- клубней картофеля при ударе. Селекция и семеновидство. 1973. N 3.
23. Герасимов А.А. и др. Изучить повреждаемость клубней рабочими органами уборочных машин. Отчет о НИР/НИИ картофел. хоз-ва. М. 1972.
  24. Гудзенко И.П., Фирсов Н.В. Машины для возделывания и уборки картофеля. М. Машгиз, 1962.
  25. Глухих Б.А. Исследования по механизации возделывания и уборки картофеля. Сб. Результаты исследования по механизации картофелеводства. НИИ карт. хоз-ва. 1968.
  26. Говард Г.У. Значение селекции в улучшении качества и повышении урожайности картофеля. Сб. Рост и развитие картофеля. Пер. с англ. М. 1966.
  27. Годухин В.И., Вольников А.И. Некоторые физико-механические показатели клубней перед посадкой. Сб. научн. труд. Горьковского СХИ. Горький. 1972. т. 42
  28. Головицын С.К. Исследование физико-механических свойств клубней и обоснование параметров рабочих органов машин для посадки яровизированного картофеля. Автор. дисс. канд. техн. наук. М. 1969.
  29. Гольдсмит В. Удар. М. Стройиздат. 1965.
  30. Демирчев П.Ф. Зависимость механических повреждений клубней от их физико-механических свойств. Сб. Технология производства картофеля. Научн. труды НИИ карт. хоз-ва. М. 1976. Вып. XXIV.
  31. Дмитриева А.А. Способы и средства уборки картофеля и сахарной свеклы в США и Англии. Сб. с. х. информации. М. 1956. №12.
  32. Заводнов В.С. Исследование физико-механических свойств овощей и фруктов и условий их перевозки в сельском хозяйстве. Дисс. канд. техн. наук. М. 1968.
  33. Заводнов В.С., Кузьмин А.В., Кузьмин Б.О. Результаты сравнительных испытаний имитатора повреждения клубней и картофелеуборочных машин. Труды Московского ин-та инженеров с.х. пр-ва. М. 1989.

34. Заводнов В.С., Зернов В.Н., Кузьмин А.В. Комплексная оценка устойчивости клубней селекционного картофеля к механическим повреждениям. Сборник научных трудов Московского инст. инж. с.х. произв. М.1990.
35. Зернов В.Н. Анализ повреждаемости клубней картофеля рабочими органами картофелеуборочного комбайна. Отчет о НИР НИИ карт. хоз-ва. М.1978.
36. Интенсивная технология производства картофеля. Сост.К.А. Пшеченков. М.Росагропромиздат.Научно-техн. прогресс в АПК.303 с.
37. Карманов С.Н., Серебрянников В.С. Картофель от посадки до стола. М. Сел. нов. Приусадебное хоз-во.1992. 43 с.
38. Каспарова О.А. Физико - механические свойства клубней картофеля. Тр. ин-та.ВИСХОМ. 1952. Вып. 32.
39. Кирсанова В.Н., Кайдан В.П. Ударная установка для исследования повреждения клубней картофеля.Тр.ин-та ВИМ.1975.Том 69 с.221-223
40. Климарев В.П. Исследование некоторых показателей прочности клубней и повреждения их картофелесажалками. Дисс. канд. техн. наук. - Горький.1974.
41. Картофелеводство зарубежных стран. Б.П.Литун, А.И.Замотаев, Н.А.Андрюшина. М.Агропромиздат.1988. 167 с.
42. Колчин Н.Н., Васеничев В.П. Исследование упругих свойств и закономерностей отражения клубней при ударе о неподвижную среду. Труды ВИСХОМ. М.1972. Вып.73.
43. Красовский Г.И.,Филаретов Г.Ф. Планирование эксперимента.Минск. изд-во БГУ,1982. 302 с.
44. Кузьмин А.В., Мамичева К.Н. Оценка пригодности сортов картофеля к индустриальной технологии возделывания и уборки. Технические средства для обеспечения интенсивных технологий возделывания и уборки сельскохозяйственных культур. Сб. научн.трудов Московского ин-та инж. с.х. пр-ва.М.1989. с.82 - 87.

45. Кузьмин Б.О. и др. Разработать научные основы создания технологических комплексов машин для селекции, сортоиспытания семеноводства картофеля в защищенном грунте, а также для фермерских хозяйств. - Отчет о науч.- исслед. работе. Коренево, 1995.
46. Кузьмин А.В. Имитатор повреждения клубней. Разработать и внедрить механизированную технологию возделывания и уборки картофеля в селекционно - семеноводческих питомниках. Отчет о НИР (заключительный). НИИ картоф. хоз-ва. № ГР. 135788. М.. 1990. с. 27 - 41.
47. Кузьмин А.В. Технические средства для ускоренной оценки клубней селекционного картофеля на устойчивость к механическим повреждениям. Ил . N 53-93. Улан-Удэ. Бур. ЦНТИ. 1993.
48. Ламм М.И. Контактные повреждения клубней картофеля. Иссл. и расчет технолог. процесса корне - клубнеуборочных машин и рабочих органов. Тр. ВИСХОМ. М. 1963.
49. Листопад И.А. Планирование эксперимента в исследованиях по механизации сельскохозяйственного производства. М., Агропромиздат. 1988. - 88 с.
50. Митрофанов В.С. Физико - механические свойства картофеля. Теория, конструкция и производство сельскохозяйственных машин. М.: Машгиз ; 1940. Т.3, 646 с.
51. Махароблидзе Р.М. Исследование деформации и разрушения корнеплодов ударной нагрузкой. Вопросы сельскохозяйственной механики. Минск. Урожай. 1965. Т. XV.
52. Мацепуро В.М, Кирсанова В.Н. Метод исследования повреждаемости клубней картофеля при механическом воздействии. Тр. ВИМ. 1975. Т. 69. с. 174 - 185.
53. Мельников С.В., Алешкин В.В., Роцин П.М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. Л. Колос. 1980. 168 с.
54. Методика (основные положения) определения экономической эффек-

- тивности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. М.ВНИИПИ.1982. 41с.
55. Методика определения экономической эффективности использования и внедрения новой техники в сельском хозяйстве. Кишинев. 1979. 41с.
56. Методические указания по оценке селекционного материала картофеля на устойчивость к фитофторозу, ризоктониозу, бактериальным болезням и механическим повреждениям. М.ВАСХНИЛ.1980.
57. Митрофанов В.С. Физико-механические свойства картофеля. Теория, конструирование и производство с.х. машин. М. Сельхозиздат. 1940. Т.5. с.646.
58. Морозова Е. Устойчивость клубней *Sandigenum* к механическим повреждениям и нематодам. Картофель и овощи.1973. №12.
59. Мосин М.А., Толопилов В.Д. Механические повреждения клубней. Картофель и овощи. 1967.№1.
60. Перечень контролируемых параметров, приборов, средств автоматизации и лабораторного оборудования для селекции, семеноводства и производства картофеля. НПО Агроприбор. ИНВ. № 3320.М.1975.
61. Петров Г.Д. Картофелеуборочные машины.М. Машиностроение,1984. 320 с.
62. Почтенный Е.К. Введение в дислокационную теорию деформации деталей машин. Минск. 1960.
63. Писарев Б.А., Трофимец Л.Н. Семеноводство картофеля. М.: Россельхозиздат, 1982.
64. Росс Х. Селекция картофеля. Проблемы и перспективы. Пер.с англ. Лебедева З.А. Под ред. Яшиной И. М. М.Агроиздат.1989.183с.
65. Сафразбекян О.А. К обоснованию обобщенного показателя оценки механических повреждений клубней при уборке картофеля. Тр. ин-та ВИМ. М.1975 .Т.72.
66. Семикин В.Т. Влияние предуборочного рыхления грядок на меха-

нические повреждения клубней картофеля. Результаты исс. По технологии возделывания картофеля. Научн. труды инст. НИИ картоф. хозяйства. М. 1970.

67. Сийм Я.М. О методах оценки устойчивости клубней к механическим повреждениям. Проблемы комплексной механизации производства картофеля. Минск. 1975. С. 68-70.
68. Сийм Я.М. Определение повреждаемости клубней. Картофель и овощи. 1977. № 2.
69. Солодухин Г.П. Изыскание и исследование ротационного рабочего органа для рыхления и сепарации почв в картофелеуборочных машинах. Дис. канд. Техн. наук. Горький. 1963.
70. Табачук В.И. Исследование повреждаемости клубней картофеля при ударе. Записки Ленинградского СХИ. 1953. Вып. 7.
71. Тихомиров В.Б. Математические методы планирования эксперимента при изучении нетканых материалов. Легкая индустрия. 1968. 189 с.
72. Ткачев М.Т. Исследование и изыскание сепарирующих рабочих органов картофелеуборочных машин. Дисс. канд. техн. наук. Минск. 1956.
73. Тукс П.Т. Влияние уборки и хранения на качество картофеля. Рост и развитие картофеля. Пер. с англ. М. 1966.
74. Усков Л.Б. Экономическая эффективность производства селекцион-носеменного картофеля на базе механизированной технологии. Сельскохоз. приборостроение. ИБ. 1987. № 1. С. 130-132.
75. Финни Д. Введение в теорию планирования экспериментов. Пер. с англ. М. Наука. 1970. 258 с.
76. Штаерман И.Я. Контактная задача теории упругости. М. Гостехиздат. 1949.
77. Ясинский Ф.С. Собрание сочинений. 2-П6. 1904. Т. 3.
78. Aeply, A., et al, 1979: Influence of the location of black Spot susceptibility of potato tubers. Z. Ackeru. Pflanzenbau 148, 115-130.
79. Bailey, M.J, 1980 : A method for measuring varietul sussep tibility to

- internal and external damage. Ann Appl Biol. 96, 385-386.
80. Baganz K: Materialkennwerte für ein Rheologisches Modell der Kartoffel. Agrartechnik, 1974, 247
  81. Baumgartner M. & E.R Keller 1983. Blauempfindlichkeit und Blaustabilität. Kartoffelbau 34, 385-389
  82. Baumgartner M. & E.R Keller 1983. & Schwendiman. Versuch einer Charakterisierung für blaustabilität und blaustabilität bei der Kartoffel durch Knollen eigenschaften. Pod. Res. 26, 17-30.
  83. Beranek J., Rasochavo M. Vliv kombinovské klizy na mechanické poskození a výtěsnost konzumních hlíz. - Rostl. Vyroba, 1977, 23, 3
  84. Blight D.P., & A.I. Hamilton, 1974: Varietal susceptibility to damage in potatoes. Pot. Res 17, 269-270 .
  85. Brečko I. Terélna vlastnosti bramborových hlíz-Rostl. Vyroba, 1977, 23, 1.
  86. Cole, C.S., 1980: Potato tuber damage-Breeder's problems. Ann. Appl. Biol. 96, 355 - 358.
  87. Demel I. Beschädigungsempfindlichkeit von Kartoffelsorten. - Prakt. Landtechnik, 1983, 26, 5.
  88. Finney E.E., Hall C. W., Masc G.E. Theory of linear viscoelasticity to the Potato - Journal of Agricultural Engineering. Res, 1964: v9 №4
  89. Fuschs G., 1971: Untersuchungen zur Vollernetverträglichkeit der Kartoffel. Bauer. Landw. Jb. 48, 837 - 866.
  90. Gall N.P., N.P. Lamprecht & E. Fichter, 1967 : Erste Ergebnisse mit dem Ruckschlagpendel zur Bestimmung der Beschädigungsempfindlichkeit von Kartoffelknollen. Eur. Pot. I. 10, 272 - 285.
  91. Grant A. & I.C. Hughes, 1985: The relationship between physical properties of tubers measured during pendulum impact test and tuber fracture damage. Pot. Res. 28, 203 - 221.
  92. Grassert V., & F. Padenhagen, 1979 : Zur Züchtung auf geringe Schwarzfleckigkeitsneigung bei Kartoffeln. 1. Mitt Vergleich von Methoden zur Schwarzfleckigkeitsbestimmung. Arch.

- Suchtungsvorsch. 9, 293 - 298.
93. Green N.C. , Potato Damage Journal of Agricultural Engineering Res., 1956 , V1, N1.
  94. Huff E.R. : Mechanical properties of Potatoes - Like Rubber or like Glass ? Maine Gard Research , 1966. V14, №2.
  95. Hunnius W. & M. Munzert , 1976 : Der Einflug der jahres und Erntevitterung auf die Knollenbeschadigung von Kartoffelsorten. Z. Acker - u.Pflauzenbau 112, 237 - 247.
  96. Inglis C.E. - Trans inst wav Arch. 1912.
  97. James W.C. , Laurence C.H. , Cehun C.S. , Yield losses due to missing plants in potato crops amer potato . I 1973, 50,10.
  98. Jonson , Ulla, & I.F. Friedell, 1981: Different types of impact damage and Resistance to *Phoma exigua* var. *Boveata* in Some potato varieties. 8 - th. Triennial Conf. Eur. Ot. Res., Munchen, Abstr: 103 -104.
  99. Killick R.I. , 1972: The analysis of penetrometer data from a potato Breeding program. Pot. Res. 15, 91 - 95.
  100. Langerfeld E. , 1978: *Fusarium zoerumbeum* (Zib) . Sacc. als. Urseche von Lagerfaulen an Kartoffelknollen. Mitt BBA 1981, 1 - 81.
  101. Leppack E. , 1984 : Zur Frage der mechanischen Knollenscheden in Kartoffellager. Kartoffelbau 35, 444 - 448.
  102. M.C. Rae, D.C. Fleming, C.A. Closberg. & N. Melrose , 1984 : Crushing energy as a measurement of varietal damage susceptibility compared with drop test and damage sustained during Narvestung 9th Triennial Conf. Eur. ASS. Pot. Res., Interlaken, abstr , 239 - 240.
  103. Mainl C. & B. Effmer , 1966: Uber die Schalen - und Fleischbestigkeit von Kartoffelknolle. Zuchter 36 , 236 - 272.
  104. Mainl C. , 1972 : Untersuchungen uber die Anfluggrosen Elastizitet und Masse auf die " Beschadigungswiderstandsfachigkeit " der Kartoffel. ( Pol, Russ and Engl. Summ.) Zeimniak. The Potata, Bonin (Polland), 173 - 202.

105. Mitrus Jan : Mechanizmen uszkotzenia Ziemnickaw. " Mech. rol." , 1973 , 22, 8
106. Muller K. ,1979: Chemisch und pfusiologische bedingte Ursachen von Blaufbestigkeit. , Rohverfugung und Kochdunkelung der Kartoffel, Kartoffelbau 30, 404 - 407.
107. Munzert M. & W. Hunnius , 1978 : Erfahrungen mit einen Gewachshaustest zur Prufung der Resistenz gegen Schwarzbeinigkeit. 7th Triennial Conf. Eur. Ass. Pot. Res., Warsaw,abstr., 195 - 197.
108. Parke D.: Ihe Resistance of Potatoes to Meshanical Damage Caused by Impakt loading Journal of Agricultural. Engineering. Res, 1963,8(2)
109. Porteus, R.R. & A. I. Muir 1981: An experimental instrumment for identifying damage, disease and other surfase defects 8th Triennial Conf. Eur. Ass.Pot.Res.,Munchen,abstr.,112-113
110. Prondtl :Zeitschr.angew. Match und Mech .1928. 8
111. Seppanen E.: Ihe resistance of the potato reatieties to mechanical in juriy: I. Sc. Agric.Soc Findland,1972, 44, 22,: 42-97
112. Sparkds W. :Potato bruising can cost you-Vegetable Gower, 1977, 25,1,.
113. Specht A. Die Maschinelle Kartoffelernte- Mit DLG,1972
114. Spies E .Massnahmen zur Verminderung von Kartoffelbaschadigung. Schweizlandtechnik, 1973;25,10
115. Svennson B. Changes in seed tubers efter planting. Potato. res.,1977,20
116. Umeerus,V.,& Magnhild Umaerus, 1976: Sckeening methods for resistans to mechanical domage (Swed.with Engl.Summ.) I Swed. Seed. Ass. 86, 48-64
117. Weber I, V.Graesert & G. Ulrich, 1981:Eine Methode zur Prufeend fon Zuchtmaterial auf Widerstandsfahigkeit gegenuber mascineller Belastung 8th Triennial Conf Eur. Ass. Pot. Res. Munchen, abstr, 108-109.
118. West W. I. Machinery and tuber tamage-Potate, 1974,v11,p.10-15.
119. Williams C M.: King Edward Potatoes Impact Mechanical Damage at lifting time 1963, American Potato jouernal, 1963, v40, N9



АКТ внедрения научных исследований  
аспиранта Заводнова С.В. в производство.

В 1998 - 1999 г.г. арендное подразделение предприятия "Рассвет" при уборке картофеля в Тверской области применяло контейнеры покрытые изнутри микропористой резиной. Жесткость и толщина покрытия (3 мм) были выбраны по методике, разработанной аспирантом Заводновым С.В.

При погрузо - разгрузочных и транспортных операциях удалось снизить механическую повреждаемость клубней за счет применения покрытия на 60 %.

1 февраля 2002 г.

Директор предприятия "Рассвет"



Г.С. Моисеенко