

9 04 - 14
549 - 6

877 011

20 11 2002

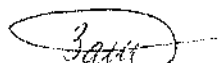
На правах рукописи

ЗАВОДНОВ СЕРГЕЙ ВИКТОРОВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КЛУБНЕЙ
КАРТОФЕЛЯ С РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Специальность 05.20.01 - технологии и средства механизации
сельского хозяйства.

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Москва - 2002

Работа выполнена в Московском государственном агроинженерном университете имени В. П. Горячкина. (МГАУ).

Научный руководитель - кандидат технических наук, профессор
Бочаров П. П.

Официальные оппоненты : доктор технических наук, профессор
Верещагин П. И.
кандидат технических наук, доцент
Окнин Б. С.

Ведущая организация - Всероссийский научно - исследовательский
институт картофельного хозяйства.

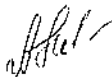
Защита состоится 22 апреля 2002 г. в 13.00 ч. на заседании диссертационного
совета Д 220.044.01 в Московском государственном агроинженерном уни-
верситете имени В. П. Горячкина, г. Москва, Тимирязевская ул., 58.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГАУ им. В.П. Горячкина.

Автореферат разослан 23 февраля 2002 г.

М

Ученый секретарь
диссертационного совета



Левинин А.Г.

12934-ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы : 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.

Исследования повреждаемости клубней отдельными рабочими органами картофелеуборочного комбайна показали, что 69,4% приходится на внутренние повреждения глубиной до 5 мм. При этом повреждается в среднем 40% клубней по массе. Если принять общее количество поврежденных за 100%, то только при падениях повреждается 67,5%, а при падениях и на сепарирующих органах повреждается уже 95% клубней.

В связи с вышесказанным, снижение механической повреждаемости клубней картофеля, повышение качества и эффективности картофелеводства - актуальная задача сельскохозяйственного производства.

Цель работы : Моделирование механического взаимодействия клубней с рабочими органами сельскохозяйственных машин и разработка методов определения прочности и жесткости клубней картофеля .

Объект исследования : Клубни как объект механизированного процесса возделывания картофеля. Технические средства для определения упругости, вязкости и прочности мякоти клубней картофеля.

Методы исследования. За основу методики проведения исследований приняты рекомендации отраслевых стандартов и методы испытаний сельскохозяйственной техники. При проведении экспериментальных исследований упругих и прочностных свойств мякоти клубней картофеля, в случае ударных нагрузок, использовался тензометрический метод. Теоретические исследования включали в себя механико - математическое моделирование на электронно - вычислительных машинах.

Научная новизна : Применена модель Максвелла при описании взаимодействия клубней картофеля с абсолютно жесткими и упругими телами. Получила дальнейшее развитие теория упругого удара клубня о рабочий орган.

Изучен процесс распространения волн напряжений и деформаций в клубнях при ударе.

Практическая ценность : На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований доказана возможность применения известных в машиностроении методов при расчете взаимодействия клубней картофеля с рабочими органами сельскохозяйственных машин.

Усовершенствован приборный комплекс для определения упругих и прочностных свойств клубней картофеля при ударных воздействиях .

Определены допустимые амплитудно - частотные характеристики колебаний рабочих органов, взаимодействующих с клубнями картофеля.

Разработана методика расчета оптимального упругого покрытия рабочего органа.

Апробация работы : Основные положения диссертационной работы доложены, обсуждены и одобрены :

- на научных конференциях профессорско - преподавательского состава, научных работников и аспирантов МГАУ им. В.П.Горячкина в 1998 - 2001г.
- на научно - техническом совете Всероссийского научно - исследовательского института картофельного хозяйства в 2001 г.

Публикации . Основные положения диссертации опубликованы в четырех статьях.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных выводов и списка литературы. Изложена на 144 страницах машинописного текста, содержит 40 рисунков, 5 таблиц, библиографию из 119 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит обоснование актуальности темы диссертационного исследования.

В первой главе дан обзор и анализ методов и средств для определения прочности клубней картофеля.

В работах Ю.В. Власова, И.Л. Волкинда, В.П. Жиглевича, А.С.Лобановой, П.Ф. Соколова, а также зарубежных авторов : Burton, Hine и Nilson указывается, что при уборке повреждается около 40 %, а при хранении портится около 20% продукции.

Вопросами снижения механической повреждаемости картофеля занимались Г.Д. Петров, А.А. Сорокин, Н.Н. Колчин, М.Н. Ерохин, В.А. Хвостов, Н.И. Верещагин, М.Б. Угланов и другие.

Существует довольно много разнообразных методов и средств для изучения физико - механических свойств клубней. Однако все вышеперечисленные методы и средства направлены на определение отдельных факторов сопротивляемости клубней механическим повреждениям.

Настоящая работа посвящена теоретическим и экспериментальным исследованиям процессов механического взаимодействия клубней картофеля с рабочими органами машин при возделывании картофеля с целью:

- обеспечить разработку технических средств для оценки прочностных свойств селекционного материала и картофеля в условиях производства;
- разработать методы инженерных расчетов взаимодействия рабочих органов сельскохозяйственных машин с клубнями картофеля.

В соответствии с поставленной целью, задачами настоящей работы являются:

- исследования основных механических свойств, определяющих сопротивляемость клубня механическим повреждениям ;
- моделирование механического взаимодействия клубней картофеля с рабочими органами сельскохозяйственных машин ;
- анализ существующих технических средств для оценки прочности клубней и выбор принципиальной схемы устройства, позволяющего в лабораторных условиях определять механическую прочность клубней картофеля;
- определение экономической эффективности предложенных технических средств для оценки прочности клубней селекционного картофеля.

Во второй главе рассмотрены технические средства и методы оценки прочности клубней картофеля, а также виды повреждений при механизированном возделывании. Нами установлена связь прочности клубней картофеля с особенностями клеточного строения. В работах Н.И. Верещагина показано, что при уборке от борозды до бункера комбайна клубень воспринимает от 4 до 7 статических сжимающих воздействий и от 53 до 84 ударных нагрузок. Поэтому требуются исследования процессов статического и динамического воздействия рабочих органов на клубни с раскрытием механизма повреждения. В работах большинства ученых указана зависимость механических повреждений клубней картофеля от конструкции, формы, покрытия и режимов работы рабочих органов конкретных машин, но нет универсальных методов моделирования механических взаимодействий.

Прочностные свойства клубней гораздо больше зависят от сортовых особенностей (от 52 до 56 %), чем от факторов среды (от 20 до 22 %).

В начальной стадии селекционного процесса (при наличии менее 20 клубней) следует определять предел прочности и модуль упругости мякоти методом внедрения цилиндрического наконечника.

В третьей главе представлены наши теоретические исследования, опирающиеся на результаты испытаний образцов из мякоти клубней картофеля. Показано, что оболочки клеток мякоти клубней картофеля, содержащие нитроцеллюлозу, являются основной структурной организацией мякоти и определяют ее прочность. Размеры клеток несоизмеримо малы по сравнению с объемом мякоти клубня, деформированным при нагружении. Мякоть при расчетах можно считать однородной сплошной средой.

Упругие и вязкостные свойства мякоти клубней картофеля особенно ярко проявили себя при проведенных нами исследованиях текучести и релаксации (рис. 1). Эти испытания позволили выбрать механическую модель мякоти. Она состоит из упругой и упруго - вязкой частей, соединенных последовательно (рис.2). Задавая постоянную скорость относительной деформации, для этой модели получили реологическое уравнение :

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

где $k_2 = \frac{\sigma_{сж}}{\varepsilon_0} = 45.6 \text{ МПа}$ - 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,

η_1 - вязкость.

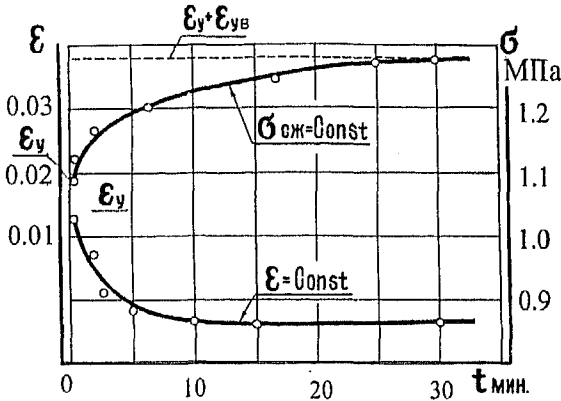


Рис.1. Результаты исследования процессов текучести и релаксации образцов, вырезанных из клубней картофеля сорта "Невский".

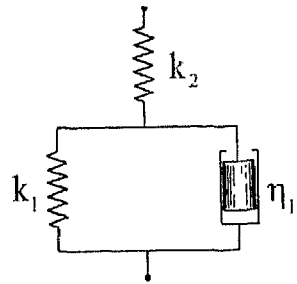


Рис.2. Механическая модель мякоти клубней картофеля.

Уравнение текучести имеет вид:
$$\varepsilon = \frac{\sigma}{k_2} + \frac{\sigma}{k_1} \cdot \left(1 - e^{-\frac{k_1 \cdot t}{\eta_1}} \right) \quad (2)$$

Установлено, что мякоть клубней имеет разный предел прочности при растяжении и сжатии, а разрушение происходит в области наибольших касательных напряжений. В пятне контакта наблюдается сложное напряженное состояние, поэтому прочность мы предлагаем рассчитывать с помощью феноменологической теории прочности О. Мора.

При падении клубня картофеля сорта Невский с высоты 0,1 м. длительность ударного воздействия около 0.1 с.

Поэтому $\epsilon = \frac{\sigma}{k_2} + \frac{\sigma}{k_1} \cdot (1 - e^{\frac{-50.7}{4 \cdot 10^4} \cdot 0.1}) \approx \frac{\sigma}{k_2}$ то есть, вязкостные свойства мякоти не проявляются и она ведет себя как упругая.

В полевых и лабораторных условиях жесткость и прочность мякоти клубней мы предлагаем определять внедрением цилиндрического пуансона в клубень (рис. 3).

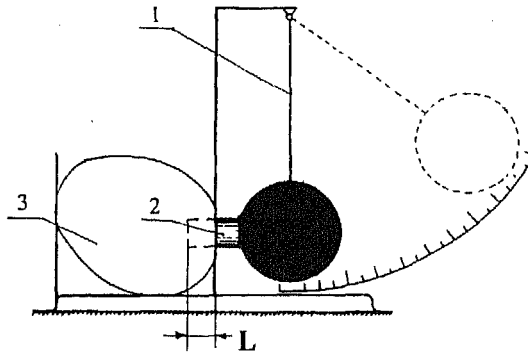


Рис. 3. Схема копра с цилиндрическим наконечником.

В результате модуль упругости мякоти определяется по формуле 3:

$$E = \frac{2 \cdot T}{\pi \cdot a^2 \cdot L}, \quad (3)$$

где T - кинетическая энергия маятника,

L - глубина внедрения пуансона в клубень,

a - радиус пуансона.

Прочность при этом определяется по формуле 4

$$\sigma_{вс} = 0.33 \cdot \sqrt{\frac{T \cdot E}{a^3}}, \quad (4)$$

где T - кинетическая энергия достаточная для начала внедрения пуансона диаметром 2a

Нами составлена модель распространения волн упругих деформаций при соударениях клубней с рабочими органами (рис. 4).

На торце возникают напряжения, зависящие от скорости соударения - v :

$$\sigma = \frac{E \cdot v}{C}, \quad (5)$$

где $C = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ - скорость распространения волн деформаций в клубне.

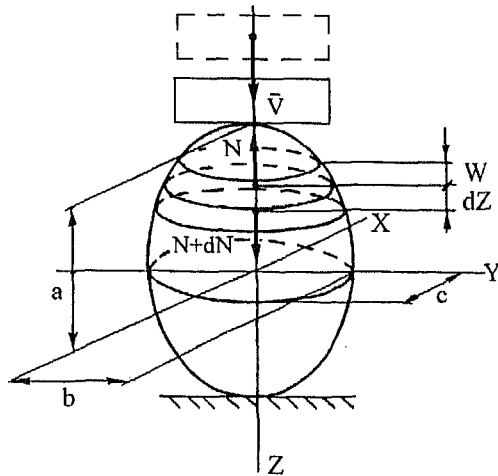


Рис. 4. Удар по клубню рабочего органа, движущегося со скоростью v .

Закон распространения волн деформации:

$$\varepsilon = \frac{v}{C} \cdot e^{-\frac{E \cdot F}{C \cdot M} \left(t - \frac{a+Z}{C}\right)}, \quad (6)$$

где $F = \pi \cdot b \cdot c \cdot \left(1 - \frac{Z^2}{a^2}\right)$ - площадь поперечного сечения клубня на расстоянии z от торца,
 M - масса ударяющего тела.

Для обеспечения механической сохранности клубней при ударе нами разработана методика выбора оптимальной упругости и толщины пористых покрытий (формула 7).

$$v^2 = \frac{8 \cdot \pi \cdot R \cdot \sigma_{\text{вс}}^3 \cdot \delta^2}{3 \cdot E^2 \cdot m} , \quad (7)$$

где E - модуль упругости покрытия,
 $\sigma_{\text{вс}}$ - предел прочности мякоти клубня,
 m - масса клубня,
 R - радиус кривизны клубня в месте контакта,
 δ - толщина упругого покрытия.

Чтобы определить допустимые амплитудно - частотные характеристики колебаний грохотов или кузовов мы предлагаем использовать допустимую высоту падения клубней (формула 8 или 9).

При переезде отдельных неровностей

$$A_0 = \frac{1}{v} \sqrt{2 \cdot g \cdot \frac{H}{5}} , \quad (8)$$

где H - допустимая высота падения клубня картофеля,
 A_0 - амплитуда колебаний,
 v - круговая частота.

При движении по волнистой поверхности возникают встречные соударения клубней с колеблющейся поверхностью и допустимая амплитуда определяется по формуле 9:

$$A_0 = \frac{1}{(1 + \lambda) \cdot v} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \frac{H}{8}} , \quad (9)$$

где λ - коэффициент восстановления при ударе.

В четвертой главе представлены результаты экспериментальных исследований прочностных, упругих и вязкостных свойств клубней картофеля. Определены геометрические и массовые характеристики клубней. Для этого использовались разработанная нами методика и приборы, позволяющие на стадии селекции, семеноводства и промышленного картофелеводства получать данные как в лабораторных, так и в полевых условиях.

Размерно - массовая характеристика показывает, что средняя масса

миниклубней составляет 5,4 г, а средний коэффициент формы 1,55. Средние значения длины - 26 мм, ширины - 18 мм и толщины - 16 мм. У продовольственных клубней сорта "Невский" эти показатели соответственно равны 60 г и 1,5. Как размеры, так и масса распределяются по закону, близкому к нормальному. Интегральные кривые распределения этих параметров представлены в работе. Получены они с использованием ЭВМ. Размерно - массовые характеристики используются при решении задачи контактной прочности.

Прочность мякоти клубней, упругие и вязкостные свойства при статическом нагружении, определялись на приборе для испытания пружин (МИП-100). Испытывались цилиндрические образцы, вырезанные из мякоти клубней сорта "Невский". Результаты испытаний текучести и релаксации предствлены на рис. 1.

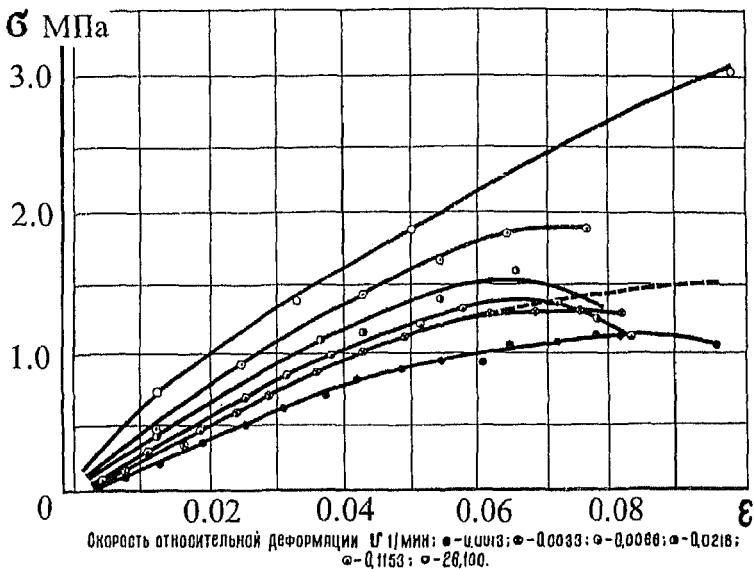


Рис.5. Зависимости напряжений сжатия от относительной деформации при разных скоростях деформирования образцов из клубней картофеля сорта "Невский".

Используя результаты испытаний образцов на сжатие при разных скоростях относительной деформации (рис. 5) и реологическое уравнение (1), методом итераций определяем коэффициент вязкости.

Результаты исследований, представленные на рисунке 1 и 5, показывают, что при статическом приложении нагрузки, особенно при длительном ее воздействии, на процессы деформации значительно влияет вязкость.

Образцы разрушаются, когда относительная деформация достигает значения 0.08. Предел прочности увеличивается при увеличении скорости относительной деформации. Особенностью выбранной нами модели является зависимость вязкости от скорости относительной деформации (рис. 6).

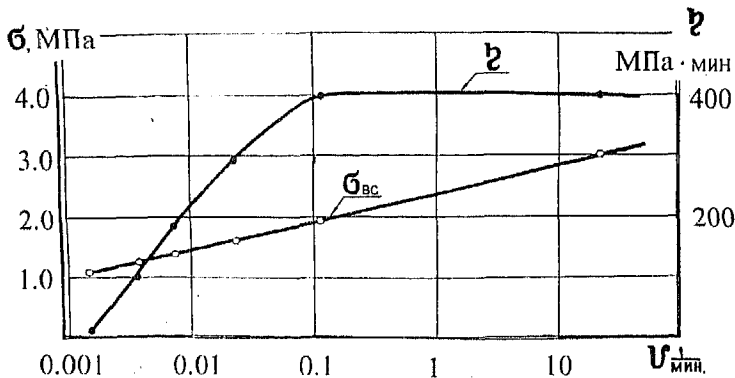


Рис. 6. Зависимости вязкости и прочности мякоти клубней картофеля сорта "Невский" от скорости относительной деформации образцов.

Предел прочности и модуль упругости мякоти при ударах определялись с помощью усовершенствованного нами копра маятничного типа (рис. 7).

При испытаниях тензометрическим способом определялась сила, импульс и время, затраченные на разрушение цилиндрического образца. По вылету маятника определялась работа, затраченная на разрушение образца Аразр. Зная разрушающую силу P_{max} и площадь поперечного сечения

образца F , определяли предел прочности мякоти - $\sigma_{bc} = \frac{P_{max}}{F}$

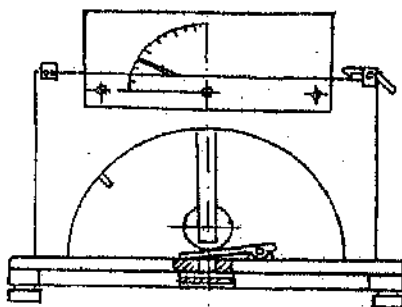


Рис. 7. Схема копра маятникового типа.

Тогда модуль упругости мякоти:

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

- где $V_{\text{обр}}$ - объем образца,
 c - жесткость банки тензоузла,
 λ - максимальный прогиб балки.

Для клубней сорта "Невский" среднее значение модуля упругости составило 45,6 МПа, а предела прочности - 3 МПа. Для клубней сорта "Пригожий" модуль упругости составил 20,3 МПа, а предел прочности - 1,4 МПа. Предел прочности у клубней сорта "Пригожий" в процессе хранения уменьшается от 1,4 МПа до 1,3 МПа, (замеры производили соответственно в сентябре и в марте).

Мякоть клубней поразному работает на растяжение и сжатие, так при динамическом нагружении у сорта "Невский" предел прочности при растяжении 1,6 МПа, при сжатии 3 МПа, при срезе 2 МПа. Эти результаты используются в теории Мора при определении эквивалентного напряжения:

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

Используя полученные нами данные по прочности, жесткости, размерам клубней и формулы контактной прочности при ударе, были определены допустимые скорости соударения. Расчет показал, что при соударении

клубней с клубнями допустима скорость 3 м/с, а с жесткой поверхностью рабочих органов - 2,3 м/с.

При ударе в мякоти клубней распространяются волны деформации со скоростью 200 м/с. Если скорость соударения 9 - 13 м/с, то независимо от силы удара происходит повреждение мякоти.

Применением упругих покрытий рабочих органов можно обеспечить сохранность клубней, падающих с большой высоты. Так, на покрытие жесткостью 1.5 МПа и толщиной 2.5 мм можно сбрасывать клубень с высоты 1 м (рис. 8).

Колебания грохотов и транспортных средств ограничиваются допустимыми амплитудно - частотными характеристиками (рис.9).

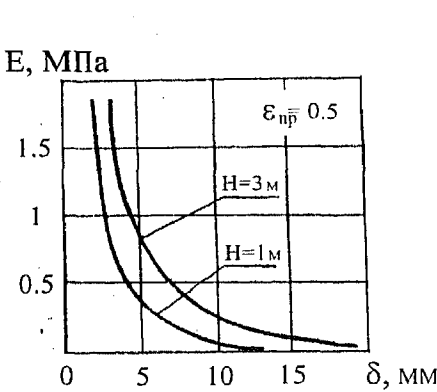


Рис.8. Зависимости жесткости покрытия от толщины при разных высотах падения клубней.

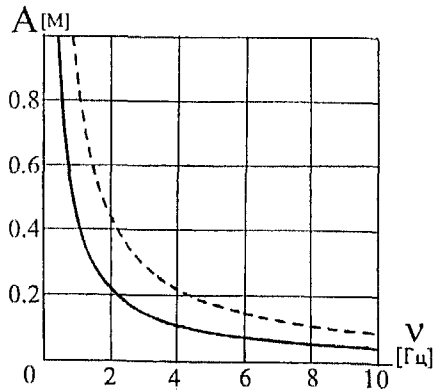


Рис.9. Допустимые амплитудно - частотные характеристики колебаний транспортных средств.
--- внутрихозяйственные перевозки
— межгородные перевозки.

В пятой главе представлены расчеты экономической эффективности от внедрения результатов исследований в селекционном процессе. Определение экономических показателей проводилось по двум вариантам. Сопrotивляемость сортов механическим воздействиям определялась комбайновой уборкой в конце селекционного процесса и с помощью приборного

комплекса на ранних стадиях этого процесса (на 3-м или 4-ом году вместо 6-ого года). Годовой экономический эффект от внедрения одного приборного комплекса в селекции составит 8076 руб. в ценах 2001 года.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.

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 9 - 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.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ
ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ :

1. Расчет вибрационных машин // Ресурсосберегающее использование машинно - тракторных агрегатов. Сб. научн. тр. МГАУ. - М., 1996. С. 76 - 81, соавторы В.С. Заводнов, С.Е. Еремин.
2. Методы определения прочности, упругости и вязкости клубней картофеля // Развитие механизации растениеводства и животноводства. Сб. научн. тр. МГАУ. - М., 1999. С. 72 - 76, соавторы Н.И. Бочаров, В.С. Заводнов.
3. Исследование воли деформаций и напряжений в клубнях картофеля при ударах // Развитие механизации растениеводства и животноводства. Сб. научн. тр. МГАУ. - М., 1999. С. 76 - 80.
4. Допустимые амплитудно - частотные характеристики колебаний транспортных средств при перевозке картофеля // Сб. научн. тр. МГАУ. - М., 2001, соавтор А.В. Заводнов.

Подписано в печать 28.02.2002 г.

Тираж 100 экз. Объем 1 п.л. Заказ № 117

Ротап rint Московского государственного агроинженерного
университета им. В.П. Горячкина

122550, Москва, и - 550, ул. Тимирязевская, 58