

*На правах рукописи*

**ЧХЕТИАНИ Артем Александрович**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ  
ПОДКАПЫВАЮЩИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ  
КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНОЙ МАШИНЫ**

**Специальность 05.20.01** – технологии и средства механизации  
сельского хозяйства

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой  
степени кандидата технических наук

Москва – 2013

Работа выполнена на кафедре «Сельскохозяйственные, дорожные и специальные машины» в ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева».

Научный руководитель: д-р техн. наук, проф.  
**Угланов Михаил Борисович.**

Официальные оппоненты: **Горбачев Иван Васильевич,**  
д-р с.-х. наук, проф., чл.-кор. Российской академии сельскохозяйственных наук, Российская академия сельскохозяйственных наук, академик-секретарь отделения механизации, электрификации и автоматизации;  
**Судник Юрий Александрович,**  
д-р техн. наук, проф., Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина» (ФГБОУ ВПО МГАУ), заведующий кафедрой информационно-управляющих систем.

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева».

Защита состоится «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2013г. в \_\_\_\_\_ часов на заседании диссертационного совета Д 006.020.01 при Государственном научном учреждении Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук (ГНУ ВИМ Россельхозакадемии) по адресу: 109428, Москва, 1-й Институтский проезд, 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГНУ ВИМ Россельхозакадемии.

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2013 г. и размещён на официальном сайте ВАК РФ в электронной базе диссертаций и авторефератов «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2013 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
канд. техн. наук

И.А. Пехальский

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Картофель является одной из важнейших сельскохозяйственных культур, возделываемых в Российской Федерации. По своей народнохозяйственной значимости он занимает второе место после зерна. С давних пор картофель известен как ценнейший продукт питания человека и как одна из полевых культур, выращиваемых для технических и кормовых целей.

Существующие картофелеуборочные комбайны КПК-2-01, КПК-3 при уборке картофеля на тяжелых почвах с пониженной или повышенной влажностью работают неудовлетворительно, количество почвенных комков в бункере может достигать 60 % и более. При уборке картофеля на таких почвах существующими картофелекопателями происходят большие потери клубней, достигающие 30 %.

В настоящее время нашей стране в связи с сокращением производства картофелеуборочной техники резко снизились площади под посадку картофеля, значительный объем этой культуры возделывается в фермерских и подсобных хозяйствах, поэтому достаточно остро встал вопрос совершенствования простейшей картофелеуборочной техники. В связи с этим создание подкапывающих органов, обеспечивающих крошение пласта, продвижение его по лемеху без сгуживания почвы и растительных остатков, способствующих снижению энергозатрат, является своевременной, актуальной задачей, имеющей важное народнохозяйственное значение.

Исследование выполнено в ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» по планам НИОКР на 2011–2015 гг. по теме «Совершенствование интенсивных технологий и технических средств возделывания, уборки и послеуборочной обработки сельскохозяйственных культур» в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 14 июня 2007 г. № 444 «О государственной программе развития сельского хозяйства на 2008–2012 гг.», предусматривающем «...ускоренный переход к использованию новых высокопроизводительных сельскохозяйственных машин и ресурсосберегающих технологий».

**Объект исследования** – модернизированный картофелекопатель, оборудованный самоколеблющимися лемехами.

**Предметом исследования** является закономерность взаимодействия самоколеблющихся лемехов с подкопанной клубненой массой.

**Цель работы** – повышение эффективности работы подкапывающих органов картофелеуборочной машины за счет применения самоколеблющихся лемехов.

**Задачи исследования:**

- обобщение результатов научных исследований конструкций подкапывающих рабочих органов картофелеуборочных машин;
- разработка конструктивно-технологической схемы самоколеблющихся лемехов картофелеуборочной машины;

- разработка математической модели, описывающей процесс взаимодействия подкопанной клубненой массы с самоколеблющимися лемехами, с обоснованием рациональных параметров;

- проведение лабораторных исследований и хозяйственных испытаний модернизированного картофелекопателя с самоколеблющимися лемехами и определение его экономической эффективности.

**Методы исследований.** Методика исследования базировалась на математическом описании процесса взаимодействия самоколеблющихся лемехов с клубненой массой. При этом применялись методы высшей математики, теоретической механики, численного анализа. Для проверки теоретических предположений проводились экспериментальные исследования в лабораторно-полевых условиях с использованием методов планирования эксперимента. Агротехнические, эксплуатационно-технологические и экономические показатели определялись в соответствии с ГОСТ и ОСТ.

**Научная новизна работы:**

- разработана математическая модель взаимодействия самоколеблющихся лемехов с клубненой массой при движении его по ним;

- получены аналитические выражения для определения рациональных параметров самоколеблющихся лемехов, теоретически обоснованные, экспериментально подтвержденные конструктивные и кинематические параметры самоколеблющихся лемехов;

- проведены исследования сепарации почвы и на основе градиентного метода уточнены рациональные параметры самоколеблющихся лемехов.

**Практическая ценность и реализация результатов работы** заключается в следующем:

- разработан способ подкопа клубненой массы самоколеблющимися лемехами, обеспечивающий его крошение, стабильное продвижение к элеватору, исключая сгуживание, зависание ботвы и растительных остатков;

- разработана конструкция самоколеблющихся лемехов, обеспечивающих крошение пласта, продвижение по лемехам без сгуживания почвы, растительных остатков и снижающих энергозатраты;

- результаты исследований нашли практическое применение в конструкции модернизированного испытанного образца картофелекопателя КТН-2У.

Модернизированный картофелекопатель КТН-2У прошел хозяйственные испытания в ООО «Авангард» Рязанского района Рязанской области.

Результаты диссертационного исследования используются в хозяйствах, занимающихся производством картофеля в Рязанской области. Материалы исследования переданы в ОАО «Рязсельмаш» для внедрения в производство и используются в ГНУ ВНИМС (г. Рязань) при разработке новых машин, а также в учебном процессе при подготовке инженеров в Рязанском ГАТУ имени П.А. Костычева.

**Достоверность результатов исследований** подтверждается сравнительными лабораторно-полевыми и хозяйственными испытаниями картофе-

лекопателя, достаточной сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований (расхождение менее 5 %).

**На защиту выносятся:**

- конструкция и рациональные параметры самоколеблющихся лемехов;
- математическая модель, описывающая взаимодействие самоколеблющихся лемехов с клубненой массой;
- результаты сравнительных экспериментальных исследований серийного и модернизированного картофелекопателей; экономическая эффективность применения самоколеблющихся лемехов на картофелеуборочной машине.

**Апробация работы.** Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава Рязанского государственного агротехнологического университета имени профессора П.А. Костычева и научно-практических конференциях ГНУ ВНИМС (г. Рязань, 2011–2012 гг.).

**Публикации.** Основные положения диссертации опубликованы в 13 научных работах, в том числе 7 в изданиях, рекомендованных ВАК. Получен патент РФ на полезную модель (№ 130196).

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из реферата, введения, 5 глав, общих выводов, списка литературы из 140 наименований, в том числе 8 на иностранном языке и приложений.

Работа изложена на 160 страницах машинописного текста, из которых основной текст составляет 146 страниц, иллюстрирована 31 рисунком, содержит 72 таблицы.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность диссертационной работы, определен объект и предмет исследования, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, научная новизна, практическая ценность работы и результаты ее реализации.

В **первой главе «Современные технологии возделывания картофеля и анализ конструкций машин для уборки картофеля»** дается анализ существующих технологий возделывания картофеля, приводится обзор конструкций картофелеуборочных машин и их рабочих органов.

Работы по исследованию и созданию новых рабочих органов картофелеуборочных машин проводились в таких организациях, как ВИМ, ВИСХОМ, НИИКХ, ГСКБ ПО «Рязсельмаш», МГАУ имени В.П. Горячкина и др. В 1985–1987 гг. учеными ВИМ разработаны и внедрены в производство на Рязанском комбайновом заводе более совершенные картофелеуборочные комбайны КПК-3 и КПК-2-01.

Следует отметить, что общие принципы расчета сельскохозяйственных машин разработаны академиком В.П. Горячкиным. Решение этих задач применительно к теории технологических процессов и расчета рабочих органов картофелеуборочных машин приведены в работах М.И. Белова, Н.И. Вереща-

гина, А.А. Герасимова, Е.А. Глухих, И.В. Горбачева, И.П. Гудзенко, М.Н. Ерохина, Ю.А. Измайлова, Н.Н. Колчина, В.А. Макарова, Н.М. Марченко, М.Е. Мазепуро, В.С. Митрофанова, Г.Д. Петрова, К.А. Пшеченкова, И.Р. Размышловича, О.А. Сафразбекяна, В.И. Славкина, А.А. Сорокина, В.И. Старовойтова, Ю.А. Судника, М.Б. Угланова, И.А. Успенского, Н.В. Фирсова и др.

На сегодняшний день существует большое количество всевозможных конструкций картофелеуборочной техники, однако все они имеют существенные недостатки:

- пассивные лемеха, применяемые на картофелекопателях КТН-2Б, КТН-2В и других, при подкопе неудовлетворительно продвигают клубненосную массу по лемеху, создают ее сгуживание, не обеспечивают хорошего крошения клубненосного пласта;

- активные подкапывающие рабочие органы, применяемые на копателе КСТ-2 и комбайне КГП-2, имеют сложный привод и конструкцию, обладают большой металлоемкостью, динамически не уравновешены, создают значительные вибрации, которые отрицательно воздействуют на обслуживающий персонал и машину;

- комбинированные подкапывающие рабочие органы на комбайне КПК-2-01, КПК-3 сложны по конструкции, металлоемки, повреждают клубни картофеля.

Проведенный научный анализ современных конструкций подкапывающих и сепарирующих рабочих органов картофелеуборочных машин показал, что ни одна из них не обеспечивает высокого качества работы на тяжелых, переувлажненных почвах, поэтому необходимо повышать эффективность работы подкапывающих органов картофелеуборочной машины.

Во второй главе «Теоретическое исследование самоколеблющихся лемехов» приведены разработанная конструктивная схема модернизированного копателя с самоколеблющимися лемехами, результаты теоретического исследования процесса подкопа пласта самоколеблющимися лемехами, позволяющие обосновать их рациональные параметры.

Важно отметить, что в современных картофелекопателях широкое применение получили пассивные лемеха, недостатком которых является неудовлетворительное перемещение и крошение подкопанного клубненосного пласта, приводящее к его сгуживанию, а также частому зависанию ботвы и растительных остатков. Кроме того, в существующих картофелекопателях с пассивными лемехами во время работы подкопанный клубненосный пласт (рис. 1) шириной АВ и CD перемещается толстым слоем, где клубни и почвенные комки по высоте расположены в 2–3 ряда, что приводит к ухудшению работы сепарирующих элеваторов.

С целью устранения отмеченных недостатков в конструкциях картофелеуборочных машин, получивших широкое распространение, с учетом периодического характера сопротивления движению клина нами была предложена улучшенная схема картофелекопателя, имеющего самоколеблющиеся лемеха (рис. 2).

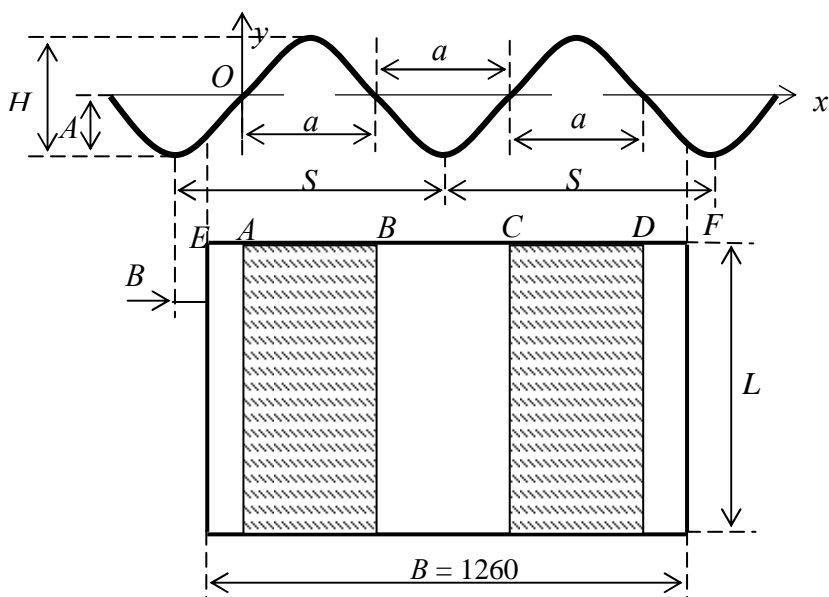


Рис. 1. Схема профиля грядки до прохода агрегата

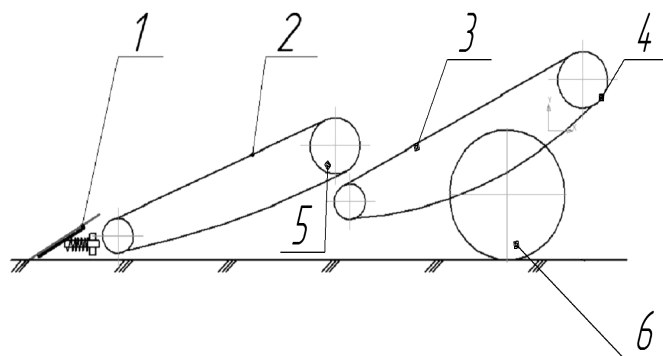


Рис. 2. Конструктивно-технологическая схема копателя КТН –2У:

1 – подкапывающие самоколеблющиеся лемеха; 2, 3 – сепарирующие элеваторы; 4, 5 – приводные валы сепарирующих элеваторов; 6 – ходовые колеса

На рисунке 3 показаны самоколеблющиеся лемеха. Лемех 1 устанавливается на раме 2, к которой с помощью болтового соединения присоединяется брус 3. На брус 3 закреплены две оси 5 с направляющими 4. На осях 5 установлены упорные шайбы 6, 7, пружины 8. Величину хода пружин регулируют втулками 9, имеющими резьбу. Во время работы лемеха совершают колебательные движения от периодического сопротивления почвы.

Колебательное движение лемехов обеспечивает хороший подкоч и крошение пласта, его стабильное продвижение к элеватору, предотвращает сгуживание, зависание ботвы и растительных остатков.

Картофелекопатель, оборудованный самоколеблющимися лемехами, работает следующим образом: при движении агрегата подкапываемый пласт вначале деформируется, а затем скалывается. При деформации почвы пружины сжимаются, при скалывании – разжимаются. Таким образом, лемеха совершают колебательные движения, что обеспечивает крошение пласта,

продвижение его по лемехам, снижение тягового сопротивления, а также рассредоточение почвы в поперечном направлении, при этом площадь поперечного сечения грядок остается постоянной, а высота грядок уменьшается.

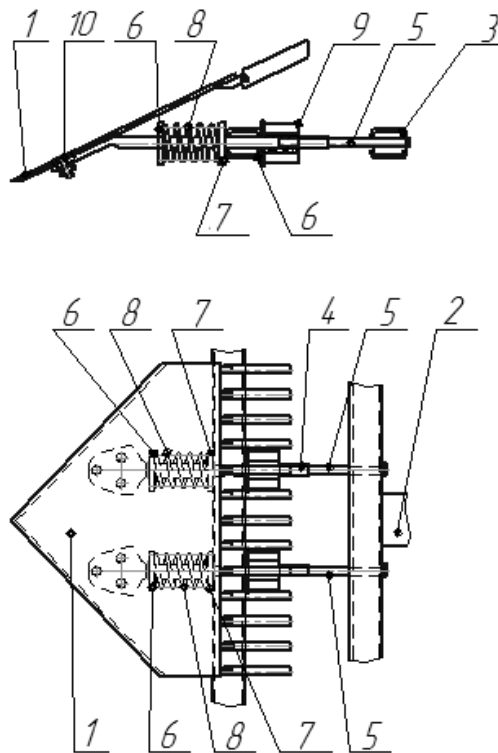


Рис. 3. Самоколеблющийся лемех:

1 – самоколеблющийся лемех; 2 – рама; 3 – брус; 4 – направляющая; 5 – оси; 6, 7 – упорные шайбы; 8 – пружины; 9 – регулировочные втулки; 10 – крепежные болты с гайками и шайбами

По мнению академика В.П. Горячкина, при определении основных элементов подкопа пласта лемехом физический смысл резания почвы клином объясняется следующим образом. Клин вдавливается в материал с переменным усилием. Вначале это давление равно нулю, а затем начинает постепенно возрастать, по мере того как резец все более и более углубляется. Затем сопротивление сжатия возрастает до того предела, который достаточен для скалывания элемента по некоторому направлению (под углом  $\psi$ ). После скалывания этот элемент начинает скользить одновременно по плоскости скалывания и по рабочей плоскости клина. При этом снова повторяется тот же процесс, а образуемая стружка состоит из отдельных элементов, сдвинутых относительно друг друга (рис. 4).

Рассмотрим взаимодействие клина с почвой (рис. 5) и определим основные элементы подкопа пласта лемехом (клином).

Пусть  $e$  – толщина пласта;  $b$  – ширина залегания клубней в гнезде,  $b = 240...300$  мм;  $a_1$  – сдвиг одного элемента по отношению к другому;  $a_2b$  – площадь смятия;  $a$  – путь резца;  $f$  – коэффициент трения элементов стружки при сдвиге;  $P$  – тяговое усилие;  $N$  – нормальная реакция;  $R$  – реакция недеформированной почвы, находящейся перед лемехом;  $\psi$  – угол скола (рис. 5).



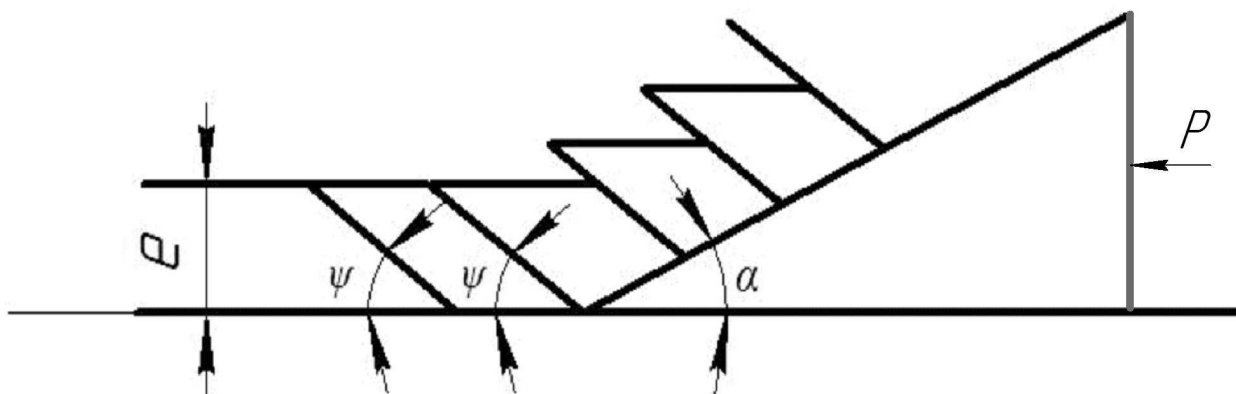


Рис. 4. Схема скалывания почвы под воздействием клина

$P$  – тяговое усилие;  $e$  – толщина клубненосного пласта,  $\alpha$  – угол наклона лемеха;  $\psi$  – угол скола

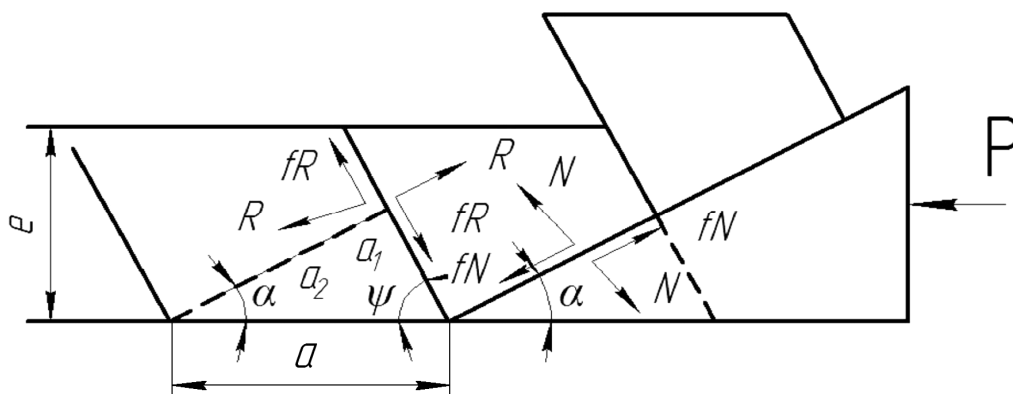


Рис. 5. Схема сил, действующих на пласт

Используя теорию клина академика В.П. Горячкина, определим основные элементы подкопа пласта:

$$P = \frac{k_2 b e \sin(\alpha + 2\varphi) \sin^2\left(\frac{90^\circ - \varphi_1}{2}\right)}{\cos \varphi \cos^2\left(\frac{\alpha + \varphi + \varphi_1}{2}\right)}; \quad (1)$$

$$a = \frac{e \cos \varphi \sin^2\left(\frac{90^\circ - \varphi_1}{2}\right) \cos\left(\frac{\varphi + \varphi - \alpha}{2}\right)}{\cos^3\left(\frac{\alpha + \varphi + \varphi_1}{2}\right)}. \quad (2)$$

где  $k_2$  – напряжение сжатия.

Длину лемеха определим из условий отсутствия сгуживания почвы на нем. Без учета сопротивлений деформациям на поверхность  $B_{\text{л}}C_{\text{л}}$  лемеха действуют следующие силы (рис. 6):

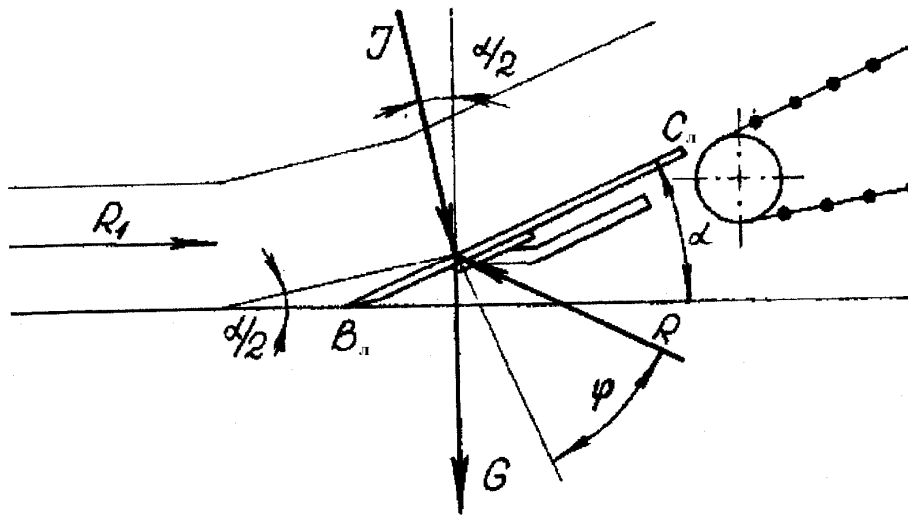


Рис. 6. Силы, действующие на лемех

$R_1$  – реакция недеформированной почвы, находящейся перед лемехом;  
 $J$  – динамическое давление, обусловленное силой инерции пласта почвы;  
 $G$  – сила тяжести пласта почвы;  $R$  – результирующая элементарных нормальных сил и сил трения на рабочей поверхности лемеха;  
 $B_1 C_1$  – поверхность лемеха

Определим условие нормальной работы лемеха без сгуживания почвы. Найдем наибольшее значение реакции недеформированной почвы  $R_1$  (подпор пласта):

$$R_{1\max} = 0,5 \cdot h \cdot B \cdot \sigma_{сж}, \quad (3)$$

где  $\sigma_{сж}$  – временное сопротивление почвы сжатию, Па;  $h$  – высота грядки, м;  $B$  – ширина лемеха, м.

Решая это уравнение относительно  $\sigma_{сж}$  и сделав преобразования, получим необходимую величину длины лемеха  $L$ , при которой не будет происходить сгуживания почвы:

$$L \leq \frac{\sigma_{сж}}{2\rho \cdot g \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi)} - \frac{2V^2 \sin \frac{\alpha}{2} \left[ \cos \frac{\alpha}{2} \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) - \sin \frac{\alpha}{2} \right]}{g \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi)}, \quad (4)$$

Ширину  $B$  лемеха (рис.7) определим по формуле:

$$B = b \cdot 2\delta + 2(h - h_{\kappa}) \operatorname{ctg} \beta, \quad (5)$$

где  $b$  – ширина залегания клубней в гнезде,  $b = 240 \dots 300$  мм, принимаем  $b = 290$  мм;  $\delta$  – смещение оси рядка относительно оси лемеха из-за отклонения центра гнезд кустов от средней линии рядка и неточности вождения уборочного агрегата по рядкам,  $\delta = 30 \dots 50$  мм, принимаем  $\delta = 50$  мм;  $h_{\kappa}$  – глубина залегания крайних по ширине гнезда клубней,  $h_{\kappa} = 60 \dots 100$  мм, принимаем  $h_{\kappa} = 70$  мм,  $\varphi$  – угол естественного откоса почвы,  $\varphi = 45 \dots 50^\circ$ , принимаем  $\varphi = 48^\circ$ .

Тогда получим ширину лемеха:

$$B = 290 \cdot 2 \cdot 50 + 2(200 - 70) \operatorname{ctg} 48^\circ = 607 \text{ мм.}$$

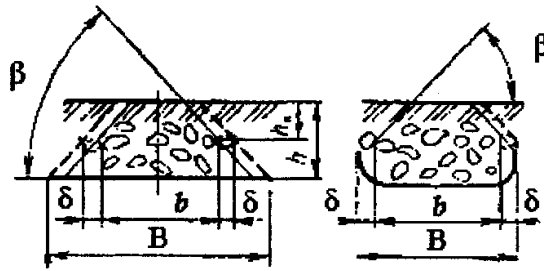


Рис. 7. Схема для расчета ширины лемеха

Угол наклона лемеха  $\alpha$  определяется из условия минимального значения силы подпора пласта по формуле, предложенной профессором А.А. Соколкиным:

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{opt}} = -f + \sqrt{f^2 + 1}, \quad (6)$$

где  $f$  – коэффициент трения почвы о металлическую поверхность лемеха, в нашем случае  $f = 0,7$ . Тогда  $\alpha_{\text{opt}} = 27^\circ$ .

Угол раствора  $2\gamma$  (или  $\gamma$ ) выбираем из условия скольжения стеблей ботвы по лезвию лемеха, с тем, чтобы облегчить их перерезание и, кроме того, устранить обволакивание лемеха, если перерезания не происходит. Известно, что частица стебля будет скользить по лезвию при условии:

$$\gamma < (90 - \varphi_1) \quad (7)$$

где  $\varphi_1$  – угол трения растения о лезвие лемеха,  $\varphi_1 = 45^\circ$ .

Тогда  $\gamma \leq 90^\circ - 45^\circ = 45^\circ$ .

Параметры пружины определяем из расчета работы картофелекопателя в тяжелых условиях. Пружину выбираем по ГОСТ 13776-86 (марка стали 65Г ГОСТ 4543-71) из условия усилия подрезания пласта, которое равно  $P_c = 1100$  Н и величины сжатия пружины от этого усилия  $h_{\text{п}} = 40$  мм. Длину пружины в нерабочем состоянии выбираем конструктивно  $H_{\text{п}} = 250$  мм. С учетом сжатия пружины ее длина будет равна  $H_{\text{п}} = 210$  мм.

Всем этим параметрам отвечает пружина  $D = 60$  мм, диаметр проволоки  $d = 7$  мм и жесткость пружины будет  $c_{\text{п}} = P_{\text{п}}/h_{\text{п}} = 27,5$  Н/мм.

При теоретическом определении усилия резания усовершенствованного подкапывающего лемеха картофелекопателя мы установили, что общее усилие резания пласта  $P_p$  складывается из усилия сдвига элемента пласта  $P_c$  и усилия вдавливания режущей кромки лемеха  $P_B$ , (рис. 8), то есть

$$P_p = P_c + P_B. \quad (8)$$

Данный процесс повторяется периодически. Таким образом, график общего усилия резания имеет вид, показанный на рисунке 8.

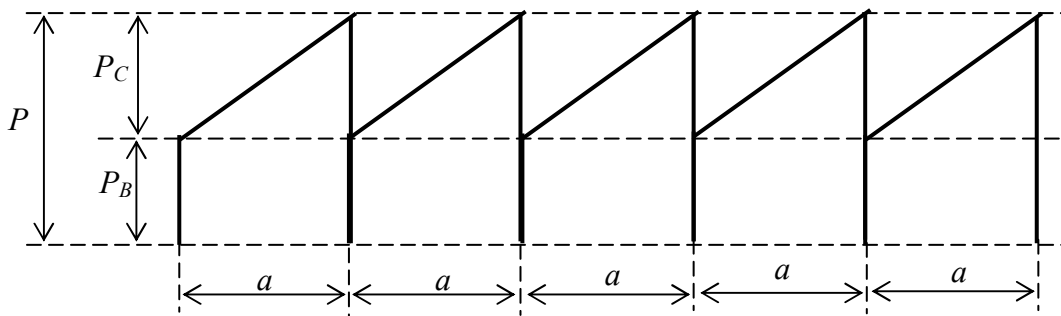


Рис. 8. Характер изменения усилия резания

Необходимо отметить, что усилие вдавливания режущей кромки  $P_B$  носит стационарный характер и зависит от физико-механических свойств почвы. Усилие сдвига  $P_C$  носит периодический пилообразный характер и может быть разложено в ряд Фурье, причем при движении клина оно возрастает от нуля до некоторого максимального значения  $P_C$ .

Разложение функции в ряд Фурье имеет вид:

$$P_C(x) = \frac{a_0}{2} + \sum \left( a_n \cos \frac{\pi n x}{l} + b_n \sin \frac{\pi n x}{l} \right), \quad (9)$$

где  $n$  – количество составляющих ряда Фурье,  $x$  – текущая координата оси  $X$ ,  $a_0$  – постоянная величина ряда Фурье,  $a$  – ход лемеха,  $l = 1/2 a$ .

Общее усилие резания будет иметь вид  $P_p$ :

$$P_p(x) = P_B + \frac{P_C}{2} - \frac{P_C}{\pi} \left( \sin \frac{\pi}{l} x + \frac{1}{2} \sin \frac{2\pi}{l} x + \frac{1}{3} \sin \frac{3\pi}{l} x + \dots + \frac{1}{n} \sin \frac{n\pi}{l} x \right). \quad (10)$$

Полученное усилие сдвига в виде аналитической зависимости позволило нам провести исследование динамики пласта на самоколеблющемся лемехе.

При исследовании движения лемеха мы воспользовались полученным уравнением (10). Рассмотрим систему, состоящую из лемеха и частицы почвы. Для описания движения системы мы использовали уравнения Лагранжа второго рода. Система имеет две степени свободы, поэтому в качестве обобщенных координат принимаем:  $x$  – перемещение лемеха и  $y$  – перемещение частицы грунта по поверхности лемеха (рис. 9).

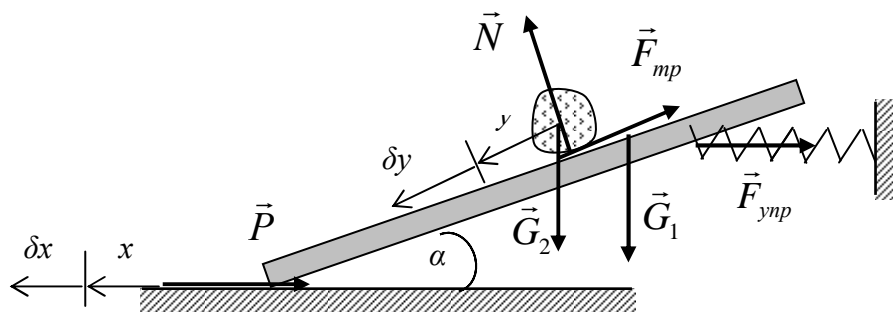


Рис. 9. Перемещение системы

$\vec{F}_{ynp}$  – сила упругости, Н;  $\vec{F}_{тр}$  – сила трения, Н,  $\vec{G}_1$  – сила тяжести лемеха,  $\vec{G}_2$  – сила тяжести частицы грунта

Тогда уравнения Лагранжа будут иметь вид:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{x}} \right) - \frac{\partial T}{\partial x} = Q_x, \\ \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{y}} \right) - \frac{\partial T}{\partial y} = Q_y. \end{cases} \quad (11)$$

Кинетическая энергия системы  $T$  равна:

$$T = T_1 + T_2,$$

где  $T_1 = \frac{1}{2} m_1 v_1^2$  – кинетическая энергия поступательного движения лемеха;

$T_2 = \frac{1}{2} m_2 v_2^2$  – кинетическая энергия частицы почвы.

Найдя составляющие и произведя преобразования, получим дифференциальное уравнение движения лемеха:

$$\ddot{x} + k^2 x = -a + b \left( \sin nx + \frac{1}{2} \sin 2nx + \frac{1}{3} \sin 3nx + \frac{1}{4} \sin 4nx \right). \quad (12)$$

Решим полученное дифференциальное уравнение операционным методом.

Закон движения лемеха при  $a = 0,05$  м/с<sup>2</sup>,  $b = 100$  м/с,  $n = 40$  м<sup>-1</sup> и  $k = 20$  с<sup>-1</sup> показан на рисунке 10.

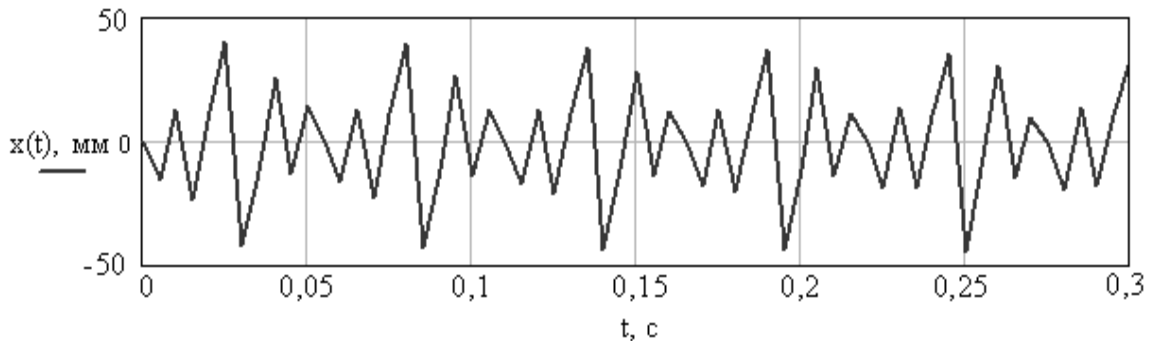


Рис. 10. Закон движения лемеха

Найдем закон движения частицы почвы, находящейся на поверхности лемеха. Движение лемех – частица опишем системой дифференциальных уравнений:

$$\ddot{y} = g(\sin \alpha - f \cos \alpha) - \ddot{x} \cos \alpha. \quad (13)$$

$$\dot{y} = g(\sin \alpha - f \cos \alpha)t - \dot{x} \cos \alpha + C_1, \quad (14)$$

где  $C_1$  – постоянная величина интегрирования.

Решая эту систему и произведя преобразование, получим закон движения частицы почвы, который показан на рисунке 11.

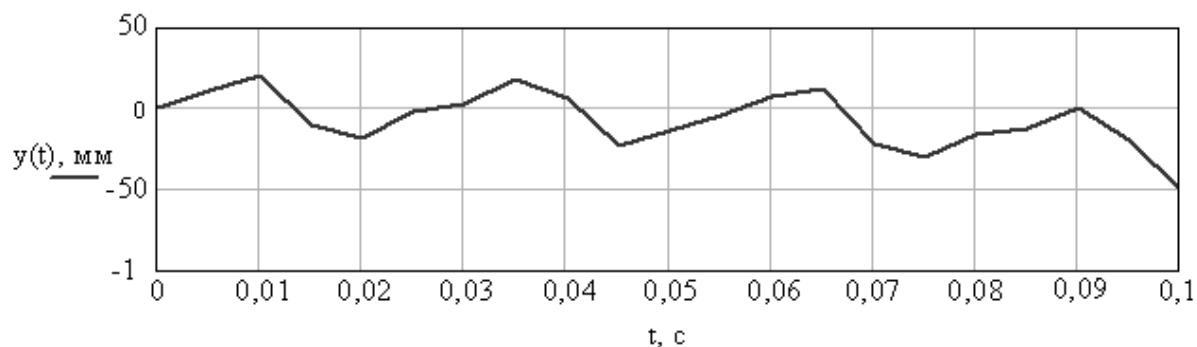


Рис. 11. Закон движения частицы почвы

Таким образом, в проведенном исследовании доказано, что подпружиненный лемех совершает колебательное движение под действием неравномерного сопротивления почвенного пласта. С помощью анализа действующих сил и разложения их в ряд Фурье (9) получено аналитическое выражение общего усилия пласта (10). На основе уравнений Лагранжа второго рода нами проведено исследование движения подпружиненного лемеха и частицы почвы, составлены дифференциальные уравнения и осуществлено их решение.

Для лемеха и частицы почвы нами установлено следующее:

- лемех совершает периодические колебания, показатели колебаний и их характер зависят от конструктивных параметров лемеха, массы лемеха и почвенной частицы, а также усилия сопротивления клубненосного пласта;
- частица почвы также совершает колебательное движение относительно лемеха, но по мере продвижения по лемеху колебания затухают.

В третьей главе «Лабораторные исследования самоколеблющихся лемехов» описаны лабораторные исследования по определению твердости и липкости почвы, коэффициента трения скольжения почвенных комков, сепарации почвы и энергозатрат.

Для исследования сепарации почвы в условиях, приближенных к реальным, в почвенный канал был посажен картофель сорта «Приекульский».

Анализ полученных результатов показал, что модернизированный картофелекопатель с самоколеблющимися лемехами КТН-2У улучшает сепарацию почвы на 25,8 % по сравнению с серийным копателем.

Для исследования энергетических затрат нами применяли специальный прибор К-50 и тезометрическую аппаратуру.

Анализ проведенных исследований показал, что затраты энергии на приводном валу модернизированного картофелекопателя уменьшились по сравнению с серийным картофелекопателем на 3,7 %, а тяговое усилие на – 6,7 %, что свидетельствует о повышении эффективности применения самоколеблющихся лемехов модернизированного картофелекопателя КТН-2У.

В четвертой главе «Полевые исследования экспериментального картофелекопателя с самоколеблющимися лемехами» описаны полевые испытания картофелеуборочного копателя КТН-2У, которые были проведены в ООО «Авангард» Рязанского района Рязанской области в сентябре 2011 г.

В качестве объекта исследования был взят модернизированный картофелекопатель КТН-2У с самоколеблющимися лемехами (рис. 12) и было произведено его сравнение с серийным картофелекопателем КТН-2В.

В программу испытаний входило определение характеристик участка, изучение профиля грядок, процесса сепарации почвы на рабочих органах при помощи теории планирования эксперимента, а также проведение агротехнической оценки работы модернизированного картофелекопателя.



Рис. 12. Экспериментальный картофелекопатель КТН-2У

С целью изучения влияния колебаний лемехов на развал клубненосного пласта и рассредоточения его по лемехам в поперечном направлении мы провели исследование профиля грядки до прохода агрегата, после подкопа и после поступления пласта на начало элеватора. По полученным данным были построены графики профилей клубненосного пласта (рис.13).

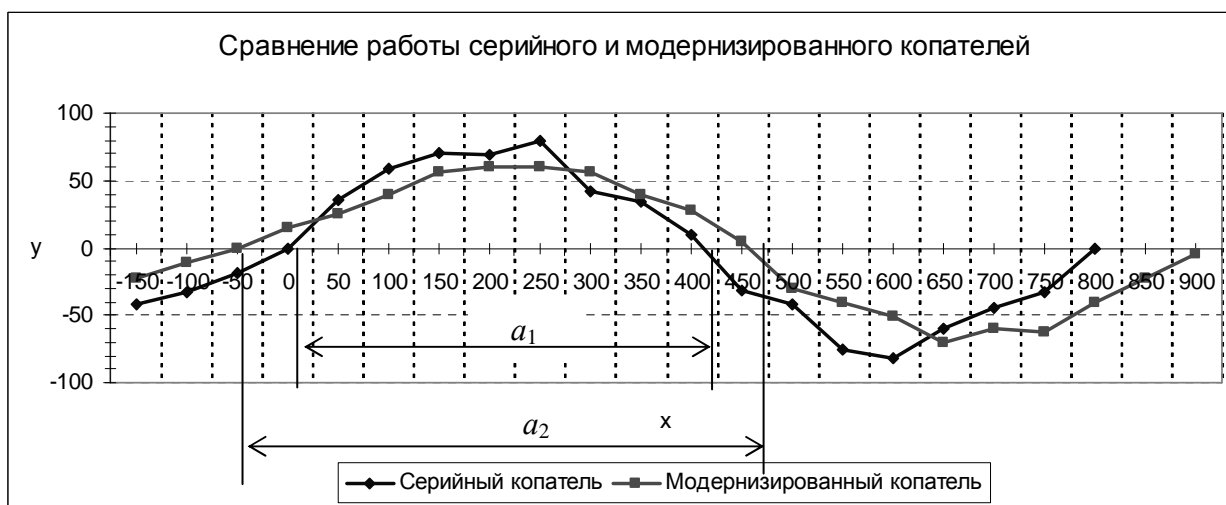


Рис. 13. Графики профилей клубненосного пласта при работе серийного и модернизированного картофелекопателей

В результате исследования влияния колебаний лемехов на развал клубненосного пласта, рассредоточения его по лемехам в поперечном направлении и анализа полученных данных нами было установлено, что при движении по самоколеблющимся лемехам почвенный пласт крошится, рассредоточивается по ширине в поперечном направлении на 25,0 % и уменьшается по толщине на 12,4 %, что свидетельствует о повышении эффективности модернизированного картофелекопателя с самоколеблющимися лемехами по сравнению с серийным картофелекопателем.

В программу полевых испытаний, кроме того, входило изучение сепарации почвы и повреждений клубней при помощи теории планирования эксперимента, а также исследование качества работы модернизированного картофелекопателя КТН-2У.

На основании анализа научных источников по проблеме исследования нами были выбраны три фактора, которые являются наиболее весомыми: это угол наклона самоколеблющихся лемехов  $X_1$ , усилие пружины  $X_2$  и линейная скорость полотна элеватора  $X_3$ . За параметр оптимизации  $y$  нами был принят показатель сепарации почвенно-картофельного вороха, а также составлена рабочая матрица.

Математическая модель исследуемого процесса имела вид:

$$y = 49,2 + 0,7x_1 - 0,75x_2 - 0,85x_3 - 0,25x_1x_2 + 0,2x_2x_3.$$

Операции по определению однородности проведенного эксперимента, дисперсии воспроизводимости, проверки адекватности модели были произведены в соответствии с разработанной методикой.

Необходимо отметить, что все линейные факторы оказывают примерно одинаковое влияние на параметр оптимизации  $y$  (сепарация почвенно-картофельного вороха), хотя фактор  $x_3$  (линейная скорость элеватора), по нашему мнению, влияет несколько сильнее.

Характер влияния факторов  $x_2$  (усилие пружины) и  $x_3$  (линейная скорость элеватора) одинаков: для увеличения сепарации их необходимо уменьшать, а угол наклона лемеха – увеличивать.

Эффекты совместного влияния факторов  $x_1x_2$  и  $x_2x_3$  выражены слабее, чем линейные.

С помощью теории планирования эксперимента и исследования параметров изучаемого процесса градиентным методом были установлены рациональные параметры модернизированного лемеха: угол наклона лемеха  $\alpha = 30^\circ$ , усилие пружины 1170Н, линейная скорость полотна элеватора 1,6 м/с.

В ходе полевых испытаний установлено, что модернизированный копатель КТН-2У более интенсивно разрушает почвенные комки на рабочих передачах. Разрушение комков диаметром 100 мм и более увеличено на 38 %, а по остальным фракциям – до 42 %.

У модернизированного картофелекопателя отсепарировано клубненосной массы после первого элеватора 51,2; 50,0 и 48,1 %, а у серийного соответственно 45,3; 46,8 и 45,2 %, то есть у модернизированного в среднем на 12 % больше. Всего отсепарировано почвы: у модернизированного 88,6;



85,23 и 84,44 %, а у серийного соответственно 72,46; 69,12 и 67,57 %, то есть в среднем на 14 % больше.

По повреждениям клубней на всех передачах у обоих копателей получены близкие показатели, не превышающие агротехнические требования (5 %). Потери картофеля в виде засыпанных клубней почвой при данных скоростях у экспериментального копателя колеблются в пределах от 2,42 до 2,98 %, то есть в пределах агротребований не более 3 %, в то время как у серийного они составляют от 5,23 до 5,56 %, то есть превышают агротребования.

Важно отметить, что в целом производительность экспериментального картофелекопателя КТН-2У составила 0,35 га/ч, а серийного КТН-2В – 0,32 га/ч, то есть производительность возросла на 8 %.

Таким образом, проведенные полевые исследования модернизированного картофелекопателя с самоколеблющимися лемехами КТН-2У доказали более высокие показатели разрушения почвенных комков, сепарации почвы, производительности, более низкие показатели потерь при засыпании картофеля.

В пятой главе «Технико-экономическая эффективность» установлено, что модернизированный картофелекопатель КТН-2У по основным показателям превосходит серийный. У него:

- производительность выше на 8 %;
- годовой экономический эффект равен 2940 руб.;
- срок окупаемости 1 сезон.

#### **Общие выводы и рекомендации производству:**

1. Проведенный научный анализ современных подкапывающих рабочих органов картофелеуборочных машин показал, что существует большое количество всевозможных конструкций, однако все они имеют существенные недостатки:

– пассивные лемеха, применяемые на картофелекопателях КТН-2Б, КТН-2В и других, при подкопе неудовлетворительно продвигают клубненосную массу по лемеху, создают ее сгруживание, не обеспечивают качественного крошения клубненосного пласта;

– активные подкапывающие рабочие органы, применяемые на копателе КСТ-2 и комбайне КПП-2, имеют сложный привод и конструкцию, обладают значительной металлоемкостью, динамически не уравновешены, создают значительные вибрации, которые отрицательно воздействуют на обслуживающий персонал и работу машину;

– комбинированные подкапывающие рабочие органы на комбайне КПК-2-01, КПК-3 сложны по конструкции, металлоемки, повреждают клубни картофеля.

2. Разработана математическая модель взаимодействия самоколеблющихся лемехов с клубненосной массой, включающая аналитические выражения общего усилия подрезания клубненосного пласта, а также движения подпружиненного лемеха и частицы на нем.

Для лемеха установлено следующее, что лемех совершает периодические колебания, характер и показатели которых зависят от конструктивных параметров лемеха, его массы, почвы и усилия сопротивления подкапываемого пласта, причем частицы почвы совершают колебательные движения относительно лемеха, но по мере продвижения по нему колебания затухают.

3. Для выбора рациональных параметров самоколеблющихся лемехов определены аналитические выражения на основании которых установлены: длина  $L = 473$  мм, ширина  $B = 607$  мм, угол раствора  $\gamma$   $28 \leq 90^\circ$ , угол наклона лемеха  $\alpha = 30^\circ$ , жесткость пружины  $Z = 8,7 - 13,3 \text{ кг/мм}$ .

4. Разработаны самоколеблющиеся лемехи модернизированной картофелеуборочной машины КТН-2У, которые за счет периодического сопротивления почвы совершают колебательные движения, тем самым обеспечивая подкоч пласта, его крошение, стабильное продвижение к элеватору, что исключает сгуживание, зависание ботвы и растительных остатков.

5. Полевые исследования и хозяйственные испытания модернизированного картофелекопателя КТН-2У с новым лемехом показали значительные преимущества по сравнению с серийным КТН-2В:

а) разрушение комков диаметром 100 мм и более увеличено на 38 %, а по остальным фракциям – до 42 %;

б) эффективность сепарации почвы в среднем на 14 % больше;

в) потери картофеля в виде засыпанных почвой клубней нового копателя составляют в пределах от 2,42 до 2,98 %, то есть в пределах агротребований не более 3 %, в то время как у серийного - от 5,23 до 5,56 %, то есть превышают агротребования.

г) производительность экспериментального картофелекопателя КТН-2У составила 0,35 га/ч, а серийного КТН-2В – 0,32 га/ч, то есть производительность возросла на 8 %.

6. Техничко-экономический расчет показал, что годовой экономический эффект от применения самоколеблющихся лемехов составляет 2940 руб./год на один модернизированный копатель КТН-2У.

**Основные положения диссертации отражены в следующих публикациях:**

***Статьи в ведущих рецензируемых научных изданиях, указанных в перечне ВАК Минобрнауки России:***

1. *Чхетиани, А.А.* Полевые исследования экспериментального картофелекопателя с самоколеблющимися лемехами [Текст] / М.Б. Угланов, О.П. Иванкина, С.А. Пашуков, Н.М. Воронкин, А.А. Чхетиани // Аграрная наука Евро-северо-востока. – 2012. – № 2 (27). – С. 64–67.

2. *Чхетиани, А.А.* Теоретическое исследование движения самоколеблющегося лемеха картофелеуборочной машины [Текст] / М.Б. Угланов, О.П. Иванкина, А.А. Чхетиани // Техника и оборудование для села. – 2012. – № 12. – С. 8–11.

3. *Чхетиани, А.А.* Картофелекопатель с подпружиненным лемехом [Текст] // Техника в сельском хозяйстве. – 2013. – № 2. – С. 9–10.

4. *Чхетиани, А.А.* Экспериментальные исследования модернизированного картофелекопателя КТН-2В [Текст] // Техника и оборудование для села. – 2013. – № 4. – С. 17–18.

5. *Чхетиани, А.А.* Определение основных элементов подкопа почвенного пласта лемехом картофелеуборочной машины [Текст] // Техника и оборудование для села. – 2013. – № 6 – С. 21–22.

6. *Чхетиани, А.А.* Хозяйственная проверка модернизированного картофелекопателя с подпружиненным лемехом [Текст] // Техника и оборудование для села. – 2013. – № 6. – С. 18–20.

7. *Чхетиани А.А.* Экономическая оценка агрегата МТЗ-80+КПК-2-01 с устройствами противоскольжения [Текст] / А.Е. Можаяев, М.М. Махмутов, А.А. Чхетиани // Техника и оборудование для села. – 2013. – № 3. – С. 37–40.

***Статьи в других научных изданиях:***

8. *Чхетиани, А.А.* Совершенствование картофелеуборочной техники путем модернизации лемеха [Текст] / М.Б. Угланов, О.П. Иванкина, С.А. Пашуков, Н.М. Воронкин, А.А. Чхетиани. – Бугульма: НО ФЭН-наука, 2011. – С.14–16.

9. *Чхетиани, А.А.* Анализ современных технологий возделывания картофеля и конструкций картофелеуборочных машин [Текст] // Наука и техника в современном мире: сб. материалов Междунар. заоч. науч.-практ. конф. – Новосибирск, 2011.– С.115–119.

10. *Чхетиани, А.А.* Картофелекопатель для работы на тяжелых почвах [Текст] / М.Б. Угланов, О.П. Иванкина, С.А. Пашуков, Н.М. Воронкин, В.А. Хрипин, А.А. Чхетиани // Сб. науч. тр. / ГНУ ВНИМС Россельхозакадемии, Рязань, 2011. – С.15–17.

11. *Чхетиани, А.А.* Обоснование основных параметров модернизированного лемеха картофелеуборочной машины [Текст] / М.Б. Угланов, О.П. Иванкина, С.А. Пашуков, Н.М. Воронкин, О.И. Журавлева, А.А. Чхетиани // Сб. науч. тр. / ГНУ ВНИМС Россельхозакадемии, Рязань, 2011. – С.14–15.

12. Чхетиани, А.А. Лабораторные исследования модернизированного картофелеуборочного копателя с самоколеблющимся лемехом [Текст] / М.Б. Угланов, О.П. Иванкина, С.А. Пашуков, Н.М. Воронкин, А.А. Чхетиани // Энергообеспечение и энергосбережение на предприятиях АПК: межвуз. науч. сб. – Вып. 6. – Уфа, 2011. – С.75–78.

***Патенты:***

13. Патент на полезную модель № 130196 Российская Федерация МПК А01D 33/00. Выкапывающее устройство картофелеуборочной машины М.Б. Угланов, О.П. Иванкина, Н.М. Воронкин, И.С.Глазунов, А.А. Чхетиани, заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Рязанский агротехнологический университет имени П.А. Костычева» - 2012156303/13; заявл. 24.12.2012; опубл. 20.07.2013. Бюл. № 20. – 2с: ил.

Подписано в печать 14.11.13. Формат бум.60×90 1/16. Усл. печ. л 1,0.  
Тираж 100 экз. Зак. № 33.

---

Типография \_\_\_\_\_,  
Москва, \_\_\_\_\_.