

УДК 631.356.01

UDC 631.356.01

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДИСКОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПОДКАПЫВАЮЩИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНЫХ МАШИН

EXPLAINING RATIONAL PARAMETERS OF DISK ELEMENTS OF UNDERMINING WORKING BODIES IN A POTATO HARVESTER

Успенский Иван Алексеевич
д.т.н., профессор

Uspensky Ivan Alekseevich
Dr.Sci.Tech., professor

Кiryushin Илья Николаевич
к.т.н.

Kiryushin Ilya Nickolaevich
Cand.Tech.Sci

Колотов Антон Сергеевич
аспирант
*Рязанский государственный
агротехнологический университет имени П.А.
Костычева, Рязань, Россия*

Kolotov Anton Sergeevich
postgraduate student
*Ryazan State Agrotechnological University named
after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia*

В данной статье рассмотрены результаты исследований преподавателей и сотрудников ФГБОУ ВПО РГАТУ, подтвержденные патентами РФ

This article discusses the results of the studies of the faculty and the staff of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev confirmed with RF patents

Ключевые слова: КАРТОФЕЛЬ, ПРИЕМНАЯ ЧАСТЬ, КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНЫЙ КОМБАЙН, ПОДКАПЫВАЮЩИЙ РАБОЧИЙ ОРГАН, АНАЛИЗ, ЭКСПЛУАТАЦИЯ

Keywords: POTATOES, RECEIVING PART, POTATO HARVESTER, UNDERMINING WORKING BODY, ANALYSIS, EXPLOTATION

В настоящее время картофель в нашей стране и во всем мире является одной из самых важных среди возделываемых культур. Его производят более чем в 140 странах мира, на большинстве континентов нашей планеты. Не смотря на это, наиболее предпочтительными участками для возделывания картофеля считаются: восточная Европа, северо-западные и нечерноземные районы России [1].

Производство картофеля весьма трудоемко. В частности это связано с недостаточным уровнем механизации при уборке урожая. Помимо этого подавляющее количество современной картофелеуборочной техники не отвечает предъявляемым к ней требованиям. В связи с этим существует необходимость совершенствования качества работы средств механизации, для уборки картофеля [1, 2].

Одним из наиболее трудоемких и важных процессов при уборке корне- и клубнеплодов является подкапывание пласта. Качество работы

подкапывающих рабочих органов (ПРО) определяет качество работы остальных механизмов копателей и комбайнов. Именно поэтому мы считаем работу в направлении улучшения показателей ПРО наиболее важной и перспективной [1, 3].

Совершенствование подкапывающих рабочих органов может идти по пути определения рациональных параметров и кинематических режимов работы элементов их конструкций, поиска новых технических решений, обеспечивающих снижение общих энергозатрат на подкапывание пласта, и повышение рабочих скоростей [1, 4].

В связи с этим создание, совершенствование и обоснование рабочих параметров подкапывающих органов, применяемых в картофелеуборочных машинах, и улучшение их энергетических характеристик является весьма актуальной народнохозяйственной задачей» [1, 3].

На современных картофелеуборочных машинах наибольшее распространение получили комбинированные подкапывающие рабочие органы, причем наиболее прогрессивным направлением развития считается использование активных боковин, то есть отрезных дисков с приводом и без него. Наличие привода имеет не только преимущества, но и недостатки. Такие как усложнение конструкции подкапывающей части, увеличение стоимости картофелеуборочной машины, а так же увеличение веса всего агрегата в целом. На легких почвах принудительный привод отрезных дисков необязателен, а для лучшего крошения клубненосного пласта и его транспортировки по лемеху, а также предотвращения проскальзывания дисков в почве имеется усовершенствованный рабочий орган, содержащий диски с внешними и внутренними отгибами – почвозацепами (рис.1) [5].

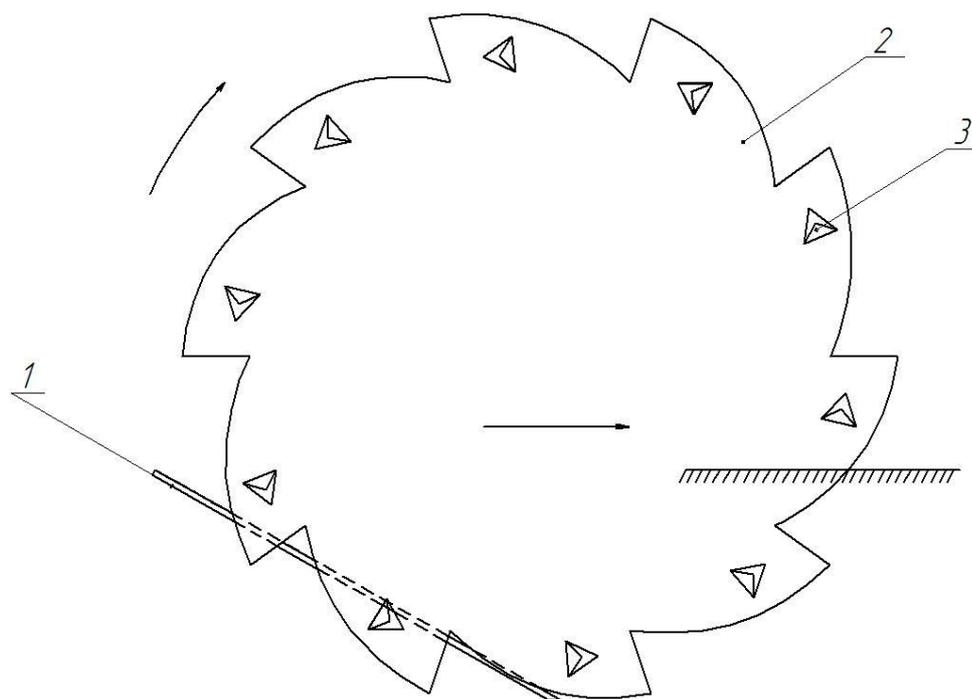


Рисунок 1. - Зубчатый диск с отгибами – почвозацепами треугольной формы (1- лемех, 2 - диск, 3 – почвозацеп). (Патент на полезную модель № 134735)

Выкапывающий рабочий орган картофелеуборочного комбайна содержит лемех 1, по обе стороны которого вертикально установлены зубчатые диски 2. В центре каждого зуба выполнены почвозацепы 3 в виде равносторонних треугольников, площадь которых не превышает $1/3$ площади зуба. При этом одна сторона треугольника параллельна нерабочей поверхности зуба, а две другие насквозь прорезаны в теле диска 2 и отогнуты на угол 45° - 90° относительно его торца в обе стороны попеременно.

Выкапывающий рабочий орган картофелеуборочного комбайна работает следующим образом. При движении картофелеуборочного комбайна по полю в рабочем режиме выкапывающий рабочий орган внедряется в клубненосный пласт, при этом происходит подрезание пласта снизу лемехом 1. При поступательном движении картофелеуборочного комбайна осуществляется непосредственный контакт почвы с

почвозацепами 3, выполненными в центре зубьев дисков 2 в виде треугольников, отогнутых относительно торцов дисков 2 на угол 45° - 90° попеременно в обе стороны, и происходит проворачивание дисков 2 на осях. Площадь почвозацепов 3 с одной стороны достаточна для того, чтобы обеспечивать их постоянный контакт с почвой, что позволяет поддерживать постоянную угловую скорость вращения дисков 2 без их проскальзывания относительно почвы, а с другой стороны существенно не снижает жесткость дисков 2. Если проскальзывание все же имеет место, то угол наклона почвозацепов 3 может быть увеличен до максимального значения. При вращении дисков 2 происходит перерезание растительных остатков и отрезание клубненосного пласта по бокам. При движении картофелеуборочного комбайна подрезанный пласт защемляется между дисками 2 и перемещается по лемеху 1 на сепарирующий элеватор.

Для повышения качества и надежности работы представленного выше устройства необходимо провести исследование параметров данного диска с почвозацепами и определить их рациональные значения [3].

Одним из наиболее важных параметров приемной части картофелеуборочных машин является тяговое сопротивление, создаваемое элементами агрегата [2, 3, 6].

Тяговое сопротивление, создаваемое диском с почвозацепами, для снижения трудоемкости вычисления разобьем на тяговое сопротивление самого зубчатого диска и тяговое сопротивление, создаваемое почвозацепами.

Для определения тягового сопротивления необходимо учесть длину режущей кромки, которая определится как

$$l = (h + c) \cdot Z' \quad , \quad \text{м} \quad (1)$$

где Z' - число зубьев, находящихся на отрезке диска погруженного в почву;

c – длина боковой стороны зуба, м;

h – высота зуба, м.

Тогда формула для определения тягового сопротивления будет иметь следующий вид

$$G, \text{ Н} \quad (2)$$

где G – вес подкапывающей части, Н;

H – глубина хода диска, м

Тяговое сопротивление, создаваемое силами трения на поверхности почвозацепов определим по схеме, расположенной на рисунке 2.

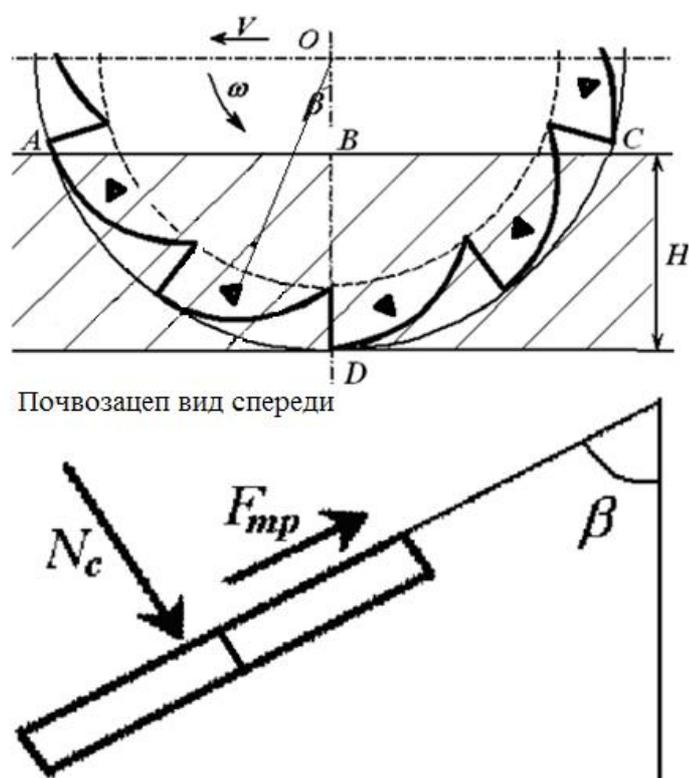


Рисунок 2. - Схема к определению момента и тягового сопротивления, создаваемого силой трения на поверхности почвозацепов.

При движении в почве на поверхность почвозацепа действуют силы трения. Их равнодействующую выразим через нормальную реакцию почвы на смятие почвозацепом.

$$(3)$$

Тяговое сопротивление, создаваемое силами трения на поверхности почвозацепа

(4)

В почве во время движения находится несколько почвозацепов, поэтому окончательно выражение для определения тягового сопротивления, создаваемого силами трения на поверхности почвозацепов, находящихся в почве, примет вид

(5)

Общее тяговое сопротивление, создаваемое силами трения на поверхности зубчатого диска и почвозацепов будет иметь вид

(6)

Результат интегрирования выражения (6) на ЭВМ при значениях $p = 2,3 \text{ Н/см}^2$, $f = 0,5$, $H = 0,2$ м показал, что наличие почвозацепов незначительно влияет на тяговое сопротивление, создаваемое силами трения на поверхности зубчатого диска. Разница составляет около 3 Н.

Выражения (2) и (6) в сумме дают общее тяговое сопротивление зубчатого диска с почвозацепами, работающего в почве. В результате расчётов можно сделать вывод, что общее тяговое сопротивление зубчатого диска не должно превышать величину $= 760$ Н [3, 7].

При работе картофелеуборочного агрегата [2] на зубчатый диск с почвозацепами может наматываться ботва картофеля и другие растительные остатки, что приводит к технологическим простоям. Для решения данной проблемы необходимо выбрать такой отгиб почвозацепа, чтобы он обеспечивал эффективное перерезание растительных остатков, попадающих в плоскость продольного движения зубчатых дисков или самоочищение почвозацепа.

Рассмотрим воздействие рабочей плоскости почвозацепа на растительные остатки и ботву. Воспользуемся схемой, представленной на рисунке 3.

Пусть на элемент растения действуют силы N_1 и N_2 , нормальные к рабочей поверхности почвозацепа и поверхности почвы. Если он будет выталкиваться из раствора рабочей кромки и поверхности почвы, то на него действуют силы трения F_1 и F_2 , значения которых найдем из выражений [7]:

$$F_1 = N_1 \tan \varphi_1, \text{ Н}, \quad (7)$$

$$F_2 = N_2 \tan \varphi_2, \text{ Н}, \quad (8)$$

где $\tan \varphi_1$ и $\tan \varphi_2$ – коэффициенты трения элемента растения соответственно по стали и о почве.

Примем направление оси OY по линии поверхности поля, а оси OY – по линии действия силы N_2 . Чтобы растительные остатки не выталкивались из вышеуказанного раствора, сила F_2 должна быть больше или равна сумме проекций всех сил, действующих на стебель по оси OY , т. е. должно соблюдаться условие:

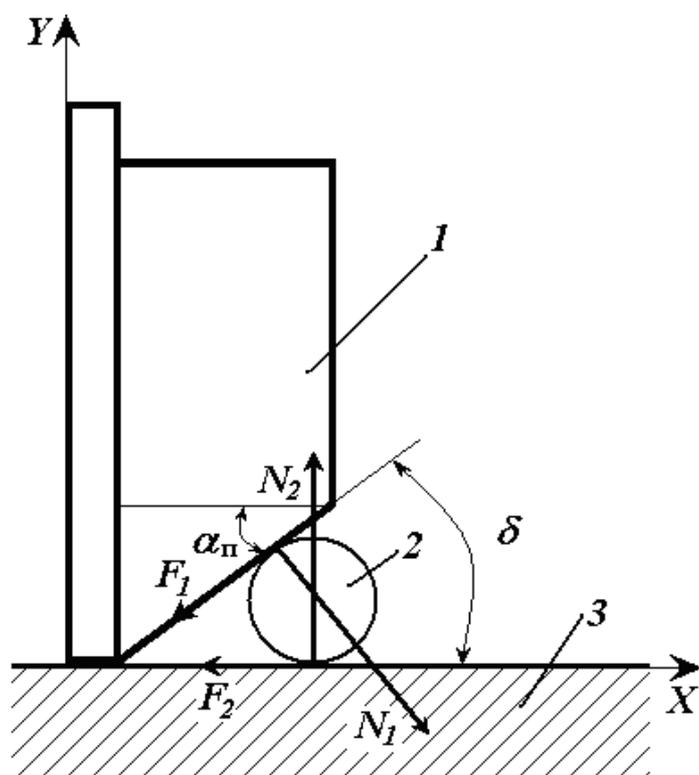
$$F_2 \geq N_1 \cdot \sin \delta - F_1 \cdot \cos \delta, \text{ Н} \quad (9)$$

Заменяя силы F_1 и F_2 из (7) и (8), получаем

$$N_2 \cdot \tan \varphi_2 \geq N_1 \cdot \sin \delta - N_1 \cdot \tan \varphi_1 \cdot \cos \delta \quad (10)$$

Из условия равенства нулю суммы проекций всех сил на ось OY имеем:

$$N_2 = N_1 \cdot \cos \delta + F_1 \cdot \sin \delta = N_1 \cdot \cos \delta + N_1 \cdot \tan \varphi_1 \cdot \sin \delta, \text{ Н} \quad (11)$$



1 – почвозацеп диска; 2 – элемент растения; 3 – поверхность поля.

N_1 и N_2 – нормальные реакции на элемент растения со стороны почвозацепа и клубненосного пласта, Н; F_1 – сила трения между почвозацепом и элементом растения, Н; F_2 – сила трения между почвой и элементом растения, Н; α_n – угол наклона рабочей кромки почвозацепа к высоте трапеции, град; δ – угол защемления, град.

Рисунок 3. - Схема воздействия рабочей кромки почвозацепа на элемент растения.

Подставляя (11) в (10), получаем:

$$\cos \delta + \sin \delta \cdot \tan \varphi_1 \cdot \tan \varphi_2 \geq \sin \delta - \tan \varphi_1 \cdot \cos \delta \quad (12)$$

Решая неравенство (12), имеем

$$\tan \delta \leq \frac{\tan \varphi_1 + \tan \varphi_2}{1 - \tan \varphi_1 \cdot \tan \varphi_2}, \quad (13)$$

но $(1 - \tan \varphi_1 \cdot \tan \varphi_2) \approx 1$, получаем

$$\tan \delta \leq \tan \varphi_1 + \tan \varphi_2,$$

$$\text{Откуда } \delta \leq \varphi_1 + \varphi_2. \quad (14)$$

Так как $\delta = \alpha_n + \beta$, где β – угол наклона поверхности поля к горизонтали, $\beta \approx 0$, то $\delta = \alpha_n$. Тогда условие защемления элементов растений рабочей кромкой почвозацепа будет иметь вид:

$$\alpha_n \leq \varphi_1 + \varphi_2 \quad (15)$$

Углы φ_1 и φ_2 известны, и, следовательно, угол наклона рабочей кромки почвозацепа, определяющий перерезание элементов растений и ботвы, должен быть меньше или равен 63° [7], то есть

$$\alpha_n \leq 27^\circ + 36^\circ = 63^\circ \quad (16)$$

Анализируя выражение (16), можно сделать вывод, что почвозацеп выполненный в форме прямоугольной трапеции [4] является рациональным решением для перерезания растительных остатков. Так, как почвозацеп, имеющий форму прямоугольного треугольника, для обеспечения условия защемления должен иметь ширину не менее 50 мм, что отрицательно скажется на металлоемкости и тяговом сопротивлении. А прямоугольная форма почвозацепа подразумевает перерезание растительных остатков резанием без скольжения (т.е. $\delta = 0$), которое является более энергозатратным, чем резание со скольжением [8].

В итоге проведенных исследований можно сделать вывод, что применение пассивных дисковых боковин с почвозацепами в подкапывающем рабочем органе картофелеуборочных машин при незначительном увеличении тягового сопротивления повышает стабильность вращения диска, и тем самым повышает эффективность его работы.

Список литературы

1. Анализ создания, совершенствования и эксплуатации конструкций картофелеуборочных машин / А.С. Колотов, И.Н. Кирюшин, И.А. Успенский // Сельский механизатор – 2013. – №5. – С. 4-5.
2. Успенский, И.А. Проблемы при уборке корнеклубнеплодов./ Успенский И.А., Борычев С.Н., Рогов С.С.// Энергосберегающие технологии использования и

ремонта машинно-тракторного парка. Сборник трудов научно-практической конференции, посвященной 50 – летию кафедры «Эксплуатация машинно-тракторного парка» и «Технология материалов и ремонт машин» инженерного факультета. – Рязань, 2004. – 25 с.

3. Успенский, И.А. Критерии оценки подкапывающих рабочих органов/ И.А. Успенский, В.М. Переведенцев, С.А. Коноплев // Современные энерго и ресурсосберегающие, экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства. Сборник трудов выпуск 4, часть 2. – Рязань, 2000. – С. 24-26
4. Прямоугольная трапеция и круглая картошка / И.А. Успенский, И.Н. Кирюшин, С.Н. Бoryчев // Сельский механизатор – 2007– №7. – 45с.
5. Пат 37905 РФ, МПК51. А01D25/04. Выкапывающий рабочий орган картофелеуборочного комбайна [Текст] / Кирюшин И. Н., Бoryчев С.Н., Успенский И. А., Переведенцев В.М. и др. (RU); заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО Рязанская государственная сельскохозяйственная академия им. проф. П.А.Костычева – №2004100365/20; заявл. 05.01.2004; опубл. 20.05.2004, бюл. № 14.
6. Сорокин, А.А. Анализ силового взаимодействия отгиба почвозацепа с клубненосным пластом / А.А. Сорокин, И.А. Успенский, В.М. Переведенцев, В.С. Дубасов // Сборник трудов аспирантов, соискателей и сотрудников рязанской ГСХА им. Профессора П.А. Костычева. – Рязань, 2001. – С. 37-42
7. Успенский, И.А. Основы совершенствования технологического процесса и снижения энергозатрат картофелеуборочных машин.: дисс ... доктора техн. наук. 05.20.01 / И.А. Успенский – Рязань: 1997. – 396 с.
8. Кирюшин, И.Н. Исследования надёжности картофелеуборочных машин с подкапывающим рабочим органом, имеющим вертикальные отрезные диски с почвозацепами / И.Н. Кирюшин, С.Н. Бoryчев, В.М. Переведенцев // Сборник материалов Международной конференции – М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2007. – С. 204-206.

References

1. Analiz sozdanija, sovershenstvovanija i jekspluatacii konstrukcij kartofeleuborocnyh mashin / A.S. Kolotov, I.N. Kirjushin, I.A. Uspenskij // Sel'skij mehanizator – 2013. – №5. – S. 4-5.
2. Uspenskij, I.A. Problemy pri uborke korneklubneplodov./ Uspenskij I.A., Borychev S.N., Rogov S.S.// Jenergosberegajushhie tehnologii ispol'zovanija i remonta mashinno-traktornogo parka. Sbornik trudov nauchno-prakticheskoy konferencii, posvjashhennoj 50 – letiju kafedry «Jekspluacija mashinno-traktornogo parka» i « Tehnologija materialov i remont mashin» inzhenerenogo fakul'teta. – Rjazan', 2004. – 25 s.
3. Uspenskij, I.A. Kriterii ocenki podkapyvajushhijh rabocnih organov/ I.A. Uspenskij, V.M. Perevedencev, S.A. Konoplev // Sovremennye jenergo i resursosberegajushhie, jekologicheski ustojchivye tehnologii i sistemy sel'skohozjajstvennogo proizvodstva. Sbornik trudov vypusk 4, chast' 2. – Rjazan', 2000. – S. 24-26
4. Prjamougol'naja trapecija i kruglaja kartoshka / I.A. Uspenskij, I.N. Kirjushin, S.N. Borychev // Sel'skij mehanizator – 2007– №7. – 45s.
5. Pat 37905 RF, МПК51. А01D25/04. Vykapuvajushhij rabochij organ kartofeleuborocnogo kombajna [Текст] / Kirjushin I. N., Borychev S.N., Uspenskij I. A., Perevedencev V.M. i dr. (RU); zajavitel' i patentoobladatel' FGOU VPO Rjazanskaja gosudarstvennaja sel'skohozjajstvennaja akademija im. prof. P.A.Kostycheva – №2004100365/20; zajavl. 05.01.2004; opubl. 20.05.2004, bjul. № 14.

6. Sorokin, A.A. Analiz silovogo vzaimodejstvija otgiba pochvozacepa s klubnenosnym plastom / A.A. Sorokin, I.A. Uspenskij, V.M. Perevedencev, V.S. Dubasov // Sbornik trudov aspirantov, soiskatelej i sotrudnikov rjazanskoj GSHA im. Professora P.A. Kostycheva. – Rjazan', 2001. – S. 37-42
7. Uspenskij, I.A. Osnovy sovershenstvovanija tenologicheskogo processa i snizhenija jenergozatrata kartofeleuborochnyh mashin.: diss ... doktora tehn. nauk. 05.20.01 / I.A. Uspenskij – Rjazan': 1997. – 396 s.
8. Kirjushin, I.N. Issledovanija nadjozhnosti kartofeleuborochnyh mashin s podkapyvajushhim rabochim organom, imejushhim vertikal'nye otreznye diski s pochvozacepami / I.N. Kirjushin, S.N. Borychev, V.M. Perevedencev // Sbornik materialov Mezhdunarodnoj konferencii – M.: FGOU VPO MGAU, 2007. – S. 204-206.