

при продольном перемещении агрегата, позволяет значительно улучшить качество обработки почвы.

4. Полученная математическая зависимость траектории движения диска по полю в функции его параметров и режима работы дает возможность определить расстояние между дисками на оси, противофазы установки дисков, следующих за дисками первого ряда, и количество рядов (батарей) дисков для обеспечения необходимого качества обработки почвы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сахапов, Р.Л. Теоретические основы колебательных рабочих органов культиваторов / Р.Л. Сахапов. – Казань: КФЭИ, 2001. – 194 с.
2. Сохт, К.А. Дисковые бороны и луцильники. Проектирование технологических параметров: учеб. пособие / К.А. Сохт, Е.И. Трубилин, В.И. Коновалов. – Краснодар: КубГАУ, 2014 – 164 с.
3. Горячкин, В.П. Собрание сочинений. – М., 1965. – Т. 1-2.
4. Канарев, Ф.М. Ротационные почвообрабатывающие машины и орудия / Ф.М. Канарев. – М.: Машиностроение, 1983. – 142 с.
5. Синеоков, Г.Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин / Г.Н. Синеоков, И.М. Панов. – М.: Машиностроение, 1987. – 328 с.

6. Синеоков, Г.Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин / Г.Н. Синеоков, И.М. Панов. – М.: Машиностроение, 1977. – 311 с.

7. Синеоков, Г.Н. Дисковые рабочие органы почвообрабатывающих машин. Теория и расчет / Г.Н. Синеоков. – М.: Машгиз, 1949. – 86 с.

8. Синеоков, Г.Н. Проектирование почвообрабатывающих машин / Г.Н. Синеоков. – М.: Машиностроение, 1965. – 308 с.

9. Хачатрян, Х.А. Работа сельскохозяйственных агрегатов на сильно пересеченной местности. – Ереван: АН Арм. ССР, 1965. – 238 с.

10. Стрельбицкий, В.Ф. Дисковые почвообрабатывающие машины / В.Ф. Стрельбицкий. – М.: Машиностроение, 1978. – 218 с.

11. Нартов, П.С. Дисковые почвообрабатывающие орудия / П.С. Нартов. – Воронеж: ВГУ, 1972. – 182 с.

12. Нартов, П.С. Расчет и проектирование специальных лесных машин: учеб. пос. / П.С. Нартов. – Воронеж: ВГУ, 1975. – 210 с.

13. Лурье, А.Б. Расчет и конструкция сельскохозяйственных машин / А.Б. Лурье, А.А. Громбчевский. – Л.: Машиностроение, 1977. – 528 с.

14. Дисковый рабочий орган почвообрабатывающей машины: пат. 22082 Респ. Беларусь / В.Я. Тимошенко, В.В. Ярош, А.Н. Прокопеня; заявитель Белорус. гос. аграрн. технич.ун-т; заявл. 19.09.2016; опубл. 27.04.2018.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 20.07.2018

УДК 631.356:005.512:635.132(043.2)

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОДКАПЫВАЮЩИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ КОМБАЙНА ДЛЯ УБОРКИ МОРКОВИ

И.А. Барановский,

науч. сотр. РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», канд. техн. наук

А.С. Воробей,

науч. сотр. РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», канд. техн. наук

В статье рассмотрен вопрос развития механизации уборки моркови в Республике Беларусь. Обозначены проблемы уборки моркови. Предложен метод расчета по обоснованию формы подкапывающих лап, способных обеспечить лучшее разрушение связи моркови с почвой.

Ключевые слова: комбайн, уборка моркови, вибрация, подкапывающий рабочий орган.

The development of mechanization of carrot harvesting in the Republic of Belarus is considered in the article. Problems of carrots cleaning are marked. The calculation method for substantiating forms of undermining paws, capable of providing the best destruction of the connection of carrots with the soil is proposed.

Key words: harvester, harvesting carrots, vibration, undermining working on.

Введение

В структуре посевных площадей овощных культур открытого грунта столовые корнеплоды занимают около 30 тыс. гектаров, или 45, 2 % . Из возделываемых

столовых корнеплодов морковь занимает 10,6 тыс. гектаров (35,3 %), столовая свекла – 8,1 тыс. гектаров (27 %). Урожайность столовой моркови составляет в среднем около 280 центнеров с гектара, столовой свеклы – 230 [1].

Поэтому одной из основных овощных культур в Беларуси является столовая морковь. Она обладает высокими вкусовыми и диетическими качествами. Благодаря большому содержанию витаминов и минеральных солей, морковь пользуется большим спросом у населения.

Согласно данным министерства здравоохранения Республики Беларусь, потребление моркови на душу населения должно составлять не менее 10 кг в год, что осуществимо при ежегодном валовом сборе около 100 тыс. т.

По данным Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, в нашей стране насчитывается более 560 овощеводческих хозяйств, занимающихся возделыванием моркови. Самой трудоемкой и значимой операцией в технологии возделывания моркови является ее уборка, от которой зависит качество и сохранность продукта.

Имеющиеся в сельскохозяйственных предприятиях республики машины для уборки моркови, а это чаще всего переоборудованные картофелеуборочные комбайны, не в состоянии обеспечить качественный технологический процесс уборки корнеплодов в соответствии с агротехническими требованиями, т. к. допускают потери до 15 %.

Цель работы – расчет обоснования формы подкапывающих лап комбайна, способных обеспечить лучшее разрушение связи моркови с почвой.

Основная часть

Наиболее перспективной техникой, обеспечивающей лучшие результаты при уборке моркови и соответствующей современным агротехническим требованиям, являются комбайны теребильного типа. Учеными РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации

сельского хозяйства» разработан и рекомендован к постановке на производство комбайн теребильного типа для уборки моркови КТМ-1 (рис. 1).

Согласно агротехническим требованиям, морковоуборочный комбайн теребильного типа должен иметь выкапывающие рабочие органы, которые позволяли бы извлекать корни моркови из почвы без потерь и повреждений, с небольшим процентом примесей.

Создание эффективного рабочего органа, обеспечивающего повышение качества разрыхления подкапываемого слоя почвы и снижение энергоемкости процесса механической уборки моркови комбайном с минимальными потерями при ее извлечении из рядка, является актуальной задачей.

Анализ существующих машин для уборки моркови показал, что основным их недостатком является несовершенство подкапывающих рабочих органов из-за наличия значительного количества растительных и почвенных примесей в убранный ворохе, а также потери и повреждения моркови при уборке [2].

Авторами публикации предложена классификация подкапывающих устройств по характерным признакам, типу рабочего органа и привода, способу передачи на них энергии (рис. 2).

Установлено, что перспективным направлением совершенствования конструкций подкапывающих устройств является их исполнение в виде вибрационных симметричных подкапывающих лап (рис. 3).

На основании проведенных исследований принята конструкция подкапывающих органов, состоящих из полувинтовых лап с отверстиями для регулировки угла наклона и механизма привода [3].

Вибрационная подкапывающая лапа позволяет разрыхлять слой почвы в рядке с корнеплодами моркови, нарушая их связь. Благодаря тому, что лапы имеют стреловидную форму и колеблются в противо-



Рис. 1. Комбайн КТМ-1 в работе

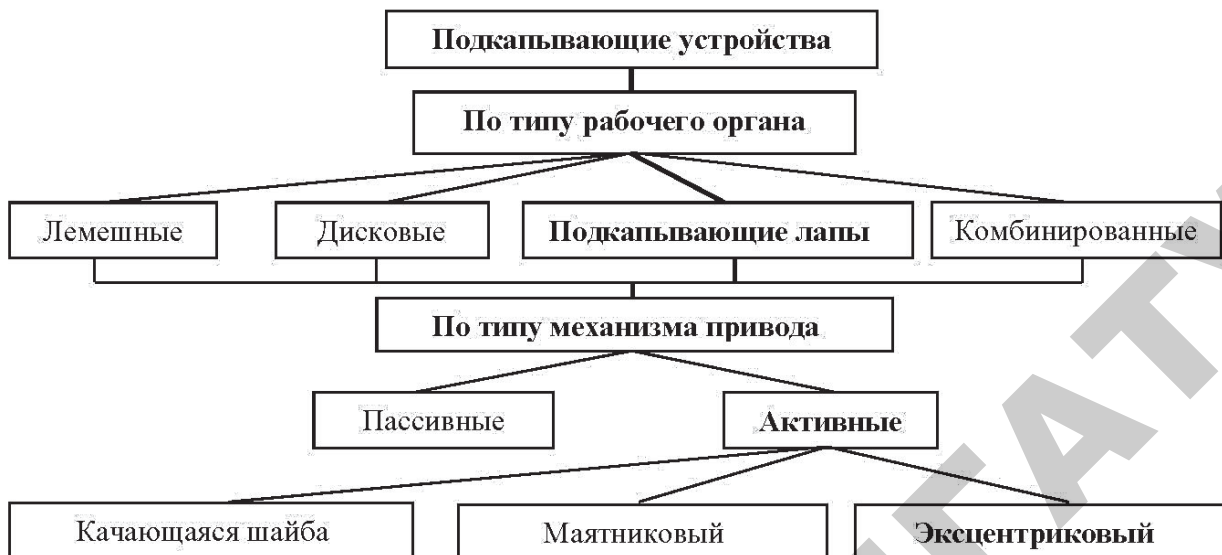


Рис. 2. Классификация подкапывающих устройств

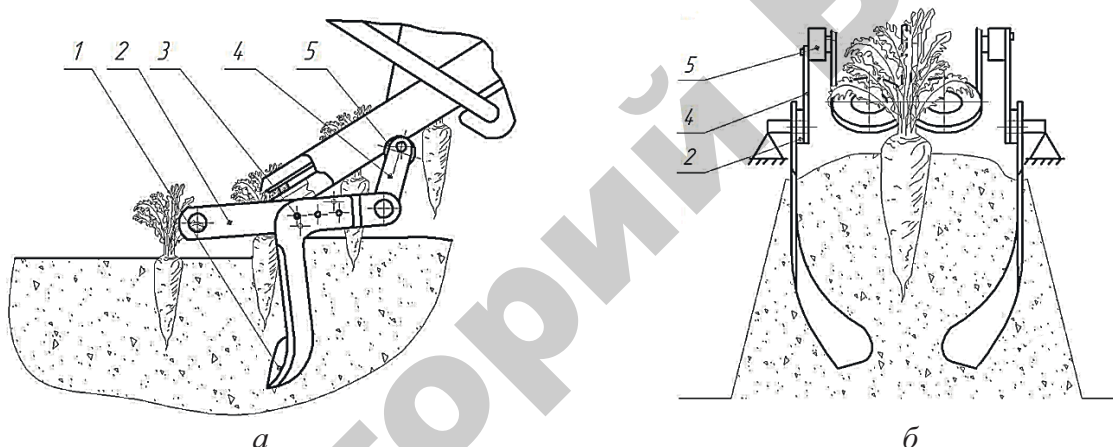


Рис. 3. Внешний вид подкапывающего устройства: а – вид сбоку; б – вид спереди;
1 – лапа; 2 – рычаг; 3 – отверстия для регулировки угла наклона; 4 – шатун; 5 – эксцентрик

фазе по направлению движения машины, заключенная между ними почва и морковь подвергаются периодическому сжатию снизу и с обеих сторон за счет полувинтовой рабочей поверхности лап, что обеспечивает равномерное разрыхление почвенного пласта. При этом нарушается связь «морковь – почва» и морковь выталкивается кверху, сохраняя вертикальное положение, которое необходимо для дальнейшего извлечения ее из почвы теребильным аппаратом без потерь и обрыва хвостовой части корнеплода.

Для обоснования формы, подкапывающую лапу рассекли рядом вертикальных плоскостей, параллельных направлению движения, отстоящих одна от другой на равных, бесконечно малых расстояниях Δu , каждая отсеченная часть лапы будет представлять собой элементарный клин (рис. 4) [4].

Рабочая поверхность этого элементарного клина определяется его сторонами: лезвием $A_{кл}B_{кл}$; линией $A_{кл}C_{кл}$ – границей двух смежных элементарных клиньев, с одной стороны, и линией $B_{кл}D_{кл}$ – с другой.

Лезвие элементарного клина $A_{кл}B_{кл}$ является частью всего лезвия лапы. Деформация почвы определяется углом наклона к горизонту элементарного клина с элементарным лезвием $A_{кл}B_{кл}$.

Процесс деформации почвы и подъема корнеплодов моркови зависит от криволинейной формы рабочей поверхности подкапывающих лап. Для построения вертикальной проекции подкапывающих лап, остановились на выборе направляющей кривой, величины параметров которой, ее вид и положение в значительной степени предопределяют крошащую способность лап (рис. 5).

Через конец лезвия лапы – точку B'_n – проводим вертикальную плоскость перпендикулярно лезвию и глубине подкапывания. Эта плоскость рассекает поднимаемый пласт по линии $B'_nC'_n$, образуя некоторую часть пласта $A'_nB'_nC'_n$ в форме прямоугольного треугольника. Эта часть пласта должна полностью расположиться на полувинтовой поверхности, а прямая $B'_nC'_n$ при этом изогнется по кривой, соответствующей

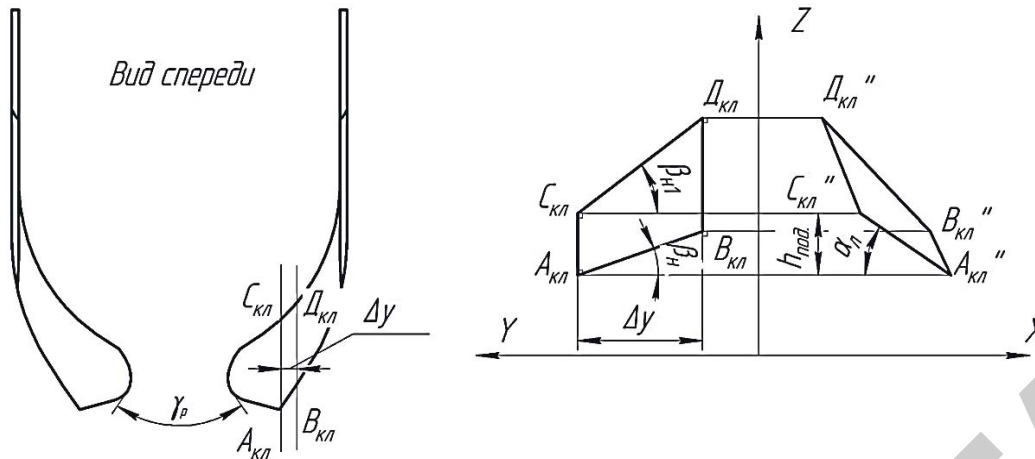


Рис. 4. К обоснованию формы подкапывающей лапы

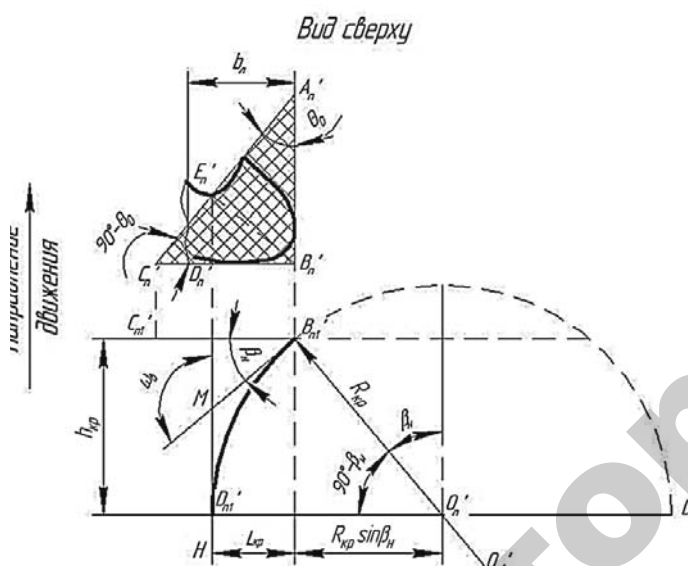


Рис. 5. Схема к обоснованию кривизны подкапывающей лапы (вид сверху)

щей по форме поверхности лапы, то есть наложится на кривую поверхности лапы в сечении $B'_n C'_n$. Следовательно, точка C'_n , поднимаясь вверх при наложении, займет новое положение D'_n .

Если теперь плоскость H совместить с горизонтальной плоскостью, то на совмещенной плоскости H получим истинное изображение направляющей кривой.

Порядок построения направляющей кривой будет следующим. Из точки B'_{n1} проводим прямую $B'_{n1} C'_{n1}$ под углом β_n к линии $B'_{n1} D'_{n1}$ (β_n – угол установки лапы ко дну грядки 56°). Затем из той же точки B'_{n1} к прямой $B'_{n1} D'_{n1}$ восстанавливаем перпендикуляр $B'_{n1} O'_{n1}$ и подбираем центр исходной направляющей окружности так, чтобы проведенная дуга окружности касалась прямой $D'_n D'_{n1}$. Кривая $B'_{n1} D'_{n1}$ и будет являться исходной направляющей кривой поверхности лапы.

С этим учетом уравнение для определения направляющей кривой $R_{кр}$ образующей поверхности лапы запишется:

$$R_{кр} = \frac{1 \cdot b_n}{\left(\frac{\pi}{2} - \beta_n\right) \cos \theta_0} \quad (1)$$

где b_n – ширина захвата одной лапой, м;
 β_n – угол наклона рабочей плоскости лапы, град.;
 θ_0 – образующий угол, град.

Обоснование основных параметров подкапывающей лапы выполнено с учетом допущения, что движение почвы в межжевом пространстве происходит не только в горизонтальном, но и вертикальном направлении к поверхности почвы в пределах определенной зоны, так называемого, канала разрушения, при этом принято, что в разрушающем материале реализуются предельные «активное» и «пассивное» напряженные состояния.

При помощи метода плоских сечений (рис. 6) получено выражение (2), описывающее изменение величины наибольшего уплотняющего напряжения (Па) в различных сечениях межжевого пространства (рис. 7)

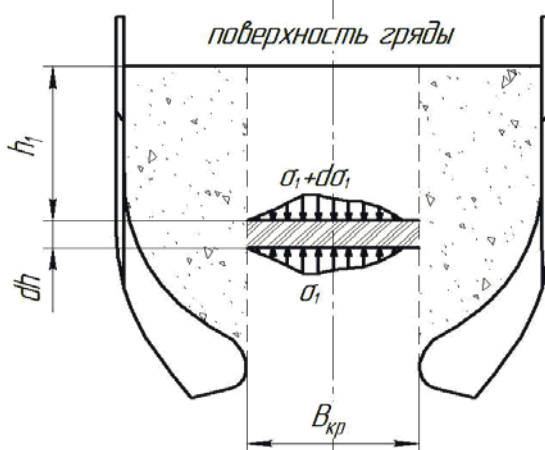


Рис. 6. Схема уплотняющего напряжения между лапами

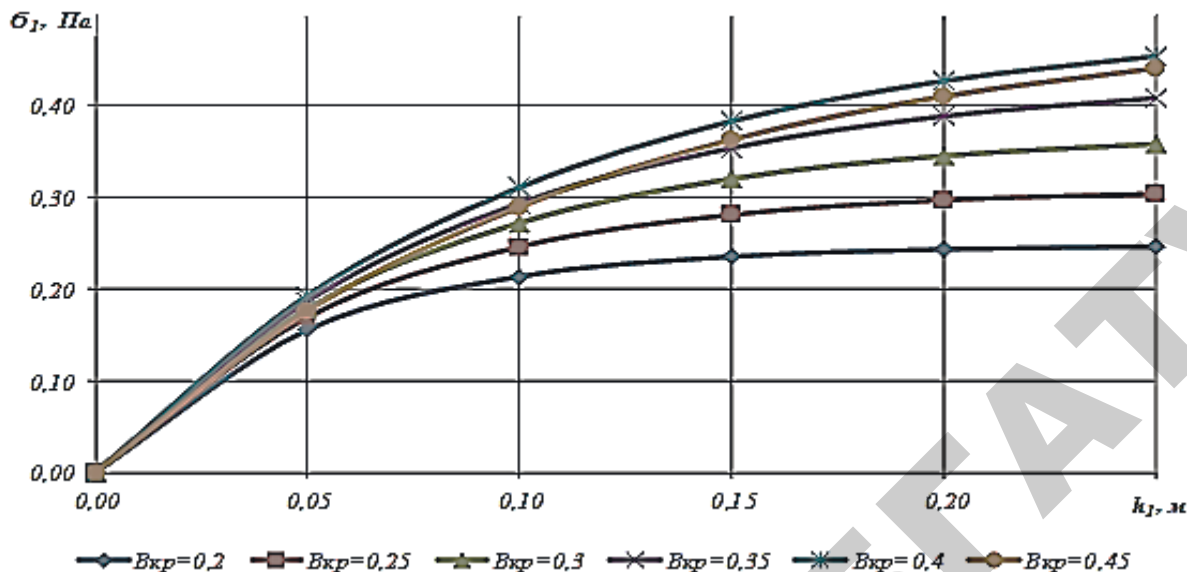


Рис. 7. Зависимость величины уплотняющего напряжения в пространстве между подкапывающими лапами от глубины подкапывания

$$\sigma_1 = \frac{g\gamma B_{\max}}{2m'f} \left(1 - e^{-\frac{2m'f}{B_{\max}} h_1} \right), \quad (2)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²;
 γ – плотность почвы, кг/м³;
 B_{\max} – максимальный размер пространства между подкапывающими лапами, м;
 m' – коэффициент подвижности почвы;
 f – коэффициент внутреннего трения почвы;
 h_1 – глубина подкапывания, м;
 e – число Эйлера.

Из графика видно, что σ_1 в пространстве между лапами экспоненциально приближается к асимптотическому значению, которое, главным образом, определяется размерами пространства между подкапывающими лапами.

Для определения максимального ядрообразующего размера между подкапывающими лапами B_{\max} предложена следующая методика: для исследуемого сечения между кромками лап определяется коэффициент разрушения k_p , представляющий собой отношение наибольшего уплотняющего напряжения σ_1 к напряжению свободного разрушения σ' (Па) [5]:

$$k_p = \frac{1}{2m'f} \left(1 - e^{-\frac{2m'f h_1}{B_{\max}}} \right) \quad (3)$$

Затем по результатам испытаний на сдвиг строится график функции разрушения f_p , представляющей собой отношение наибольшего уплотняющего напряжения σ_1 к пределу прочности образца почвы на поверхности уплотняющего ядра f_c (Па).

Величина f_c отражает свойства конкретного вида почвы и определяется аппроксимирующей зависимостью от наибольшего уплотняющего напряжения σ_1 .

Точка пересечения k_p и f_p является характеристикой критического состояния в межжевом пространстве. Ниже нее почва движется, выше – происходит процесс ядрообразования. Это позволяет графически решить задачу определения максимального ядрообразующего размера межжевого пространства и дать характеристику разрушения почвы в таких условиях.

Максимальный размер пространства между подкапывающими лапами $B_{кр}$ определяется по выражению:

$$B_{кр} = \frac{f_c}{g\gamma}. \quad (4)$$

Предлагаемая методика расчета позволяет определить максимальный ядрообразующий размер пространства между подкапывающими лапами на основании сопоставления прочностных характеристик почвы, определенных экспериментально, с расчетными значениями напряжений в почве.

Лобовое сопротивление почвы при поступательном перемещении вибрирующей пластинки в почве определяется следующей зависимостью:

$$S_b = \frac{\gamma_{b.уд.} \cdot a_m \cdot F (\vartheta_n \pm u_1)^2}{2g} \cdot \sin \beta_{откл}, \quad (5)$$

где $\gamma_{b.уд.}$ – удельный объем почвы в процессе вибрации, м³;

a_m – коэффициент, зависящий от формы движущегося тела, $a_m = 1$;

F – проекция площади пластинки на вертикальную плоскость, расположенную под углом $\beta_{откл.}$ к направлению движения;

ϑ_n – поступательная скорость перемещения пластинки в почве, м/с;

u_1 – скорость перемещения почвы, вызванная вибрацией пластинки (знак (-) минус берется при перемещении почвы в направлении, совпадающим с направлением перемещения пластинки при поступательном движении и (+), плюс при перемещении почвы в обратном направлении, м/с).

Силу внутреннего трения почвы, подвергнутой вибрации, определили как разницу общей силы сопротивления и лобового сопротивления:

$$T = (u - u_1) \frac{m}{\Delta t} - \frac{\gamma_{b.yd} \cdot a_m \cdot F(\vartheta_n \pm u_1)^2}{2g} \cdot \sin \beta_{откл} \quad (6)$$

В поступательном движении пластинки $\omega = 0$ (при равномерно-поступательном движении агрегата), коэффициент внутреннего трения почвы f примет вид:

$$f = \frac{W}{2g} \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{u_1}{\vartheta_n} \right)^2 \right] + \frac{W_1}{g} \left(\frac{u_1}{\vartheta_n} \pm 1 \right), \quad (7)$$

где W – ускорения вибрирующего рабочего органа, м/с²;

W_1 – ускорения почвы от воздействия вибрирующего органа, м/с².

С увеличением поступательной скорости вибрирующего органа (ϑ_n) коэффициент внутреннего трения будет увеличиваться, а тяговое сопротивление будет уменьшаться.

Следовательно, коэффициент внутреннего трения почвы, находящейся в состоянии вибрации, является переменной величиной по времени и зависит: от W – ускорения вибрирующего рабочего органа; W_1 – ускорения почвы от воздействия вибрирующего органа; отношения скорости перемещения слоя почвы, вызванной вибрацией (u_1) к скорости вибрирующего рабочего органа в поступательном движении (ϑ_n).

Почва, находящаяся в зоне вибрации, претерпевает изменение, вызванное уменьшением коэффициента внутреннего трения почвы. В силу того, что коэффициент внутреннего трения почвы при вибрации является величиной, зависящей от режима вибрации, то и коэффициент трения движущейся вибрационной подкапывающей лапы о почву зависит от параметров колебательного движения рабочего органа.

Безусловно, интенсивность технологического процесса нарушения связи моркови с почвой будет напрямую зависеть от частоты вибрации и от величины амплитуды колебания подкапывающей лапы.

Заключение

В результате проведенных исследований установлены основные конструктивные параметры подкапывающих рабочих органов комбайна для уборки моркови, обеспечивающих стабильную и качественную их работу при наименьших затратах энергии:

радиус направляющей лапы $R_{кр} = 0,22$ м; вылет направляющей лапы $L_{кр} = 0,026$ м; высота направляющей лапы $h_{кр} = 0,10$ м; частота колебания – от 600 мин⁻¹ до 2100 мин⁻¹; амплитуда колебания – от 0,006 м до 0,015 м с интервалом 0,003 м. Установлено, что максимальное снижение потребной мощности наблюдается при частоте колебаний 35 с⁻¹, амплитуде колебаний – 0,006 м, скорости движения – 0,38 м/с и составляет 1,03 кВт.

Экономия средств за счет снижения потерь корнеплодов моркови при применении противофазно вибрирующих лап составила 89,96 руб./га, годовой приведенный экономический эффект на одну машину составил 34834,44 руб., годовая экономия себестоимости механизированных работ – 18986,28 руб., срок окупаемости полных капитальных вложений – 5 лет.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сельское хозяйство Республики Беларусь: стат. сб. / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск. – № 12. – С. 21-23.
2. Рапинчук, А.Л. Обоснование схемы морковно-уборочной машины / А.Л. Рапинчук, Д.И. Комлач, В.В. Голдыбан, И.А. Барановский // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механиз. сельского хоз-ва». – Минск, 2012. – Вып. 46. – С. 149-155.
3. Подкапывающее устройство для корнеплодо-уборочных машин: пат. 10192 Респ. Беларусь, МПК А 01 D 25/04 / И.А. Барановский, Д.И. Комлач, А.Л. Рапинчук, В.Н. Полобок; заяв. РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – № u20130803; заявл. 08.10.2013; опубл. 15.04.2014. // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2014. – № 4. – С. 174.
4. Барановский, И.А. Обоснование формы подкапывающих рабочих органов корнеклубнеуборочных машин / И.А. Барановский // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Вып. 49. – С. 76-81.
5. Барановский, И.А. Физическая сущность процесса рыхления грунтов симметричными лапами / И.А. Барановский, В.В. Голдыбан // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб.: в 2 т. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механиз. сельского хоз-ва». – Минск, 2014. – Вып. 48. – Т. 1. – С. 82-87.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 15.06.2018