

СТАБИЛИЗАЦИЯ ГЛУБИНЫ ХОДА ЛЕМЕХОВ КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНЫХ МАШИН

И.Н. Шило, докт. техн. наук, профессор, Н.Н. Романюк, канд. техн. наук, П.В. Клавсуть, ст. препод. (БГАТУ)

Аннотация

Изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований устойчивости глубины хода лемехов картофелеуборочной машины. Проанализированы недостатки систем опорного копирования рельефа. Предложено оригинальное устройство стабилизации глубины подкапывания картофельных грядок лемехами и приведены результаты его полевых исследований.

The results of theoretic and experimental researches of stability of the running depth of potato digger share are presented. The disadvantages of trellis contour following systems are considered. An original design of stabilization of share penetration depth into potato beds is suggested. The experimental results of the fields study of the design are shown.

Введение

Основной проблемой механизации уборки картофеля является повышение производительности уборочных машин, улучшение качества заготавливаемого продукта и снижение затрат на уборку [1, 2].

В картофелеуборочных машинах не решена проблема стабильности глубины подкапывания лемехами картофельных грядок. На 32...58% убираемых площадей отклонения глубины подкапывания от заданной глубины могут достигать до 0,08 м [3], что значительно превышает агротехнический допуск – 0,02 м [4].

Колебания глубины подкапывания приводят к повреждению лемехами клубней, способствуют захвату подкапывающими органами глубоко расположенных, трудно разрушаемых почвенных комков и камней, являются причиной дополнительной подачи почвы на сепарирующие органы. В результате повреждается 14...50% клубней, производительность уборочных машин уменьшается до 20%, снижается чистота клубней в таре до 6%, следовательно, возрастают транспортные расходы и затраты на послеуборочную обработку картофеля, снижается плодородие картофельного поля из-за вывоза плодородной почвы в виде комков [5].

Стабилизация глубины подкапывания рассматривается как задача поддержания минимально допустимой, с точки зрения полноты уборки, величины заглубления подкапывающих органов с минимизацией варьирования глубины хода по длине гона.

У картофелеуборочных машин эта задача реализуется путем отслеживания рельефа поля (базы копирования) копирующими катками (чувствительными элементами) и соответствующим высотным регулированием положения лемехов.

У традиционной конструкции уборочных машин существует механическая связь между лемехами и копирующими катками, которые дополнительно предназначены для разрушения почвенных комков в по-

верхностном слое грядки [4, 6]. Данная система копирования может быть отнесена к пассивной системе опорного копирования.

Основным недостатком этой системы является то, что на копирующие катки передается сила веса передней части элеватора с технологической массой и вертикальная составляющая нагрузки на лемехи. Значительная по величине и нестабильная по гону нагрузка на копирующие катки вызывает отклонение глубины хода лемехов от заданной глубины, приводит к повреждению мелко расположенных клубней копирующим катком [4].

Известны активные системы опорного копирования рельефа, у которых сохранена механическая связь между копирующими катками и лемехами, но предусматривается разгрузка копирующих катков с помощью пружинных или гидравлических устройств [7]. Эффективное функционирование подобных систем возможно только при минимальных отклонениях нагрузки на копирующие катки [8, 9].

Основная часть

В Белорусском государственном аграрном техническом университете разработано оригинальное устройство стабилизации глубины подкапывания картофельных грядок лемехами, построенное на блочно-модульном принципе [10, 11] (рис. 1).

Устройство в виде единого конструктивного блока устанавливается на подкапывающей секции картофелеуборочной машины без изменения ее конструкции и не исключает использование традиционной системы опорного копирования. Представленное устройство стабилизации глубины подкапывания может устанавливаться на различные картофелеуборочные машины.

Конструктивной основой блока является стойка 1, закрепленная через проставку 2 на секции 3 подкапывающих органов с возможностью регулирования по высоте посредством винтового фиксатора 4. На стойке

шарнирно установлен копирующий щуп 5 в виде катка, кинематически связанный с золотником управляющего гидрораспределителя 6, корпус которого соединен со стойкой через подпружиненный рычаг 7.

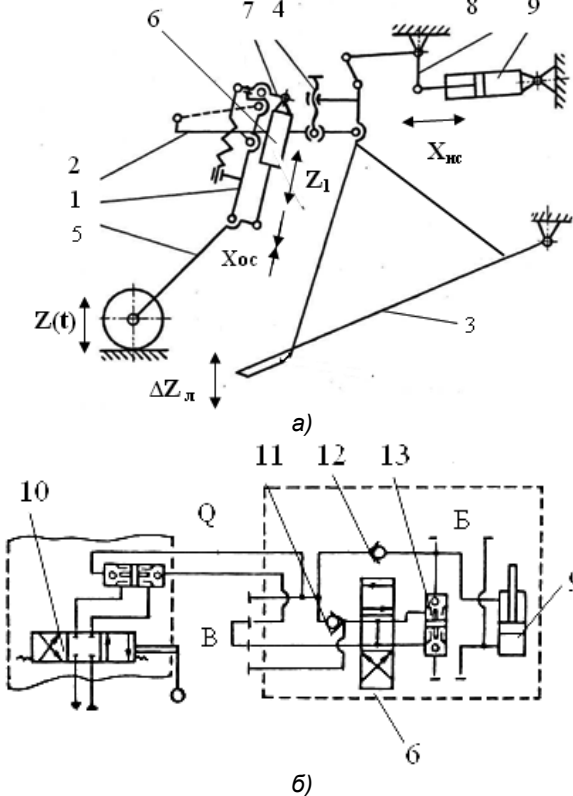


Рис. 1. Устройство стабилизации глубины подкапывания: принципиальная (а) и гидравлическая (б) схемы

В качестве исполнительного механизма используется штатный механизм подъема картофелеуборочной машины в составе рычажного механизма 8 и исполнительного гидроцилиндра 9. Гидромеханический гидроследящий привод получает питание от резервной секции 10 основной гидросистемы машины или трактора. Обратные клапаны 11 и 12 в сочетании с гидрозамком 13 обеспечивают подъем подкапывающих органов при реверсировании потока масла на выходе с гидрораспределителя 10. Гидросистема снабжена гидроразъемами Б, В для подключения гидроэлементов с целью реализации дополнительных функций: повышения эффективности работы на плотных почвах; параллельной работы отдельных блоков на многосекционных уборочных машинах при подключении их к одному источнику гидравлического питания и т.д.

При нарушении глубины подкапывания (входное воздействие $Z(t)$) щуп 7 воздействует через шарнирно-рычажный механизм 8 на золотник гидрораспределителя 9, смещает его из нейтрального положения на величину Z_1 . Поток рабочей жидкости Q поступает в гидроцилиндр 11 и с запаздыванием по времени сдвигает его шток на величину $X_{ис}$, вследствие чего по-

средством рычажного механизма 10, лемеха 3 получают перемещение ΔZ_3 в направлении восстановления заданной глубины. Так как стойка 6 щупа 7 находится на секции 2, а щуп 7 постоянно контактирует с гребнем грядки, перемещение ΔZ_3 лемехов 3 сопровождается обратным перемещением X_{oc} золотника гидрораспределителя 9 к нейтральному положению, при достижении которого движение секции 2 прекращается, а заданная глубина хода восстанавливается.

Математическая модель устройства стабилизации с достаточной точностью (максимальная разница экспериментальных и теоретических значений зависимости $\Delta Z_3 = f(Z(t))$ при проверке адекватности модели не превышала 5%) описывается уравнениями:

$$Z_1 = K_{чз} \cdot Z(t), \Delta Z_3 = K_{ис} \cdot X_{ис}, X_{oc} = K_{oc} \cdot Z(t),$$

$$\Delta X = Z_1 - X_{oc};$$

$$Q = \begin{cases} -C, & \text{при } Z_1 - X_{oc} < -b, \\ 0, & \text{при } -b \leq Z_1 - X_{oc} \leq b, \\ C, & \text{при } Z_1 - X_{oc} > b, \end{cases}$$

$$\Delta X \tau = \Delta X(t - \tau_{зан});$$

$$\ddot{X}_{ис} + a_0 \cdot \dot{X}_{ис} + a_1 \cdot \dot{X}_{ис} + a_2 \cdot X_{ис} = k \cdot Q; \quad (1)$$

$$a_0 = (2 \cdot \mu \cdot E_{пр} \cdot M_{пр} + H_n \cdot S_n \cdot f_v) / (H_n \cdot S_n \cdot M_{пр});$$

$$a_1 = [2 \cdot E_{пр} \cdot (S_n^2 + \mu \cdot f_v) + H_n \cdot S_n \cdot C_h] /$$

$$/ (H_n \cdot S_n \cdot M_{пр});$$

$$a_2 = 2 \cdot \mu \cdot E_{пр} \cdot C_h / (H_n \cdot S_n \cdot M_{пр});$$

$$k = 2 \cdot E_{пр} \cdot S_n / (H_n \cdot S_n \cdot M_{пр}),$$

где $K_{чз}$, $K_{ис}$, K_{oc} – соответственно коэффициенты передачи копирующего элемента, подкапывающей секции и обратной связи;

C – подача рабочей жидкости от гидронасоса, $м^3/с$;

b – зона нечувствительности гидрораспределителя устройства стабилизации, $м$;

$\tau_{зан}$ – время запаздывания, $с$;

μ, f_v – соответственно коэффициенты утечек ($м^5 / (H \cdot с)$) и вязкости внутреннего трения рабочей жидкости ($(H \cdot с) / м$);

$E_{пр}$ – средний приведенный модуль упругости рабочей жидкости и магистралей ($Н / м^2$);

$M_{пр}$ – масса секции подкапывающих органов с подкопанным ворохом, приведенная к штоку исполнительного гидроцилиндра, $кг$;

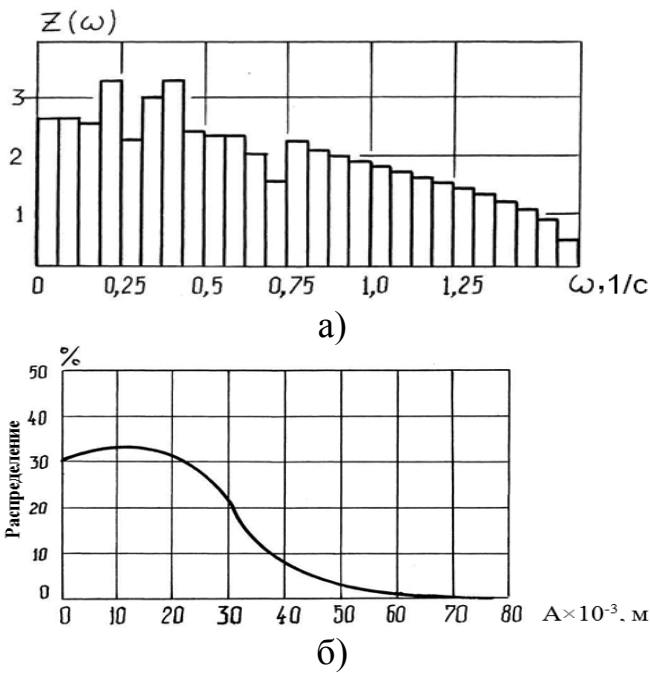


Рис. 2. Характеристики входного воздействия $Z(t)$: графики зависимостей средних амплитуд $Z(\omega)$ гармоник от частоты ω (а) и распределения амплитуды A входного воздействия (б)

S_{Π}, H_{Π} – соответственно эффективная площадь (m^2) и длина хода поршня гидроцилиндра (м);

C_h – коэффициент пропорциональности между вертикальной составляющей технологической нагрузки ($\frac{H}{m}$) и перемещением ΔZ_{Π} (м).

Для минимизации подачи в картофелеуборочную машину технологической массы при отсутствии повреждения клубней лемехами должны выполняться условия [12]:

$$\sigma[Z_{\Pi} - Z_r] = \sigma[H_{\Pi}] \rightarrow \min; \quad (2)$$

$$\sigma[Z_{\kappa} - Z_r] = \sigma[H_{\kappa}] \rightarrow \min; \quad (3)$$

$$r[Z_{\kappa}, Z_r] \rightarrow \max; \quad (4)$$

$$\Pi_{\kappa} \leq \Pi_0, \quad (5)$$

где Z_{Π}, Z_r, Z_{κ} – вертикальные координаты лемеха, вершин грядки и нижнего клубня, м;

H_{Π}, H_{κ} – глубина подкапывания и глубина залегания нижних клубней, м;

σ, r – среднее квадратическое отклонение (м) и коэффициент корреляции для соответствующих величин;

Π_{κ} – повреждения клубней копирующими катками, %;

Π_0 – статистически незначимое количество поврежденных клубней, %.

В полевых условиях авторами были измерены координаты профиля грядки Z_r и нижних клубней Z_{κ} в одноименных сечениях соседних грядок, определены повреждения клубней катками Π_{κ} при различной нагрузке P на копирующий каток. По полученным данным рассчитывались среднее квадратическое отклонение $\sigma[H_{\kappa}]$ глубины залегания нижнего клубня относительно опрессованного с усилием P профиля грядки и коэффициенты корреляции $r[Z_{\kappa}, Z_r]$.

Статистический анализ показал, что увеличение нагрузки P до 0,01 кН приводит к существенному снижению среднего квадратического отклонения $\sigma[H_{\kappa}]$ и усилению корреляционной связи между координатами Z_{κ} и Z_r и, следовательно, к существенному выравниванию базовой поверхности грядки относительно линии расположения нижних клубней. Дальнейшее увеличение нагрузки не приводит к существенному выравниванию базовой поверхности, но делает возможным повреждение мелкорасположенных клубней.

Нормированная корреляционная функция рельефа грядки, опрессованного с оптимальной нагрузкой $P = 0,01 \text{ кН}$, аппроксимируется выражением:

$$\rho(\tau) = \exp(-1,42 \cdot |\tau|) \cdot \cos(3,93 \cdot \tau). \quad (6)$$

Спектральный анализ [13] входного воздействия на систему стабилизации, характеризующегося функцией (6), показал, что входные воздействия на гидроследящий привод устройства стабилизации глубины подкапывания характеризуются диапазоном частот $\omega_{\text{вх}} = 0 \dots 1,6 \text{ с}^{-1}$ (рис. 2, а) и диапазоном амплитуд $A = 0 \dots 8 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ (рис. 2, б).

Так как устройство стабилизации глубины подкапывания должно быть работоспособным в самых неблагоприятных условиях, то качество функционирования модели (1) исследовалось при наборе значений параметров, включающем неблагоприятные для работы системы значения частоты $\omega_{\text{вх}} = 1,6 \text{ с}^{-1}$ и амплитуды входного воздействия $A = 8 \cdot 10^{-2} \text{ м}$, значения характеристик гидропривода:

$$E_{\text{гп}} = 1,6 \cdot 10^{-9} \text{ Н} / \text{м}^2,$$

$$\mu = 1,1 \cdot 10^{-13} \text{ м}^5 / (\text{Н} \cdot \text{с}),$$

$$f_v = 5,1 \cdot 10^{-4} (\text{Н} \cdot \text{с}) / \text{м}.$$

В качестве варьируемых факторов назначались эффективно влияющие на функционирование гидроследящего привода устройства стабилизации глубины подкапывания независимые и регулируемые параметры $K_{\text{вз}}$,

K_{nc} . Пределы варьирования указанных параметров и значения остальных характеристик модели $K_{oc}, C, b, \tau_{зан}, M_{пр}, S_n, H_n, C_h$ назначали с учетом данных исследований автоколебаний и характеристик конструкции картофелеуборочных агрегатов [4, 14].

В связи со случайным характером входного воздействия за критерий оптимизации был принят минимум среднего квадратического отклонения σ сигнала рассогласования входного и выходного процессов (аналог величины $\sigma[H_k]$ в зависимости (2):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\int_0^T [Z(t) - Z_d]^2 dt}{T}} \rightarrow \min, \quad (7)$$

где T – время интегрирования.

Были проведены серии экстремальных численных экспериментов по линейному ортогональному плану второго порядка [15], которые позволили достигнуть почти стационарной области.

Результаты экспериментов дали следующее описание функции $\sigma = f(K_{чд}, K_{nc})$ в этой области:

$$\begin{aligned} \sigma^2 = & (4,79 + 0,22 \cdot X_1 + 0,673 \cdot X_2 + \\ & + 0,2 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,235 \cdot X_1^2 + \\ & + 0,388 \cdot X_2^2) \cdot 10^{-2}, \end{aligned} \quad (8)$$

где $X_1 = (K_{чд} - 0,385) / 0,041$,

$X_2 = (K_{nc} - 2,85) / 0,34$.

Применение условия (7) к функции (8) позволило получить следующие оптимальные значения факторов: $K_{чд} = 0,42$, $K_{nc} = 2,55$.

Качество функционирования устройства стабилизации глубины подкапывания в полевых условиях было проверено на картофелеуборочном комбайне КСК – 4. За показатели качества копирующих систем принималось среднее квадратическое отклонение глубины подкапывания $\sigma[H_n]$.

Статистический анализ полученных данных показал, что применение устройства стабилизации существенно повышает равномерность подкапывания (в исследуемых опытах $\sigma[H_n]$ снижалось в 2,6...3,4 раза) и улучшает агротехнические показатели работы технологической линии (чистота клубней увеличилась с $70,1 \pm 3,9\%$ до $81,8 \pm 1,2\%$, повреждения уменьшились с $12,3 \pm 1,8\%$ до $6,9 \pm 1,4\%$).

Заключение

Предложена оригинальная конструкция устройства стабилизации глубины хода подкапывающих органов, выполненного в виде единого конструктивного блока, который может монтироваться на различные типы картофелеуборочных машин.

Указаны пути оптимизации параметров устройства и приведены результаты численных и полевых исследований, подтвердившие эффективность его применения на картофелеуборочных машинах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шило, И.Н. Ресурсосберегающие технологии сельскохозяйственного производства / И.Н. Шило, В.Н. Дашков. – Минск: БГАТУ, 2003. – 183с.
2. Борычев, С.Н. Машинные технологии уборки картофеля с использованием усовершенствованных копателей, копателей-погрузчиков и комбайнов: автореф...дис. докт. техн. наук / С. Н. Борычев. – Рязань, 2008. – 40с.
3. Вергейчик, Л.А. Исследование устойчивости глубины хода лемехов картофелеуборочного комбайна КСК – 4 / Л.А. Вергейчик, Б.М. Астрахан, П.В. Клавсуть // Механизация возделывания и уборки технических культур в Белорусской ССР: сб. науч. трудов, вып.113. – Горки, 1983. – С. 24-29.
4. Петров, Г.Д. Картофелеуборочные машины / Г.Д. Петров, 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1984. – 320с.
5. Рекомендации по созданию подкапывающих органов картофелеуборочных машин / Б. Танась [и др.] // Энергосберегающие технологии и технические средства в сельскохозяйственном производстве: доклады Междунар. науч.-практ. конф. в 2 ч., Минск, 12–13 июня 2008г. – Минск, 2008. – Ч.1. – С.119-122.
6. Рейнгарт, Э.С. Унифицированные картофелеуборочные машины нового поколения / Э. С. Рейнгарт, А. А. Сорокин, А. Г. Понамарев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – № 10, 2006. – С. 3-5.
7. Картофелеуборочная техника. Уборка (проспекты фирмы Grimme) [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: <http://www.grimme.de/ru>. – Дата доступа: 09.04.2010.
8. Булгаков, В.М. Исследование и совершенствование рабочего процесса самоходной корнеклубнеуборочной машины: автореф...дис. канд. техн. наук / В.М. Булгаков, Киев. – 21с.
9. Вергейчик, Л.А. Изыскание и исследование средств поддержания заданной глубины хода подкапывающих органов картофелеуборочного комбайна: автореф...дис. канд. техн. наук / Л.А. Вергейчик. – Минск, 1975. – 25с.
10. Устройство стабилизации глубины хода подкапывающих органов корнеклубнеуборочной машины: патент Респ. Беларусь, 5098, МПК А01В63/00 / П.В. Клавсуть, Б.М. Астрахан, К.В. Сашко, Н.Н. Романюк, А.Л. Вольский, Л. С. Жаркова; заявитель Белорус. гос. аграр. техн. ун-т. – № u20080607; заявл. 29.07.2008; опубл. 28.02.2009 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2009. – № 1. – С.138.
11. Устройство стабилизации глубины хода подкапывающих органов корнеклубнеуборочной машины: а. с. 1428249 СССР, А1, МПК А01D 17/00 / Л.А. Вергейчик, П.В. Клавсуть [и др.] // Открытия, изобретения и товарные знаки СССР. – 1988. – № 37.