

ИССЛЕДОВАНИЕ КОПИРОВАНИЯ РЕЛЬЕФА ПОЛЯ КАТКАМИ КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНЫХ МАШИН

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

Аннотация

Рассматриваются вопросы функционирования систем копирования поля картофелеуборочных машин. Проведенные исследования показали, что эффективное копирование рельефа убираемого картофельного поля может быть обеспечено при отслеживании копирующими устройствами картофелеуборочных машин рельефа вершин одной из двух подкапываемых рядок, предварительно опрессованных с заданной нагрузкой.

The article considers the study of functioning of field copying by potato harvesters. The conducted research has showed that the effective copying of the terrain of the field being harvested can be ensured by tracking by copying devices of potato harvesters of the terrain of the top of one of the two rows being undermined, which have previously been subject to a pressure test with the preset loading.

Введение

Эффективность систем копирования рельефа поля картофелеуборочных машин оказывает существенное влияние на производительность, повреждение клубней, затраты на уборку и степень деградации почвы [1].

В основу функционирования систем копирования положен принцип отслеживания рельефа поля (базы копирования) копирующими катками (чувствительными элементами) и соответствующим высотным регулированием положения подкапывающих лемехов. При этом ставится задача минимизировать подачу клубенной массы Q_{Π} от подкапывающих на сепарирующие органы при условии снижения повреждения клубней лемехами $\Pi_{\text{л}}$ и копирующими катками $\Pi_{\text{к}}$ до статистически незначимой величины Π_0

$$Q_{\Pi} \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$\Pi_{\text{л}} + \Pi_{\text{к}} \rightarrow \Pi_0. \quad (2)$$

Для выполнения условий (1) и (2) глубина хода лемехов $H_{\text{л}}$ должна быть больше глубины расположения нижнего клубня $H_{\text{к}}$ на минимально возможную величину H_{min}

$$H_{\text{л}} = H_{\text{к}} + H_{\text{min}}. \quad (3)$$

Необходимым условием выполнения выражения (3) является достижение минимума дисперсии разности между $H_{\text{л}}$ и $H_{\text{к}}$

$$D[H_{\text{л}} - H_{\text{к}}] \rightarrow \min, \\ \text{или } D[z_{\text{л}} - z_{\text{к}}] \rightarrow \min, \quad (4)$$

где $z_{\text{л}}$, $z_{\text{к}}$ – ординаты расположения соответственно лемеха и нижнего клубня относительно общей горизонтальной системы отсчета.

У картофелеуборочных машин регулирование положения лемехов по глубине возможно посредством отслеживания рельефа дна борозд или вершин подкапываемых рядок убираемого поля с ординатами соответственно $z_{\text{б}}$ и $z_{\text{г}}$, принимаемых за базы копирования. Установлено, что ординаты $z_{\text{г}}$ и $z_{\text{к}}$ характеризуются более тесной корреляционной связью и за базу копирования целесообразно принимать профиль вершин подкапываемых рядок [2].

При копировании рельефа рядок катком ее профиль вследствие усадки почвы преобразуется в новый, и каток может рассматриваться как деформатор, находящийся под нагрузкой P и преобразующий исходный профиль с ординатами $z_{\text{г}}$ в трансформированный с ординатами $z_{\text{гт}}$, являющийся базой копирования.

У систем копирования с оптимально выбранными параметрами может быть обеспечено соответствие между высотным положением копирующего катка и лемеха. Тогда

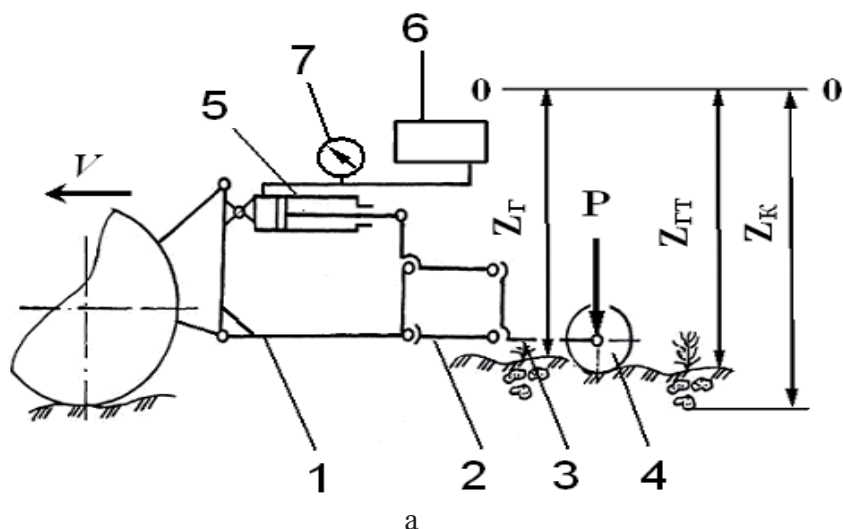
$$z_{\text{л}} - z_{\text{гт}} \rightarrow \text{const},$$

и выражение (4) с учетом свойств дисперсии [3] может быть записано:

$$D[z_{\text{к}} - z_{\text{гт}}] \rightarrow \min. \quad (5)$$

Левая часть выражения (5) для зависимых ординат $z_{\text{к}}$, $z_{\text{гт}}$ может быть представлена в виде

$$\sigma^2[z_{\text{к}} - z_{\text{гт}}] = (\sigma[z_{\text{к}}] - \sigma[z_{\text{гт}}])^2 + \\ + 2(1 - r_{z_{\text{к}}z_{\text{гт}}})\sigma[z_{\text{к}}]\sigma[z_{\text{гт}}],$$



могут получить повреждения от непосредственного контакта с катком [5] или другими фрагментами картофельной грядки. Поэтому при выборе значения P помимо условий (6) и (7) следует учитывать и условие (2). Таким образом, выражения (2), (6) и (7) могут быть приняты в качестве критерия при экспериментальных исследованиях закономерностей взаимодействия копирующего катка с отслеживаемой поверхностью картофельного поля и возможности образования оптимальной базы копирования путем опрессовки грядки катком с заданной нагрузкой P .

Основная часть

Для исследования взаимодействия копирующего катка с рельефом убираемого поля в Белорусском государственном аграрном техническом университете разработана полевая установка, навешиваемая на трактор (рис. 1).

Установка состоит из рамы 1, навески 2, держателя 3 с копирующим катком 4, гидроцилиндра нагрузки 5, источника постоянного давления 6, манометра 7. В качестве источника постоянного давления использовался регулятор гидроувеличителя сцепного веса (ГСВ) [6] трактора, позволяющий устанавливать нужное давление в гидроцилиндре, и тем самым устанавливать требуемую нагрузку P на каток. Объектом исследований служил



б

Рисунок 1. Установка для исследования взаимодействия копирующего катка с рельефом: а – принципиальная схема; б – общий вид.

где $\sigma[\dots] = \sqrt{D[\dots]}$ – среднеквадратическое отклонение;

r_{\dots} – коэффициент корреляции между соответствующими ординатами.

Поэтому для выполнения условия (5) должны соблюдаться условия:

$$\sigma[z_{ГГ}] \rightarrow \sigma[z_{К}]; \quad (6)$$

$$r_{z_{ГГ}z_{К}} \rightarrow \max. \quad (7)$$

В картофельной грядке глубина залегания мелко расположенных клубней составляет 2...3 см, сжимающая нагрузка на клубни ограничена [4], и клубни

копирующий каток с эластичной оболочкой диаметром 0,28 м и шириной 0,1 м, используемый в качестве чувствительного элемента в оригинальном устройстве стабилизации глубины подкапывания [1].

Измерение ординат $z_{ГГ}$ и ординат $z_{К}$ производилось на полях с легкосуглинистой почвой твердостью 1,5...2,0 МПа и влажностью 20% одновременно по четырем грядкам относительно общей горизонтальной системы отсчета по длине гона L . Измерение выполнялось с помощью измерительного приспособления, представляющего собой проложенную вдоль гона горизонтальную мерную проволоку 1 и перемещаемую по гону поперечную планку 2 с вертикальной линейкой 3, выставляемую горизонтально по уровню при замерах указан-

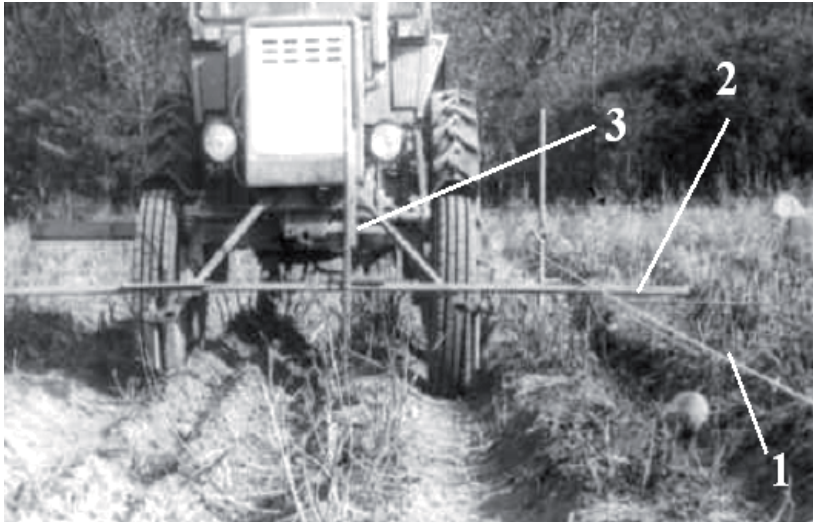


Рисунок 2. Приспособление для измерения ординат $z_{ГТ}$ и z_K

ных ординат. Для удобства замеров поперечная планка навешивалась на трактор (рис. 2). Опыты проводились для каждого значения P с объемом выборки $n = 30$.

В таблице 1 приведены результаты статистической обработки опытных данных: средние значения $H_{Кср}$ и среднеквадратические отклонения $\sigma[H_K]$ глубины расположения нижних клубней H_K , коэффициенты корреляции $r_{z_{ГТ}, z_K}$ между ординатами $z_{ГТ}$ и z_K в одних сечениях поперечного профиля поля, средние значения повреждений клубней $\Pi_{Кср}$.

Таблица 1. Статистические оценки процессов $H_K(L)$, $z_K(L)$, $z_{ГТ}(L)$, $\Pi_K(L)$

P , кН	$H_{Кср}$, см	$\sigma[H_K]$, см	$r_{z_{ГТ}, z_K}$	$\Pi_{Кср}$, %
0,00	13,0	5,0	0,455	0,00
0,05	12,2	4,8	0,491	0,00
0,07	11,2	4,8	0,541	0,11
0,10	10,3	3,5	0,651	0,13
0,20	8,3	3,4	0,650	0,29
0,30	6,7	3,3	0,591	0,38

Для статистического анализа полученных результатов вначале проверялась гипотеза о нормальности распределения опытных данных с учетом указанного объема выборки по критерию W [7, 8] (расчетное значение критерия должно превышать критическое).

Для всех полученных реализаций расчетное значение $W_{расч}$ превышало критическое для уровня значимости 0,05

$$W_{расч} = 1,05 \dots 1,23 > W(0,05; 30) = 0,927.$$

Следовательно, распределение опытных данных во всем исследуемом диапазоне изменения P не противоречит нормальному закону.

Проверка однородности дисперсий $\sigma^2[H_K]$ для принятого закона распределения осуществлялась по критерию Фишера F [9].

Установлено, что при изменении нагрузки P на копирующий каток от 0,0кН до 0,10кН расчетное значение критерия $F_{расч}$ больше критического значения для уровня значимости 0,05

$$F_{расч} = 2,1 > F(0,05; 29; 29) = 1,864.$$

При изменении нагрузки от 0,10кН до 0,30кН значение $F_{расч} = 1,22$ меньше критического значения.

Следовательно, при изменении нагрузки на копирующий каток в диапазоне от 0,0кН до 0,10кН нет основания считать дисперсии однородными. В диапазоне нагрузок от 0,10 кН до 0,30 кН, напротив, подтверждается однородность дисперсий. Отсюда следует, что увеличение нагрузки с $P = 0$ до $P = 0,10$ кН приводит к существенному выравниванию базовой поверхности относительно линии расположения нижних клубней. В противоположность этому, дальнейшее увеличение нагрузки до 0,30кН не сопровождается существенным выравниванием базовой поверхности относительно линии расположения нижних клубней.

Оценка существенности различия сопоставляемых значений r_1, r_2 коэффициента корреляции $r_{z_{ГТ}, z_K}$ при различных значениях P производилась посредством соотношения [9]:

$$U_{расч} = \frac{|\xi_1 - \xi_2|}{\sqrt{(\sigma^2[\xi_1] + \sigma^2[\xi_2])}} > U(0,05), \quad (8)$$

$$\text{где } \xi_i = 0,5 \ln[(1 + r_i)/(1 - r_i)], \sigma^2[\xi_i] = 1/(n - 3), i = 1, 2.$$

$U(0,05)$ – критическое значение для нормального распределения при уровне значимости 0,05.

Анализ величин $r_{z_{ГТ}, z_K}$ по соотношению (8) позволил установить, что увеличение давления на поверхность грядки со стороны копирующего катка с $P = 0$ до $P = 0,10$ кН сопровождается существенным усилением корреляционной связи между ординатами профиля, образующегося при опрессовке грядки, и ординатами расположения нижних клубней, а дальнейшее увеличение нагрузки P усиления корреляционной связи не вызывает.

Анализ значений величины Π_K , представленных в таблице 1, показал, что при давлении на поверхность грядки не более 0,10кН повреждения имеют

случайный, незначительный характер, а при давлении 0,20кН и более повреждения приближаются к величине существенно отличающейся от нуля.

Установленные характеристики взаимодействия копирующего катка с рельефом гребня грядки, оценки корреляционной связи опрессованного профиля с расположением нижних клубней и оценки повреждений клубней позволяют утверждать, что в качестве базы копирования рельефа поля для копирующих устройств может быть принят рельеф картофельной грядки, опрессованный с заданной нагрузкой. Для исследованных условий эта нагрузка должна быть $P \approx 0,07...0,10$ кН, при которой критерии (2), (6) и (7) выполняются.

Далее исследовались статистические характеристики баз копирования. Исследования включали измерения ординат $z_{ГТ}$ рельефа вершин четырех рядом расположенных опрессованных грядок относительно общей горизонтальной системы отсчета с шагом $L = 0,5$ м и с последующей оценкой статистической связи между этими ординатами. Число замеров для каждой грядки $n = 40$. Проверка по критерию W полученных реализаций $z_{ГТ}$ показала, что и в этом случае расчетные значения $W_{расч}$ превышали критическое значение $W(0,05; 40) = 0,940$, что позволило снова принять гипотезу о нормальном законе распределения указанных реализаций.

Для оценки тесноты связи между ординатами были рассчитаны соответствующие коэффициенты корреляции (индекс i соответствует порядковому номеру грядки, а соответствующие величины $z_{ГТ}$ обозначены через Z_i)

$$r_{z_1, z_2} = 0,551; r_{z_1, z_3} = 0,227; r_{z_2, z_3} = 0,315; r_{z_2, z_4} = 0,230; r_{z_3, z_4} = 0,589.$$

Оценка значимости коэффициентов корреляции выполнялась с помощью критерия Стьюдента t по соотношению [9]

$$t_{расч} \{r\} = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} > t(0,05; 38). \quad (9)$$

Из соотношения (9) получаем:

$$t_{расч} \{r_{z_1, z_2}\} = 4,07 > t(0,05; 38) = 2,02;$$

$$t_{расч} \{r_{z_1, z_3}\} = 1,44 < t(0,05; 38) = 2,02;$$

$$t_{расч} \{r_{z_2, z_3}\} = 2,05 > t(0,05; 38) = 2,02;$$

$$t_{расч} \{r_{z_2, z_4}\} = 1,46 < t(0,05; 38) = 2,02;$$

$$t_{расч} \{r_{z_3, z_4}\} = 4,49 > t(0,05; 38) = 2,02.$$

Следовательно, значения $r_{z_1, z_3}, r_{z_2, z_4}$ несущественно отличаются от нуля, а коэффициенты $r_{z_1, z_2}, r_{z_2, z_3}, r_{z_3, z_4}$ значимы. Из этого следует, что между координатами

соседних картофельных грядок существует устойчивая связь, а для более удаленных между собой грядок такой связи может и не быть.

Вышеизложенный анализ показывает, что у картофелеуборочных машин эффективное копирование рельефа поля осуществляется при отслеживании профиля одной из двух смежных подкапываемых грядок.

Заключение

Эффективное копирование рельефа убираемого картофельного поля может быть обеспечено при отслеживании копирующими устройствами картофелеуборочных машин рельефа вершин одной из двух подкапываемых грядок, предварительно опрессованного с заданной нагрузкой $P \approx 0,07...0,10$ кН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шило, И.Н. Стабилизация глубины хода лемехов картофелеуборочных машин / И.Н. Шило, Н.Н. Романюк, П.В. Клавсуть // Агропанорама, 2010. – №3. – С.5–9.
2. Клавсуть, П.В. Стабилизация глубины хода лемехов картофелеуборочного комбайна КСК-4 / П.В. Клавсуть // Методы и средства автоматического управления и контроля в сельскохозяйственном производстве: сб. науч. трудов. – Горки, 1985. – С.101–104.
3. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – 4-е изд. – М.: Высш. шк., 2007. – 491с.
4. Петров, Г.Д. Картофелеуборочные машины / Г.Д. Петров. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1984. – 320с.
5. Сорокин, А.А. Теория и расчет картофелеуборочных машин: монография / А.А. Сорокин. – М.: ВИМ, 2006. – 159с.
6. Тракторы "Беларус" МТЗ-80, МТЗ-82 и их модификации: инструкция по эксплуатации и техническому обслуживанию / В.Г. Левков [и др.]. – 3-е изд., перераб. и доп. – Минск : Ураджай, 1991. – 174с.
7. Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим: ГОСТ 11.006-74 (СТ СЭВ 1190-78). – Введ. 01.01.1976. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 32с.
8. Статистические методы. Проверка отклонения распределения вероятностей от нормального распределения: ГОСТ Р ИСО 5479-2002. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 30 с.
9. Митков, А.Л. Статистические методы в сельхозмашиностроении / А.Л.Митков, С.В. Кардашевский. – М.: Машиностроение, 1978. – 360с.