

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ ГРУНТА ВИБРАЦИОННО ПОДКАПЫВАЮЩИМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ

Резюме

В статье представлено анализ результатов экспериментальных исследований вибрационно-подкапывающего органа. Проанализировано влияние амплитуды и частоты колебаний подкапывающих лап, и рабочей скорости на потребление мощности. Проведено оптимизацию параметров деформации почвы.

**Ключевые слова:** вибрационный орган подкапывающий, рабочие параметры, деформация почвы, оптимизация параметров

## BADANIE PROCESU SPULCHNIANIA GLEBY WIBRACYJNYM ZESPOŁEM PODKOPUJĄCYM

Streszczenie

W publikacji przedstawiono analizę wyników badań eksperymentalnych wibracyjnego zespołu podkopującego. Analizie poddano wpływ amplitudy, częstotliwości drgań podkopujących łap oraz prędkości roboczej na zapotrzebowanie mocy. Przeprowadzono optymalizację parametrów deformacji gruntu.

**Słowa kluczowe:** wibracyjny zespół podkopujący, parametry pracy, deformacja gruntu, optymalizacja parametrów

## STUDY OF THE PROCESS OF SOIL LOOSENING BY MEANS OF VIBRATING DIGGING UNIT

Summary

The paper presents an analysis of experimental study results of vibrating digging unit. The impact of amplitude, frequency of vibrating digging shares and the operating speed on power consumption were analyzed. The soil deformation parameters were optimized.

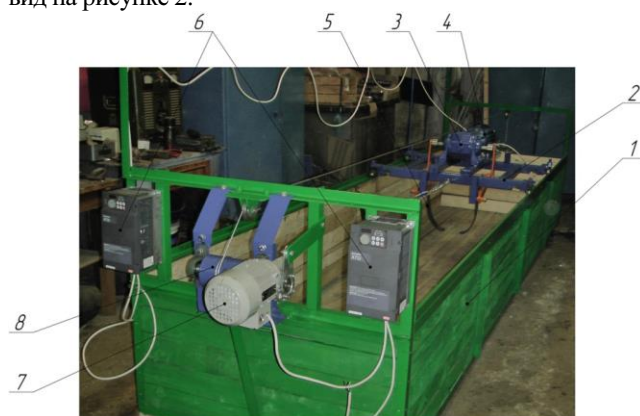
**Key words:** vibrating digging unit, operating parameters, deformation of soil, parameters optimization

### 1. Введение

Подкапывающие устройства являются важнейшими рабочими органами корнеплодоуборочных машин. От качества их работы решающим образом зависит эффективность конструкции всей машины, поэтому к ним предъявляются многочисленные и довольно жесткие требования. Они должны обеспечивать разрушение связи корнеплодов с почвой, извлечение их из почвы без повреждений и потерь и передачу на очистительные рабочие органы машины с возможно меньшим количеством почвенных примесей - почвы на корнеплодах и в свободном виде. Поскольку эти операции связаны с большими затратами энергии, необходимо также добиваться ее минимизации. Обязательными являются также требования высокой технической и технологической надежности в различных естественно-производственных условиях сухие и влажные почвы различного механического состава, засоренных полей и т.п. [5, 6]. Кроме конструктивных особенностей копачей, эффективность их работы существенно зависит от почвенно-погодных условий, характера роста корнеплодов, равномерности их распределения в рядке и выровненности, размерных характеристик, а также выбора регулируемых параметров, особенно заглубления в почву, и режимов движения [4, 5, 6].

### 2. Основная часть

Для определения основных конструктивных и технологических параметров вибрационного подкапывающего рабочего органа использовали экспериментальную установку, которая представлена на рисунке 1, а внешний вид на рисунке 2.



Source: own work

Рис. 1. Внешний вид экспериментальной установки: 1 - ящик; 2 - тележка; 3 - редуктор; 4 - электродвигатель; 5 - подкапывающий рабочий орган; 6 - преобразователь частоты; 7 - мотор-редуктор привода; 8 - барабан  
Fig. 1. External view of an experimental setup



Source: own work

Рис. 2. Тележка с подкапывающими симметричными лапами

Fig. 2. Trolley with digging symmetrical shares

Основными узлами установки является: ящик 1; тележка 2; редуктор 3; электродвигатель 4; подкапывающий рабочий орган 5; преобразователи частоты 6; электродвигатель привода тележки 7; барабан привода тележки 8.

Привод подкапывающих рабочих органов осуществляется от электродвигателя 4 посредством редуктора 3, системы рычагов и эксцентриков, насаженных на выходные валы редуктора 3. Перемещение тележки по направляющим уголкам, смонтированным на боковых стенках ящика 1, осуществляется тросом посредством приводного барабана 8 и мотор редуктора 7. Скоростными режимными характеристиками обоих приводов можно управлять посредством соответствующего преобразователя частоты 6.

Ящик экспериментальной установки представляет собой каркас 1000×4000 мм, сваренный из уголков 35×35 мм, обитый доской.

Тележка (рисунок 2), на которой располагаются рабочие органы с механизмом привода, представляет собой раму, по концам которой расположены стойки с подшипниками.

Механизм привода представляет собой два рычага и два эксцентрика с разным расстоянием от центра 4, 6, 8, 10 мм.

Привод тележки и подкапывающих рабочих органов осуществлялся от электродвигателей постоянного тока через цепную муфту и конический редуктор.

Частота колебания эксцентриков механизма привода подкапывающих рабочих органов и скорости тележки изменялась с помощью преобразователя частоты MITSUBISHI ELEKTRIK FR-A700 и контролировалась с помощью тахометра часового типа. Потребную мощность для привода электродвигателей определяли с помощью прибора K-51.

### 3. Результаты исследований

В целях сокращения затрат труда, времени и средств на проведение исследований по изучению влияния конструктивных и кинематических параметров подкапывающего устройства на потребную для его привода мощность, применены методы физического моделирования и математической теории планирования эксперимента.

Основной задачей планирования эксперимента является получение статистической математической модели объекта исследования в виде полинома (уравнения регрессии) чаще всего первой или второй степени [1, 2, 3]. Уравнение регрессии позволит оценить влияние воздействующих

факторов –  $x_i$  на энергетику процесса разрушения грунта подкапывающим устройством –  $y$  :

$$y = b_0 + \sum_i^k b_i x_i + \sum_{i>j}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=j}^k b_{ij} x_i^2, \quad (1)$$

где  $x_i$ ,  $x_j$  – кодовое обозначение факторов;

$b_0$  – свободный член, равный выходу при  $x_i = 0$ ;

$b_i$  – коэффициенты регрессии соответствующих факторов, указывающие влияние того или иного фактора на изучаемый объект;

$b_{ij}$  – коэффициент регрессии соответствующих факторов двойного взаимодействия.

Чтобы устранить корреляцию между коэффициентами регрессии и трудности в оценке расчетных значений функции отклика, пользуются кодированными значениями факторов [1, 2, 3]:

$$x_i = \frac{\bar{x}_i - \bar{x}_{i_0}}{\varepsilon_i}, \quad (2)$$

где  $\bar{x}_i$  – натуральное значение  $i$ -го фактора;

$\bar{x}_{i_0}$  – натуральное значение фактора на нулевом уровне;

$\varepsilon_i$  – значение интервала варьирования фактора.

$$\varepsilon_i = \frac{\bar{x}_i^e - \bar{x}_i^n}{2}, \quad (3)$$

где  $\bar{x}_i^e$ ,  $\bar{x}_i^n$  – соответственно верхняя и нижняя граница изменения величины  $\bar{x}_i$ .

Для получения уравнения регрессии предлагается реализовать центральный композиционный план второго порядка. Для этого к «ядру», образованному линейным планом, добавляем шесть «звездных точек» и одну – в центре плана, что придаст плану ортогональность и позволит наряду с малым объемом вычислений определять коэффициенты уравнения регрессии независимо относительно друг друга.

На основании анализа теоретических и экспериментальных исследований были выделены следующие факторы, оказывающие наибольшее влияние на энергоёмкость процесса разрушения грунта симметричными лапами: амплитуда колебаний ( $A_k$ , мм), частота колебания ( $\omega_k$ , мин<sup>-1</sup>) и поступательная скорость ( $V_p$ , км/ч).

Уровни варьирования факторов были определены из следующих соображений. Пределы поступательной скорости установлены, исходя из агротехнических требований, предъявляемых к машинам для уборки корнеплодов, и устойчивой работы подкапывающих устройств: нижний предел ограничен минимальной поступательной скорости для уборки, а верхний – максимальной.

Нижняя и верхняя границы варьирования амплитуды и частоты колебания были определены экспериментально в ходе проведения лабораторных исследований, шаг изменения факторов для амплитуды принимался равным 3 мм, а для частоты колебания 750 мин<sup>-1</sup>.

С целью выявления взаимосвязи между амплитудой и частотой колебания подкапывающего устройства нами были проведены экспериментальные исследования при разной поступательной скорости. При поступательной скорости от 1,4 до 4,8 км/час,  $A_k = 15$  мм и  $\omega_k = 2100$  мин<sup>-1</sup> измеряли потребную мощность для привода подкапывающего устройства.

В дальнейшем будем использовать кодовые обозначения уровней факторов: нижнего – «-1», верхнего – «+1» и нулевого (промежуточного) – «0».

Принимаем следующие значения факторов и интервалов их варьирования, которые представлены в таблице 1.

Для проверки гипотезы воспроизводимости эксперимента при одинаковой повторности опытов, равной трём, использовался  $G$  – критерий Кохрена, значимость коэффициентов регрессии определяли  $t$  – критерием Стьюдента, а адекватность уравнения регрессии результатам экспериментов проверяли по  $F$  – критерию Фишера при уровне значимости 0,05 [1, 2, 3].

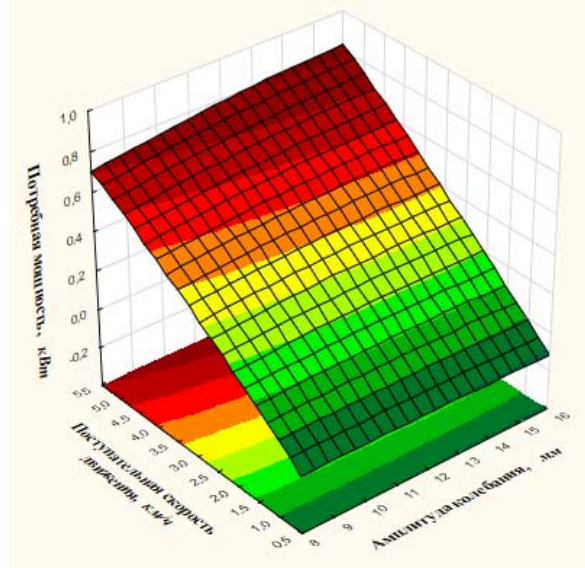
На основании реализации эксперимента и проверки воспроизводимости опытов (приложение В)  $G = 0,31 < G_{0,05(15)} = 0,33$  получена полиномиальная адекватная  $F = 2,08 < F_{0,05(7,30)} = 2,4$  модель влияния конструктивных и режимных параметров подкапывающего устройства на мощности для его привода:

$$y = 7,28 + 0,33x_1 + 5,1x_2 + 2,55x_3 - 0,19x_1^2 - 0,34x_2^2 + 0,63x_3^2 + 0,34x_1x_2 + 0,05x_1x_3 + 1,66x_2x_3 \quad (4)$$

Уравнение (4) определяет характер и степень влияния факторов ( $x_1$ ,  $x_2$  и  $x_3$ ) на мощность подкапывающего устройства. Графическая интерпретация уравнения регрессии представляет собой поверхности отклика (рисунок 3 и 4).

Знак «+» перед  $b_i$  в уравнении (4) указывает на то, что изменение  $x_i$  вызывает увеличение потребной мощности

для привода. Величина коэффициентов парных взаимодействий  $b_{ij}$  говорит о том, что действие одного из рассматриваемых факторов незначительно зависит от уровня, на котором находится другой фактор. Так как  $b_{ij}$  имеет положительный знак, то потребная на привод мощность увеличивается в тех случаях, когда оба фактора  $x_i$  и  $x_j$  находятся на верхних или нижних уровнях.



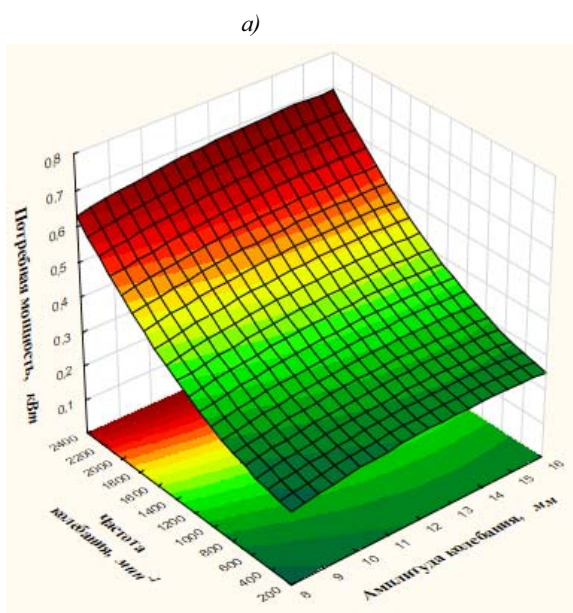
$$N_{np} = f(V_p; A_k) \text{ Source: own work}$$

Рис. 3. Поверхность отклика / Fig. 3. The surface response

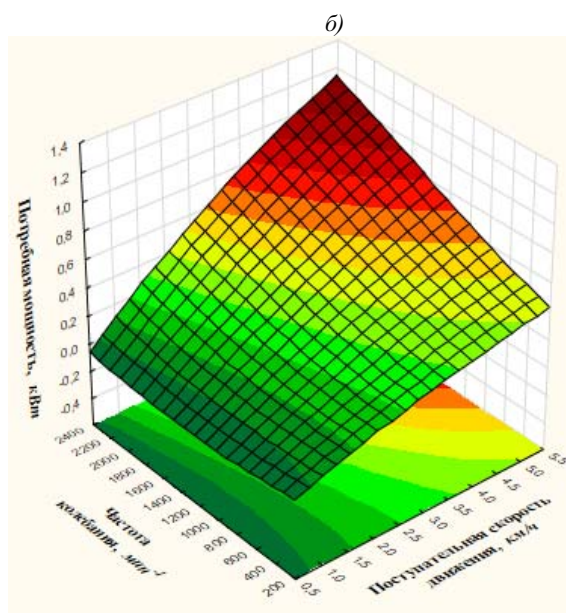
Таб. 1. Уровни факторов и интервалы их варьирования / Tab. 1. Levels of the factors and ranges of their variation

Наименование фактора	Обозначение	Уровни факторов					Интервалы варьирования
		- $\alpha$	-1	0	+1	+ $\alpha$	
Амплитуда колебания $A_k$ , мм	$x_1$	8,3	9	12	15	15,6	3
Поступательная скорость $V_p$ , км/ч	$x_2$	1,03	1,4	3,1	4,8	5,16	1,7
Частота колебания $\omega_k$ , мин <sup>-1</sup>	$x_3$	439	600	1350	2100	2261	750

Source: own work



$$N_{np} = f(\omega_k; A_k)$$



$$N_{np} = f(\omega_k; V_p)$$

Рис. 4. Поверхность отклика / Fig. 4. The surface response

Source: own work

Анализируя коэффициенты  $b_i$  уравнения регрессии, можно сделать вывод, что наибольшее влияние на потребную мощность оказывает поступательная скорость (коэффициент регрессии 5,10), затем частота колебания (коэффициент регрессии 2,55) и в меньшей мере амплитуда колебания (коэффициент регрессии 0,33).

#### 4. Заключение

1. Полученные результаты показывают, что применения в машине терибильного типа вибрационного подкапывающего органа, позволяет снизить энергозатраты на привод подкапывающего устройства за счёт предварительно обоснованных параметров частоты вращения и амплитуды колебания рабочих органов.

2. Степень влияния частоты колебания можно проиллюстрировать следующими данными: при её незначительном увеличении с 600 мин<sup>-1</sup> до 2100 мин<sup>-1</sup> потребная мощность при  $V_p=4,8$  км/ч увеличивается на 14,16 кВт (с 3,19 кВт до 17,35 кВт). При уменьшении поступательной скорости движения, уменьшается сопротивление перемещению обрабатываемой среды (грунта),

соответственно уменьшаются и энергозатраты для привода вибрационного подкапывающего устройства.

#### 5. Литература

- [1] Khaylis, G.A.: *Issledovaniye sel'skokhozyaystvennoy tekhniki i obrabotka opytmykh dannyykh*. G.A. Khaylis, M.M. Kovalov. M.: Kolos, 1994.
- [2] Kukiełka L.: *Podstawy badań inżynierskich*. Warszawa: PWN, 2002. ISBN 83-01-13749-5.
- [3] Melnikov S.V.: *Planirovanie eksperimenta w issledovaniach selskhozajstviennykh procesov*. Leningrad: Kolos, 1980.
- [4] PN-86/R-36500. *Maszyny rolnicze. Kombajny do zbioru ziemniaków. Ogólne wymagania i badania*.
- [5] Tanaś W.: Kinematics, working parameters and modes of swing-type digging share of elevator-type potato combine. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 2009, 64 (1), 69-72.
- [6] Tanaś W.: Optymalny kąt nachylenia lemiesza w zespołach podkopujących maszyn do zbioru ziemniaków. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 2009, 64 (1), 62-64.