

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ЯРУСНОГО ГЛУБОКОРЫХЛИТЕЛЯ С ПОЧВОЙ

**Шевченко И.А.,** член-корреспондент НААН, профессор, д.т.н.  
**Лабатюк Ю.М.,** инженер  
(ННЦ «ИМЭСХ» НААН)

*В результате многофакторного эксперимента были установлены зависимости геометрических параметров расположения рабочих органов на показатель качества рыхление почвы, среднее значение и среднеквадратичное отклонение тягового сопротивления.*

**Проблема.** В результате взаимодействия рабочих органов глубокорыхлителя с грунтом возникают силы сопротивления, которые влияют на положение основной рамы. В связи с тем, что рабочие органы жестко связаны с основанием рамы, то изменение ее положения приведет к изменению глубины хода и сопротивления их. Поэтому колебания рамы глубокорыхлителя во время работы будут способствовать ухудшению качества обработки почвы и повышению тягового сопротивления машины в целом [1-4].

**Цель исследований.** Основной целью экспериментальных исследований была проверка и корректировка теоретических положений и выводов по обоснованию размещения рабочих органов на раме орудия.

**Материалы и результаты исследований.** Исследования проводились с применением метода математического планирования многофакторного эксперимента, который позволяет определить математические модели процессов в виде уравнений регрессии. В соответствии с поставленными задачами было выбрано D-оптимальный план второго порядка для 4 факторов. Факторами эксперимента были выбраны расстояние между рабочими органами первого и второго ряда (по ширине) –  $X_1$ , глубина обработки рабочими органами второго ряда –  $X_2$ , расположение рабочих органов первого ряда относительно второго по длине машины –  $X_3$ , расположение рабочих органов третьего ряда относительно второго по длине машины –  $X_4$  (рис. 1). Исследуемые параметры и диапазоны их варьирования приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Параметры варьирования в экспериментальных исследованиях

Обозначение фактора	Уровень факторов			Интервалы варьирования
	-1	0	+1	
$X_1$	0,35	0,50	0,65	0,15
$X_2$	0,20	0,30	0,40	0,10
$X_3$	0,15	0,25	0,35	0,10
$X_4$	0,25	0,45	0,65	0,20

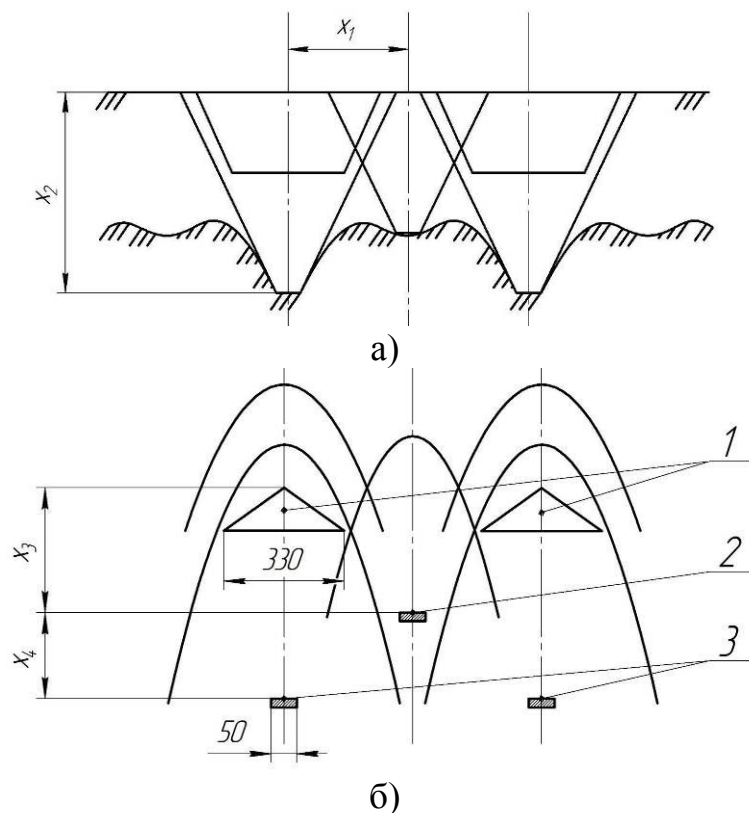


Рисунок 1 – Схема расположения рабочих органов и распространения деформации в грунте под их воздействием: а – вид спереди, б – вид сверху, 1 – первый ряд рабочих органов, 2 – второй ряд рабочих органов, 3 – третий ряд рабочих органов

В процессе проектирования методики полевого эксперимента большое значение уделялось выбору и подготовке участка, оценке агротехнических показателей работы глубокорыхлителя. Испытания проводились в соответствии с разработанной общей методикой в агрофирме «Дружба» Токмакского района Запорожской области, Украина. Агрофон – стерня озимой пшеницы после дискования. Тип почвы – темно-каштановая среднесуглинистая. Скорость агрегата – 1,67...3,33 м/с. Глубина обработки – 10...40 см.

Параметрами оптимизации в опытах является:  $K_p$  – показатель качества рыхления почвы, %;  $R_x$  – среднее значение тягового сопротивления рабочих органов, кН;  $\sigma_R$  – среднеквадратическое отклонение тягового сопротивления рабочих органов, кН. Полевая установка состояла из исследуемого глубокорыхлителя, рамки с тензометрическим звеном и регистрирующей аппаратуры (рис. 2, а). Регистрирующая аппаратура включала: осциллограф К12-22 и тензоусилитель "Топаз-3", который используется как источник бесперебойного питания тензомоста датчика (рис. 2, б). Хорошая чувствительность тензодатчика позволяет фиксировать показания, которые поступают с тензомостов, без усиления сигнала (рис. 2, в). Питание устройств осуществляется от двух аккумуляторных батарей СТ-175, которые устанавливаются в кабине трактора.



а)



б)



в)

Рисунок 2 – Общий вид экспериментальной полевой установки (а), регистрирующей аппаратура (б) и кольцевого тензозвена (в)

Согласно результатам исследований было создана математическая модель влияния исследуемых факторов на показатель качества рыхления почвы:

$$K_p = -89,11 + 225,00 \cdot x_1 - 250,00 \cdot x_1^2 + 346,94 \cdot x_2 - 510,20 \cdot x_2^2 + 295,92 \cdot x_3 - 510,20 \cdot x_3^2 + 99,17 \cdot x_4 - 132,23 \cdot x_4^2, \quad (1)$$

Анализируя уравнение (1), можно утверждать, что на показатель качества рыхление почвы влияют все вышеупомянутые факторы. При этом при варьировании значений факторов в заданном диапазоне показатель качества рыхление почвы имеет оптимум (максимальное значение):

$$K(x_1 = 0,45 \text{ м}; x_2 = 0,34 \text{ м}; x_3 = 0,29 \text{ м}; x_4 = 0,375 \text{ м}) = 82,0\%. \quad (2)$$

Графическую интерпретацию попарных взаимодействий зависимости (1) при фиксированных оптимальных значениях представлено на рис. 3.

Согласно результатам исследований было создана математическая модель влияния исследуемых факторов на среднее значение тягового сопротивления рабочих органов:

$$R_x = 11,93 - 20,94 \cdot x_1 + 19,39 \cdot x_1^2 - 18,57 \cdot x_2 + 35,71 \cdot x_2^2 - 10,39 \cdot x_3 + 27,34 \cdot x_3^2 - 5,99 \cdot x_4 + 8,32 \cdot x_4^2, \quad (3)$$

Анализируя уравнение (3), можно утверждать, что на тяговое сопротивление рабочих органов влияют все вышеупомянутые факторы. При этом при варьировании значений факторов в заданном диапазоне среднее значение тягового сопротивления рабочих органов имеет оптимум (минимальное значение):

$$R_x(x_1 = 0,54 \text{ м}; x_2 = 0,26 \text{ м}; x_3 = 0,19 \text{ м}; x_4 = 0,36 \text{ м}) = 1,8 \text{ кН}. \quad (4)$$

Графическую интерпретацию попарных взаимодействий зависимости (3) при фиксированных оптимальных значениях представлено на рис. 4.

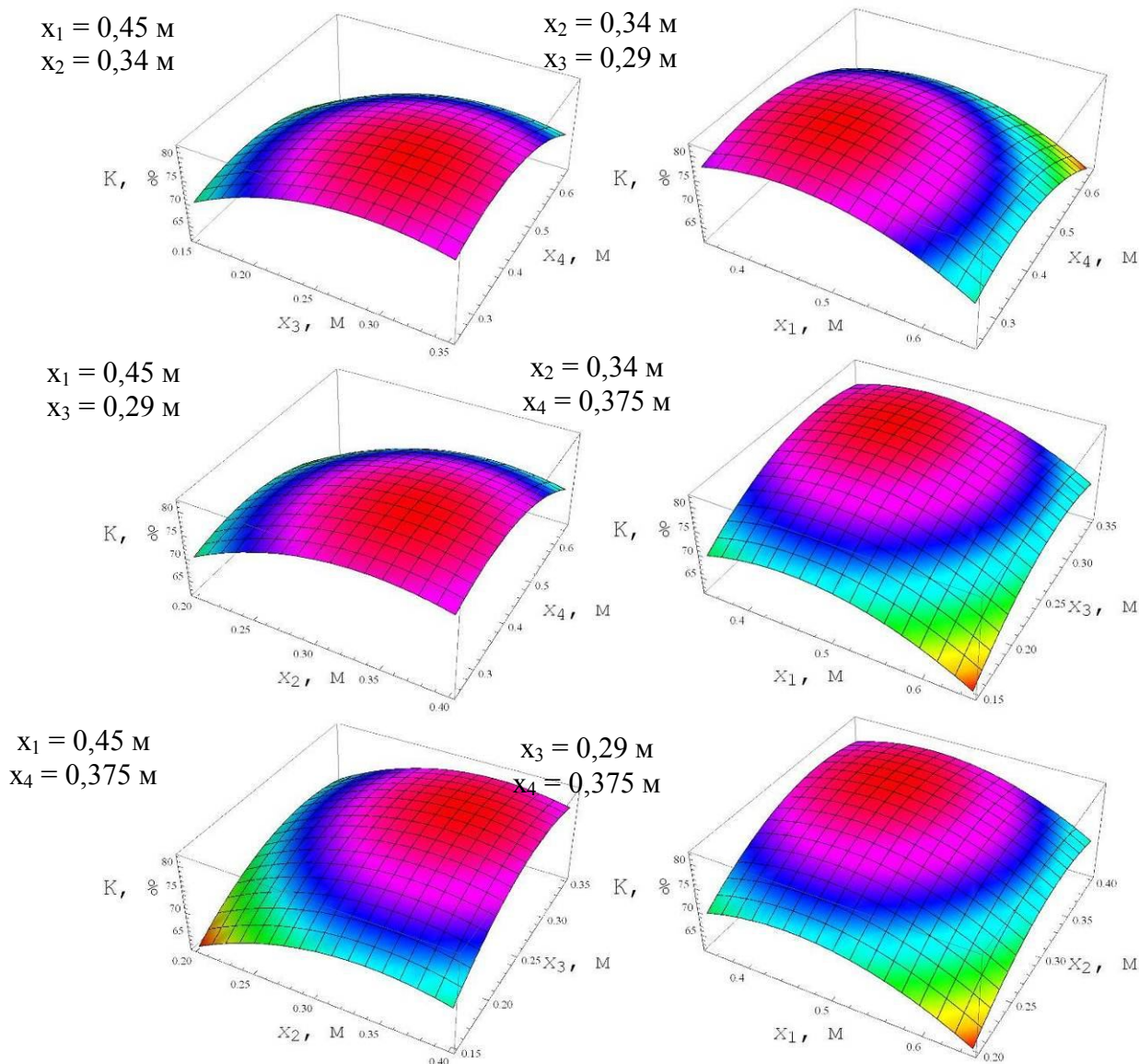


Рисунок 3 – Влияние факторов на показатель качества рыхление почвы K

Согласно результатам исследований было создана математическая модель влияния исследуемых факторов на среднеквадратичное отклонение тягового сопротивления:

$$\sigma_R = 0,847 + 2,779 \cdot x_1^2 - 1,803 \cdot x_2 + 1,559 \cdot x_1 x_2 + 4,385 \cdot x_2^2 - 1,179 \cdot x_3 - 1,156 \cdot x_2 \cdot x_3 + 4,593 \cdot x_3^2 - 1,522 \cdot x_1 \cdot x_4 - 2,157 \cdot x_2 \cdot x_4 + 0,898 \cdot x_4^2. \quad (5)$$

Анализируя уравнения (5), можно утверждать, что на среднеквадратичное отклонение тягового сопротивления рабочих органов влияют все вышеупомянутые факторы. При этом при варьировании значений факторов в заданном диапазоне тяговое сопротивление рабочих органов имеет оптимум (минимальное значение):

$$\sigma_R(x_1 = 0,50 \text{ м}; x_2 = 0,24 \text{ м}; x_3 = 0,20 \text{ м}; x_4 = 0,37 \text{ м}) = 0,033 \text{ кН}. \quad (6)$$

Графическую интерпретацию попарных взаимодействий зависимости (5) при фиксированных оптимальных значениях представлено на рис. 5.



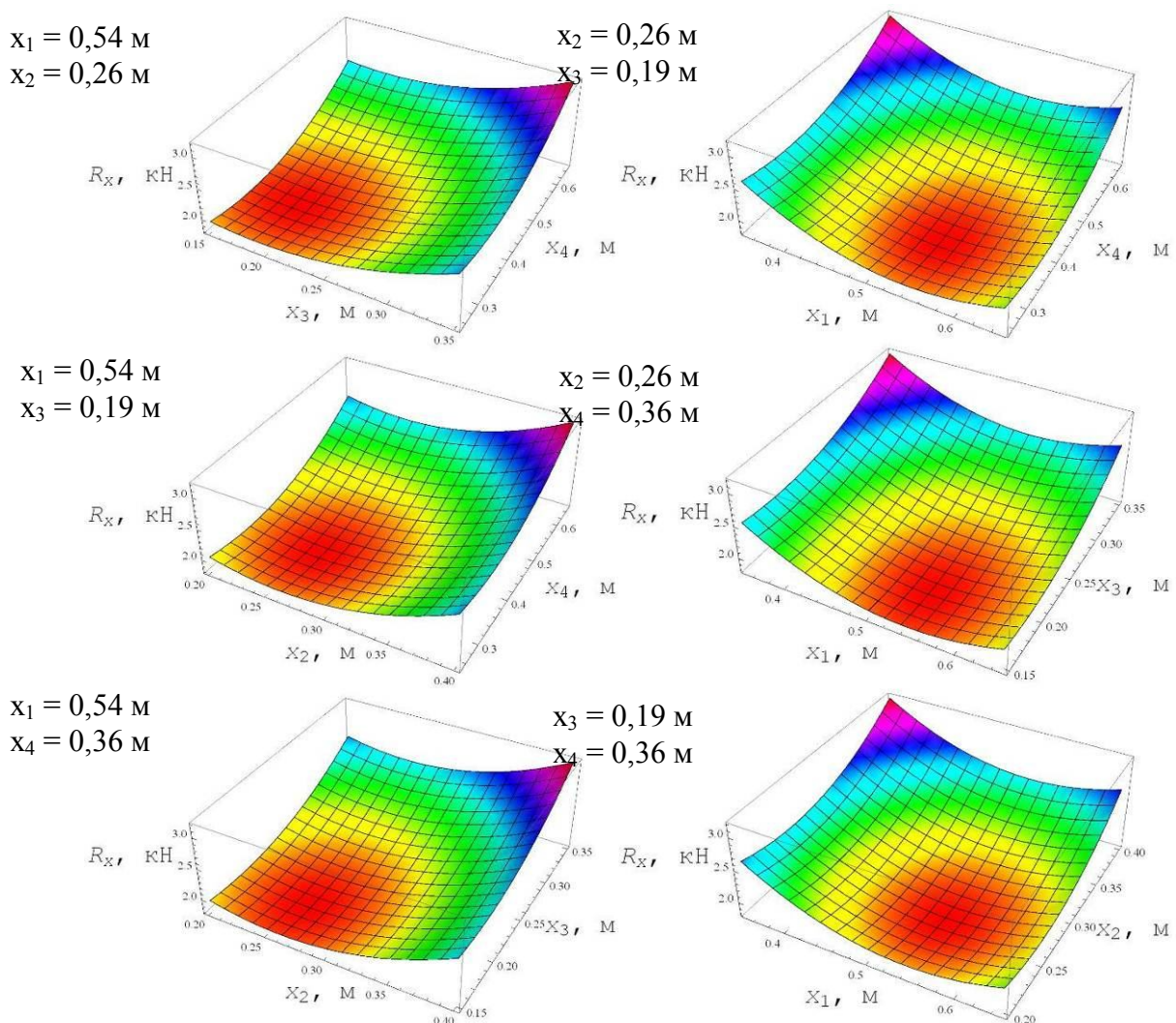


Рисунок 4 – Влияние факторов на среднее значение тягового сопротивления  $R_x$

Анализируя выражения (1), (3), (5), видно, что оптимумы по критериям: показатель качества рыхление почвы, среднее значение и среднее квадратичное отклонение тягового сопротивления не совпадают. Итак, для нахождения оптимальных значений факторов необходимо решение компромиссной задачи поиска оптимума для двух критериев [5, 6, 7].

Задачей решения компромиссной задачи была минимизация среднего значения и среднее квадратичного отклонения тягового сопротивления при максимальном показателе качества рыхление почвы, т.е.

$$\begin{cases}
 R_x(x_1, x_2, x_3, x_4) \rightarrow \min; \\
 \sigma_R(x_1, x_2, x_3, x_4) \rightarrow \min; \\
 K(x_1, x_2, x_3, x_4) \rightarrow \max; \\
 0,35 \leq x_1 \leq 0,65; \\
 0,2 \leq x_2 \leq 0,4; \\
 0,15 \leq x_3 \leq 0,35; \\
 0,25 \leq x_4 \leq 0,65.
 \end{cases}
 \quad (7)$$

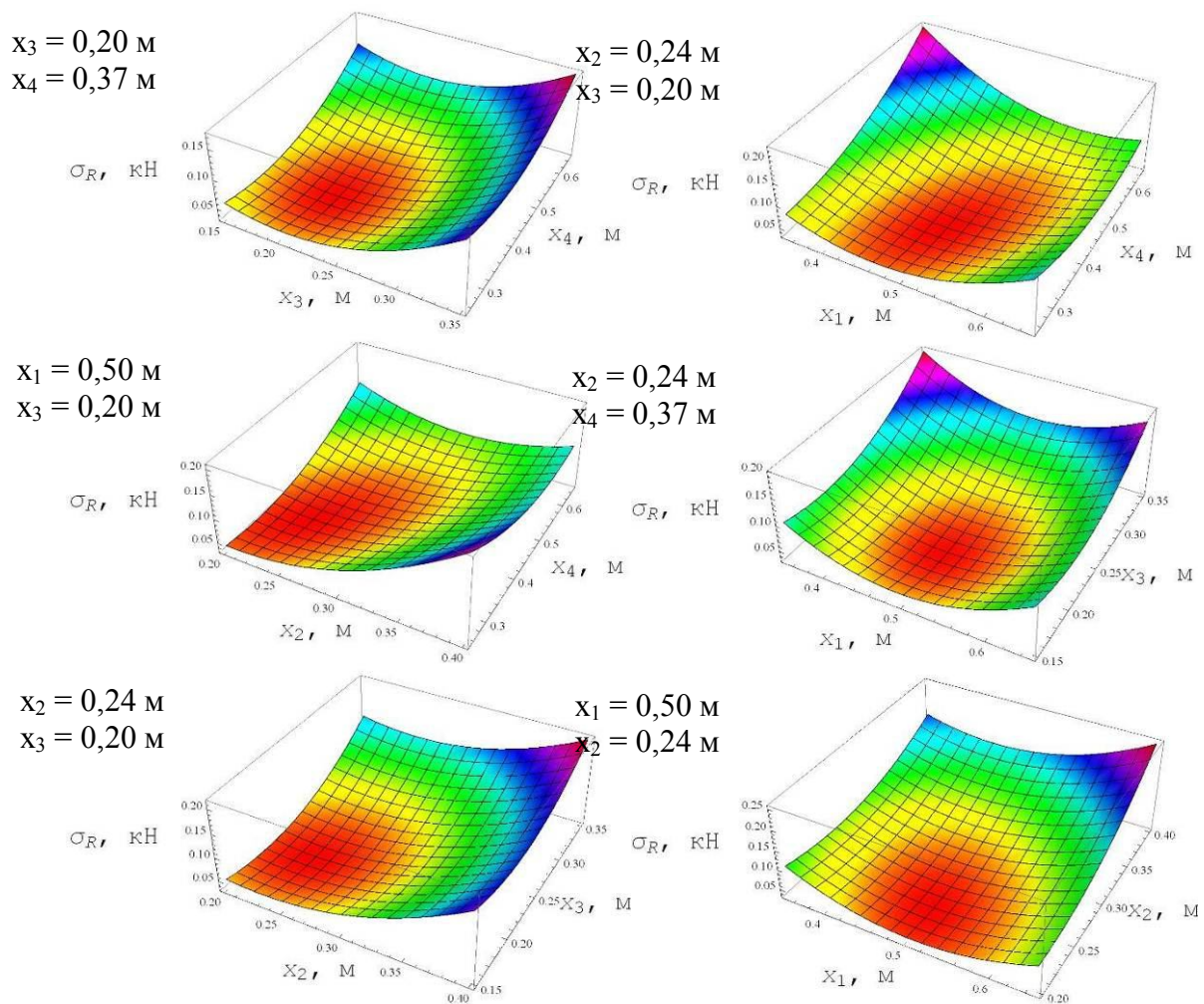


Рисунок 5 – Влияние факторов на среднеквадратическое отклонение тягового сопротивления рабочих органов  $R_x$

Решение задачи (7) с помощью программного пакета «Mathematica» привели к рациональным геометрическим параметрам расположения рабочих органов глубокорыхлителя:

$$x_1 = 0,49...0,50 \text{ м}; x_2 = 0,24...0,25; x_3 = 0,19...0,20 \text{ м}; x_4 = 0,36...0,37 \text{ м};$$

$$K = 71,5...80,0 \text{ \%}; R_x = 1,84...1,91 \text{ кН}; \sigma_{R_x} = 0,034... 0,070 \text{ кН}. \quad (8)$$

**Выводы.** 1. Результаты экспериментальных исследований подтвердили теоретические положения, а именно уменьшение амплитуды угловых колебаний поворота рамы относительно места крепления глубокорыхлителя к трактору приводит к уменьшению среднеквадратичное отклонение его тягового сопротивления.

2. В результате многофакторного эксперимента были установлены зависимости геометрических параметров расположения рабочих органов на показатель качества рыхления почвы, среднее значение и среднеквадратичное отклонение тягового сопротивления.

3. По результатам решения компромиссной задачи, задачей которой является минимизация среднего значения и среднеквадратического отклонения тягового сопротивления при максимальном показателе качества рыхление почвы, были получены рациональные геометрические параметры расположения рабочих органов глубокорыхлителя:

- расстояние между рабочими органами первого и второго ряда (по ширине)  $x_1 = 0,49 \dots 0,50$  м;
- глубина обработки рабочими органами второго ряда  $x_2 = 0,24 \dots 0,25$  м;
- расположение рабочих органов первого ряда относительно второго по длине орудия  $x_3 = 0,19 \dots 0,20$  м;
- расположение рабочих органов третьего ряда относительно второго по длине орудия  $x_4 = 0,36 \dots 0,37$  м.

### Список литературы

1. Shevchenko I. Doskonalenie technologii i narzedzi uprawowych w aspekcie wlasciwosci agrofizycznych gleb.- Warszawa: IBMER (Poland), 1997. - S.111.
2. Шевченко И.А., Кушнарев А.С. Экспериментальное об основании расстояния между ступенями на ступенчатом лемехе / Техника в сельском хозяйстве, N 6, 1991.
3. Зеленин А.Н. Основы разрушения грунтов механическим способом / А.Н. Зеленин – М.: Машиностроение, 1968. – 376 с.
4. Shevchenko I., Krughachkovskij N. Agrotechnological background of methods development for designing of technologies and soil tillage facilities // Internah. Conference ISTRO: Contemporary state and perspectives of the agronomical practicies after year 2000. - Brno (Czech Republic), 1999. - P.68-7.
5. Соболев И.М. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. – М.: Наука, 1981. – 154 с.
6. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. – М.: Наука, 1982. – 208 с.
7. Подиновский В.В., Гаврилов В.М. Оптимизация по последовательно применяемым критериям. – М.: Сов. радио, 1975. – 222 с.

### Аннотация

#### **Результати експериментальних досліджень процесу взаємодії робочих органів ярусного глибокорушувача із ґрунтом**

Шевченко І.А., Алієв Е.Б.

*В результаті багатofакторного експерименту були встановлені залежності геометричних параметрів розташування робочих органів на показник якості розпушування ґрунту, середнє значення і середньоквадратичне відхилення тягового опору.*

## **Abstract**

### **Results of experimental research of the interaction working with the soil subsoiler**

I. Shevchenko, U. Lobatuk

*In multivariate experiment were set according the geometric parameters of the location of the workers on the quality index loosening the soil, the mean and standard deviation of the traction resistance.*