

УДК 631.316.022

**М.М. Петренко, проф., канд. техн. наук, Т.К. Марченко, асп.**

*Кіровоградський національний технічний університет*

## Експериментальне дослідження двохярусного розпушувача з метою зниження руйнівного впливу на агрегатну структуру ґрунту

В статті проведено моделювання взаємодії двохярусного розпушувача з ґрунтом в програмному середовищі SolidWorks. В програмі MathCad отримано математичну модель оптимізації для робочих органів верхнього та нижнього ярусів. Експериментальним шляхом визначено параметри і режими роботи двохярусного розпушувача, при яких досягається мінімальне ущільнення ґрунту робочими органами і мінімально достатнє перекриття суміжних борозен.

**ізобари в ґрунті, двохярусний розпушувач, ущільнення ґрунту, перекриття суміжних борозен**

**Н.Н. Петренко, проф., канд. техн. наук, Т.К. Марченко, асп.**

*Кіровоградський національний технічний університет*

**Экспериментальное исследование двухярусного рыхлителя с целью снижения разрушительного воздействия на агрегатную структуру почвы**

В статье проведено моделирование взаимодействия двухярусного рыхлителя с почвой в программной среде SolidWorks. В программе MathCad получена математическая модель оптимизации для рабочих органов верхнего и нижнего ярусов. Экспериментальным путем определены параметры и режимы работы двухярусного рыхлителя, при которых достигается минимальное уплотнение почвы рабочими органами и минимально достаточное перекрытие смежных борозд.

**ізобари в почве, двухярусний рыхлитель, уплотнение почвы, перекрытие смежных борозд**

**Постановка проблеми.** Актуальною проблемою ХХІ сторіччя є деградація земель внаслідок інтенсивного землеробства, в тому числі основної обробки ґрунтів. Основними напрямками збереження агрегатної структури ґрунтів під час розпушування є зниження повторного впливу на ґрунт, а також зменшення ступеня ущільнення ґрунтових гліб під час обробки.

Дослідженню взаємодії робочих органів ярусних розпушувачів з ґрунтом присвячені роботи В.М. Сало, Г.М. Дьяченко, Ю.І. Мозгового, А.Г. Дьяченко, С.Г. Соловйова, М.П. Ерзамаева, А.Г. Акчуріна, А.П. Лук'янчука та ін. Загальним недоліком запропонованих ними конструкцій є трапецієвидна форма профілю борозни, яка призводить до утворення високих гребенів дна орного горизонту. Для усунення цього недоліку суміжні робочі органи зближують по ширині захвату, але це, в свою чергу, призводить до перетину верхніх частин суміжних борозен і повторного впливу на ґрунт, підвишуючи його структурну деградацію.

Одним з головних показників пошкодження агрегатів ґрунту є їх ущільнення під дією робочих органів. Умови появи ущільненого ядра перед робочим органом досліджувалися Є. Дінгідером, У. Ратьє, А. С. Кушнар'євим, Payne PSI, Tanner DW, Dexter AL [1 - 3]. Згідно з дослідженнями І.Я. Айзеншток, О.М. Зеленіна, С.О. Сидорова [4, 5] можна припустити, що процедура утворення ущільненого ядра носить циклічний характер. Розмір ущільненого ґрунтового ядра залежить від властивостей ґрунту, кута різання та стану робочої поверхні.

**Мета дослідження** - експериментальним шляхом визначити параметри і режими роботи двохярусного розпушувача, при яких досягається мінімальне ущільнення ґрунту робочими органами і мінімально достатнє перекриття суміжних борозен.

Схема установки робочих органів секції розпушувача представлена на рис. 1.

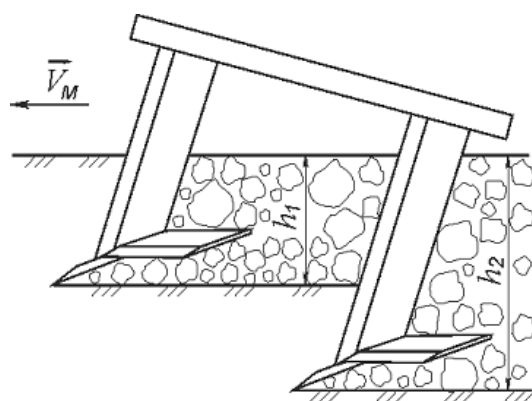


Рисунок 1 - Схема установки робочих органів секції розпушувача

В якості цільових функцій були прийняті:

1) коефіцієнт перекриття суміжних борозен  $k_{\Pi}$ ,

$$k_{\Pi} = \frac{S_{\Pi}}{S_p},$$

де  $S_{\Pi}$  – площа перекриття суміжних борозен,  $\text{м}^2$ ;

$S_p$  – площа поперечного перетину борозни, одержуваної одним робочим органом,  $\text{м}^2$  (рис. 2);

2) коефіцієнт ущільнення грудок ґрунту  $k_y$ ,

$$k_y = \frac{\rho_d}{\rho_{\Pi}},$$

де  $\rho_d$  – об'ємна маса ґрунту до обробітку,  $\text{г}/\text{см}^3$ ;

$\rho_{\Pi}$  – об'ємна маса грудок ґрунту після обробітку,  $\text{г}/\text{см}^3$ ;

3) коефіцієнт гребнистості дна борозни

$$k_r = \frac{S_r}{S_p},$$

де  $S_r$  – площа гребеня на дні борозни,  $\text{м}^2$ .

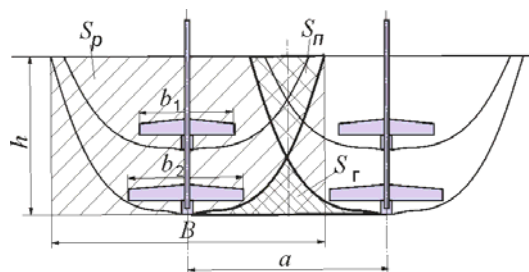


Рисунок 2 – Схема до визначення коефіцієнта перекриття борозен

Моделювання взаємодії двохярусного розпушувача з ґрунтом в програмному середовищі SolidWorks (рис. 3) дозволило вивчити форму ізобар, що виникають у ґрунті під час проходження робочих органів і зробити висновок, що при певних співвідношеннях параметрів робочих органів верхнього та нижнього ярусів можна досягти більш повної, прямовисної форми профілю борозни. Це дозволяє зменшити ступінь перекриття суміжних борозен і, одночасно, гребенистість дна.

Встановлено, що на перераховані цільові функції у найбільшій мірі впливають ширина робочого органу  $x_1$ , кут розхилу ножів  $x_2$ , кут кришення ножів  $x_3$ , глибина  $x_4$  і швидкість обробітку  $x_5$ , а також фізико-механічні властивості ґрунту - вологість  $x_6$  і щільність  $x_7$ .

Експериментальні дослідження процесу розпушування проводилися на ґрунтовому каналі (рис. 4) у два етапи. На першому етапі (рис. 4, а) досліджувалися

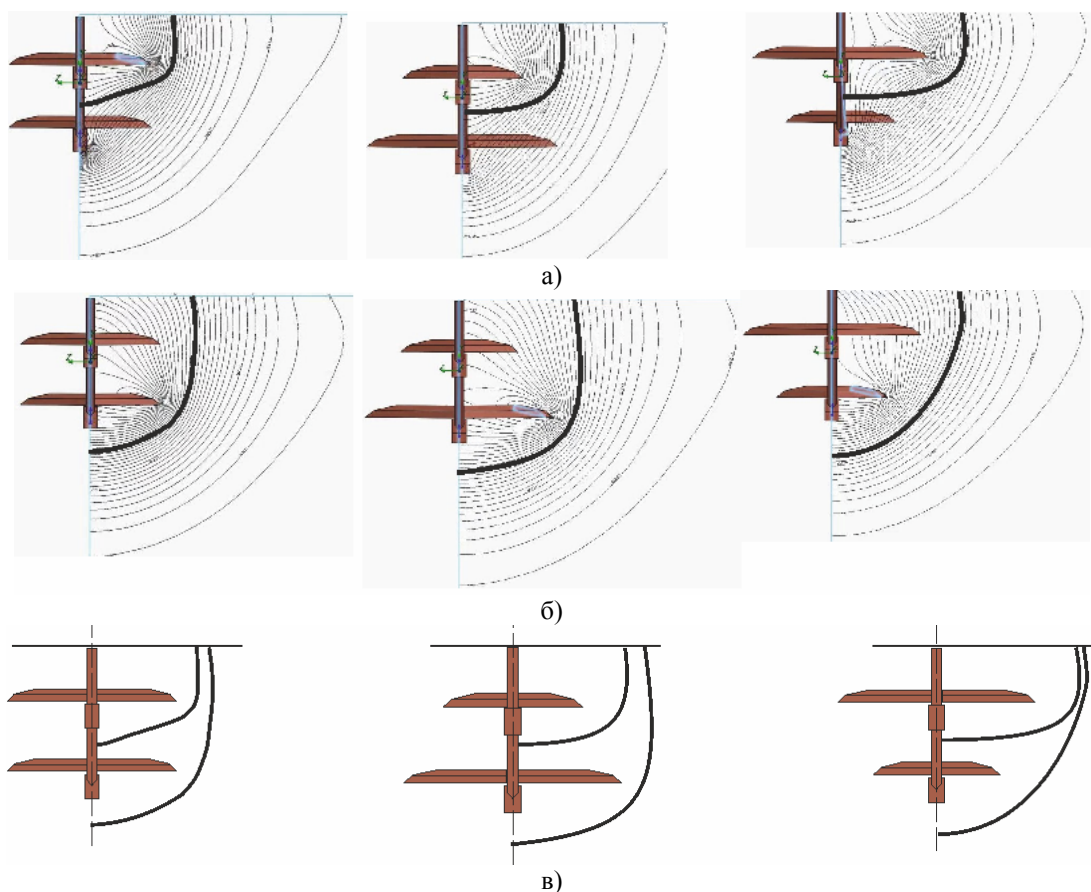
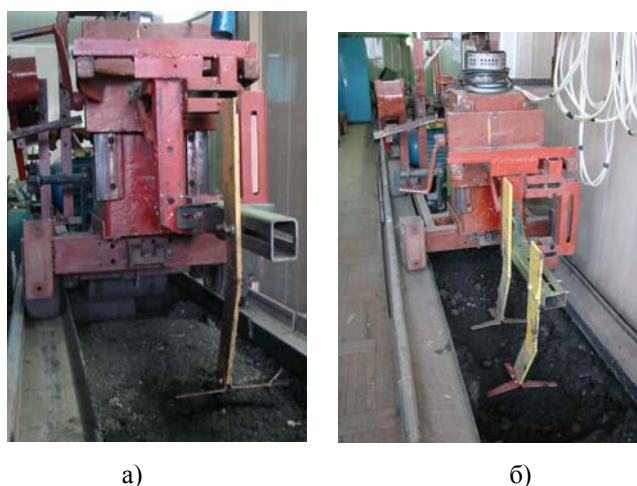


Рисунок 3 – Ізобари в ґрунті - перетин по робочому органу верхнього ярусу (а), перетин по робочому органу нижнього ярусу (б); поперечний профіль борозни при різних варіантах ширини захвату за ярусами (в)

вплив конструктивних параметрів і швидкості руху одиночного робочого органу на ширину і форму борозни, які визначають ступінь перекриття суміжних борозен і величину гребнистості дна борозни, а також на ступінь ущільнення грудок ґрунту робочим органом у процесі розпушування.



а) одиночний робочий орган; б) поярусно розташовані робочі органи

Рисунок 4 – Дослідження робочих органів розпушувача на ґрунтовому каналі

Для дослідження форми і розмірів борозни використовувався метод контрольних маркерів [6]. Загальна глибина розпушування двоярусним розпушувачем становить 0,2 м. У ґрунт закладалися маркери чотирьох кольорів на глибинах 0,05, 0,10, 0,15 і 0,20 м у вигляді тривимірної решітки з кроком 0,05 м. Після проходження робочого органу вимірювалися і фіксувалися нові координати маркерів (рис. 5).

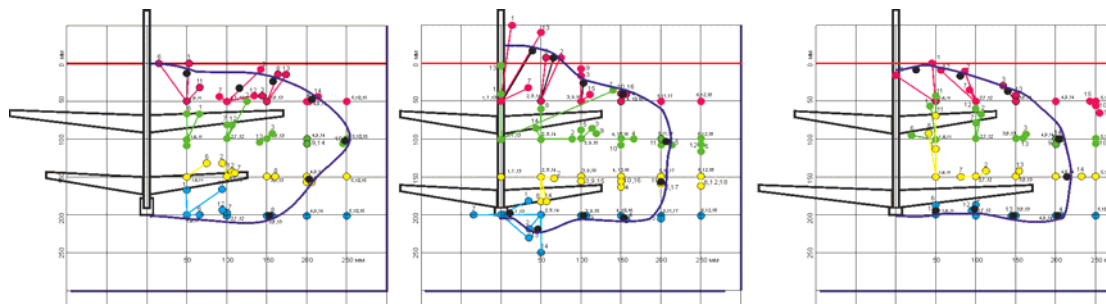


Рисунок 5 – Форма борозни, отримана методом контрольних маркерів при різних розмірах ножів

Ущільнення грудок ґрунту оцінювалося визначенням їх об'ємної маси до і після впливу робочого органу. Перед проходженням робочого органу відбирали шість проб ґрунту за допомогою шанцевого інструменту і зважували на електронних вагах з точністю до 0,01 г. Визначали об'єм кожної навіски, занурюючи її в ємність, наповнену водою. Об'єм навіски приймався рівним об'єму витісненої води. Об'ємну вагу обчислювали за формулою

$$\rho_a = \sum_{i=1}^n m_i / \sum_{i=1}^n V_{ei},$$

де  $m_i$  – маса  $i$ -навіски ґрунту, г;

$V_{ei}$  – об'єм витісненої  $i$ -навіскою води,  $\text{см}^3$ ;

$i$  – порядковий номер навіски;

$n$  – кількість навісок.

Після проходження робочого органу знову відбирали проби ґрунту і визначали об'ємну масу грудок за вищеописаною методикою. Обчислювали коефіцієнт ущільнення як відношення об'ємної маси ґрунту після обробітку до його об'ємної маси до обробітку.

Експериментальним шляхом отримано рівняння регресії ширини борозни на поверхні залежно від параметрів робочого органу та ґрунтових умов

$$Y_1 = 0,46 + 0,04 \cdot x_1 + 0,047 \cdot x_3 + 0,018 \cdot x_4 + 0,017 \cdot x_6 + 0,028 \cdot x_7 - 0,074 \cdot x_1^2 + 0,056 \cdot x_2^2 - 0,117 \cdot x_3^2 + 0,042 \cdot x_4^2 - 0,061 \cdot x_5^2 + 0,039 \cdot x_6^2 + 0,069 \cdot x_7^2 + 0,357 \cdot x_3 \cdot x_7. \quad (1)$$

Ущільнення грудок ґрунту деформаторами робочого органу, пов'язане з параметрами робочого органу наступною залежністю

$$Y_2 = 1,11 + 0,015 \cdot x_2 + 0,036 \cdot x_3 + 0,012 \cdot x_5 + 0,018 \cdot x_6 - 0,011 \cdot x_7 + 0,016 \cdot x_1^2 - 0,017 \cdot x_3^2 - 0,03 \cdot x_4^2 + 0,015 \cdot x_6^2 + 0,024 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,012 \cdot x_2 \cdot x_4. \quad (2)$$

Гребнистість дна борозни пов'язана з впливовими факторами залежністю

$$Y_3 = 0,04 - 0,019 \cdot x_1 - 0,005 \cdot x_2 - 0,014 \cdot x_3 + 0,029 \cdot x_4 - 0,024 \cdot x_5 - 0,005 \cdot x_6 - 0,003 \cdot x_7 + 0,006 \cdot x_1^2 - 0,008 \cdot x_2^2 + 0,005 \cdot x_3^2 - 0,036 \cdot x_4^2 - 0,007 \cdot x_5^2 - 0,009 \cdot x_6^2 - 0,01 \cdot x_7^2 + 0,007 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,006 \cdot x_1 \cdot x_6 + 0,013 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0,031 \cdot x_3 \cdot x_4 + 0,006 \cdot x_3 \cdot x_6. \quad (3)$$

У системі точного землеробства відхилення від паралельності при обробі ґрунту з використанням GPS-навігації та гідравлічного автопілоту на тракторах становить  $\pm 2$  см на полі площею в 100 га [7]. Поперечний крок установки робочих органів у знаряддя - прототипу ГРН - 2,9 [8] становить 0,325 м. Таким чином, мінімальна ширина борозни по поверхні поля, що забезпечує роботу без пропусків, становить  $B = 0,325 + 2 \cdot 0,02 = 0,365$  м.

Робочу глибину для першого, верхнього ярусу обмежили 0,1 ... 0,15 м, що в кодованій формі становить  $x_4 = -1 \dots 0$ . При середніх значеннях щільності  $\rho = 1500$  кг/м<sup>3</sup> і вологості  $\omega = 20$  % (стиглий ґрунт) математична модель оптимізації має вигляд

$$\begin{cases} B_1 = 0.365 \\ Y_2(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) \rightarrow \min \\ x_6 = 0, x_7 = 0 \\ x_1, x_2, x_3, x_5 \in [-1; 1] \\ x_4 \in [-1; 0] \end{cases}$$

Результати оптимізації для робочого органу верхнього ярусу:  $x_1 = 0$  ( $b = 0.26$  м),  $x_2 = -1$  ( $\gamma = 60^\circ$ ),  $x_3 = -1$  ( $\alpha = 15^\circ$ ),  $x_4 = -1$  ( $h_1 = 0.1$  м),  $x_5 = -1$  ( $v = 1,42$  м/с).

На другому етапі (рис. 4, б) досліджувалося співвідношення розмірів робочих органів двох ярусів з метою мінімізації ступеня перекриття суміжних борозен за умови мінімального ущільнення ґрунту робочими органами. Фактори, що впливають на ці показники наведені у табл. 1:

Таблиця 1 - Фактори, що впливають на показники якості роботи розпушувача і рівні їх варіювання

№ пп.	Фактори		Рівні варіювання			Інтервал варіювання
	Найменування	Позначення	Нижній (-)	Нульовий (0)	Верхній (+)	
1	Глибина установки робочого органу верхнього ярусу, $h_1$ , м	$x_1$	0,08	0,10	0,12	0,02
2	Ширина захвату робочого органу нижнього ярусу, $b_2$ , м	$x_2$	0,2	0,26	0,32	0,06
3	Кут кришення ножів нижнього ярусу, $\alpha_2$ , град	$x_3$	20	25	30	5
4	Кут розхилу ножів нижнього ярусу, $\gamma_2$ , град	$x_4$	60	90	120	30
5	Швидкість розпушування, $v_m$ , м/с	$x_5$	1,42	2,36	3,31	0,94
6	Вологість ґрунту, $\omega$ , %	$x_6$	16	20	24	4
7	Щільність ґрунту, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$x_7$	1400	1500	1600	100

Експериментальним шляхом для двох робочих органів отримана регресійна модель для коефіцієнта перекриття суміжних борозен

$$Y_4 = 0,21 - 0,013 \cdot x_1 - 0,016 \cdot x_2 + 0,019 \cdot x_3 + 0,014 \cdot x_5 + 0,015 \cdot x_6 + 0,013 \cdot x_7 - 0,043 \cdot x_2^2 + 0,011 \cdot x_3^2 - 0,015 \cdot x_5^2 - 0,023 \cdot x_6^2 - 0,01 \cdot x_7^2 \quad (4)$$

Виходячи з цих міркування, математична модель оптимізації для робочих органів нижнього ярусу запишеться наступним чином

$$\begin{cases} B_2 = B_1 = 0.365 \\ op = m_1 \cdot Y_4(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) + m_2 \cdot Y_2(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) \rightarrow \min \\ x_6 = 0, x_7 = 0 \\ x_1, x_2, x_3, x_5 \in [-1; 1] \\ x_4 = -1 \end{cases}$$

де  $op$  – узагальнений показник якості;

$m_1, m_2$  – вагові коефіцієнти цільових функцій (у розрахунках приймалися  $m_1 = 0.6, m_2 = 0.4$ ).

На основі рівнянь регресії (1 - 4) була проведена оптимізація коєнструктивних і режимних параметрів робочого органу розпушувача. Вологість  $x_6$  і щільність ґрунту  $x_7$  фіксувалися на рівнях, відповідних реальним ґрунтових умов для чорнозему типового.

Результати оптимізації робочого органу нижнього ярусу:  $x_1 = 0,476$  ( $b = 0,289$  м),  $x_2 = -1$  ( $\gamma = 60^\circ$ ),  $x_3 = -0,706$  ( $\alpha = 21,5^\circ$ ),  $x_4 = 1$  ( $h_1 = 0,2$  м). Оскільки умову  $B_2 = B_1$  не вдається виконати при  $x_5 = -1$ , вибираємо мінімальне значення швидкості, при якому ця умова починає виконуватися  $x_5 = 0,681$  ( $v = 3$  м/с). При цьому досягнута ступінь ущільнення ґрунтових грудок  $k_y = 1,05$ , гребнистість дна борозни  $k_r = 0,094$ .

**Висновок.** Значення оптимальних параметрів та режимів роботи двохярусного розпушувача, отримані для сукупності показників якості:  $x_1 = 1$  ( $h_1 = 0,12$  м),  $x_2 = 1$  ( $b_2 = 0,32$  м),  $x_3 = -0,864$  ( $\alpha = 21,5^\circ$ ),  $x_4 = -1$  ( $\gamma = 60^\circ$ ),  $v = 1,42$  м/с. При цих параметрах робочих органів отримано ступінь перекриття суміжних борозен  $k_n = 0,04 - 0,104$ , ступінь ущільнення ґрунтових грудок в результаті розпушування  $k_y = 1,02 - 1,04$ .

## Список літератури

1. Кушнарєв А.С. Механическое воздействие сельскохозяйственной техники на почву / Сборник научных трудов. – Киев, 1982. – С. 21 – 29.
2. Paine P.C.I., Tanner D.W. The relationship between angle and the performance of simple implement. I. Ag 2. Eng. №4, vol. 4, 1959. p. 312...325.
3. Dexter A.R., Tanner D.W. The response of unsaturated soils to isotropic stress. Journal of soil science, vol. 24. №4. 1973, p. 491 – 502.
4. Айзеншток И.Я. О физической теории резания ґрунтов // Горный журнал. 1949, №5. - С. 51-54.
5. Зеленин А.Н. Основы разрушения ґрунтов механическими способами. М.: Машгиз, 1968. – С. 375.
6. Агафонов В.В., Устюжанин И.А. Математическая модель зоны деформации почвы рыхлительными лапами культиваторов / Наука и студенты: новые идеи и решения. Сборник материалов VIII-й внутривузовской научно-практической студенческой конференции; (Кемерово, 23 апреля 2009 г.); Кемеровский ГСХИ. – Кемерово: Информационно-издательский отдел, 2009.- С. 64-69.
7. Набок В. Точность – 2 сантиметра на поле в 100 га / В. Набок // Зерно. – 2011. – № 2. – С. 138–141.

**Nikolay Petrenko, Tatiana Marchenko**

*Kirovograd National Technical University*

### **Experimental study bunk ripper to reduce the devastating impact on the aggregate structure of the soil**

The article is a review of research on the interaction of working tiered ripper to soil compaction and soil clods under its working bodies.

Through modeling of a two-tier ripper with the soil in the SolidWorks software environment isobars obtained in the soil profile and transverse grooves in various combinations width in tiers. The program MathCad mathematical model that allowed to optimize design and operating conditions of the working separately for the upper and lower tiers.

Experimental study on the process of loosening the soil channel, which resulted in the constructed regression the width of the grooves, the coefficient of soil compaction and coefficient of overlapping adjacent furrows according to the working body and the soil conditions. Methods experiment was as follows: to study the

shape and size of grooves used method of control markers, lumps of soil compaction was estimated determination of their bulk density before and after exposure to the working body.

Experimentally determined parameters and modes a two-tier ripper, which is achieved with minimal soil compaction and working bodies of minimum overlap of adjacent furrows. The value of the optimal parameters obtained for each indicator as a mixing distribution:  $x_1 = 1$  ( $h_1 = 0.12$  m),  $x_2 = 1$  ( $b_2 = 0.32$  m),  $x_3 = -0.864$  ( $\alpha = 21,5^\circ$ ),  $x_4 = -1$  ( $\gamma = 60^\circ$ ),  $v = 3$  m/c. With these parameters of working bodies received the degree of overlap of adjacent furrows  $k_p = 0,04 - 0,104$ , degree of compaction of soil clods resulting loosening  $k_u = 0,02 - 0,04$ .

**isobars in the soil, a two-tier ripper, lumps of soil compaction, the overlap of adjacent furrows**

Одержано 10.04.14

**УДК 631.315:629.783:525**

**В.Й. Лобов, доц., канд. техн. наук, І.І. Дубовик, асп.**

*Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет»*

## **Застосування новітніх технологій висіву просапних культур**

Для досягнення оптимальних показників при виконанні сукупних механізованих технологічних операцій за допомогою сільськогосподарської сівалки запропоновано узагальнену схему, яка дозволяє керувати у реальному часі сівалкою з достовірною інформацією про стан посівного поля і машино-тракторного агрегату

**сівалка, параметри ґрунту, узагальнена схема, термографічний пристрій, керування**

**В.Й. Лобов, доц., канд. техн. наук, І.І. Дубовик, асп.**

*Государственное высшее учебное заведение «Криворожский национальный университет»*

**Применение новейших технологий посева пропашных культур**

Для достижения оптимальных показателей при выполнении совокупных механизированных технологических операций с помощью сельскохозяйственной сеялки предложено обобщенную схему, которая позволяет управлять в реальном времени сеялкой с достоверной информацией о состоянии посевного поля и машинно-тракторного агрегата

**сеялка, параметры почвы, обобщенная схема, термографическое устройство, управление**

**Актуальність.** Основними функціями сільськогосподарської сівалки (СГС) для просапних культур є забезпечення механізації робіт по внесенню посівного насіння, добрива, пестицидів, концентрованих біологічних речовин тощо, при посіву із заданими агротехнічними вимогами. При цьому, важливо знати, з якою якістю і продуктивністю працює СГС при виконанні кожної технологічної операції на кожній ділянці посівного поля.

На сьогодні складається ситуація, коли при розробці і удосконаленні СГС, одним з загальноприйнятих шляхів є необхідність врахування всіх діючих зовнішніх і внутрішніх фактори, а також збурень, що діють на цю техніку, і надалі необхідно виконати складання і дослідження математичної моделі СГС, провести аналіз і синтез отриманої моделі.

© В.Й. Лобов, І.І. Дубовик, 2014