

ISSN 2414-3820

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
КІРОВОГРАДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**КОНСТРУЮВАННЯ, ВИРОБНИЦТВО  
ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ  
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ  
МАШИН**

Загальнодержавний міжвідомчий  
науково-технічний збірник

Заснований у 1971 р.

За загальною редакцією М.І. Черновола

**Випуск 46**

КІРОВОГРАД • 2016

УДК 631.3.001.1 (082)

Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, вип. 46. – Кіровоград: КНТУ, 2016. – 332 с.

В збірнику викладені питання конструювання, розрахунку, удосконалення, створення і дослідження нових робочих органів сільськогосподарських машин, засобів механізації, електрифікації та автоматизації сільськогосподарського виробництва. Наведені результати досліджень в галузі технологій виробництва і експлуатації машин та забезпечення їх надійності і довговічності. Викладені практичні рекомендації по використанню результатів досліджень і дослідно-конструкторських розробок в сільськогосподарській і інших галузях машинобудування. Збірник розрахований на наукових та інженерно-технічних працівників науково-дослідних установ, ВНЗ, конструкторських організацій та промислових підприємств.

Рекомендовано до друку Вченою радою Кіровоградського національного технічного університету, протокол від 28 листопада 2016 року № 3.

Редакційна колегія: Черновол М.І., д.т.н., проф. – головний редактор;  
Петренко М.М., к.т.н., проф. – заст. головного редактора;  
Петренко Д.І., к.т.н. – відповідальний секретар;  
Адамчук В.В., д.т.н.;  
Бойко А.І., д.т.н., проф.;  
Бойко Л.Й., д.т.н. (Білорусь);  
Булгаков В.М., д.т.н., проф.;  
Гамалій В.Ф., д.ф-м.н., проф.;  
Кропівний В.М., к.т.н., проф.;  
Лобачевский Я.П., д.т.н., проф. (Росія);  
Носуленко В.І., д.т.н., проф.;  
Осадчий С.І., д.т.н., проф.;  
Павленко І.І., д.т.н., проф.;  
Сало В.М., д.т.н., проф.;  
Свірень М.О., д.т.н., проф.  
Vladimir Jurcha, д.т.н., проф. (Чехія);  
Janusz Nowak, д.т.н., проф. (Польща);  
Marian Wesołowski, д.т.н., проф. (Польща);

Адреса редакційної колегії: 25030, м. Кіровоград, пр. Університетський, 8, Кіровоградський національний технічний університет, тел.: 390-581, 390-472, 55-10-49.

Автори опублікованих матеріалів несуть відповідальність за підбір і точність наведених фактів, цитат, економіко-статистичних даних, власних імен та інших відомостей, а також за те, що матеріали не містять даних, які не підлягають відкритій публікації. Редакція може публікувати статті в порядку обговорення, не поділяючи точки зору автора.

Включений до переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватись результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук з технічних наук (бюлетень ВАК №5 від 2010р., наказ Міністерства освіти і науки України від 21 грудня 2015 року №1328).

Реєстраційне свідоцтво: серія КВ № 15254 – 3826 ПР від 30.04.2009 р.  
ISSN 2414-3820

УДК 631.352

**Д.В. Богатирьов, доц., канд. техн. наук, В.М. Сало, проф., д-р техн. наук,  
О.А. Кислун, доц., канд. техн. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна  
E-mail: asbdv@ukr.net*

## Визначення еквівалентної проекції висоти перетину барабана з непарною кількістю ножів

Стаття присвячена теоретичному дослідженню впливу еквівалентної проекції висоти  $b_{ек}$  на точність визначення сили опору повітря барабану з ножами. Зроблено спробу уточнити площу опору в залежності від кутового положення та кількості ножів барабана котка-подрібнювача. Дослідження впливу еквівалентної проекції висоти на точність опису сили опору повітря барабану з непарною кількістю ножів показали, що відносна похибка зменшується у 1,5 рази, що пояснюється виключенням впливу невизначеності початкового кутового положення барабану.

**коток-подрібнювач, барабан з ножами, площа опору, еквівалента висота**

**Д.В. Богатырёв, доц., канд. техн. наук, В.М. Сало, проф., д-р техн. наук, О.А. Кислун, доц., канд. техн. наук**

*Кировоградский национальный технический университет, г. Кропивницкий, Украина*

### **Определение эквивалентной проекции высоты сечения барабана с нечетным количеством ножей**

Статья посвящена теоретическому исследованию влияния эквивалентной проекции высоты  $b_{ек}$  на точность определения силы сопротивления воздуха барабана с ножами. Предпринята попытка уточнить площадь сопротивления в зависимости от углового положения и количества ножей барабана катка-измельчителя. Исследование эквивалентной проекции высоты на точность описания силы сопротивления воздуха барабана с нечетным количеством ножей показали, что относительная погрешность уменьшается в 1,5 раза, что объясняется исключением влияния неопределенности начального углового положения барабана.

**каток-измельчитель, барабан с ножами, площадь сопротивления, эквивалента высота**

**Постановка проблеми.** В останні роки в Україні широкого застосування набули нетрадиційні, а в ряді випадків і невідомі до цього часу для працівників села технології виробництва продукції рослинництва [1]. Розпочалися зміни з використання імпорتنих комбайнів, які залишали на полях практично всю незернову частину врожаю. Такі прийоми дозволили підвищити продуктивність процесів збирання, скоротити загальні терміни жнив, але виникла проблема подальшої переробки рослинних решток. Для наших виробників найбільш простим шляхом її вирішення виявилось масове використання дискових ґрунтообробних знарядь. Як результат – руйнування структури поверхневих родючих шарів ґрунту, змінання цінних у агротехнічному відношенні агрегатів, переведення їх в пиловидний безструктурний стан, переущільнення нижніх шарів ґрунту, порушення процесів аерації і інфільтрації, зниження запасів продуктивної вологи в нижніх горизонтах [2]. За кордоном в таких випадках використовують спеціальні машини – подрібнювачі рослинних решток (ПРР) [1, 3]. В Україні подібні машини є маловідомими, дорогими та сприймаються виробниками сільськогосподарської продукції як процес в технології, що потребує додаткових затрат і може бути не обов'язковим [4, 5]. Крім цього, за характерними для кожного типу

даних машин конструктивними особливостями, при використанні в традиційних для України технологіях виробництва, вони не завжди і не після кожної культури забезпечують необхідну якість подрібнення рослинних решток [1-3, 6].

На даний час не існує рівняння для визначення тягового опору безприводних ПРР з горизонтальною віссю обертання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для точного визначення тягового опору котка-подрібнювача необхідно враховувати зусилля на подолання сили опору повітря. У відомих роботах [6-7] цьому питанню не приділено уваги. Вперше запропоновано враховувати опір повітря Х. Тагаєвим [8-9] для знаряддя, що знешкоджує бур'яни у рисових чеках.

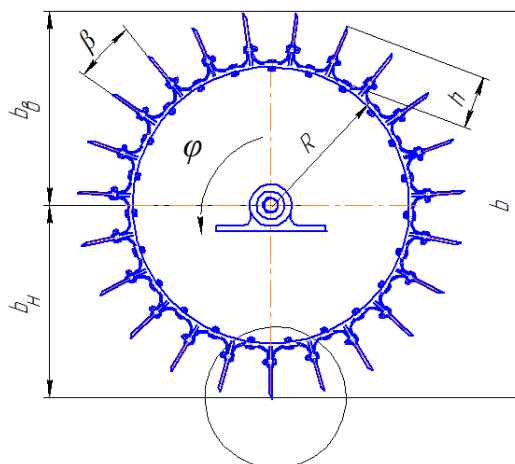
**Постановка завдання.** Мета дослідження полягає у теоретичному визначенні впливу проекції висоти перетину барабана на точність опису подолання ним сили опору повітря.

**Викладення основних результатів.** Експериментально визначений діапазон швидкостей від 15 до 24 км/год враховує особливості роботи котка-подрібнювача у польових умовах, а саме рух агрегата (рис. 1) на схилах-підйомах, як у вертикальній, так і у горизонтальній площині [4]. При таких значеннях швидкості руху доцільно враховувати силу опору повітря.



Рисунок 1 – Подрібнювач рослинних решток, розроблений науковцями кафедри сільськогосподарського машинобудування КНТУ

Розглянемо висоту  $b_6$  перетину півбарабана з ножем при значеннях кута  $-\frac{\beta}{2} \leq \varphi \leq \frac{\beta}{2}$  (рис. 2).



$\beta$  - кут між ножами,  $\beta = \frac{2 \cdot \pi}{z}$ ;  $b$  - проекція висоти перетину півбарабана з ножем на вісь OY

Рисунок 2 – Схема розташування ножів з непарною кількістю ( $z=23$  шт.)

Визначаємо проекцію висоти  $b_g$  в залежності від кута  $\varphi$  якщо  $b_g \geq R$ ,

$$b_g = (h + R) \cdot \cos \varphi, \quad (1)$$

де  $R$  – радіус барабану, м;

$h$  – висота ножа, м.

При парній кількості ножів  $z$  значення проекції висоти  $b_g$  на вісь  $OY$  набуває значення  $b_n = b_g$ .

При непарній кількості ножів:  $b_n = (h + R) \cdot \cos\left(\frac{\beta}{2} - \varphi\right)$ , при  $0 \leq \varphi \leq \frac{\beta}{2}$ ;

$b_n = (h + R) \cdot \cos\left(\frac{\beta}{2} + \varphi\right)$ , при  $-\frac{\beta}{2} \leq \varphi \leq 0$ .

Отже маємо загальний вираз для визначення проекції висоти перетину півбарабана з ножем при  $-\frac{\beta}{2} \leq \varphi \leq \frac{\beta}{2}$ :

$$b_n = (h + R) \cdot \cos\left(\frac{\beta}{2} - |\varphi|\right). \quad (2)$$

Аналогічно, під час роботи котка-подрібнювача при деякій кількості ножів  $z$  може виникнути випадок, коли поверхню барабану видно за ножів  $b_n < R$ , то приймається  $b_n = R$  [12].

Конструктивно на барабан котка-подрібнювача ножі встановлюються таким чином, щоб випадок коли  $b_g < R$  та  $b_n < R$  був неможливим.

В загальному випадку для парної та не парної кількості ножів  $z$  проекція висоти перетину барабану з ножами буде визначатись:

$$b(\varphi) = (h + R) \cdot \left( \frac{3 - (-1)^{z+1}}{2} \cdot \cos(\varphi) + \frac{1 - (-1)^z}{2} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{z} - |\varphi|\right) \right), \quad (3)$$

де значення кута в межах  $-\frac{\pi}{z} \leq \varphi \leq \frac{\pi}{z}$ .

Для подальших розрахунків використовувати формулу (3) не доцільно. Із-за неможливості встановлення початкового кутового положення барабану з ножами, а необхідні довизначення з урахуванням похибок розрахунку дають можливість ввести еквівалентну проекцію висоти його перетину  $b_{ек}$

$$b_{ек} = \frac{z}{2 \cdot \pi} \cdot \int_{-\frac{\pi}{z}}^{\frac{\pi}{z}} b(\varphi) d\varphi. \quad (4)$$

Для парної кількості ножів

$$b_{ек} = \frac{z}{2 \cdot \pi} \cdot \int_{-\frac{\pi}{z}}^{\frac{\pi}{z}} b(\varphi) d\varphi = \frac{2 \cdot z \cdot (R + h)}{\pi} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{z}\right). \quad (5)$$

Знайдемо відносну похибку  $\delta$ , яка формується в результаті врахування еквівалентної проекції висоти перетину барабану з ножами за один повний оберт.

Функція  $\cos\left(\varphi - \frac{\pi}{2 \cdot z}\right)$  при  $-\frac{\pi}{z} \leq \varphi \leq 0$  зростає до найбільшого значення на границі при  $\varphi = 0$ .

Оцінимо похибку, точності визначення сили, як результат введення  $b_{ек}$  для парної кількості ножів при  $-\frac{\pi}{z} \leq \varphi \leq 0$

$$\frac{b(\varphi)}{b_{ек}} = \frac{(R+h) \cdot \left( \cos \varphi + \cos \left( \frac{\pi}{z} + \varphi \right) \right)}{\frac{2}{\pi} \cdot (R+h) \cdot z \cdot \sin \left( \frac{\pi}{z} \right)} = \frac{\pi \cdot \cos \left( -\frac{\pi}{2 \cdot z} \right) \cdot \cos \left( \varphi + \frac{\pi}{2 \cdot z} \right)}{z \cdot \sin \frac{\pi}{z}}.$$

При  $0 \leq \varphi \leq \frac{\pi}{z}$

$$\frac{b(\varphi)}{b_{ек}} = \frac{(R+h) \cdot \left( \cos \varphi + \cos \left( \frac{\pi}{z} - \varphi \right) \right)}{\frac{2}{\pi} \cdot (R+h) \cdot z \cdot \sin \left( \frac{\pi}{z} \right)} = \frac{\pi \cdot \cos \left( \frac{\pi}{2 \cdot z} \right) \cdot \cos \left( \varphi - \frac{\pi}{2 \cdot z} \right)}{z \cdot \sin \frac{\pi}{z}}.$$

Найбільше значення похибки  $\delta$  буде при обертанні барабану при значеннях кута  $\varphi = -\frac{\pi}{z}$ ,  $\varphi = 0$  та  $\varphi = \frac{\pi}{z}$ :

$$\delta = \left| 1 - \frac{\pi \cdot \cos^2 \frac{\pi}{2 \cdot z}}{z \cdot \sin \frac{\pi}{z}} \right| \cdot 100\% = \left| 1 - \frac{\pi}{2 \cdot z} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\pi}{2 \cdot z} \right| \cdot 100\%. \quad (6)$$

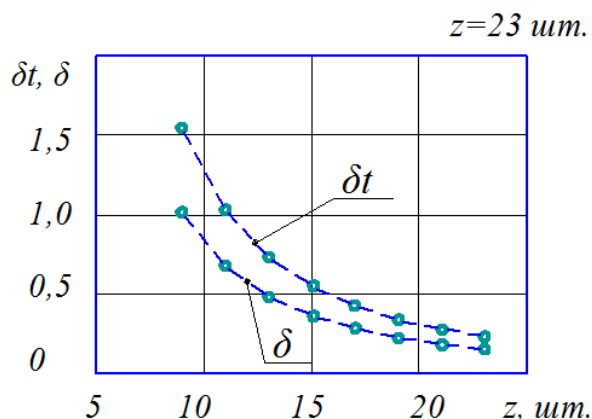
Визначимо похибку  $\delta_T$ , що вноситься невизначеністю початкового кутового положення барабану з ножами при використанні точного визначення проекції висоти перетину  $b$ .

Для непарної кількості ножів

$$\delta_T = \left| 1 - \frac{(h+R) \cdot \left( \cos \varphi_{\max} + \cos \left( \frac{\pi}{z} - |\varphi_{\max}| \right) \right)}{(h+R) \cdot \left( \cos \varphi_{\min} + \cos \left( \frac{\pi}{z} - |\varphi_{\min}| \right) \right)} \right| \cdot 100\% = \left| 1 - \frac{1}{\cos \frac{\pi}{2 \cdot z}} \right| \cdot 100\%, \quad (7)$$

де  $\varphi_{\min} = 0 = -\frac{\pi}{z}$ ,  $\varphi_{\max} = -\frac{\pi}{2 \cdot z}$ .

Графічні інтерпретації (рис. 3) результатів досліджень впливу врахування еквівалентної проекції висоти  $b_{ек}$  на точність опису сили опору повітря барабану з ножами показали, що відносна похибка зменшується у 1,5 рази, що пояснюється виключенням впливу невизначеності початкового кутового положення барабану і становить: для непарної кількості ножів  $\delta = 1\%$ ,  $\delta_T = 1,6\%$ .



$\delta$  – похибка, яка формується в результаті введення  $b_{ек}$  еквівалентної проекції висоти барабана з ножами;

$\delta_T$  – похибка, яка формується в результаті невизначеності початкового кутового положення проекції висоти барабана з ножами

Рисунок 3 – Залежність відносних похибок  $\delta$  та  $\delta_T$  від кількості ножів  $z$  ( $z=11\dots23$  шт.)

Враховуючи формули (5, 6) зусилля на подолання опору повітря можна визначити як

$$P_c = k \cdot k_0 \cdot \rho_0 \cdot L_n \cdot b_{ек} \cdot (\mathcal{G}_{agr} - \mathcal{G}_0)^2, \quad (11)$$

де  $k$  – кількість барабанів з ножами на котку-подрібнювачі, шт.;

$k_0$  – коефіцієнт, що враховує тип середовища;

$\rho_0$  – густина середовища, кг/м<sup>3</sup>;

$L_n$  – довжина леза ножа, м;

$\mathcal{G}_0$  – швидкість вітру, м/с;

$\mathcal{G}_{agr}$  – швидкість агрегату, м/с.

**Висновки.** Для подальшого визначення тягового опору котка-подрібнювача при значеннях швидкості руху від 15 до 24 км/год доцільно враховувати силу опору повітря. Так як робочим органом є барабан з непарною кількістю ножів, то необхідно враховувати зміну його площі проекції на площину перпендикулярну руху агрегата. Тому можливість теоретичного визначення еквівалентної проекції висоти в залежності від кутового положення та кількості ножів дозволить встановити значення зусилля на подолання сили опору повітря котком-подрібнювачем. Наведені дослідження є основою для створення рівняння щодо визначення тягового опору безприводних подрібнювачів рослинних решток з горизонтальною віссю обертання робочих органів і потребують подальшого теоретичного обґрунтування раціональних конструктивних та технологічних параметрів котка-подрібнювача.

## Список літератури

1. Богатирьов Д.В. Обґрунтування перспективних напрямів конструкцій подрібнювачів рослинних решток / Д.В. Богатирьов, В.М. Сало, В.І. Носуленко, Д.В. Мартиненко // [Електронний ресурс] Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Зб. наук. праць. – Кіровоград: КНТУ, 2012. – Вип. 42. – С. 39-44. (Режим доступу: [http://www.kntu.kr.ua/doc/zb\\_42\\_1/](http://www.kntu.kr.ua/doc/zb_42_1/))

2. Сало В.М. Технічне забезпечення процесів подрібнення рослинних решток / [Електронний ресурс] В.М. Сало, Д.В. Богатирьов // Журнал «Пропозиція» – 2015. – №9 С.42-47. (Режим доступу: <http://www.propozitsiya.com/?page=149&itemid=5026&number=171>)
3. Сало В.М. Вітчизняне технічне забезпечення сучасних процесів у рослинництві / [Текст] В.М. Сало, Д.В. Богатирьов, С.М. Лещенко, М.І. Савицький // Техніка і технології АПК – Дослідницьке: УКРНДППВТ ім. Л. Погорілого, 2014 – № 10 (61) – С. 16-19.
4. Богатирьов Д.В. Експериментальні дослідження впливу швидкості руху котка-подрібнювача на якість подрібнення рослинних решток кукурудзи / Д.В. Богатирьов, В.М. Сало, С.М. Лещенко, Ю.В. Мачок // [Електронний ресурс] Сільськогосподарські машини. – Луцьк, 2015. – вип.31.– С. 10-17. (Режим доступу: <http://agrmash.info/zb/31/4.pdf>).
5. Богатирьов Д.В. Технічне забезпечення сучасних процесів подрібнення рослинних решток / Д.В. Богатирьов, В.М. Сало // [Текст] Перспективні напрями наукових досліджень – 2015: матеріали міжнародної науково-практичної конференції. – В 2 т. – Т.2. – К.: Вид-во «Центр навчальної літератури», 2015. – С.131-133.
6. Богатырев Д.В. Современные сельскохозяйственные орудия для измельчения растительных остатков / Д.В. Богатырев, В.М. Сало // [Текст] Simpozionului Științifico-Practic Internațional „Realizări și perspective în inginerie agrară și transport auto” dedicat aniversării a 65 ani de la fondarea Facultății de Inginerie Agrară și Transport Auto. – 2015 – vol.45 – Chișinău: Universitatea agrară de stat din Moldova. – С.33-36.
7. Подрібнювач рослинних решток КП-4.5 [Електронний ресурс].- Режим доступу: <http://www.savitskiy.com.ua/>.
8. Ashford D.L. Use of a mechanical roller-crimper as an alternative kill method for cover crop / [Текст] D.L. Ashford, D.W. Reeves. // American Journal of Alternative Agriculture. – 2003. – 18(1) – P.37-45.
9. Korniecki T.S. Performance of Different Roller Designs in terminating rye cover crop and reducing vibration / [Текст] T.S. Korniecki, A.J. Price // Applied Eng. Agric – Alabama, USA – 22(5) – P.633-641.
10. Тагаев Х. Формула Тагаева по определению гидродинамического сопротивления воды / Х. Тагаев [Текст] // Technical science – Dubai, UAE. –2015 – С.32-37.
11. Тагаев Х. К определению сопротивления воды на лобовую поверхность катка-фрезы / Х. Тагаев [Текст] // Сборник научных трудов. Ташкентский ИИМСХ – Ташкент: ТИИМСХ, 1985. – С.115-120.
12. Богатирьов Д.В. Визначення еквівалентної проекції висоти перетину барабана з парною кількістю ножів / Д.В. Богатирьов, В.М. Сало, О.А. Кислун // International Scientific and Practical Conference "WORLD SCIENCE" (ISSN 2413-1032) Аджман, ОАЕ, 2016. – С.78-85.

**Dmytro Bogatyrov, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Vasyl Salo, Prof., DSc., Oleg Kuslyn, Assoc. Prof., PhD tech. sci.**

*Kirovohrad national technical university, Kropyvnickiy, Ukraine*

#### **Determination of height equivalent projection crossing drum with an odd number of knives**

During the last few years Ukraine was filled with nontraditional and in some cases unknown technologies of crop science. The changes started by using imported harvesters which left practically all residues on the field. This practice allowed increasing the productivity of picking processes and to shorten the terms of harvest period but there appeared the problem of further processing of plant residues. The Ukrainian producers chose the simplest way to solve it and used disc equipment for soil cultivation. As a result the structure of surface soil was damaged, valuable agro-technical aggregates were mashed, which led to their transformation into dusty unstructured condition. There was also overtamping of subsoil, disfunction of the processes of aeration and infiltration, decrease of the storage of productive soil water in lower levels. Special machines are usually used in these cases abroad which are debris pulverisers. In Ukraine these machines are not well known, expensive and perceived by agricultural producers as part of the technological process which needs extra costs and not obligatory. Besides, according to the special design of every of these machines they do not provide necessary pulverization in the traditional for Ukraine production technologies. In order to determine the accurate draught of the crimp-roller it is necessary to take into account the force to overcome air resistance.

The article presents theoretical research of the influence of introduction of equal-area projection of the height on the accuracy of calculation of the resistance power of the air of the cylinder drum with blades. The effort was made to specify the area of resistance depending on the angle setting and the number of blades of the crimp-roller. Research of introduction of the equal-area projection of the height on the accuracy of description of the power of air resistance of the crimp-roller showed that the fractional error decreases in 1,5 times. This is explained by the absence of the influence of uncertainty of the initial angle setting of the cylinder drum.

**crimp-roller, cylinder drum with blades, resistance area, equal-area height**

Одержано 07.11.16

УДК 631.33

**К.В. Васильковська, канд. техн. наук***Кіровоградський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна**E-mail: vasilkovskakv@ukr.net*

## Моделювання точного висіву пневмомеханічним висівним апаратом

Проведена серія досліджень нового пневмомеханічного висівного апарата з периферійним розташуванням комірок на висівному диску та пасивним пристроєм для видалення зайвого насіння інерційним способом на насінні цукрових буряків, визначено вплив розрідження у вакуумній камері висівного апарата та колової швидкості комірок висівного диска на коефіцієнт заповнення комірок. Запропонована конструкція нового пневмомеханічного висівного апарата дозволяє значно знизити вакуум в системі, збільшив при цьому колову швидкість комірок висівного диска до значень поступальної швидкості посівного агрегату, тим самим забезпечити сталу точку скидання насіння з висівного диска та однакові траєкторії їх польоту до борозни при якісному заповненні комірок. Для визначення раціональних параметрів та режимів роботи висівного апарата використовувався метод планування багатofакторного експерименту. Визначено основні рівні та інтервали варіювання факторів для висіву насіння цукрових буряків при визначенні коефіцієнта заповнення комірок висівного диска. За допомогою пакету прикладних програм Statistica 6.0 для параметра оптимізації – коефіцієнта заповнення комірок висівного диска побудовано поверхню відгуку та лінії рівного виходу.

**пневмомеханічний висівний апарат, висівний диск, експеримент, коефіцієнт заповнення комірок, розрідження, колова швидкість комірок**

**Е.В. Васильковская, канд. техн. наук***Кировоградский национальный технический университет, г.Кропивницкий, Украина***Моделирование точного посева пневмомеханическим высевальным аппаратом**

Проведена серія досліджень нового пневмомеханічного высевального апарата с периферійним расположением ячеек на высевальном диске и пассивным устройством для удаления лишних семян инерционным способом а на семенах сахарной свеклы, определено влияние разрежения в вакуумной камере высевального аппарата и окружной скорости ячеек высевального диска на коэффициент заполнения ячеек. Предложенная конструкция нового пневмомеханического высевального аппарата позволяет значительно снизить вакуум в системе, увеличив при этом окружную скорость ячеек высевального диска до значений поступательной скорости посевного агрегата, тем самым обеспечить устойчивую точку сброса семян с высевального диска и одинаковые траектории их полета к борозде при качественном заполнении ячеек. Для определения рациональных параметров и режимов работы высевального аппарата использовался метод планирования многофакторного эксперимента. Определены основные уровни и интервалы варьирования факторов для посева семян сахарной свеклы при определении коэффициента заполнения ячеек высевального диска. С помощью пакета прикладных программ Statistica 6.0. для параметра оптимизации - коэффициента заполнения ячеек высевального диска построено поверхность отклика и линии равного выхода.

**пневмомеханический высевальный аппарат, высевальный диск, эксперимент, коэффициент заполнения ячеек, разрежение, окружная скорость ячеек**

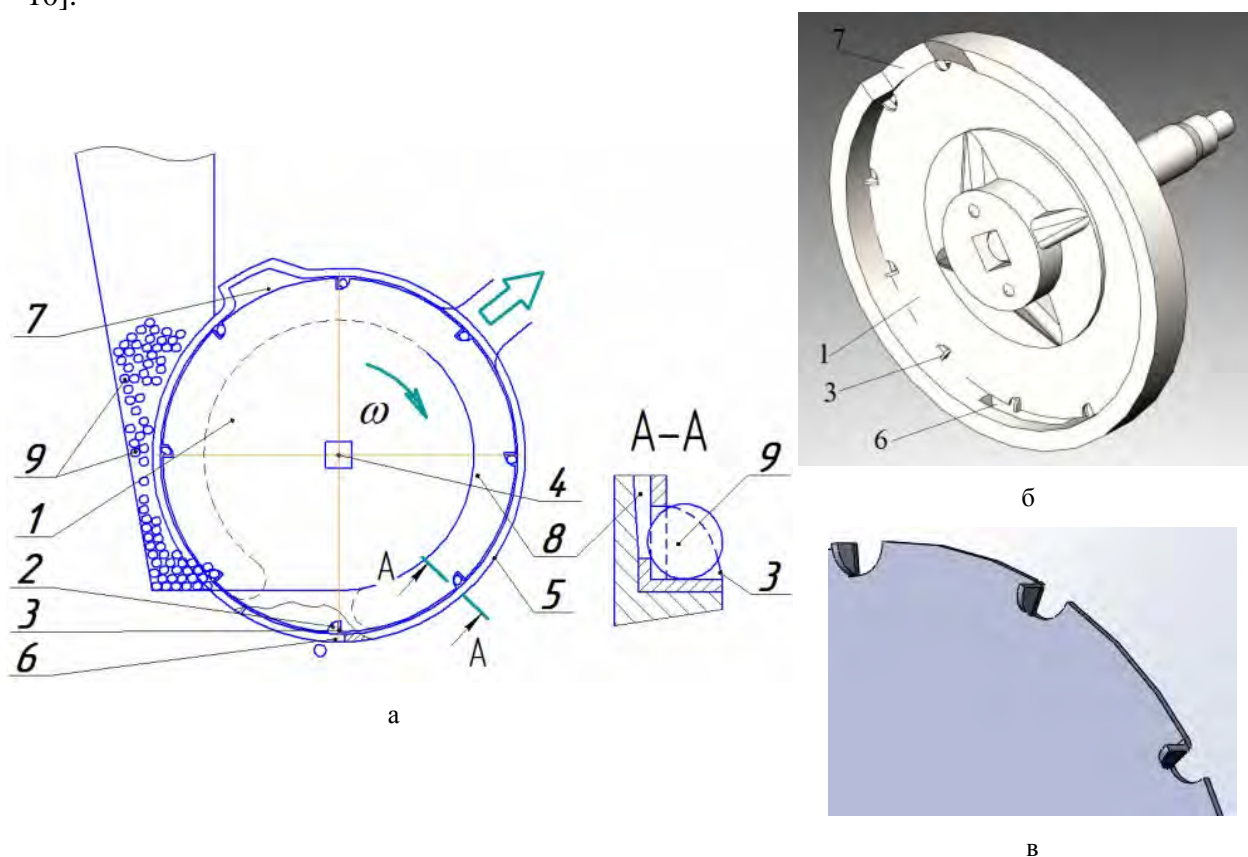
**Постановка проблеми.** Пошук нових технологій та засобів механізації з метою збереження родючості ґрунтів та зменшення ресурсовитрат і збереження навколишнього середовища є запорукою майбутнього врожаю та доброти країни. Тому вибір обладнання для сільськогосподарського виробництва на початковому етапі, а саме: сівалки для точного висіву насіння – є першочерговою умовою майбутнього врожаю.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Сучасні пневмомеханічні висівні апарати точного висіву, попри довгу історію їх створення і вдосконалення, мають ряд недоліків, основними з яких є: недостатня дозуюча здатність, викликана обмеженістю колової швидкості висівного диска ( $V_k \leq 0,5$  м/с) і наявність випадкового неконтрольованого перерозподілу інтервалів між насінинами в борозні, внаслідок великої відносної швидкості насіння при контакті з останньою під час руху сівалки на номінальних швидкостях ( $V_c = 1,5 \dots 2,5$  м/с). Усунення зазначених недоліків досягається шляхом збільшення колової швидкості висівного диска і узгодження її з поступальною швидкістю сівалки [1-4].

Однак, в конструкціях сучасних пневмомеханічних висівних апаратів вирішити дану задачу технологічно неможливо, оскільки це погіршує утворення однонасінневого потоку насіння ще на початковому етапі його формування.

Якість дозування насіння до борозни залежить, в першу чергу, від рівномірності розташування насінин на висівному диску. Тому підхід до обрання форми отворів диска є визначальною початковою умовою рівномірного дозування [5,6].

**Постановка завдання.** З метою підвищення ефективності точного висіву насіння на кафедрі сільськогосподарського машинобудування Кіровоградського національного технічного університету розроблено дослідний зразок секції нової пневмомеханічної сівалки для точного висіву насіння просапних культур (рис. 1) [1-3, 10].



1 – висівний диск; 2 – комірка; 3 – лопатка; 4 – приводний вал; 5 – корпус; 6 – висівне вікно;  
7 – пасивний пристрій для видалення зайвого насіння; 8 – вакуумна камера; 9 – насіння  
а – схема; б – тривимірна модель висівного апарата; в – тривимірна модель фрагмента висівного диска

Рисунок 1 – Схема запропонованого пневмомеханічного висівного апарата

Головною особливістю нового висівного апарата є використання висівного диска з периферійним розташуванням комірок, за якими на його внутрішній поверхні розмішені лопатки для примусового захоплення насіння диском в робочій камері та подальшого його транспортування до зони скидання.

Для видалення зайвого насіння з комірок висівного диска у верхній частині циліндричної поверхні корпусу виконано пасивний пристрій у вигляді порожнини, до якої потрапляють зайві насінини і, відокремлюючись від диска, повертаються до зони заповнення.

В нижній частині поверхні корпусу виконано висівне вікно, яке забезпечує вільне випадіння насіння до борозни.

Для перевірки гіпотези щодо надійності процесу заповнення комірок висівного диска, підвищення ефективності видалення зайвого насіння та надійності звільнення комірок в зоні висіву було проведено дослідження на якість заповнення комірок висівного диска пневмомеханічного дискового висівного апарата.

**Виклад основного матеріалу.** Результати серії попередніх та пошукових досліджень показали [7-9], що заповнення комірок відбувається в момент входження комірки в насінневий шар робочої камери.

Особливість роботи апарата – як наявність оптимальних умов орієнтації нижнього шару насіння відносно рухомого ряду комірок, що суттєво покращує умови їх заповнення в широкому діапазоні колдових швидкостей і невеликому розрідженні у вакуумній камері та не потребує великої зони заповнення

Перед реалізацією експериментальних досліджень провели рандомізацію дослідів для нівелювання впливу факторів, що не контролюються, та забезпечення об'єктивності їх при виборі об'єкта.

Для визначення раціональних параметрів та режимів роботи висівного апарата використовувався метод планування багатofакторного експерименту [12,13].

Метою серії дослідів була реалізація матриці плану  $2^2$  Бокса-Хантера (табл. 1), в результаті чого встановлено вплив розрідження у вакуумній камері ( $\Delta P$ ) та колдової швидкості комірок висівного апарату ( $V_k$ ) на якість їх заповнення.

Таблиця 1 – Матриця планування експерименту  $2^2$

Номер дослідів	$\Delta P$ , кПа	$V_k$ , м/с
	$x_1$	$x_2$
1	-1	-1
2	+1	-1
3	-1	+1
4	+1	+1

Висівну здатність висівного апарату зручно оцінювати коефіцієнтом заповнення комірок  $K$ , %, який дорівнює відношенню кількості фактично висіяного насіння за певний проміжок часу до кількості комірок висівного диска, які пройшли точку скидання за цей же час.

Визначено основні рівні та інтервали варіювання факторів для висіву насіння цукрових буряків при визначенні коефіцієнта заповнення комірок висівного диска (табл. 2).

Розрідження у вакуумній камері вибрано на основі результатів досліджень [7,8], та з урахуванням теоретичних досліджень [5,9,10], відповідно до яких  $\Delta P=0,1; 0,5$  кПа та додатково  $\Delta P=0,3$  кПа.

Колову швидкість комірок  $V_k$  м/с вибрано на основі рекомендацій досліджень, результатів пошукового експерименту [7, 8], та результатів теоретичних досліджень відповідно до яких  $V_k=1,5; 2,5$  м/с та додатково  $V_k=2$  м/с [5,9,10].

Кут розкриття порожнини пасивного пристрою для видалення зайвого насіння в досліді становив  $\varepsilon=25^\circ$  [8].

Під час проектування експериментальної установки її конструкція була виконана з можливістю регулювання кожного з параметру, які виходячи з теоретичних та попередніх досліджень мають вплив на процес висіву насіння [5,7,9,10].

Таблиця 2 – Рівні факторів при висіві насіння цукрового буряка висівним апаратом з периферійно розташованими комітками на висівному диску

Фактор	Натуральне означення	Кодове позначення	Інтервал варіювання	Рівні варіювання						
				натуральні			кодові			
				верхній	нульовий	нижній	верхній	нульовий	нижній	
<i>l</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Розрідження у вакуумній камері, кПа	$\Delta P$	$x_1$	$\pm 0,2$	0,5	0,3	0,1	+1	0	-1	
Колова швидкість комірок, м/с	$V_k$	$x_2$	$\pm 0,5$	2,5	2,0	1,5	+1	0	-1	

На першому етапі експериментальних досліджень використовувався диск з периферійним розташуванням комірок, кількість яких  $z$  дорівнювала 12 шт.

Отримано результати реалізації матриці планування експерименту (табл. 3).

Таблиця 3 – Отримані результати реалізації матриці планування експерименту  $2^2$

Номер досліду	Фактори		Критерій
	Розрідження в вакуумній камері; $\Delta P$ , кПа	Колова швидкість комірок висівного диска; $V_k$ , м/с	Коефіцієнт заповнення комірок; $K$ , %
	$x_1$	$x_2$	$y_2$
1	0,1	1,5	83,4
2	0,5	1,5	128,6
3	0,1	2,5	59,1
4	0,5	2,5	114,6

Для обробки експериментальних даних застосовували пакет STATISTICA 6.0 [11-12], за допомогою якого проведено побудову статистичної математичної моделі для коефіцієнта заповнення комірок висівного диска  $K$ , ( $Y_1=K$ ).

Статистична оцінка отриманих результатів дозволяє зробити висновки, що досліди рівноточні, оскільки розрахункове значення критерію Кохрена  $G^P$  для параметра оптимізації  $Y$  при  $n=4$  і  $f_u=2$  становить  $G^P=0,478$  і є меншими за табличне значення  $G^P=0,7679$  [13], тому приходимо до висновку, що процес є відтворюваним.

Дисперсія відтворюваності (помилка досліду) дорівнює 0,183.

Математична модель описаного процесу (рівняння регресії) має вигляд:

$$Y_1 = 96,425 + 25,175x_1 - 9,575x_2 + 2,575x_1x_2 . \quad (1)$$

Аналіз поверхні відгуку та ліній рівного виходу (рис. 2) для значення коефіцієнта заповнення комірок  $K$ , дає можливість визначити раціональні значення досліджуваних факторів, а саме:

- величина раціонального розрідження у вакуумній камері  $x_1 \rightarrow \Delta P$ , повинна знаходитись в межах від 0,20 до 0,30 кПа;
- раціональна колова швидкість комірок висівного диска  $x_2 \rightarrow V_k$ , повинна знаходитись в межах от 2,0 до 2,5 м/с.

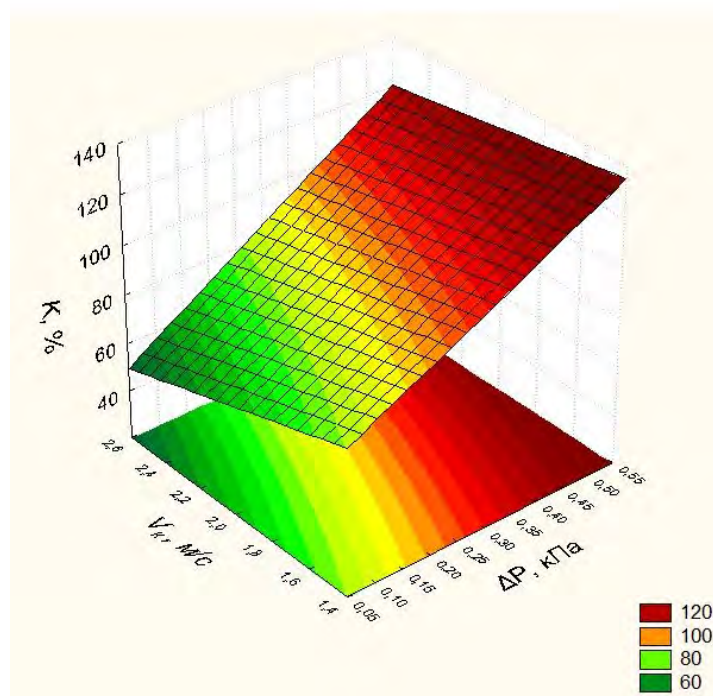


Рисунок 2 – Поверхня відгуку та лінії рівного виходу для коефіцієнта заповнення комірок висівного диска

Найбільш впливовим фактором на процес заповнення комірок висівного диска дослідного пневмомеханічного висівного апарату є величина розрідження, яка для досягнення коефіцієнтом заповнення комірок значення  $K=100\%$  повинна становити  $\Delta P=0,2 \dots 0,3$  кПа при коловій швидкості комірок  $V_k=2,0 \dots 2,5$  м/с.

Збільшення величини розрідження та зменшення колової швидкості комірок призводить до зростання коефіцієнту заповнення внаслідок погіршення умов скидання зайвого насіння.

**Висновки.** Таким чином, найбільш впливовим фактором на процес заповнення комірок висівного диска дослідного пневмомеханічного висівного апарату є величина

розрідження, яка для досягнення коефіцієнтом заповнення комірок значення  $K=100\%$  повинна становити  $\Delta P=0,2\dots 0,3$  кПа при колівій швидкості комірок  $V_k=2,0\dots 2,5$  м/с.

Конструкція досліджуваного пневмомеханічного апарата дозволяє збільшити коліву швидкість комірок та зменшити їх кількість на висівному диску, і значно зменшити розрідження у вакуумній камері.

Тобто, запропонований висівний апарат збільшує технологічну ефективність висіву насіння просапних культур та зменшує енергоємність процесу.

## Список літератури

1. Пат. 77191 У Україна, МПК А01С 7/04 (2006.01). Пневмомеханічний висівний апарат / Петренко М.М., Васильковський М.І., Васильковська К.В.; заявник і патентотримач Кіровоградський національний технічний університет – №u201203339; заявл. 20.03.2012; опубл. 11.02.2013, Бюл. № 3.
2. Петренко, М. М. Вдосконалення пневмомеханічного висівного апарата для точного висіву насіння просапних культур [Текст] / М. М. Петренко, М. І. Васильковський, К. В. Васильковська // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка, Т. 1 «Механізація сільськогосподарського виробництва». Вип. 107. – Харків: ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2011. – С. 359-363.
3. Петренко, М. М. До обґрунтування параметрів пневмомеханічного висівного апарата с периферійним розташуванням комірок для точного висіву насіння просапних культур [Текст] / М. М. Петренко, М. І. Васильковський, К. В. Васильковська // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – 2011. – Вип. 41, ч. 1. – С. 288–293.
4. Sydorhuk O. Impact of meteorological conditions on the need in adaptive performing of technological operations of soil tillage and crop sowing / O. Sydorhuk, P. Lub, O. Malanchuk // ECONTECHMOD: an international quarterly journal on economics in technology, new technologies and modelling processes. – Lublin; Rzeszow, – Vol. 3, No 4. – P. 35–39.
5. Васильковська, К. В. Вплив форми і типу комірок висівного диска на якість дозування насіння [Текст] / К. В. Васильковська, О. М. Васильковський // Східноєвропейський журнал новітніх технологій. Vol 6, No 7 (72) (2014) – Харків: Технологічний центр, 2014. –С. 33-36.
6. Васильковська К.В. Обґрунтування параметрів універсального пневмомеханічного висівного апарата точного висіву: дис. на здоб. наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.05.11. «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва» / К.В. Васильковська. – Кіровоград, 2014.
7. Vasykovs'ka, K. Characterization of peripherally based cells of the pneumatic-mechanical seeding machine of accurate sowing for tilled crops [Text] / K. Vasykovs'ka, O. Vasykovs'kyu, S. Leschenko, D. Petrenko // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 44 – Кіровоград: КНТУ, 2014. – С. 3-6.
8. Васильковська, К. В. Визначення оптимальних параметрів пристрою для видалення зайвого насіння з комірок висівного диска пневмомеханічного апарата [Текст] / К. В. Васильковська, О. М. Васильковський // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету: Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Вип. 28 – Кіровоград, КНТУ, 2015. – С. 159-163.
9. Васильковська, К. В. Аналіз роботи пневмомеханічного висівного апарата з периферійним розташуванням комірок / К. В. Васильковська, М. М. Петренко, С. Я. Гончарова [Текст] // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 43, ч. 1 – Кіровоград: КНТУ, 2013. – С. 18-22.
10. Васильковская, Е. Обоснование конструктивной схемы пневмомеханического высевального аппарата для точного высева семян пропашных культур [Текст] / Е. Васильковская, Н. Петренко, С. Гончарова // MOTROL. COMMISSION OF MOTORIZATION AND ENERGETICS IN AGRICULTURE. – Lublin , Vol.15, No. 2. – 2013.– P. 99–105.
11. Боровиков, В. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов. [Текст] / В. Боровиков. – СПб.: Питер, 2003. – 688 с.
12. Вуколов, Э. А. 2008. Основы статистического анализа. Практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов STATISTICA и EXCEL: Учебное пособие. [Текст] / Э. А. Вуколов. – М.: Форум, 2008. – 464 с.

13. Підручник дослідника: Навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей [Текст] / О. Васильковський, С. Лещенко, К. Васильковська, Д. Петренко. – Харків: Мачулін, 2016. – 204с.

**Katheryna Vasilkovska, PhD tech. sci.**

*Kirovograd National Technical University, Kropyvnickiy, Ukraine*

**Modeling pneumomechanical of exact seeding sowing device**

A series of studies of new pneumatic sowing device with a peripheral cells to seed disk and a passive device for removing excess seeds inertia way of sugar beet seeds, the influence of dilution in a vacuum chamber sowing device and the angular velocity of cells seed disk to fill factor cells. The design of the new pneumatic sowing machine can significantly reduce the vacuum in the system having increased the angular speed in cell seed disk to the values of seeding device travelling speed, thus provide a constant point of seeds drop from the seed disc at the same trajectory of their flight to the furrows and the qualitative cells filling. To determine the rational parameters and modes of sowing device we used method of multifactor experiment planning. We determined the main levels and intervals of varying factors for sugar beet sowing along with determining the filling factor of cell seed disk. With application of package Statistica 6.0. for parameter optimization - cell seed disk filling factor was constructed response surface and line of even output.

The most influential factor in the process of filling cells seed disc of a research pneumatic sowing machine is the value of the dilution factor because in order to achieve a filling cell value  $K = 100\%$  should be  $\Delta P = 0,2 \dots 0,3$  kPa at the angular velocity of cells  $V_a = 2.0 \dots 2.5$  m / s.

Thus, the design of the studied pneumatic device makes it possible to increase the angular velocity of the cells and reduce their number on the sowing disk, and greatly reduce the dilution in a vacuum chamber. That is why the proposed seeding machine increases the technological efficiency of cultivated crops and reduces the energy costs.

**pneumatic seeding machine/device, seed disc, experiment, cells filling factor, dilution, cells angular speed**

Одержано 29.08.16

**УДК 631.3.001**

**С.М. Герук, доц., канд. техн. наук, Д.В. Герасимчук, асп.**

*Житомирський агротехнічний коледж, м.Житомир, Україна*

*E-mail: studprofkom\_zhatk@mail.ru*

## Тенденції розвитку конструкцій картоплезбиральної техніки

Виконано аналіз розвитку конструкцій картоплезбиральної техніки за допомогою якого отримано гіпотезу, що підвищення ефективності використання картоплекопачів необхідно в підкопуючій частині знаряддя використовувати робочі органи, що здійснюють рихлення бульбоносного шару.

**картопля, картоплезбиральна техніка, сепарація, підкопувальні органи, руйнування**

**С.Н. Герук, доц., канд. техн. наук, Д.В. Герасимчук, асп.**

*Житомирської агротехнічної коледж, г. Житомир, Україна*

**Тенденции развития конструкций картофелеуборочной техники**

Выполнен анализ развития конструкций картофелеуборочной техники, с помощью которого получено гипотезу, что повышение эффективности использования картофелекопалок необходимо в подкапывающей части орудия использовать рабочие органы, осуществляющие рыхление клубненосного слоя.

**картофель, картофелеуборочная техника, сепарация, подкапывающие органы, разрушения**

**Постановка проблеми.** Картопля – одна з основних сільськогосподарських культур, що вирощується в Україні. Вона використовується як продукт харчування, цінний корм для тварин і сировина для промисловості. В Україні посівні площі картоплі в 2015 році склали 1291 тис. га, з них 98% припадали на присадибні ділянки населення та дрібні фермерські господарства, площа яких не перебільшує 10 га. Це складає 17,9 % від загальної площі господарств. Середня урожайність картоплі досягає 161,4 ц/га [1]. Приведена структура господарств вимагає створення нових, малогабаритних, недорогих конструкцій машин для вирощування і збирання картоплі.

Таблиця 1 – Динаміка виробництва картоплі в Україні

Показник	2012 р.	2013 р.	2014 р.	2015 р.	Зміна у 2015 р. до, %		
					2012 р.	2013 р.	2014р.
Площа посіву, тис. га	1444,1	1394,1	1342,8	1291	89,40	92,60	96,14
Урожайність з 1 га, ц	161,0	159,7	176,4	161,4	100,25	101,06	91,50
Валовий збір картоплі, тис. т	23250,2	22258,6	23693,4	20839,3	89,63	93,62	87,95
Реалізовано картоплі, тис. т	437,8	459,5	543,4	390,8	89,26	85,05	71,92

Якість бульб і собівартість виробництва картоплі значною мірою визначається технологічним процесом збирання, на який припадає майже 45 – 70% усіх затрат. З них 50% – це затрати енергії, що йдуть на сепаруючі робочі органи. Такий розподіл енерговитрат пояснюється тим, що в бульбомісткому шарі ґрунту міститься всього 1,5 – 3% картоплі. Отже, відділення картоплі від ґрунту призводить до зниження енергозатрат у технологічному процесі, що представляє собою актуальне наукове завдання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Останнім часом увага дослідників, які займаються вдосконаленням конструкцій картоплезбиральних машин, була зосереджена на створенні пристроїв, що активно діють на підкопаний бульбомісткий шар ґрунту тим самим сприяють його рихленню та інтенсивному просіюванню на сепаруючих пристроях. Але через ряд недоліків такі пристрої не знайшли широкого застосування на сучасних картоплезбиральних машинах.

**Постановка завдання.** Мета роботи – підвищення якісних та кількісних показників технологічного процесу сепарації картопляного вороху шляхом розробки конструкції та раціоналізації параметрів і режимів роботи розрихлювача-вирівнювача вороху картоплезбиральної машини.

**Виклад основного матеріалу.** Світовими лідерами з виробництва картоплезбиральної техніки є компанії: німецькі „Grimme”, „Dewulf” та „Holmer”, бельгійська „AVR”, італійські „ІМАС” і „АМАС”, канадська „Thomas”, норвезька „Kverneland”, американська „Dahlman” та інші.

На пострадянському просторі провідними заводами, що проектують і виробляють картоплезбиральну техніку є: ВАТ „Рязсельмаш”, ВАТ „Рязанский комбайновый завод” – Росія; концерн „Белагромаш”, ПП „Гомельсельмаш”, ТОВ „Запагропром” – Білорусія. В Україні це: ВАТ „Борекс”, ВАТ „Львівсільмаш”, ПКБ „Прогрес” (Миколаїв), ВАТ „Ковельсільмаш”.

Найдосконалішою машиною для збирання картоплі варто вважати картоплезбиральний комбайн, який виконує практично всі технологічні операції, що





пов'язані з процесом збирання. Комбайни – технічно складні машини, що мають у своєму складі, як правило, декілька сепаруючих пристроїв, перебиральні столи для здійснення сортування картоплі та гичковидалючі органи, що конструктивно можуть бути розміщені, як на початку машини, так і в системі сепарування.

Найкращу репутацію на ринку сільськогосподарської техніки заробив картоплезбиральний комбайн Grimme. Виробник виробляє:

- комбайни бункерного типу;
- комбайни елеваторного типу;
- самохідні картоплезбиральні комбайни.

На ринку України представлена картоплезбиральна техніка виробництва Білорусії («Гомельсьільмашем», «Лідсельмаш»), Росії («Рязаньсельмаш»), Німеччини («Grimme», «WM Kartoffeltechnik»), Бельгії («AVR») (табл.2).

Таблиця 2 – Технічна характеристика деяких зарубіжних картоплезбиральних комбайнів.

Показники	ПКК-2-05 (Білорусія)	КПК-2-01 (Росія)	AVR 220BK (Бельгія)	DR1500 (Німеччина)
				
Продуктивність, га/год	0,84-1,0	0,3 - 0,8	0,3 - 0,8	до 0,7
Кількість рядків, шт	2	2	2	2
Робоча швидкість, км/год	1,8 - 4,0	2,0 - 6,0	до 6,0	до 6,0
Габаритні розміри, мм	10000 4000 4000	8000 5000 3800	9200 4800 3400	8450 3200 3800
Маса, кг	6800	5600	7030	7950
Питома матеріалоємність, кг/га	6800	7000	8787,5	11357,1
Вартість нового комбайна	625 800 грн	371 200 грн	96 612 €	49 717 €

Класифікуючи причіпні картоплезбиральні комбайни бункерного типу фірми GRIMME, їх слід розділити на два основних типи – це машини з прямим і боковим підкопом – машини лінійок BR і SE, відповідно. Перевага бокового підкопу полягає в тому, що при копанні трактор не заходить в міжряддя, а рухається зліва від комбайна. Машини з боковим підкопом випускаються в 1-но рядному і 2-х рядному виконаннях, мають обсяг бункера від 2 до 6 тонн. Кожна машина з бічним підкопом має сепаруючий пристрій для певного типу ґрунтів, будь то легкі піщані, важкі комковиті або кам'янисті ґрунти. Тип сепаруючого пристрою уточнюється при замовленні машини. Машини з прямим підкопом випускаються тільки в 2-х рядній версії і мають більш просту конструкцію в порівнянні з машинами з боковим підкопом, що дає можливість

агрегатувати їх з більш легкими тракторами (від 80 к.с.). Кожен причіпний картоплезбиральний комбайн бункерного типу GRIMME має інспекційний стіл, розрахований для роботи мінімум 4-х чоловік [6].

Фірма GRIMME виробляє 2-х, 3-х і 4-х рядні причіпні комбайни елеваторного типу. Ці машини відрізняються високою продуктивністю за рахунок простого тракту очищення картоплі і здатності працювати без зупинок на розвантаження. Різноманіття типів сепаруючих пристроїв, якими може комплектуватися комбайн серії GT забезпечує їх успішне застосування при різних умовах прибирання на всіх типах ґрунтів. У наших умовах знайшли застосування пристрою двох видів - це MultiSep (вальці різної конфігурації розташовані поперек потоку картоплі) і RollenSeparator (кілька пар вальців розташованих уздовж потоку картоплі).

Комбайни серії GT часто застосовують також і для збирання овочів: моркви, столового буряка, цибулі та ін.

На сьогоднішній день фірма GRIMME виробляє три типи самохідних картоплезбиральних комбайнів: SF150-60, Varitron і Tectron. SF150-60 є самохідної версією причіпного комбайна SE150-60. Varitron – 2-х рядний самохідний картоплезбиральний комбайн, випускається в двох виконаннях – елеваторного і бункерного типу (7 тон). Tectron – найбільш досконалий самохідний картоплезбиральний комбайн GRIMME бункерного типу з об'ємом бункера 10 або 15 тонн [7].

Копачами картоплю збирають на середніх перезволожених і важких ґрунтах, на схилах крутизною понад 3°, на невеликих полях з врожайністю менше 10 т/га. Їх застосовують і для збирання на насінневих ділянках.

Картоплекопачі застосовують для підкопування одного, двох і більше рядків картоплі, руйнування, подрібнення піднятої скиби ґрунту, сепарації його та виділення бульб. Це досягається за допомогою струшування, розтягування скиби, ударів, стискання та просіювання дрібних фракцій ґрунту. Виділені бульби укладають на поверхню поля, у валок або подають в транспортний засіб. Залежно від конструкції робочих органів картоплекопачі поділяють на елеваторні, роторні, грохотні та комбіновані.

Картоплекопач КСТ-1,4А елеваторного типу і призначений для викопування картоплі, сепарації ґрунту і укладання бульб на поверхню поля. Картоплекопач напівначіпний. Агрегатують його із тракторами класу 1,4.

Картоплекопач КСТ-1,4А складається з двох підкопувальних лемешів, швидкісного, основного та каскадного, елеваторів, двох звужувальних щитків, двох опорних пневматичних і одного копіювального металевого коліс, механізму привода, рами та причіпного пристрою. Лемеші трапецеподібної форми, у передній частині вони загострені.

Картоплекопач начіпний КТН-2В елеваторного типу, призначений для роботи на легких і середніх ґрунтах. Основними складальними одиницями картоплекопача є: основна рама, пасивні лемеші, основний і каскадний елеватори, щитки, механізми приводу елеваторів, замок автозчіпки і два опорних колеса.

Картоплекопач КД-2 причіпний елеваторного типу. За будовою та процесом роботи подібний до КТН-2В. Він викопує два рядки картоплі, частково відокремлює бульби від ґрунту і укладає їх на поле для подальшого підбирання. Агрегатують його з тракторами класу 1,4.

Картоплекопач начіпний КТН-1А роторного типу застосовують для підкопування одного рядка картоплі і укладання бульб смугою на поверхні поля. Складається з лемеша, ротора 12 з редуктором, опорного колеса і рами.

Картоплекопач-валкоукладач УКХ-2 призначений для збирання картоплі роздільним і комбінованим способами на гребневих і гладких посадках з шириною міжрядь 70 і 60 см.

Машина складається з двосекційного леміша з активними боковинами, основного пруткового елеватора з активними роликками – струшувачами, двох пневматичних грудкоподрібнювачів, дворешітного грохоту, видалювача бадилля, поперечного транспортера, валкоукладача, механізму приводу і гідросистеми.

#### **Висновки:**

1. Розпушення бульбоносного шару найбільш доцільно здійснювати на початку технологічного процесу при його підкопуванні, що призведе до значного покращення сепарації та зменшенні металоємності машини при запобіганні травмуванню бульб.

2. З аналізу технологічного процесу можна зробити висновок, що для підвищення ефективності використання картоплекопачів необхідно в підкопуючій частині знаряддя використовувати робочі органи, що здійснюють рихлення бульбоносного шару.

#### **Список літератури**

1. Сільське господарство України : 2015 рік [статистичний збірник] [Текст] / [за ред. О. М. Прокопенко] – К. : Державна служба статистики України, 2016. – 360 с.
2. Механизация технологического процесса в мелкотоварных хозяйствах: монография [Текст] / [ В.Н. Кувайцев , Н.П. Ларюшин, О.Н. Кухарев, В.С. Бочкарев ]. – Пенза: РИО ПГСХА, 2014.–172с.
3. Картофелеуборочные комбайны. Сельскохозяйственная техника [Електронний ресурс] / Джогилик Александра – Режим доступу : <http://fb.ru/article/179764/kartofeleuborochnyye-kombajny-i-selskohozyaystvennaya-tehnika>.
4. Комбайны для уборки картофеля: выбираем самый продуктивный [Електронний ресурс] –Режим доступу: <http://fermerznaet.com/selhoztehnika/kombajny/dlya-uborki-kartofelya.html>.
5. Российский рынок картофелеуборочной техники [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://agroinfo.com/rossijskij-rynok-kartofeleuborochnoj-tehniki/>.
6. Картофелеуборочный комбайн «GRIMME» [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://agrolines.com.ua/products/96>.
7. Картофелеуборочные комбайны Grimme – обзор модельного ряда [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://allspectech.com/selhoztehnika/dlya-zemledeliya/uborochnaya/kombajny/dlya-korneplodov/grimme.html>.
8. Картофелеуборочные комбайны [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://stroytechnics.ru/article/kartofeleuborochnye-kombajny>
9. Механизация овощеводства [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.uaseed.com/mehanizacia/385.htm>.
10. Петров Г.Д. Картофелеуборочные машины [Текст] / Г.Д. Петров. – М.:Машиностроение, 1984. – 320 с.

**Stanislav Geruk, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Dmytro Gerasymchuk, post-graduate**

*Zhytomyr Agricultural College, Zhytomyr, Ukraine*

#### **Trends construction potato harvesters**

Purpose of the article - increasing qualitative and quantitative indicators of the process of separation of potato layer by developing designs and rationalization of parameters and modes of baking powder-egalitarian layer potato harvesting machine.

The analysis of structures potato harvesters with which obtained the hypothesis that efficiency in potato diggers must digging up of tool use working bodies engaged in loosening potato soil.

Conclusions: loosening potato layer is most advisable to carry out at the beginning of the process when it digging up, leading to a significant improvement in reducing separation and metal machine at preventing injury tubers; the analysis process can be concluded that to improve efficiency in potato diggers must digging up of tool use working bodies engaged in loosening potato layer.

**potatoes, potato harvesters, separation, digging up the working bodies, destruction**

Одержано 03.11.16

УДК 631.333.92

**Г.А. Голуб, проф., д-р техн. наук, С.І. Павленко, доц., канд. техн. наук, ст. наук.сп.**  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України, м.Київ, Україна*  
*E-mail: life-is-life.08@mail.ru*

## Моделювання процесу руху компосту по лопаті барабана під час розпушування буртів

Одним із важливих елементів технологічного процесу виробництва компостів є розпушування буртів. Тому, формалізація процесу механічного розпушування буртів є важливим фактором як при експлуатації існуючих машин, так і при проектуванні нових. Наведено методику визначення початкового кута метання та абсолютної швидкості вильоту частинок компосту з лопаті робочого органу під час розпушування буртів.

**компост, бурт, барабан, лопать, кінематичний показник**

**Г.А. Голуб, проф., д-р техн. наук, С.И. Павленко, доц., канд. техн. наук, ст. научн. сотр.**

*Национальный университет биоресурсов и природоиспользования Украины, г. Киев, Украина*

**Моделирование процесса движения компоста по лопасти барабанах во время рыхления буртов**

Одним из важных элементов технологического процесса производства компостов является рыхление буртов. Поэтому, формализация процесса механического рыхления буртов является важным фактором, как при эксплуатации существующих машин, так и при проектировании новых. Приведена методика определения начального угла метания и абсолютной скорости вылета частиц компоста с лопасти рабочего органа при рыхлении буртов.

**компост, бурт, барабан, лопасть, кинематический показатель**

**Постановка проблеми.** Ефективність функціонування аграрного виробництва визначається забезпеченням збалансованого кругообігу органічних матеріалів. Важливу роль у цьому процесі відіграють механізовані процеси виробництва компостів на основі гною, посліду та органічної сировини рослинного походження. У зв'язку з різноманітністю форм та фізико-механічних властивостей органічної сировини необхідно мати певні типи робочих органів змішувачів-аераторів для здійснення технологічних операцій компостування. Тому, формалізація процесів механічного впливу робочих органів на органічну сировину при компостуванні є важливим фактором як при експлуатації існуючих машин, так і при проектуванні нових. Технологічний процес розпушування компосту та подальшого формування компостного бурта ускладнений тим, що оброблюваний матеріал описується як дискретне середовище із неоднорідними та анізотропними фізико-механічними і реологічними властивостями. Це обумовлює необхідність комплексного вирішення задач, щодо створення механіко-технологічних основ процесу розпушування та механічної аерації компосту.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Основним конструктивним елементом змішувача-аератора буртів є барабан з лопатями. Під час роботи змішувача-аератор здійснює поступальний рух, а барабан, що обертається, взаємодіє із забуртованим компостним матеріалом. Лопаті, врізаючись в структуру компостного матеріалу, відокремлюють певну його частину і одночасно змішують, розпушують, пересувають і перекидають в зону позаду барабана, формуючи новий бурт. Під час

розпушування в зоні польоту відокремлених часток відбувається насичення суміші киснем і зв'язання двоокису вуглецю, що утворився внаслідок мікробіологічних процесів. Розпушування буртів супроводжується зниженням температури компосту, зв'язанням вологи та інших газоподібних речовин [1].

Теоретичному опису технологічного процесу змішування та механічної аерації компосту присвячено ряд наукових праць [2,3,4,5]. Одержані залежності дають можливість прогнозувати результати роботи змішувача-аератора при зміні діаметра барабана, його колової швидкості та коефіцієнта завантаження. Розроблена також математична модель, яка включає систему залежностей ступеня зменшення бурта і коефіцієнта варіації змішування від коефіцієнта завантаження і кінематичного показника режиму роботи змішувача-аератора [6,7]. Широке коло питань щодо механіко-технологічних основ процесу компостування органічних матеріалів розглянуто також при дослідженні виробництва компостів для потреб грибовництва [8]. Отримані також залежності для визначення маси компосту на лопаті робочого органу змішувача-аератора під час розпушування буртів [9]. Однак існує потреба подальшого удосконалення існуючих закономірностей для визначення конструкційно-технологічних параметрів змішувачів-аераторів, які б дали змогу підвищити ефективність виробництва шляхом удосконалення і оновлення засобів механізації та обладнання, без використання якого неможливо досягти підвищення ефективності процесу компостування біомаси в системах органічного виробництва продукції.

**Постановка завдання.** Метою дослідження є визначення початкового кута метання та абсолютної швидкості вильоту частинок компосту з лопаті робочого органу під час розпушування буртів.

**Виклад основного матеріалу.** Для розробки математичної моделі процесу взаємодії барабана аератора із буртом органічної суміші приймаємо наступні припущення:

- робочий орган для аерації органічної суміші узагальнений у вигляді барабану з радіальним розміщенням лопатей;
- конструкцію барабана аератора розглядаємо як плоску задачу у поперечному перерізі (рис. 1);

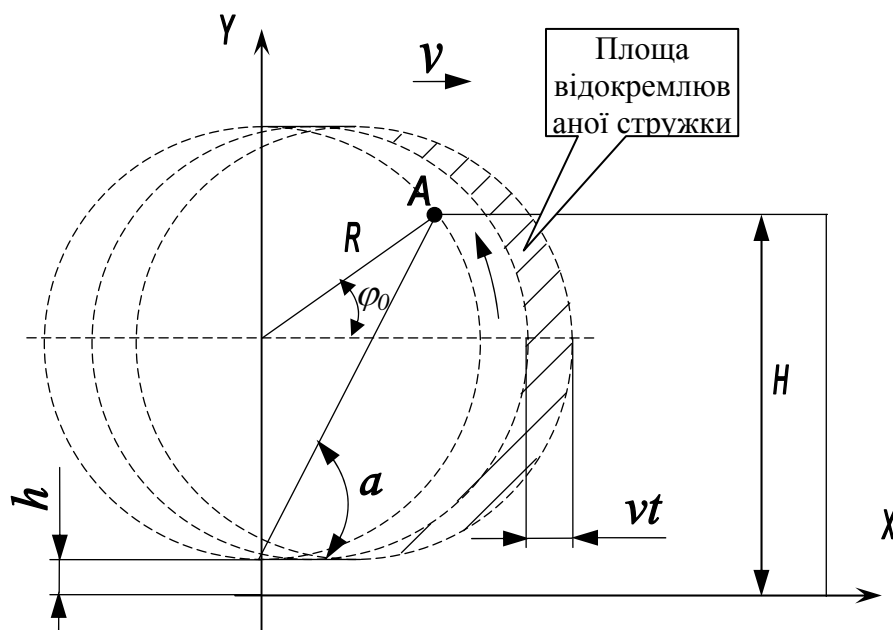


Рисунок 1 – Розрахункова схема для визначення кута початку розвантаження компосту з лопаті

- лобова поверхня вихідного бурта знаходиться під кутом  $\alpha$  природного укусу до горизонту, а його обрушення відбувається вздовж площини, нахиленої під кутом природного укусу;
- розвантаження компосту з лопаті робочого органу починається тоді, коли її край виходить із області вихідного бурта.

Розглянемо критичну точку  $A$ , яка характерна для процесу взаємодії лопатей барабана з буртом. Це єдина, точка в якій пересікаються лінія природного укусу бурта, лінія висоти бурта та контур обертання лопатей барабана змішувача-аератора. Якщо висота бурта буде більшою ніж наведено на рис. 1, компост, який буде знаходитися вище лінії висоти бурта, що проходить через точку  $A$  буде самопливом звальватися на лопаті барабана, що буде призводити до погіршення якості розпушування компосту. Якщо ж висота бурта буде меншою ніж рівень лінії висоти бурта, що проходить через точку  $A$ , змішувач-аератор буде працювати із заниженою продуктивністю.

У цьому випадку кут початку розвантаження компосту з лопаті можна визначити за виразом:

$$H - h - R - R \sin \varphi_0 = 0; \sin \varphi_0 = \frac{H - h}{R} - 1; \varphi_0 = \arcsin\left(\frac{H - h}{R} - 1\right), \quad (1)$$

де  $H$  – висота бурта, м;

$h$  – висота установки барабана, м;

$R$  – радіус барабана, м.

Загальновідомо, що крайня точка лопаті виконує одночасно поступальний і обертальний рух, описуючи при цьому трохойду, рівняння якої записують у вигляді:

$$\begin{cases} x(t) = R \sin(\omega t) + vt, \\ y(t) = R(1 - \cos(\omega t)). \end{cases} \quad (2)$$

де  $t$  – час, с;

$x, y$  – координати точки, м;

$\omega$  – кутова швидкість обертання лопаті робочого органу,  $\text{с}^{-1}$ ;

$v$  – швидкість поступального руху робочого органу, м/с.

Виходячи із другого рівняння даної системи та із урахуванням того, що координата по  $y$  дорівнює висоті бурта  $H$ , можна визначити час повороту барабана від вертикальної вісі до виходу лопаті із компосту за виразом:

$$y(t) = H = R(1 - \cos(\omega t)); \cos(\omega t) = 1 - \frac{H}{R}; t = \frac{1}{\omega} \arccos\left(1 - \frac{H}{R}\right). \quad (3)$$

У початковий момент часу лопать знаходиться під кутом  $\varphi_0 = B$  до горизонту. При куті повороту  $\varphi_0 + \Delta\varphi = B + \omega t$  порція компосту надходить на край лопаті і сходить з неї. Таким чином, порція компосту проходить деякий шлях по лопаті за час розвантаження  $t$ . Для визначення відносної швидкості руху частинки по радіальній лопаті обертового барабана з урахуванням опору середовища, який пропорційний швидкості руху, скористаємося схемою дії сил на частинку, що знаходиться на лопаті обертового барабана, приведену на рис. 2. В цьому випадку диференціальне рівняння руху матиме наступний вигляд:

$$\begin{aligned} m \frac{dv_R}{dt} = m \frac{d^2 r}{dt^2} = mr\omega^2 - mfk_1 \omega r - 2fm\omega \frac{dr}{dt} - \\ - mk_1 \frac{dr}{dt} - mg[f \cos(B + \omega t) + \sin(B + \omega t)], \end{aligned} \quad (4)$$

де  $m$  – маса частинки, кг;

- $r$  – поточний радіус положення частинки на лопатці, м;  
 $g$  – прискорення земного тяжіння, м/с<sup>2</sup>;  
 $f$  – коефіцієнт тертя частинки по матеріалу лопатки, відн. од.;  
 $B$  – початковий кут повороту лопатки барабана, рад.;  
 $t$  – час повороту барабана, с;  
 $vR$  – відносна швидкість руху частинки по лопатці, м/с;  
 $mrw^2$  – відцентрова сила інерції, Н;  
 $2mw \frac{dr}{dt}$  – коріолісова сила, Н;  
 $mg$  – сила тяжіння, Н;  
 $mfk_1rw$  – сила тертя завдяки опору повітря, що притискує частинку до лопатки, Н;  
 $mk_1 \frac{dr}{dt}$  – сила опору повітря, яка протидіє руху частинки в радіальному напрямі, Н;  
 $k_1$  – коефіцієнт пропорційності при ламінарному обтіканні частинки повітрям, с-1.

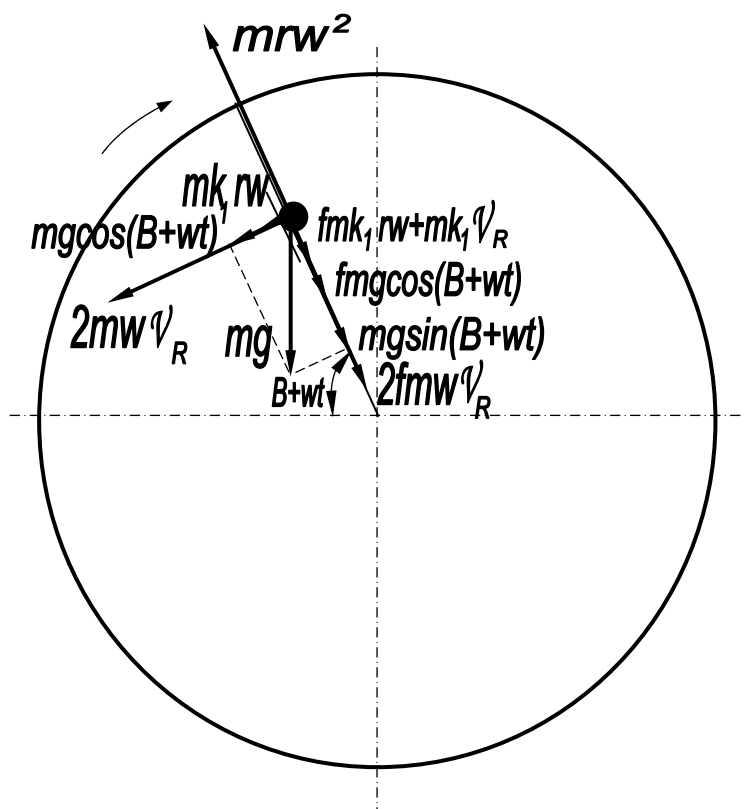


Рисунок 2 – Розрахункова схема дії сил на частинку компосту, яка сходить з лопаті робочого органу

Коефіцієнт пропорційності  $k_1$  визначає силу опору середовища, яка направлена протилежно напрямку швидкості руху частинок і пропорційна швидкості польоту частинки в першій степені, коли повітря обтікає частинки ламінарним потоком при числах Рейнольдса, менших 5 [8]. Виходячи з цього можемо записати:

$$k_1 = \frac{3\pi\eta d_E}{m} = \frac{3\pi\eta d_E}{\rho V} = \frac{18\eta}{\rho d_E^2}, \quad (5)$$

де  $\eta$  – динамічна в'язкість середовища, Н с/м<sup>2</sup>;

$d_E$  – розміри частинки через діаметр еквівалентного шару, м;

$\rho$  – щільність матеріалу частинки, кг/м<sup>3</sup>;

$V$  – об'єм частинки, м<sup>3</sup>.

Тоді диференціальне рівняння запишеться у наступному вигляді:

$$r'' + (2fw + k_1)r' - (w^2 - fk_1w)r = -g[f \cos(B + wt) + \sin(B + wt)]. \quad (6)$$

Дане рівняння є лінійними рівнянням другого порядку з постійними коефіцієнтами та правою частиною у вигляді тригонометричного поліному. Загальновідомо, що відповідне йому однорідне диференціальне рівняння матиме вигляд:

$$r'' + (2fw + k_1)r' - (w^2 - fk_1w)r = 0, \quad (7)$$

а його корені:

$$\lambda_1 = -\left(fw + \frac{k_1}{2}\right) + \sqrt{w^2(1 + f^2) + \frac{k_1^2}{4}}; \quad \lambda_2 = -\left(fw + \frac{k_1}{2}\right) - \sqrt{w^2(1 + f^2) + \frac{k_1^2}{4}}, \quad (8)$$

де  $\lambda_1, \lambda_2$  – корені характеристичного рівняння, с<sup>-1</sup>.

Загальне рішення диференціального рівняння матиме вигляд [6]:

$$r = C_1 \exp(\lambda_1 t) + C_2 \exp(\lambda_2 t) + r_{чр}. \quad (9)$$

Часткове рішення неоднорідного диференціального рівняння знаходимо за загальновідомою методикою у вигляді тригонометричного полінома:

$$r_{чр} = M \cos(B + wt) + N \sin(B + wt), \quad (10)$$

де  $r_{чр}$  – часткове рішення неоднорідного диференціального рівняння, м.

Підставивши часткове рішення, а також його першу похідну  $r'_{чр} = -M\omega \sin(B + wt) + N\omega \cos(B + wt)$  та другу похідну  $r''_{чр} = -M\omega^2 \cos(B + wt) - N\omega^2 \sin(B + wt)$  у вихідне диференціальне рівняння, отримаємо:

$$\begin{aligned} & -M\omega^2 \cos(B + wt) - N\omega^2 \sin(B + wt) + \\ & + (2fw + k_1)(-M\omega \sin(B + wt) + N\omega \cos(B + wt)) - \quad \text{або} \\ & - (w^2 - fk_1w)(M \cos(B + wt) + N \sin(B + wt)) = -fg \cos(B + wt) - g \sin(B + wt); \\ & -M\omega^2 \cos(B + wt) - N\omega^2 \sin(B + wt) - \\ & - (2fw^2 + k_1w)M \sin(B + wt) + (2fw^2 + k_1w)N \cos(B + wt) - \\ & - (w^2 - fk_1w)M \cos(B + wt) - (w^2 - fk_1w)N \sin(B + wt) = \\ & = -fg \cos(B + wt) - g \sin(B + wt); \end{aligned}$$

Звідки маємо:

$$\begin{cases} (-2\omega^2 + fk_1\omega)M \cos(B + \omega t) + (2f\omega^2 + k_1\omega)N \cos(B + \omega t) = -fg \cos(B + \omega t) \\ (-2\omega^2 + fk_1\omega)N \sin(B + \omega t) - (2f\omega^2 + k_1\omega)M \sin(B + \omega t) = -g \sin(B + \omega t). \end{cases} \quad (11)$$

Значення коефіцієнтів даного тригонометричного поліному визначимо із системи рівнянь:

$$\begin{cases} (-2w^2 + fk_1w)M + (2fw^2 + k_1w)N = -gf \\ (-2fw^2 - k_1w)M + (-2w^2 + fk_1w)N = -g \end{cases}, \quad (12)$$

визначник якої становить:

$$\Delta = \begin{vmatrix} -2w^2 + fk_1w & 2fw^2 + k_1w \\ -2fw^2 - k_1w & -2w^2 + fk_1w \end{vmatrix} = w^2(4w^2 + k_1^2)(1 + f^2).$$

Значення коефіцієнтів становитимуть:

$$N = \frac{\begin{vmatrix} -2w^2 + fk_1w & -gf \\ -2fw^2 - k_1w & -g \end{vmatrix}}{\Delta} = \frac{2g[w(1 - f^2) - fk_1]}{w(4w^2 + k_1^2)(1 + f^2)},$$

$$M = \frac{\begin{vmatrix} -gf & 2fw^2 + k_1w \\ -g & -2w^2 + fk_1w \end{vmatrix}}{\Delta} = \frac{g[4fw + k_1(1 - f^2)]}{w(4w^2 + k_1^2)(1 + f^2)}.$$

Тоді часткове рішення неоднорідного диференційного рівняння матиме вигляд:

$$r_{\times D} = \frac{g[4fw + k_1(1 - f^2)]}{w(4w^2 + k_1^2)(1 + f^2)} \cos(B + \omega t) + \frac{2g[w(1 - f^2) - fk_1]}{w(4w^2 + k_1^2)(1 + f^2)} \sin(B + \omega t). \quad (13)$$

Для цього часткового рішення рівняння можна записати:

$$tg\varphi = \frac{gw[4fw + k_1(1 - f^2)]}{2gw[w(1 - f^2) - fk_1]} = \frac{4fw + k_1(1 - f^2)}{2[w(1 - f^2) - fk_1]}; \quad \varphi = \arctg \frac{4fw + k_1(1 - f^2)}{2[w(1 - f^2) - fk_1]},$$

а також:

$$\tilde{n} = \sqrt{\frac{g^2[4fw + k_1(1 - f^2)]^2}{w^2(4w^2 + k_1^2)^2(1 + f^2)^2} + \frac{4g^2[w(1 - f^2) - fk_1]^2}{w^2(4w^2 + k_1^2)^2(1 + f^2)^2}} = \frac{g}{w\sqrt{4w^2 + k_1^2}}.$$

Тоді повне рішення неоднорідного диференційного рівняння, як сума загального та часткового рішень матиме вигляд:

$$r = C_1 \exp(\lambda_1 t) + C_2 \exp(\lambda_2 t) + \frac{g}{w\sqrt{4w^2 + k_1^2}} \sin\left(B + \operatorname{arctg} \frac{4fw + k_1(1-f^2)}{2[w(1-f^2) - fk_1]} + wt\right). \quad (14)$$

Відносна швидкість руху частинки по лопатці становитиме:

$$v_R = \frac{dr}{dt} = \lambda_1 C_1 \exp(\lambda_1 t) + \lambda_2 C_2 \exp(\lambda_2 t) + \frac{g}{\sqrt{4w^2 + k_1^2}} \cos\left(B + \operatorname{arctg} \frac{4fw + k_1(1-f^2)}{2[w(1-f^2) - fk_1]} + wt\right). \quad (15)$$

Прийнявши початкові умови:

$$t = 0; \quad r = R_i = R - 0,5d_E; \quad v_R = v_{Ri} = 0 \quad (16)$$

система рівнянь для визначення постійних величин диференційного рівняння буде мати вигляд:

$$\begin{cases} \tilde{N}_1 + \tilde{N}_2 = R_i - \frac{g}{w\sqrt{4w^2 + k_1^2}} \sin\left(B + \operatorname{arctg} \frac{4fw + k_1(1-f^2)}{2[w(1-f^2) - fk_1]}\right) \\ \lambda_1 \tilde{N}_1 + \lambda_2 \tilde{N}_2 = -\frac{g}{\sqrt{4w^2 + k_1^2}} \cos\left(B + \operatorname{arctg} \frac{4fw + k_1(1-f^2)}{2[w(1-f^2) - fk_1]}\right). \end{cases} \quad (17)$$

Визначник даної системи рівнянь становить:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ \lambda_1 & \lambda_2 \end{vmatrix} = \lambda_2 - \lambda_1.$$

Значення постійних величин диференційного рівняння становитимуть:

$$C_1 = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \left[ R_i - \frac{g}{w\sqrt{4w^2 + k_1^2}} \sin\left(B + \operatorname{arctg} \frac{4fw + k_1(1-f^2)}{2[w(1-f^2) - fk_1]}\right) + \frac{g}{\lambda_2 \sqrt{4w^2 + k_1^2}} \cos\left(B + \operatorname{arctg} \frac{4fw + k_1(1-f^2)}{2[w(1-f^2) - fk_1]}\right) \right];$$

$$C_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \left[ \frac{g}{w\sqrt{4w^2 + k_1^2}} \sin\left(B + \operatorname{arctg} \frac{4fw + k_1(1-f^2)}{2[w(1-f^2) - fk_1]}\right) - \frac{g}{\lambda_1 \sqrt{4w^2 + k_1^2}} \cos\left(B + \operatorname{arctg} \frac{4fw + k_1(1-f^2)}{2[w(1-f^2) - fk_1]}\right) - R_i \right].$$

Для значень постійних величин диференційних рівнянь можна записати:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}\varphi_1 &= \frac{g}{\lambda_2 \sqrt{(4w^2 + k_1^2)}} : \left( -\frac{g}{w \sqrt{(4w^2 + k_1^2)}} \right) = -\frac{w}{\lambda_2}; \\ \operatorname{tg}\varphi_2 &= -\frac{g}{\lambda_1 \sqrt{(4w^2 + k_1^2)}} : \frac{g}{w \sqrt{(4w^2 + k_1^2)}} = -\frac{w}{\lambda_1}; \\ \varphi_1 &= -\operatorname{arctg} \frac{w}{\lambda_2}; \quad \varphi_2 = -\operatorname{arctg} \frac{w}{\lambda_1}; \\ c_1 &= \sqrt{\frac{g^2}{w^2(4w^2 + k_1^2)} + \frac{g^2}{\lambda_2^2(4w^2 + k_1^2)}} = \frac{g}{w \sqrt{(4w^2 + k_1^2)}} \sqrt{1 + \frac{w^2}{\lambda_2^2}}; \\ c_2 &= \sqrt{\frac{g^2}{w^2(4w^2 + k_1^2)} + \frac{g^2}{\lambda_1^2(4w^2 + k_1^2)}} = \frac{g}{w \sqrt{(4w^2 + k_1^2)}} \sqrt{1 + \frac{w^2}{\lambda_1^2}}. \end{aligned}$$

З урахуванням цього, значення постійних величин диференційного рівняння матимуть значення:

$$\begin{aligned} C_1 &= \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \left[ R_{II} - \frac{g}{w \sqrt{(4w^2 + k_1^2)}} \sqrt{1 + \frac{w^2}{\lambda_2^2}} \times \right. \\ &\times \left. \sin \left( B + \operatorname{arctg} \frac{4fw + k_1(1 - f^2)}{2[w(1 - f^2) - fk_1]} - \operatorname{arctg} \frac{w}{\lambda_2} \right) \right], \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} C_2 &= \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \left[ \frac{g}{w \sqrt{(4w^2 + k_1^2)}} \sqrt{1 + \frac{w^2}{\lambda_1^2}} \times \right. \\ &\times \left. \sin \left( B + \operatorname{arctg} \frac{4fw + k_1(1 - f^2)}{2[w(1 - f^2) - fk_1]} - \operatorname{arctg} \frac{w}{\lambda_1} \right) - R_I \right]. \end{aligned} \quad (19)$$

Результати розрахунків при діаметрі барабана 0,3 м, 6-ти лопатях у поперечному перерізі барабана, ширині лопаті 0,07 м, щільності компосту 500 кг/м<sup>3</sup> та швидкості руху аератора-змішувача 0,1 м/с у графічному вигляді наведені на рис. 3 та 4.

**Висновок.** Таким чином, встановлено, що збільшення величини кінематичного показника режиму роботи барабана аератора-змішувача від 60 до 120 за рахунок зміни кутової швидкості барабана від 20 до 40 рад/с призводить до зменшення еквівалентного діаметра частинок компосту на лопаті із 7,6 до 6 см та часу їх руху до сходу з лопаті з 0,033 до 0,014 с. При цьому початковий кут метання та абсолютна швидкість вильоту частинок компосту з лопаті збільшуються відповідно з 41 до 47 град. та із 6,3 до 12,6 м/с.

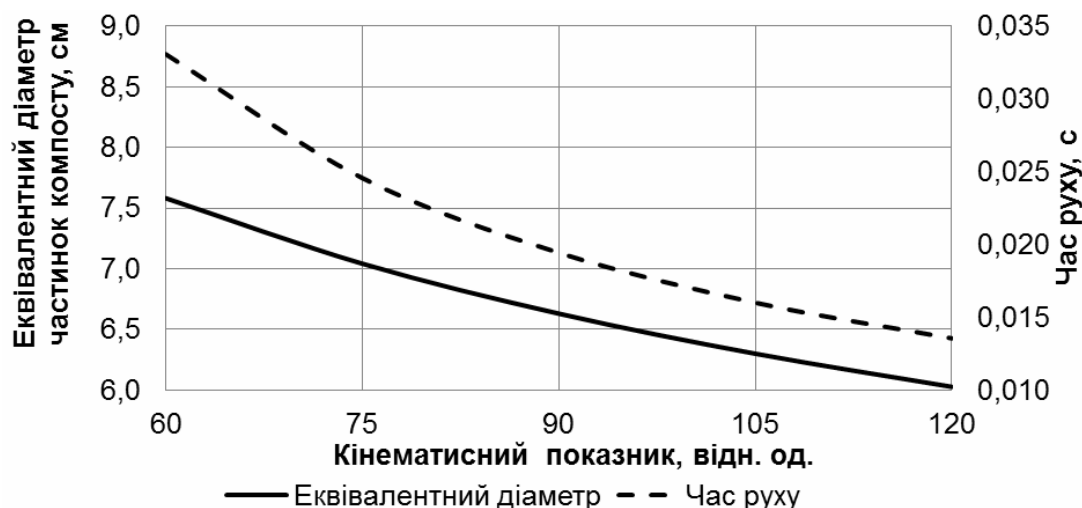


Рисунок 3 – Зміна еквівалентного діаметра частинок компосту на лопаті та часу їх руху до сходу з лопаті в залежності від кінематичного показника режиму роботи барабана

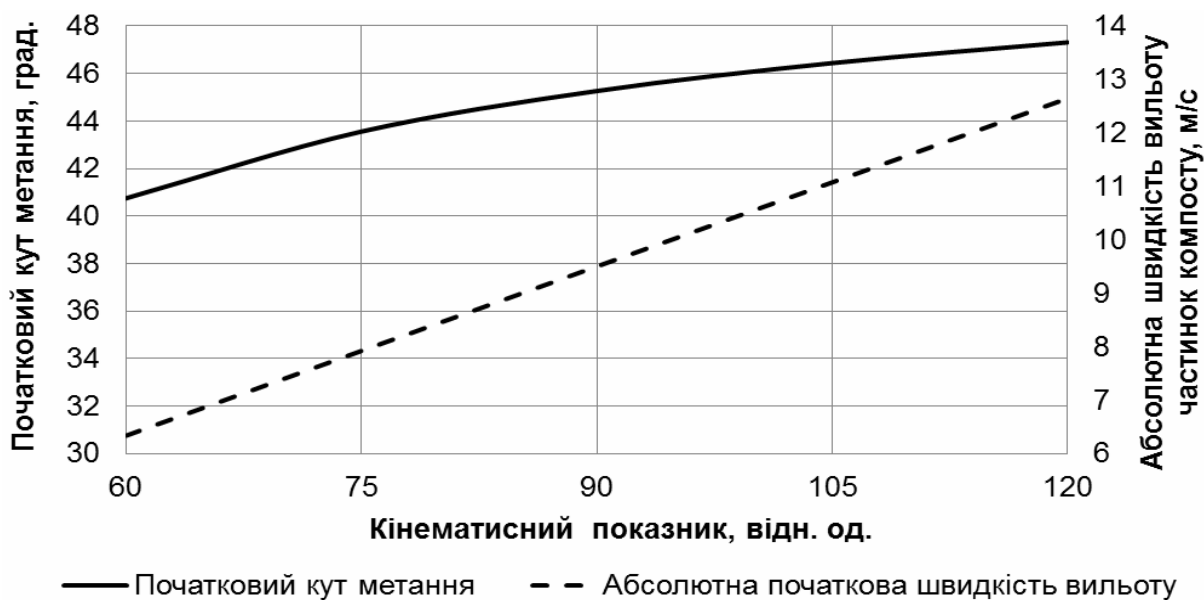


Рисунок 4 – Зміна початкового кута метання та абсолютної швидкості вильоту частинок компосту з лопаті в залежності від кінематичного показника режиму роботи барабана

Розроблена розрахункова модель дозволяє встановлювати параметри завантаження та розвантаження лопатей барабана аератора-змішувача у широких межах значень конструкційних та технологічних параметрів.

## Список літератури

1. Дослідити закономірності впливу механіко-технологічних параметрів систем комплексної переробки органічних відходів тваринництва і рослинництва на ефективність процесу, якість органічних добрив і показники екологічної безпеки: звіт про НДР (заключ.) [Текст] / Запорізький науково-дослідний центр з механізації тваринництва Національного наукового центру «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» (ЗНДЦМТ); Керівник роботи А.О. Парієв. – КП КВК 6591060; № держреєстрації 0111U004414. – Запоріжжя, 2015. – 291 с.

2. Шевченко І.А. Механіко-математична модель процесу розвантаження барабанного органу для змішування компостних матеріалів та механічної аерації [Текст] / І.А. Шевченко, О.С. Ковязін, В.І. Харитонов // Механізація, екологізація та конвертація біосировини у тваринництві. Зб. наук. праць Інституту механізації тваринництва УААН. – Запоріжжя: ІМТ УААН, 2008. – Вип.1. (5,6) 2010. – С. 248-265.
3. Шевченко І.А. Обоснование внешнего радиуса барабана аэратора компостных смесей [Текст] / И.А. Шевченко, А.С. Ковязин, В.И. Харитонов // Технічні системи і технології тваринництва: Вісник харківського Національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків, 2013. – Вип. 132. – С. 292-296.
4. Шевченко И.А. Теоретическое обоснование параметров аэратора компостных смесей [Текст] / И.А. Шевченко, А.С. Ковязин, В.И. Харитонов, И.Г. Величко // Зб. наук. праць ІМТ НААН “Механізація, екологізація та конвертація біосировини у тваринництві”. – Вип. 2(10). – Запоріжжя: ІМТ НААН, 2012 – С. 92-109.
5. Шевченко І.А. Теоретичний аналіз впливу конструктивних і розмірних параметрів робочих органів на продуктивність компостоготувальної машини [Текст] / І.А. Шевченко, О.О. Ляшенко // Збірник наукових праць "Механізація, екологізація та конвертація біосировини у тваринництві" ІМТ УААН. – Запоріжжя, 2008. – №1 (1). – С. 3-11.
6. Павленко С.І. Математическая модель взаимодействия рабочих органов смесителя-аэратора с компостируемыми материалами [Текст] / С.І. Павленко, А.А. Ляшенко, Н.Н. Науменко, В.А. Гуридова // Материали Международной научно-технической конференции. Минск, 22-23 октября 2015 г. – Т. 1. – Минск: НПЦ НАН Белоруссии по механизации сельского хозяйства. – 2015. – С. 137-147.
7. Павленко С.І. Теоретичні дослідження процесу взаємодії лопати робочого органу аератора з гноєкомпостною сумішшю [Текст] / С.І. Павленко // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. – Серія: Технічні науки. – Вип. № 3 (92). – Вінниця. – 2015. – С. 24-27.
8. Голуб Г.А. Агропромислове виробництво їстівних грибів. Механіко-технологічні основи: монографія [Текст] / Г.А. Голуб.– К.: Аграрна наука, 2007. – 332 с.
9. Голуб Г.А. Визначення маси компосту на лопаті барабану під час розпушування буртів [Текст] / Г.А. Голуб, С.І. Павленко // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія "Механізація та автоматизація виробничих процесів". – Суми: СНАУ, 2016. – Вип. 10/1 (29). – С. 99-103.

**Gennadiy Golub, Prof., DSc., Sergiy Pavlenko, Assoc. Prof., PhD tech. sci., senior researcher**

*National scientific centre "Institute for Agricultural Engineering and Electrification", Glevakha, Ukraine*

#### **Modeling of compost moving on the blade drums during loosening the collar**

The efficiency of the agricultural production cycle is determined by providing balanced organic materials. An important role in this process is played by mechanized production processes based compost manure, litter and organic raw materials of plant origin. Due to the variety of forms, physical and mechanical properties of organic materials must have certain types of working of the mixer-aerator implementation process operations composting. Therefore, the formalization process of mechanical action on workers of organic raw materials in the composting is an important factor as the operation of existing machines and the design of new ones.

The study aims to determine the initial angle and throwing absolute velocity particles departure compost with a shovel working body in the loosening clamps.

Found that increasing the size of the kinematic mode indicator drum mixer-aerator from 60 to 120 by changing the angular velocity of the drum from 20 to 40 s<sup>-1</sup> leads to a reduction of the equivalent diameter of the blades compost from 7.6 to 6 cm and timing of their movement the descent of the blade from 0.033 to 0.014 sec. This initial angle throwing speed and absolute departure compost particles of blades increased respectively from 41 to 47 degrees and from 6.3 to 12.6 m/s.

The developed model allows the calculation parameters loading and unloading blades drum mixer-aerator in a wide range of values of structural and technological parameters.

**compost, clamp, drum, blade, kinematic indicator**

Одержано 20.10.16

УДК 631.816.33

**В.А. Дейкун, доц., канд. техн. наук, Є.О. Тучков, студ.**

*Кіровоградський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

*E-mail: flora-84@mail.ru*

## Визначення факторів, які впливають на процес розподілення гранул добрив в підлаповому просторі конічним розподільником

У статті приводяться результати досліджень впливу деяких конструктивних та технологічних параметрів елементів конструкції комбінованого робочого органа для безполицевого обробітку ґрунту з одночасним внутрішньогрунтовым внесенням гранульованих мінеральних добрив, зокрема, їх вплив на рівномірність розподілення по поверхні ґрунту в зоні дії робочого органа.

**гранульовані добрива, внутрішньогрунтове, розподільник, конус, відбивання, траєкторія, рух, розподіл**

**В.А. Дейкун, доц., канд. техн. наук, Є.О. Тучков, студ.**

*Кіровоградський національний технічний університет, г. Кропивницький, Україна*

**Определение факторов, влияющих на процесс распределения гранул удобрений в подлаповом пространстве коническим распределителем**

В статье приводятся результаты исследований влияния некоторых конструктивных и технологических параметров элементов конструкции комбинированного рабочего органа для безотвального возделывания почвы с одновременным внутривпочвенным внесением гранулированных минеральных удобрений, в частности, их влияние на равномерность распределения по поверхности почвы в зоне действия рабочего органа.

**гранулированные удобрения, внутривпочвенное, распределитель, конус, отражение, траектория, движение, распределение**

**Постановка проблеми.** Отримання стабільних врожаїв сільськогосподарських культур неможливе без раціонального підживлення культурних рослин добривами. В зв'язку з недостатньою кількістю органіки, переважно застосовуються мінеральні добрива, близько 80% яких на даний час вносяться методом поверхневого розсіпання з подальшою заробкою в ґрунт дисковими чи плужними робочими органами, що, на наш погляд, є затратним та неефективним. Відомо, що внутрішньогрунтове внесення гранульованих мінеральних добрив [6] у ґрунт під час проведення основного безполицевого обробітку ґрунту сприяє кращому засвоєнню туків, зниженню енергоємності процесу та дозволяє знизити норму їх внесення.

**Аналіз основних досліджень і публікацій.** Вирішенню питання внутрішньогрунтового внесення добрив присвячені роботи багатьох вчених [2,3,9,11,12,15,16].

У ході проведення аналізу досліджень процесу внесення добрив було встановлено вплив основних технологічних факторів та конструктивних параметрів на ефективність функціонування комбінованого робочого органа. Це дало змогу сформулювати задачу стосовно можливості оптимізувати процес внутрішньогрунтового внесення гранульованих мінеральних добрив одночасно з виконанням основного безполицевого обробітку ґрунту.

Існують різноманітні конструкції розподільників, які забезпечують задовільну якість розподілення туків у підлаповому просторі, але складність форм робить їх виготовлення не технологічним. На кафедрі сільськогосподарського машинобудування Кіровоградського національного технічного університету проводились дослідження роботи запропонованого конічного розподільника, конструкція якого відрізняється простотою і технологічністю [4-8,10,13].

В результаті пошукових дослідів нами виявлено працездатність і задовільну якість розподілення туків. Однак, в деяких випадках при задовільному розподіленні по площі, ширина розсіву була недостатньою, що вимагає більш ґрунтовних досліджень.

**Постановка завдання.** Виходячи з проведеного аналізу, метою даної роботи є експериментально встановити оптимальні конструктивні та технологічні параметри деяких елементів конструкції комбінованого робочого органа для внутрішньогрунтового внесення гранульованих мінеральних добрив.

**Виклад основного матеріалу.** Аналіз результатів пошукових дослідів показав наступне: основними факторами, що впливають на ширину розсіву гранульованих мінеральних добрив у підлаповому просторі є кут твірної конуса та швидкість руху часток при відбитті від нього. При проведенні основного експерименту кут твірної конічного розсіювача змінювався у діапазоні  $\beta=15...45^\circ$ .

На швидкість руху частинок після відбиття від поверхні розподільника впливала зміна відстані від точки сходу часток з туконапрявника до вісі конічного розсіювача, яку варіювали у діапазоні  $h=50...70$  мм.

Проводилося планування повного факторного експерименту для вказаних двох факторів. Результати кодування факторів зводили до табл. 1.

Таблиця 1 – Результати кодування факторів

Фактор	Натуральна величина	Кодове значення	Інтервал варіювання	Рівні варіювання					
				Натуральні			Кодові		
				верхній	нижній	нульовий	верхній	нижній	нульовий
1. Кут твірної конусного розподільника, град.									
2. Відстань від туконапрявника до центра конуса, мм									

Згідно [1,12,14] для отримання надійності досліду 0,95, необхідно провести вимірювання у трикратній повторності.

Для виключення прояву невідомих випадкових факторів проведемо рандомізацію дослідів за допомогою таблиці випадкових чисел.

В процесі рандомізації нами отримана послідовність проведення дослідів:

- а) 2, 3, 1, 4 – для першої повторності;
- б) 2, 1, 3, 4 – для другої повторності;
- в) 3, 2, 4, 1 – для третьої повторності.

У ході проведення дослідів нами отримані дані, представлені в табл. 2.

Таблиця 2 – Умови проведення і результати дослідів

№ досліду	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>1</sub> x <sub>2</sub>	Вихідний параметр у, см			Середнє значення вихідного параметра, $\bar{y}_n$ , см
				Перша повторність, у <sub>n<sub>1</sub></sub> , см	Друга повторність, у <sub>n<sub>2</sub></sub> , см	Третя повторність, у <sub>n<sub>3</sub></sub> , см	
				31	28	31	30
				34	36	35	35
				46	43	43	44
				51	51	48	50

Перевірку відтворюваності дослідів проводили за критерієм Кохрена. Дисперсія відтворюваності розраховували за формулою

$$S_u^2 = \frac{1}{4} \sum_{n=1}^n S_U^2,$$

де  $S_u^2$  – дисперсія розсіву результатів у  $u$ -му досліді;

$n=4$  – кількість дослідів;

$U$  – номер досліду.

Дисперсія розсіву результатів кожного досліду обчислюється як

$$S_U^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{n=1}^n (y_n - \bar{y}_U)^2,$$

де  $m=3$  – число повторів;

$$S_{U_1}^2 = \frac{1}{3-1} \left( (31-30)^2 + (28-30)^2 + (31-30)^2 \right) = 3 \text{ см}^2,$$

$$S_{U_2}^2 = \frac{1}{3-1} \left( (34-35)^2 + (36-35)^2 + (35-35)^2 \right) = 1,7 \text{ см}^2,$$

$$S_{U_3}^2 = \frac{1}{3-1} \left( (46-44)^2 + (43-44)^2 + (43-44)^2 \right) = 3 \text{ см}^2,$$

$$S_{U_4}^2 = \frac{1}{3-1} \left( (51-50)^2 + (51-50)^2 + (48-50)^2 \right) = 3 \text{ см}^2.$$

Тоді дисперсія відтворюваності буде

$$S_y^2 = \frac{1}{4} \cdot (3 + 1,7 + 3 + 3) = 2,675 \text{ см}^2.$$

Значення критерію Кохрена розраховується за формулою

$$G = \frac{S_{U_{\max}}^2}{\sum S_4^2} = \frac{3}{3 + 1,7 + 3 + 3} = 0,28.$$

Табличне значення критерію Кохрена при кількості дослідів  $n=4$  і ступені вільності кожного досліду  $f_u = m-1 = 2$  буде дорівнювати 0,770.

Порівнявши табличне значення з розрахунковим

$$G(0,005; n; f_u) = 0,770 > G = 0,28$$

відзначимо, що табличне значення критерію вище, значить процес відтворюється.

Визначимо коефіцієнти регресії за формулами

$$e_0 = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^n \bar{y}_n,$$

$$e_i = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^n x_{i4} \cdot \bar{y}_n,$$

$$e_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^n x_{i4} \cdot x_{j4} \cdot \bar{y}_n.$$

Підставивши відомі значення отримаємо:

$$e_0 = \frac{1}{4}(30 + 35 + 44 + 50) = 39,75,$$

$$e_1 = \frac{-1 \cdot 30 + 1 \cdot 35 - 1 \cdot 44 + 1 \cdot 50}{4} = 2,75,$$

$$e_2 = \frac{-1 \cdot 30 - 1 \cdot 35 + 1 \cdot 44 + 1 \cdot 50}{4} = 7,25,$$

$$e_{12} = \frac{1 \cdot 30 - 1 \cdot 35 + 1 \cdot 44 + 1 \cdot 50}{4} = 0,25.$$

З урахуванням знайдених коефіцієнтів рівняння регресії прийме вигляд

$$y = 39,75 + 2,75x_1 + 7,25x_2 + 0,25x_1x_2.$$

Проведемо перевірку адекватності лінійної частини рівняння за критерієм Фішера.

Адекватність матиме місце, коли виконується нерівність

$$F = S_{ad}^2 / S_y^2 < F(0,05; f_{ad}; f_y),$$

де  $S_{ad}^2$  – дисперсія адекватності;

$F(0,05; f_{ad}; f_y)$  – критерій Фішера при 5%-му рівні значущості;

$f_{ad}$  – число ступенів вільності дисперсії адекватності;

$f_y$  – число ступенів вільності дисперсії відтворюваності.

Число ступенів вільності дисперсії адекватності розраховується як

$$f_{ad} = n - k - 1 = 4 - 2 - 1 = 1,$$

де  $k=2$  – кількість факторів.

Число ступенів вільності дисперсії відтворюваності обчислюється за формулою

$$f_y = n(m-1) = 4 \cdot (3-1) = 8.$$

Визначимо дисперсію адекватності

$$S_{ad}^2 = \frac{1}{f_{ad}} \sum_{n=1}^n (y - \bar{y}_U)^2,$$

де  $y$  – розрахункове значення відгуку у і-му досліді лінійної частини:

$$y = 39,75 + 2,75x_1 + 7,25x_2,$$

$$y^{(1)} = 39,75 - 1 \cdot 2,75 - 1 \cdot 7,25 = 29,75,$$

$$y^{(2)} = 39,75 + 1 \cdot 2,75 - 1 \cdot 7,25 = 35,25,$$

$$y^{(3)} = 39,75 - 1 \cdot 2,75 + 1 \cdot 7,25 = 44,25,$$

$$y^{(4)} = 39,75 + 1 \cdot 2,75 + 1 \cdot 7,25 = 49,75.$$

Дисперсія адекватності буде

$$S_{ad}^2 = \frac{1}{1} \left( (29,75 - 30)^2 + (35,25 - 35)^2 + (44,25 - 44)^2 + (49,75 - 50)^2 \right) = 0,25.$$

Таким чином значення критерію Фішера обчислюється як

$$F = \frac{0,25}{2,675} = 0,09.$$

Оскільки отримане значення менше табличного і виконується нерівність

$$F = 0,09 < F(0,05; f_{ad}; f_y) = 5,318,$$

то можемо зробити висновок, що модель адекватна.

Проведемо оцінку значущості коефіцієнтів регресії за допомогою критерію Стьюдента.

Коефіцієнт вважається значущим, якщо виконується нерівність

$$|e_a| \geq \Delta e_a = t(0,05; f_y) \cdot \frac{S_y}{\sqrt{n}},$$

де  $e_a$  – значення коефіцієнтів  $e_0, e_1, e_2, e_{12}$ ;

$\Delta e_a$  – довірча границя;

$t(0,05; f_y)$  – табличне значення критерію Стьюдента при 5%-му рівні значущості

та числі ступенів вільності дисперсії відтворюваності  $f_y$ .

Для вказаних умов табличне значення критерію Стьюдента  $t = 2,3$ .

Тоді

$$\Delta e_a = 2,3 \cdot \frac{\sqrt{2,675}}{\sqrt{4}} = 1,88.$$

Оскільки

$$e_0 = 39,75 > \Delta e_a = 1,88;$$

$$e_1 = 2,75 > \Delta e_a = 1,88;$$

$$e_2 = 7,25 > \Delta e_a = 1,88,$$

то вказані коефіцієнти регресії вважаємо значущими.

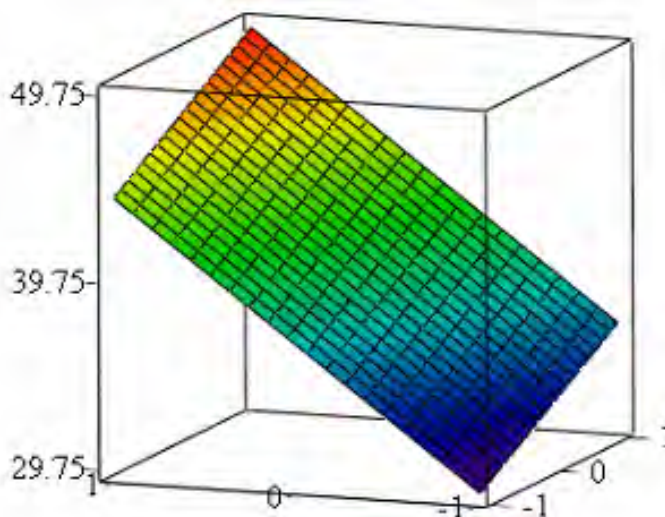
Коефіцієнт  $e_{12}$ , який відображає вплив на процес розсіювання добрив двох факторів вважаємо не значущими, оскільки

$$e_{12} = 0,25 < \Delta e_a = 1,88.$$

З урахуванням оцінки значущості коефіцієнтів рівняння регресії запишеться у вигляді

$$y = 39,75 + 2,75x_1 + 7,25x_2.$$

Аналіз отриманого рівняння показує, що найбільш впливовим фактором на процес розподілу по ширині захвату у підлаповому просторі робочого органу гранульованих мінеральних добрив, є відстань від туконепрямника до центра (вісі) конусного розподільника, зміна якої приводить до зміни швидкості переміщення частинок.



s

Рисунок 1 – Поверхня відгуку

**Висновки.**

1. З метою зниження енергозатрат на обробіток ґрунту та внесення добрив є необхідним впровадження в технологічні процеси вирощування продукції рослинництва комбінованих агрегатів на заміну традиційним способам обробітку ґрунту, операцій глибокого розпушування з одночасним внутрішньогрунтовым внесенням мінеральних добрив, що можуть проводитися комбінованими ґрунтообробними знаряддями.

2. Незважаючи на значну кількість конструкцій комбінованих ґрунтообробних робочих органів, більшість лап оснащуються додатковими елементами, що дозволяє спрямувати потік сипкого матеріалу та його рівномірний розподіл на задану поверхню.

3. Аналіз отриманого рівняння показує, що найбільш впливовим фактором на процес розподілу по ширині захвату у підлаповому просторі робочого органу гранульованих мінеральних добрив, є відстань від точки сходу часток добрив з туюнапрямки до центру (вісі) конусного розподільника, зміна якої приводить до зміни швидкості переміщення частинок.

**Список літератури**

1. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных [Текст] / Г.В. Веденяпин. – М.: Колос, 1973. – 199с.
2. Вильдфлуш Р.Т. Миграция питательных веществ в почве и особенности питания растений при локальном внесении основного минерального удобрения [Текст] / Р.Т. Вильдфлуш // Бюл. ВИУА. – 1974. – №18. – С. 64-79.
3. Гіліс М.Б. Локальне внесення добрив [Текст] / М.Б. Гіліс. – К.: УАСГН, 1962. – 192 с.
4. Дейкун, В. А. Анализ дальности полета частиц минеральных удобрений в подлаповом пространстве [Текст] / Дейкун В.А., Сало В.М., Гончаров В.В. // Motrol. Motorizacja i energetyka rolnictwa, Lublin. – 2012. – Т. 14 А. – Р. 177-179.
5. Дейкун, В. А. Визначення початкової швидкості руху часток добрив в місці їх виходу з туюнапрямки [Текст] / В.А. Дейкун // Розвиток наукових досліджень Матеріали восьмої міжнародної науково-практичної конференції. – Полтава: «ІнтерГрафіка», 2012. – С. 30-33.
6. Дейкун, В. А. Визначення факторів та параметрів, що впливають на процес розподілу добрив по ширині захвату робочого органу [Текст] / В.А. Дейкун // Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти. – Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2016. – Вип. 4. – С. 98-107.

7. Дейкун, В. А. Вплив конструктивних параметрів тукопровода на швидкість потоку гранул добрив [Текст] / В. А. Дейкун, В. М. Сало, С. Я. Гончарова // Електронний збірник – К: Збірник праць НУБІП, 2012. – [http://archive.nbu.gov.ua/e-journals/Nd/2012\\_7/12svm.pdf](http://archive.nbu.gov.ua/e-journals/Nd/2012_7/12svm.pdf).
8. Дейкун, В. А. Обґрунтування параметрів робочого органа для внутрішньогрунтового внесення мінеральних добрив [Текст] : дис.... канд. техн. наук / В. А. Дейкун. – Кіровоград, 2013.
9. Иванов И.А. Равномерность внесения удобрений и урожай [Текст] / И.А. Иванов, А.А. Конашенков // *Агрохимический вестник*. – 1999. – №7. – С. 43-48.
10. Ковбаса, В. П. Визначення умов розсіювання частинок мінеральних добрив у підлаповому просторі [Текст] / В.П. Ковбаса, В.А. Дейкун. // *Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження*. – Львів: Львів. нац. аграр. ун-т, 2008. – №12(2). – С. 180-188.
11. Ковриков И.Г. Основные принципы разработки распределительных устройств подпочвенно-разбросных сошников зерновых сеялок [Текст] / И.Г. Ковриков // *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. – 1983. – №5. – С. 13-14.
12. Комаров М.С. Основы научных исследований. – Львов: Выща шк., 1982.
13. Пат. 3724. Робочий орган для локального внесення мінеральних добрив [Текст]/ Дейкун В. А., Сало В. М., Васильковський О. М.; заявник і патентотримач Кіровоградський державний технічний університет. – №2004021299; заявл. 23.02.2004; опубл. 15.12.2004, Бюл. №12.
14. Хайліс Г.А., Коновалюк Д.М. Основы проектирования і дослідження сільськогосподарських машин. – К.: НМК ВО, 1992.
15. Шайхов М.К. Обоснование типа и параметров рабочих органов для внесения минеральных удобрений при безотвальной обработке почвы: автореф. дис. на соискание учен. степени канд. техн. наук [Текст] / М.К. Шайхов. – Челябинск, 1971. – 24 с.
16. Шмонин В.А. Исследование и разработка машин для внесения удобрений [Текст] / В.А. Шмонин и др. // *Труды ВИСХОМа*. – 1978. – Вып. 93. – С. 86-99.

**Viktor Deikun, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Yevhenij Tuchkov, stud.**

*Kirovograd National Technical University, Kropyvnickiy, Ukraine*

**Determination of factors influencing on the process of distribution of granules of fertilizers in subpaw space by a conical distributor**

To the article the results of researches of influence of some structural and technological parameters of elements of construction of the combined of the working body are driven for moldboardless till of soil with the simultaneous interflow bringing of granular mineral fertilizers, in particular their influence on an equitability for the surfaces of soil in the zone of action of the working body.

As a result of searching experiments we are educe a capacity and satisfactory quality of distribution of granules. However, on occasion at satisfactory distribution for areas, a width of dispersion was insufficient, that requires more sound researches.

The analysis of the obtained data shows that by the most influential factor on the process of distribution on the width of capture in subpaw space of working body of granular mineral fertilizers, there is distance from fraction to the center of cone distributor, the change of that causes the change of speed moving of particles.

**granular fertilizers, interflow, distributor, cone, reflection, trajectory, motion, distribution**

Одержано 21.11.16

УДК 631. 33. 02

**М. Л. Заєць, доц., канд. техн. наук**

*Житомирський національний агроекологічний університет, м. Житомир, Україна*

*E-mail: zaestmaksim@mail.ru*

## Теоретичне обґрунтування параметрів розподільника насіння сошника для підґрунтово-розкидного способу сівби

Розглядається визначення оптимальної форми розподільника та процес розподілу насіння комбінованим розподільником у вигляді криволінійної призми. Від форми розподільника залежить якість розподілення насіння по ширині смуги, що засівається. Рівномірність розташування насіння по ширині захвату сошника буде характеризуватися швидкістю надходження насіння на похилу ділянку розподільника.

**швидкість, сівба, розподільник, твірна, рівномірність**

**М. Л. Заец, доц., канд. техн. наук**

*Житомирский национальный агроэкологический университет, г. Житомир, Украина*

**Теоретическое обоснование параметров распределителя семян сошника для подпочвенно-разбросного способа посева**

Рассматривается определение оптимальной формы распределителя и процесс распределения семян комбинированным распределителем в виде криволинейной призмы. От формы распределителя зависит качество распределения семян по ширине полосы, которая засеивается. Равномерность расположения семян по ширине захвата сошника будет характеризоваться скоростью поступления семян на наклонный участок распределителя.

**скорость, сев, распределитель, образующая, равномерность**

**Постановка проблеми.** Суттєвою різницею між існуючими рядковими сівалками і сівалками для підґрунтово-розкидного способу сівби є конструкція сошників, зокрема їх розподільних пристроїв. Сошники сівалок для підґрунтово-розкидної сівби, у більшості випадків, виконані у вигляді культиваторної лапи з різною шириною захвату [5].

Розподільник насіння є одним з основних елементів сошника, який безпосередньо впливає на рівномірність розподілу технологічного матеріалу по площі поля та збільшення ширини смуги, що засівається. Різні форми відбивачів та конструкції розподільних пристроїв у сошниках для підґрунтово-розкидного способу сівби зумовлені підвищенням рівномірності розподілу насіння по площі поля.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідниками [1,2,3,4] доведена перевага розподільників із криволінійними твірними, на робочій поверхні яких насіння плавно змінюють напрямок свого руху і з мінімальними втратами кінетичної енергії надходять у підсошниковий простір і висівається на дно борозни.

Для того щоб швидкість руху насіння досягла максимальних значень у точці сходу з кривої, крива повинна задовольняти умовам найшвидшого переміщення частинок за деякий проміжок часу. Такою кривою по визначенню є брахистохрона.

Теоретичним і експериментальним дослідженням руху насіння по криволінійній твірній присвячена робота Кірова А.А. [3]. Він розглядає брахистохрону як сукупність прямолінійної ділянки й кола постійного радіуса  $r$ , а рух насіння по криволінійній твірній розглядає як рух насіння по такому колу.

**Постановка завдання.** Враховуючи те, що процес розподілу насіння при підґрунтово-розкидному способі сівби носить випадковий характер, оскільки визначається великою кількістю факторів, які неможливо повністю врахувати, то його можна розглядати у відповідності із законами теорії ймовірностей [2]. У зв'язку з цим пропонуються різні типи технологічних схем розподільних пристроїв сошників з метою проектування та виготовлення їх для подальшого дослідження.

**Виклад основного матеріалу.** Розглянемо рух одиничної насінини по похилій поверхні (похилій ділянці) комбінованого розподільника (рис. 1.). У момент часу  $t_0$  насінина сходить із криволінійної ділянки комбінованого розподільника і починає рухатись з початковою швидкістю  $V_{cх}$  під кутом  $\beta_0$ . У силу наявності ваги насіння і сили тертя напрямком руху частки зміниться і рух буде відбуватися по деякій кривій.

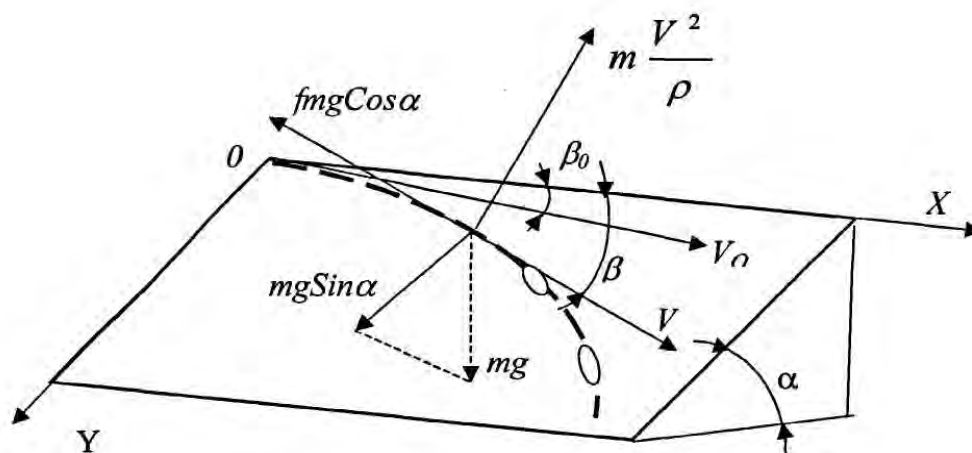


Рисунок 1 – Розрахункова схема сил, що діють на насінину при русі по похилій ділянці розподільника

Складемо диференціальні рівняння руху насіння в проекціях на нормаль і дотичну до траєкторії. Такі рівняння мають вигляд ([1]):

$$m \frac{dV}{dt} = mg \cdot \sin \alpha - fmg \cdot \cos \alpha, \quad (1)$$

$$m \frac{V^2}{\rho} = mg \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta, \quad (2)$$

де  $V$  – швидкість насіння на похилій ділянці в момент часу  $t$ ;  
 $\alpha$  – кут постановки похилої ділянки до горизонту, рад;  
 $\beta$  – кут між напрямком руху частки в момент часу  $t$  і віссю  $OX$  декартової системи координат, рад;  
 $\rho$  – радіус кривизни траєкторії руху по похилій ділянці в момент часу  $t$ , м.  
 Візьмемо до уваги, що

$$\rho = \frac{dS}{d\beta} = \frac{V \cdot dt}{d\beta}, \quad (3)$$

де  $dS/d\beta$  – збільшення шляху, м.

Підставивши значення  $\rho$  у рівняння (2) і виразивши  $dt$ , одержимо:

$$dt = \frac{V \cdot d\beta}{g \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta}. \quad (4)$$

Якщо тепер ввести значення  $dt$  в рівняння (1), то отримаємо наступний вираз:

$$\frac{dV}{V \cdot d\beta} mg \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta = mg \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta - fmg \cdot \cos \alpha. \quad (5)$$

Проведемо математичні перетворення і запишемо отримане рівняння

$$\frac{dV}{V} = \operatorname{tg} \beta \cdot d\beta - f \cdot \operatorname{ctg} \alpha \frac{1}{\cos \beta} \cdot d\beta. \quad (6)$$

Отримане диференціальне рівняння є рівнянням з розділеними змінними. Загальне рішення рівняння:

$$V = \frac{C}{\cos \beta} \cdot \left[ \frac{1 - \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}}{1 + \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} \right]^{f \cdot \operatorname{ctg} \alpha}, \quad (7)$$

де  $C$  – довільна постійна.

Постійну інтегрування знайдемо з початкових умов:

при  $\beta = \beta_0$   $V = V_{cx}$

$$C = \frac{V_{cx}}{\cos \beta_0} \cdot \left[ \frac{1 + \operatorname{tg} \frac{\beta_0}{2}}{1 - \operatorname{tg} \frac{\beta_0}{2}} \right]^{f \cdot \operatorname{ctg} \alpha}. \quad (8)$$

Підставимо значення  $C$  у вираз (7) і після перетворень одержимо формулу для визначення швидкості руху насіння по похилій ділянці:

$$V = \frac{V_{cx}}{\cos \beta_0 \cdot \cos \beta} \cdot \left[ \left( \frac{1 + tg \frac{\beta_0}{2}}{1 - tg \frac{\beta_0}{2}} \right) \cdot \left( \frac{1 - tg \frac{\beta}{2}}{1 + tg \frac{\beta}{2}} \right) \right]^{f \cdot ctg \alpha} \quad (9)$$

Траєкторія руху насіння по похилій ділянці може бути визначена по наступних залежностях:

$$\begin{aligned} dx &= V \cdot \cos \beta \cdot dt, \\ dy &= V \cdot \sin \beta \cdot dt. \end{aligned} \quad (10)$$

або в силу рівняння (4)

$$\begin{aligned} dx &= \frac{V^2 \cdot d\beta}{g \cdot \sin \alpha} \\ dy &= \frac{V^2 \cdot tg \beta \cdot d\beta}{g \cdot \sin \alpha} \end{aligned} \quad (11)$$

Загальне рішення системи рівнянь (11) [1]:

$$\begin{aligned} x &= -\frac{2 \cdot V_{cx}^2}{g \cdot \sin \alpha \cdot \cos^2 \beta_0} \cdot \left( \frac{1 + tg \frac{\beta_0}{2}}{1 - tg \frac{\beta_0}{2}} \right)^{2 \cdot f \cdot ctg \alpha} \cdot \\ &\cdot \left( \frac{1}{2 \cdot f \cdot ctg \alpha - 1} \cdot \left( \frac{1 - tg \frac{\beta}{2}}{1 + tg \frac{\beta}{2}} \right)^{2 \cdot f \cdot ctg \alpha - 1} + \frac{1}{2 \cdot f \cdot ctg \alpha + 1} \cdot \left( \frac{1 - tg \frac{\beta}{2}}{1 + tg \frac{\beta}{2}} \right)^{2 \cdot f \cdot ctg \alpha + 1} \right) + C_1 \\ y &= -\frac{V_{cx}^2}{g \cdot \sin \alpha \cdot \cos^2 \beta_0} \cdot \left( \frac{1 + tg \frac{\beta_0}{2}}{1 - tg \frac{\beta_0}{2}} \right)^{2 \cdot f \cdot ctg \alpha} \cdot \\ &\cdot \left( \frac{1}{2 \cdot f \cdot ctg \alpha - 2} \cdot \left( \frac{1 - tg \frac{\beta}{2}}{1 + tg \frac{\beta}{2}} \right)^{2 \cdot f \cdot ctg \alpha - 2} - \frac{1}{2 \cdot f \cdot ctg \alpha + 2} \cdot \left( \frac{1 - tg \frac{\beta}{2}}{1 + tg \frac{\beta}{2}} \right)^{2 \cdot f \cdot ctg \alpha + 2} \right) + C_2 \end{aligned} \quad (12)$$

де  $C_1$  і  $C_2$  – постійні інтегрування.

Постійні інтегрування визначимо, виходячи з початкових умов: при  $\beta = \beta_0$ ,  $x = 0$ ,  $y = 0$ .

$$\begin{aligned}
C_1 = & -\frac{2 \cdot V_{cx}^2}{g \cdot \sin \alpha \cdot \cos^2 \beta_0} \cdot \left( \frac{1 + tg \frac{\beta_0}{2}}{1 - tg \frac{\beta_0}{2}} \right)^{2 \cdot f \cdot ctg \alpha} \cdot \\
& \cdot \left( \frac{1}{2 \cdot f \cdot ctg \alpha - 1} \cdot \left( \frac{1 - tg \frac{\beta_0}{2}}{1 + tg \frac{\beta_0}{2}} \right)^{2 \cdot f \cdot ctg \alpha - 1} + \frac{1}{2 \cdot f \cdot ctg \alpha + 1} \cdot \left( \frac{1 - tg \frac{\beta_0}{2}}{1 + tg \frac{\beta_0}{2}} \right)^{2 \cdot f \cdot ctg \alpha + 1} \right) \\
C_2 = & -\frac{V_{cx}^2}{g \cdot \sin \alpha \cdot \cos^2 \beta_0} \cdot \left( \frac{1 + tg \frac{\beta_0}{2}}{1 - tg \frac{\beta_0}{2}} \right)^{2 \cdot f \cdot ctg \alpha} \cdot \\
& \cdot \left( \frac{1}{2 \cdot f \cdot ctg \alpha - 2} \cdot \left( \frac{1 - tg \frac{\beta_0}{2}}{1 + tg \frac{\beta_0}{2}} \right)^{2 \cdot f \cdot ctg \alpha - 2} - \frac{1}{2 \cdot f \cdot ctg \alpha + 2} \cdot \left( \frac{1 - tg \frac{\beta_0}{2}}{1 + tg \frac{\beta_0}{2}} \right)^{2 \cdot f \cdot ctg \alpha + 2} \right)
\end{aligned} \tag{13}$$

Аналізуючи вираз (13), можна зробити висновок про те, що максимальне переміщення по осі X (дальність розподілу насіння по ширині захвату сошника) буде при збігу напрямку швидкості в нульовий момент часу з віссю X (кут  $\beta=0^\circ$ ).

При цьому значення постійних інтегрування запишуться в такий спосіб:

$$\begin{aligned}
C_1 = & \frac{2 \cdot V_{cx}^2}{g \cdot \sin \alpha} \cdot \left( \frac{1}{2 \cdot f \cdot ctg \alpha - 1} + \frac{1}{2 \cdot f \cdot ctg \alpha + 1} \right) \\
C_2 = & \frac{V_{cx}^2}{g \cdot \sin \alpha} \cdot \left( \frac{1}{2 \cdot f \cdot ctg \alpha - 2} - \frac{1}{2 \cdot f \cdot ctg \alpha + 2} \right)
\end{aligned} \tag{14}$$

При установці розподільника з ексцентриситетом щодо осі насіннепроводу, відлік координати  $x$  ведемо від точки  $O$  – точки потрапляння насінини на похилу ділянку, координати  $y$  від осьової лінії розподільника (рис. 2.). При даному положенні можна записати:

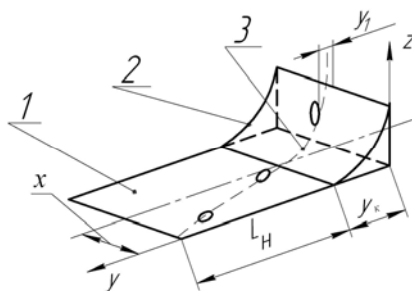
$$\begin{aligned}
x = & x(\beta) + C_1 \\
y = & y(\beta) + C_2 + (y_k \pm y_1)
\end{aligned} \tag{15}$$

де  $x(\beta)$  і  $y(\beta)$  – функції  $x$  і  $y$  в залежності від параметра  $\beta$  (система рівнянь 13);

$C_1$  і  $C_2$  – значення постійних інтегрування (14);

$y_k$  – проекція криволінійної твірної розподільника на похилу площину, м.

$y_1$  – відстань від осьової лінії розподільника до проекції точки потрапляння насінини на похилу ділянку, м (рис. 2.).



1 – похила ділянка, 2 – розподільник, 3 – траєкторія руху насіння

Рисунок 2 – Схема розподільника з похилою ділянкою

При русі сошника за рахунок сил інерції дійсні траєкторії руху насіння по похилій ділянці відрізняються від теоретичних, що буде впливати на ширину смуги, яку засіває сошник. Тому це явище необхідно врахувати за допомогою поправочного коефіцієнта. Після підстановки в систему рівнянь (15) значень  $\beta_0$ ,  $x(\beta)$ ,  $y(\beta)$ ,  $C_1$  і  $C_2$ , і врахувавши те, що довжина похилої ділянки – величина, що задається, рівна  $L_H$ , остаточно одержуємо рівняння руху насіння по похилій ділянці в параметричному виді:

$$\begin{aligned}
 x = K \cdot & \left[ -\frac{2 \cdot V_{cx}^2}{g \cdot \sin \alpha \cdot \cos^2 \beta_0} \cdot \left( \frac{1}{2 \cdot f \cdot ctg \alpha - 1} \cdot \left( \frac{1 - tg \frac{\beta}{2}}{1 + tg \frac{\beta}{2}} \right)^{2 \cdot f \cdot ctg \alpha - 1} + \frac{1}{2 \cdot f \cdot ctg \alpha + 1} \cdot \left( \frac{1 - tg \frac{\beta}{2}}{1 + tg \frac{\beta}{2}} \right)^{2 \cdot f \cdot ctg \alpha + 1} \right) + \right. \\
 & \left. + \frac{2 \cdot V_{cx}^2}{g \cdot \sin \alpha} \cdot \left( \frac{1}{2 \cdot f \cdot ctg \alpha - 1} + \frac{1}{2 \cdot f \cdot ctg \alpha + 1} \right) + x_k \right] \\
 L_H = & -\frac{V_{cx}^2}{g \cdot \sin \alpha \cdot \cos^2 \beta_0} \cdot \left( \frac{1}{2 \cdot f \cdot ctg \alpha - 2} \cdot \left( \frac{1 - tg \frac{\beta}{2}}{1 + tg \frac{\beta}{2}} \right)^{2 \cdot f \cdot ctg \alpha - 2} - \frac{1}{2 \cdot f \cdot ctg \alpha + 2} \cdot \left( \frac{1 - tg \frac{\beta}{2}}{1 + tg \frac{\beta}{2}} \right)^{2 \cdot f \cdot ctg \alpha + 2} \right) + \\
 & + \frac{V_{cx}^2}{g \cdot \sin \alpha} \cdot \left( \frac{1}{2 \cdot f \cdot ctg \alpha - 2} - \frac{1}{2 \cdot f \cdot ctg \alpha + 2} \right) \pm y_1.
 \end{aligned} \tag{16}$$

де  $K$  – поправочний коефіцієнт, обумовлений експериментальним шляхом.

$$K = \frac{B_{експ}}{2 \cdot x}, \tag{17}$$

де  $B_{експ}$  – експериментальне величина ширини смуги, яку засіває сошник.

Як видно з отриманої системи рівнянь, основними параметрами, що характеризують дальність розподілу насіння, є: довжина похилої ділянки  $L_H$ , швидкість надходження насіння із криволінійної поверхні розподільника на похилу ділянку  $V_{cx}$ , кут установки похилої ділянки до горизонту  $\alpha$ .

Аналізуючи отримані вирази визначимо мінімальний кут установки похилої ділянки з умови відсутності заторів на похилій площині:

$$f \cdot \operatorname{tg} \alpha > 1. \quad (18)$$

Підставивши значення коефіцієнта тертя рівне 0,36...0,37 для зернових колосових культур [2,3], визначимо, що мінімальний кут установки похилої ділянки до горизонту дорівнює 19,8 °...20,3°.

Задаючись довжиною похилої ділянки  $L_n$ , швидкістю надходження насіння  $V_{cx}$ , кутом нахилу  $\alpha$  і розв'язавши систему рівнянь (16) можна визначити дальність розсіву насіння  $x$  відносно осі симетрії сошника. Використовуючи отримані вирази (16), визначимо, що ширина смуги, яку засіває сошник, знаходиться в межах 95..100 мм при довжині похилої ділянки в межах 30... 70мм.

**Висновки.** Проведені теоретичні дослідження процесу розподілу насіння комбінованим розподільником дозволяють зробити наступні висновки:

1. Одним зі шляхів збільшення дальності розподілу насіння по ширині розсіву сошником є застосування розподільника, що представляє собою комбінацію подільника з криволінійної твірною у вигляді брахистохрони, і похилу поверхню, що розподіляє і є основою розподільника.

2. Отримано теоретичні залежності для визначення конструктивних параметрів комбінованого розподільника: швидкості сходу з криволінійної твірної від діаметра твірної кола брахистохрони; дальності розподілу насіння (у параметричному виді) від конструктивних параметрів похилої ділянки (довжини похилої ділянки і кута її встановлення до горизонту), використання яких дозволяє визначити оптимальні параметри розподільника і похилої ділянки для забезпечення розсіву насіння по ширині захвату сошника з необхідними дальністю і рівномірністю.

3. Значення довжини похилої ділянки вибрано на підставі дальності і рівномірності розподілу насіння і складає 60 мм. Комбінований розподільник може розподіляти насіння зернових культур по ширині 95-100 мм.

## Список літератури

1. Василенко П.М. Теория движения материальной частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин [Текст] / П.М. Василенко. – К.: Укр. акад. с.-х. наук, 1960. – 282с.
2. Есипов В.И. Исследование качественных показателей рабочих органов комбинированных посевных агрегатов при различных способах основной обработки почвы: дис. ... канд. техн. наук [Текст] / В.И. Есипов. – Куйбышев, 1976. – 212с.
3. Киров А.А. Обоснование процесса равномерного распределения семян по площади поля и параметров распределителя сошника для подпочвенно -разбросного посева: дис. ... канд. техн. наук [Текст] / А.А. Киров. – Кинель, 1984. –218с.
4. Заєць М. Л. Обґрунтування оптимальної величини ексцентриситету установки розподільника сошника для розкидного способу сівби сільськогосподарських культур [Текст] / М.Л. Заєць // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – 2008. – Вип. 38. – С. 87–91.
5. Заєць М.Л. Обґрунтування швидкості надходження насіння в сошник для підґрунтового-розкидного способу посіву [Текст] / М.Л. Заєць // Сільськогосподарські машини: зб. наук. ст. – Луцьк: РВВ ЛДТУ, 2007. – Вип. 16. – С. 81-89.
6. Заєць М. Л. Визначення швидкості руху насіння по розподільнику сошника для підґрунтового-розкидного способу сівби [Текст] /М.Л. Заєць, М.М. Живега// Збірник наукових праць. Серія «Техніка та енергетика АПК». – К., 2015. – Вип.226. – С. 307-315.
7. Романишин О. Ю. Сошник для розкидного способу сівби зернових культур [Текст] / О. Ю. Романишин, М. Л. Заєць // Вісник Полтавської державної аграрної академії. –2006. – № 4. – С. 87– 89.

8. Заєць М. Л. Удосконалення способу сівби зернових колосових культур [Текст] / М. Л. Заєць // Наукові читання – 2013 : наук.-теорет. зб. / ЖНАЕУ. – Житомир : ЖНАЕУ, 2013. – Т. 1. – С. 312–319.

**Maxim Zaets, Assoc. Prof., PhD tech. sci.**

*Zhytomyr National Agroecological University, Zhitomir, Ukraine*

**Theoretical study of parameters distributor for subsoil seed coultter-variation mode sowing**

We consider the determination of the optimal shape of the distributor and the process of distribution of seeds combined distributor in the form of curved prisms. From the shape of the distributor depends on the quality seeds for distribution bandwidth that sown. Uniformity location on the seeds width will be characterized by the speed of flow of seed in a sloping area distributor.

Distributor of seeds is a key element opener, which directly affects the even distribution of process material on the area of the field and increased bandwidth that sown. Various forms of reflectors and constructions of distribution devices for subsurface mode of sowing due to increased uniform distribution of seeds on the area of the field.

Given that the process of distribution of seeds in the subsoil, spreading it the way sowing is random, as determined by a lot of factors that can not be fully taken into account, it can be treated in accordance with the laws of probability theory. In this regard are various types of technological schemes distributor to design and manufacture them for further study.

**speed, sowing, distributor, generators, uniformity**

Одержано 30.10.16

**УДК 631.356.22**

**Є.І. Ігнат'єв\*, інж.**

*Таврійський державний агротехнологічний університет, м. Мелітополь, Україна*

*E-mail: yevhen.ihnatiev@tsatu.edu.ua*

## Теоретичне моделювання коливального руху фронтально навішеної на інтегральний орно-просапний трактор ХТЗ-16131 гичкозбиральної машини

Використання фронтальних гичкозбиральних машин з роторними гичкозрізальними апаратами, а також значне підвищення робочих швидкостей збирання спричиняють інтенсивні коливання в повздовжньо-вертикальній площині, що знижує якість обрізки головок коренеплодів і викликає значні втрати гички. Тому виникає необхідність теоретичного дослідження коливального руху в повздовжньо-вертикальній площині гичкозбиральної машини, що фронтально навішена на колісний трактор. Для цього розроблена розрахункова математична модель руху гичкозбиральної машини, на основі використання вихідних рівнянь динаміки у формі Лагранжа 2-го роду. Відповідно до розробленої еквівалентної схеми, обраних узагальнених координат і виконаних необхідних математичних перетворень отримана система, що складається із двох нелінійних диференціальних рівнянь, які описують коливання ротаційного ріжучого апарата гичкозбиральної машини в повздовжньо-вертикальній площині при русі її пневматичних копіюючих коліс по нерівностях поверхні ґрунту.

**гичка, роторний ріжучий апарат, трактор, коливання, диференціальні рівняння**

© Є.І. Ігнат'єв, 2016

\*Науковий керівник: Булгаков В.М., докт. техн. наук, проф., академік НААН України

**Е.И. Игнатъев, инж.**

*Таврический государственный агротехнологический университет. г.Мелитополь, Украина*

**Теоретическое моделирование колебательного движения фронтально навешенной на интегральный пахотно-пропашной трактор ХТЗ-16131 ботвоуборочной машины**

Использование фронтальных ботвоуборочных машин с роторными ботвосрезающими аппаратами, а также значительное повышение рабочих скоростей уборки вызывают интенсивные колебания в продольно-вертикальной плоскости, что снижает качество обрезки головок корнеплодов и вызывает значительные потери ботвы. Поэтому возникает необходимость теоретического исследования колебательного движения в продольно-вертикальной плоскости ботвоуборочной машины, которая фронтально навешена на колесный трактор. Для этого разработана расчетная математическая модель движения ботвоуборочной машины, на основе использования исходных уравнений динамики в форме Лагранжа 2-го рода. Согласно разработанной эквивалентной схеме, выбранных обобщенных координат и выполнения необходимых математических преобразований получена система, состоящая из двух нелинейных дифференциальных уравнений, которые описывают колебания ротационного режущего аппарата ботвоуборочной машины в продольно-вертикальной плоскости при движении ее пневматических копирующих колес по неровностям поверхности почвы.

**ботва, роторный режущий аппарат, трактор, колебания, дифференциальные уравнения**

**Постановка проблеми.** Високопродуктивне і якісне збирання гички цукрового буряка залишається досить складним і актуальним завданням області буряківництва. Останнім часом у світі найбільш широкого розповсюдження отримав багатостадійний спосіб збирання гички, за яким спочатку здійснюється суцільний основний зріз усього масиву гички (по ширині захвату збиральної машини), її збір і транспортування в транспортний засіб, що рухається поруч, з наступним індивідуальним копіюванням кожної головки коренеплоду в рядку для виконання доочищення або дообрізання (або одночасно: доочищення й дообрізання різними робочими органами) головок коренеплодів від залишків гички. Оскільки зазначені операції здійснюються послідовно для коренеплодів цукрового буряка, які знаходяться в ґрунті (тобто на корені) і збирання гички передують операції викопування коренеплодів буряка із ґрунту, то гичкозбиральні машини, як самостійні сільськогосподарські машини, або гичкозбиральні модулі, як складові одиниці бурякозбиральних комбайнів, обов'язково розташовуються у фронтальному положенні стосовно енергетичного засобу (до трактора – якщо мова йде про начіпні гичкозбиральні машини або до передньої частини рами самохідних бурякозбиральних комбайнів). Однак, проведеними нами експериментальними дослідженнями встановлено, що в процесі роботи фронтально навешена на трактор гичкозбиральна машина здійснює рухи в просторі, які визначаються рельєфом поверхні поля, поступальною швидкістю руху трактора, розміщенням копіюючих коліс щодо системи підвісу машини й ін., що істотно впливає на якість виконання цього технологічного процесу. Використання в якості копіюючих – пневматичних коліс призводить до коливань гичкозбиральної машини у вертикальній площині, які значною мірою впливають на якість виконання технологічного процесу – рівномірне зрізання гички з голівок коренеплодів по всій ширині захвату, найбільш повний її збір і транспортування без втрат.

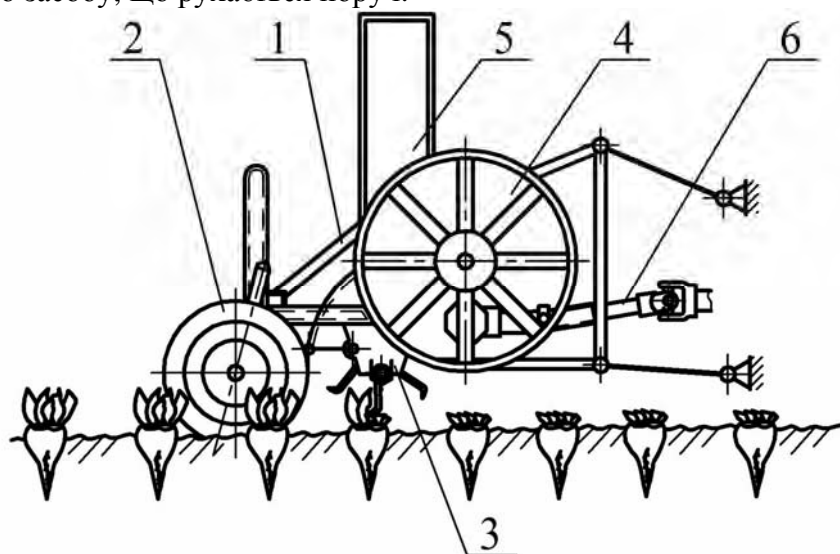
**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Незважаючи на широке поширення фронтально навешених гичкозбиральних модулів бурякозбиральних машин західного виробництва, а також деяких конструкцій вітчизняних фронтально навешених гичкозбиральних машин, досі ще не було проведено аналітичних досліджень коливального руху. Однак, використовуючи методику, викладену в [1], можна побудувати розрахункову математичну модель цієї машини, що дасть можливість вивчити вплив її конструктивних параметрів на рух по рядах коренеплодів цукрового буряка й нерівностям поверхні ґрунту.

**Постановка завдання.** Теоретичне дослідження коливального руху

гичкозбиральної машини, фронтально навішеної на колісний трактор у повздовжньо-вертикальній площині.

При виконанні даного дослідження використані методи побудови розрахункових математичних моделей функціонування сільськогосподарських машин і машинних агрегатів, на основі теоретичної механіки та вищої математики.

**Виклад основного матеріалу.** Нами розроблена нова універсальна гичкозбиральна машина, що виконує технологічний процес за принципом косарки-подрібнювача, що фронтально навішується на колісний трактор. У цій машині використовується ротаційний гичкозрізувальний апарат, у якому ріжучі ножі шарнірно встановлені на приводному барабані, мають дугоподібну форму та, обертаючись у повздовжньо-вертикальній площині, забезпечують безпідпирний, безкопирний зріз основного масиву гички по всій ширині захвату [9-11]. На рис. 1 показана конструктивно-технологічна схема цієї машини, що зрізує як пучки й листя гички, так і рослини, які знаходяться на буряковому полі, і транспортує зрізану масу в кузов транспортного засобу, що рухається поруч.



1 – рама; 2 – пневматичне копіююче колесо; 3 – роторний гичкозрізувальний апарат; 4 – пристрій для транспортування зрізаної гички; 5 – вивантажувальний патрубок; 6 – привод робочих органів

Рисунок 1 – Конструктивно-технологічна схема гичкозбиральної машини, фронтально навішеної на трактор з ротаційним ріжучим апаратом

Технологічний процес збирання гички цукрового буряка відбувається в такий спосіб. При русі колісного трактора (з вузькими шинами) по рядках коренеплодів цукрового буряка копіюючі колеса 2, розташовані в передній частині рухомої рами 1, встановлюють ротор 3 з ножами на потрібну висоту зрізу. Ножі мають дугоподібну форму, причому шарнірно встановлені на циліндричній утворюючій по довжині ротора 3 таким чином, що забезпечують перекриття всієї ширини захвату. Ножі обертаються з великою частотою, завдяки чому забезпечується зріз усього масиву гички. Абсолютна швидкість кінців лез дугоподібних ножів для зрізу гички досягає 20...25 м/с, а для скошування інших, зокрема товстостебельних культур – 40...50 м/с [11]. Зрізана дугоподібними ножами гичка рухається у верхню частину кожуха, де попадає на шнековий транспортер, який переміщує зрізану масу в торцеву частину машини, після чого кидач 4 через патрубок 5 вивантажує її в кузов транспортного засобу, що рухається поруч із гичкозбиральним агрегатом. Привод 6 гичкозбиральної машини здійснюється від переднього вала відбору потужності агрегатуєного просапного

трактора. Остаточний технологічний процес збирання гички відбувається при доочищенні головок коренеплодів від залишків гички встановленим позаду агрегуючого трактора очисником з вертикальним приводним валом.

Основною перевагою гичкозбиральної машини ротаційного типу є те, що, маючи всього лише один робочий орган – ротор з ножами, вона забезпечує якісний зріз основної маси гички й транспортування її в транспортний засіб, який рухається поруч, або може розкидати подрібнену гичку на прибрану частину бур'ячного поля. Гичкозбиральна машина є універсальною та має високу надійність і може бути використана як ротаційна косарка (тобто може якісно зрізати різний травостій висотою до 1 м) [11]. До недоліків гичкозбиральної машини ротаційного типу варто віднести надмірне подрібнення гички у випадку її збору в кузов транспортного засобу, деяке забруднення зібраної маси гички ґрунтовими домішками, особливо при роботі на сухому ґрунті й при налаштуванні гичкозрізаючого апарата на понижену висоту зрізу, значні складності технічного обслуговування (зокрема при знятті дугоподібних ножів для заточки, заміни тощо).

Для визначення впливу конструктивних і кінематичних параметрів гичкозбиральної машини, фронтально навішеної на агрегуючий колісний трактор, на величину амплітуди коливань у поздовжньо-вертикальній площині гичкозрізаючого апарата необхідно побудувати її математичну модель.

Для цього аналітично розглянемо рух гичкозбиральної машини тільки в поздовжньо-вертикальній площині, тобто побудуємо математичну модель коливання гичкозбиральної машини при русі по нерівностях поверхні ґрунту тільки в одній площині. На підставі [1] складемо насамперед еквівалентну схему руху фронтально навішеної на колісний агрегуючий трактор гичкозбиральної машини в поздовжньо-вертикальній площині (рис. 2).

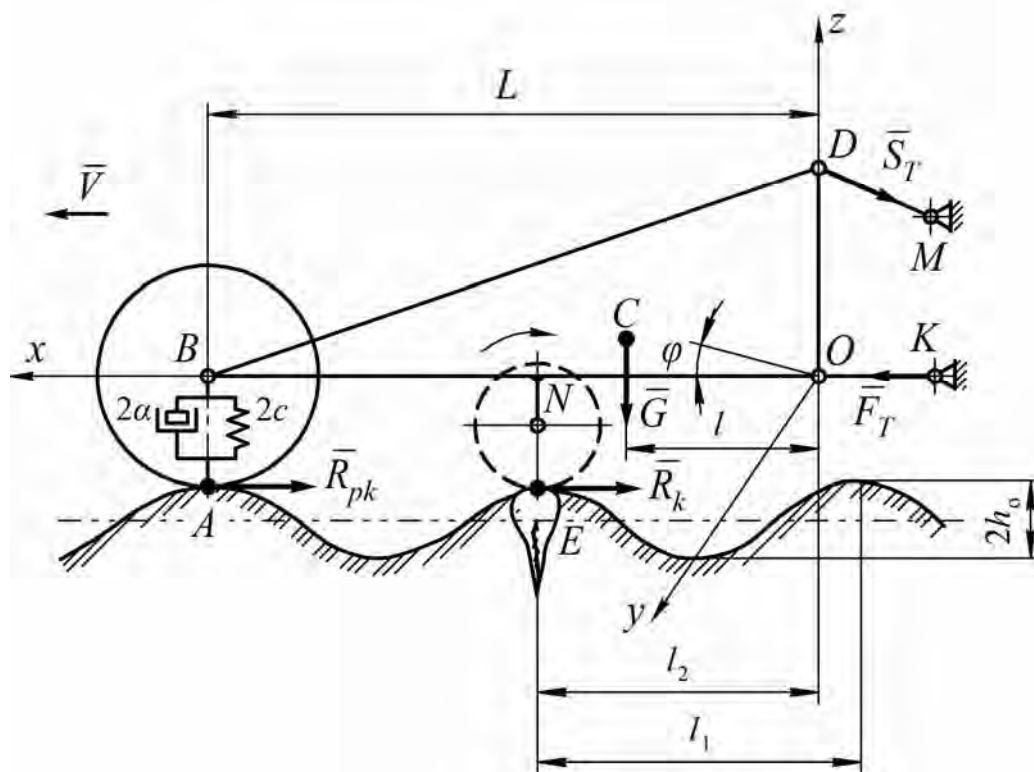


Рисунок 2 – Еквівалентна схема фронтально навішеної на трактор гичкозбиральної машини

Як видно з рис. 2, гичкозбиральна машина приєднується до трактора за допомогою двох нижніх тяг  $OK$  і однієї верхньої тяги  $DM$ , що мають шарніри в точках  $O, D, M$  і  $K$ . Радіуси копіюючих коліс і гичкозрізувального апарата позначимо відповідно через  $R$  і  $R_1$ . Маса всієї гичкозбиральної машини позначимо через  $M$ ; масу двох копіюючих коліс –  $m = m_1 + m_2$  (де  $m_1$  – маса першого копіюючого колеса,  $m_2$  – маса другого копіюючого колеса). Маса  $m$  обох копіюючих коліс зосереджена в точці  $B$ . Силу ваги гичкозбиральної машини, що прикладена в її центрі мас (точка  $C$ ) – через  $G$ .

Віднесемо дану динамічну систему до нерухокої декартової системи координат  $XOYZ$ . При цьому, площина  $XOZ$  збігається з поздовжньою площиною гичкозбиральної машини і являється вертикальною площиною до поверхні поля.

Пневматичні копіюючі колеса представлені у вигляді пружнодемпфуючих моделей, які мають сумарний коефіцієнт  $2c$  жорсткості й сумарний коефіцієнт  $2\alpha$  демпфірування.

Вважаємо, що колеса в цілому, при русі в міжряддях посівів цукрового буряка зминають верхній (більш пухкий) шар поверхні ґрунту, однак рухаються по нерівностях, які мають поздовжній профіль, близький до синусоїдального типу.

У першому наближенні можемо вважати, що пневматичне копіююче колесо, рухаючись у міжряддях посівів цукрового буряка й зминаючи верхній пухкий шар ґрунту, контактує з нерівністю поверхні поля в точці  $A$ . При цьому, нерівності поверхні ґрунту (у згладженому вигляді) можна представити у вигляді гармонійної функції, тобто аналітичним виразом такого вигляду [2]:

$$h = h_o \left( 1 - \cos \frac{2\pi x}{l_1} \right), \quad (1)$$

де  $h$  – ордината висоти нерівності поверхні ґрунту, м,

$h_o$  – половина висоти нерівності поверхні ґрунту, м;

$l_1$  – крок нерівності поверхні ґрунту, м;

$x = V \cdot t$  – поточна координата, м;

$V$  – поступальна швидкість руху гичкозбиральної машини, м/с.

Завдяки своїй вазі, трактор, при русі по нерівностях поверхні ґрунту, ще більш істотно зминає своїми ходовими колесами верхній шар ґрунту, згладжуючи тим самим існуючі нерівності, що сприяє зменшенню амплітуди вертикальних коливань центра мас самого трактора.

Очевидно, що по зазначених причинах вертикальні коливання колісного агрегатуючого трактора значно слабшають, однак, зовсім не зникають. Тому шарніри в точках  $K$  і  $M$  (рис. 2), як приналежні до трактора, також здійснюють вертикальні коливання. Однак, завдяки наявності шарнірів у точках  $O$  і  $D$  й значній масі гичкозбиральної машини, ці коливання на гичкозбиральну машину практично не передаються. Коливання агрегатуючого трактора викликають лише кутові коливання тяг  $OK$  і  $DM$ , що приєднують гичкозбиральну машину до трактора. При цьому, практично можна вважати, що шарніри  $O$  й  $D$  не здійснюють вертикальних коливань, а тяги  $OK$  й  $DM$  повертаються навколо точок  $O$  і  $D$  відповідно, а інші кінці (шарніри  $K$  й  $M$ ) коливаються самостійно разом із трактором. У силу сказаного вище, можемо

вважати, що точки підвісу гичкозбиральної машини (шарніри  $O$  й  $D$ ) рухаються в першому наближенні прямолінійно й рівномірно.

Оскільки гичкозбиральна машина навішена спереду агрегатуючого просапного трактора, то її копіюючі колеса першими сприймають існуючі нерівності профілю поверхні поля, що і викликає вертикальні кутові коливання рами гичкозбиральної машини навколо точки  $O$ . Очевидно, що кут повороту  $\varphi$  рами гичкозбиральної машини навколо точки  $O$  істотно залежить від величини  $h$  нерівності в точці  $A$ , у якій у цей момент перебуває копіююче колесо. Тому цей кут  $\varphi$ , у деякому наближенні, можемо визначити з такого виразу:

$$h = L \cdot \varphi, \quad (2)$$

де  $L$  – відстань від точки  $B$  осі копіюючого колеса до точки  $O$  підвісу рами до нижньої  $OK$  тяги (рис. 2).

З виразу (2) знаходимо значення даного кута  $\varphi$ :

$$\varphi = \frac{h}{L}, \quad (3)$$

або, з огляду на вираз (1), одержуємо остаточний вираз для кута  $\varphi$ :

$$\varphi = \frac{h_o}{L} \left( 1 - \cos \frac{2\pi x}{l_1} \right). \quad (4)$$

Таким чином, нерівності поверхні поля є кінематичним збудником кутових коливань рами гичкозбиральної машини. Однак, поворот рами машини навколо точки  $O$  може здійснювати тільки момент деякої сили, лінія дії якої не проходить через точку  $O$ . Такою силою в цьому випадку є сила, породжена цими нерівностями поверхні ґрунту, яка очевидно буде також змінюватися по тому ж синусоїдальному закону, що й самі нерівності профілю поверхні поля, тобто, згідно такого виразу:

$$H = H_o \left( 1 - \cos \frac{2\pi x}{l_1} \right), \quad (5)$$

де  $H_o$  – амплітуда зазначеної сили.

Очевидно, що ця сила, прикладена в точці  $A$ , спрямована уздовж осі  $OZ$ , і її момент щодо точки  $O$  буде дорівнювати:

$$M_o(H) = H_o L \left( 1 - \cos \frac{2\pi x}{l_1} \right). \quad (6)$$

Ця сила є зовнішньою активною силою, що діє на раму гичкозбиральної машини з боку поверхні поля.

Крім цієї основної сили, у точці  $A$  прикладена горизонтальна реакція  $\bar{R}_{pk}$ , що також є, загалом кажучи, перемінною та має більше значення при переміщенні колеса нагору по синусоїді виду (1) і менше – при переміщенні копіюючого колеса униз по

зазначеній синусоїді. Також у точці  $E$  діє реакція  $\bar{R}_k$  опору зрізанню гички роторним гичкозрізальним апаратом. Очевидно, що ці дві сили відіграють незначну роль у створенні кутових коливань рами машини в порівнянні із силою  $\bar{H}$  й вагою  $\bar{G}$  самої гичкозбиральної машини. Сили  $\bar{R}_{pk}$  й  $\bar{R}_k$ , у першу чергу, створюють опір переміщенню гичкозбиральної машини по полю, і спрямовані протилежно рушійній силі  $\bar{F}_T$  з боку агрегуючого трактора. Сила  $\bar{S}_T$  натягу тяги  $DM$  також не грає істотної ролі в створенні кутових коливань рами гичкозбиральної машини в силу своєї малості. Рушійна сила  $\bar{F}_T$  взагалі перетинає точку  $O$ , а тому тільки штовхає вперед гичкозбиральну машину, не створюючи ніякого моменту повороту рами гичкозбиральної машини навколо точки  $O$ .

Таким чином, істотну роль у створенні кутових коливань рами гичкозбиральної машини у вертикальній площині відіграє тільки сила  $\bar{H}$  (кінематичне збудження), що виникає внаслідок наявності нерівностей поверхні поля, і сила  $\bar{G}$  ваги гичкозбиральної машини. Слід зазначити, що лінії дії цих сил збігаються з напрямком переміщення їхніх точок прикладання, тобто точок  $A$  і  $C$  відповідно.

Однак слід зазначити, що амплітуда  $H_o$  сили  $\bar{H}$ , а також реакції  $\bar{R}_{pk}$  і  $\bar{R}_k$  є невідомими величинами. Тому, скористатися основним законом динаміки для складання диференціальних рівнянь руху фронтально навішеної на колісний агрегуючий трактор гичкозбиральної машини з урахуванням нерівностей профілю поверхні поля не представляється можливим. Для рішення цього завдання доцільно скористатися диференціальними рівняннями руху у формі Лагранжа II-го роду [1].

Для цього визначимо, насамперед, узагальнені координати даної динамічної системи. Положення центра мас гичкозбиральної машини (точка  $C$ ) у повздовжньо-вертикальній площині повністю визначається незалежною координатою  $\varphi$ . Оскільки центр мас пневматичних копіюючих коліс (точка  $B$ ) здійснює незалежні коливальні рухи внаслідок пружнодемпфуючих властивостей копіюючих коліс і ординати висот нерівності поверхні ґрунту  $h$  значно менші, ніж довжина  $L$ , то можемо вважати, що ці коливання можуть визначатися незалежною координатою  $Z$ . Таким чином, розглянута коливальна система може бути приведена до двох узагальнених координат:

$$\begin{aligned} q_1 &= \varphi, \\ q_2 &= Z. \end{aligned} \tag{7}$$

Із сказаного вище випливає, що основний вплив на вертикальне коливання гичкозбиральної машини здійснюють пружнов'язкий опір шин копіюючих коліс, вага гичкозбиральної машини та величина нерівностей поверхні поля. Таким чином, є всі підстави вважати, що на досліджувану механічну систему діють тільки потенційні сили й сили в'язкого опору. Скористаємося цією обставиною при складанні диференціальних рівнянь руху розглянутої динамічної системи на основі рівнянь у формі Лагранжа II-го роду.

Згідно [12], якщо на розглянуту динамічну систему діють тільки потенційні сили й сили в'язкого опору, то узагальнені сили  $Q_i$ , що входять у рівняння Лагранжа II-го роду, знаходяться із такого виразу:

$$Q_i = -\frac{\partial P}{\partial q_i} - \frac{\partial R}{\partial \dot{q}_i}, \quad (8)$$

де  $P$  – потенційна енергія динамічної системи;

$R$  – дисипативна функція (функція Релея);

$q_i$  – узагальнена координата;

$\dot{q}_i$  – узагальнена швидкість.

Диференціальні рівняння Лагранжа II-го роду в цьому випадку мають такий вигляд:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} = -\frac{\partial P}{\partial q_i} - \frac{\partial R}{\partial \dot{q}_i}, \quad (9)$$

де  $T$  – кінетична енергія даної динамічної системи.

Розглянута в даній роботі динамічна система має дві ступені свободи, а отже, як зазначалося вище, дві узагальнені координати  $q_1 = \varphi$  й  $q_2 = Z$ . Тому, у результаті цього, одержуємо систему двох диференціальних рівнянь у формі Лагранжа II-го роду:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi} &= -\frac{\partial P}{\partial \varphi} - \frac{\partial R}{\partial \dot{\varphi}}, \\ \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{Z}} \right) - \frac{\partial T}{\partial Z} &= -\frac{\partial P}{\partial Z} - \frac{\partial R}{\partial \dot{Z}}. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Далі були визначені складові, які входять у систему рівнянь (10) і виконані необхідні перетворення, обумовлені застосуванням рівнянь динаміки у формі Лагранжа II-го роду.

В остаточному вигляді математична модель вертикального переміщення центра мас копіюючих коліс гичкозбиральної машини може бути записана наступним чином:

$$\begin{aligned} z = e^{-\frac{\alpha}{m}t} & \left( -\frac{\frac{\alpha}{m}(N+R) + \frac{2\pi V}{l_1}M}{\sqrt{\frac{\alpha^2}{m^2} - \frac{2c}{m}}} \cdot \sin \sqrt{\frac{\alpha^2}{m^2} - \frac{2c}{m}} \cdot t - \right. \\ & \left. - (N+R) \cdot \cos \sqrt{\frac{\alpha^2}{m^2} - \frac{2c}{m}} \cdot t \right) + M \cdot \sin \frac{2\pi V}{l_1}t + N \cdot \cos \frac{2\pi V}{l_1}t + R, \end{aligned} \quad (11)$$

де  $M$ ,  $N$  й  $R$  – визначаються з виразів (12), (13) і (14) відповідно;

$t$  – час.

$$M = -\frac{16\pi^3\alpha V^3 h_0}{ml_1^3 \left[ \left( \frac{2c}{m} - \frac{4\pi^2 V^2}{l_1^2} \right)^2 + \frac{16\pi^2\alpha^2 V^2}{m^2 l_1^2} \right]}, \quad (12)$$

$$N = - \frac{\frac{2ch_o}{m} \left( \frac{2c}{m} - \frac{4\pi^2 V^2}{l_1^2} \right) + \frac{16\pi^2 \alpha^2 V^2 h_o}{m^2 l_1^2}}{\left( \frac{2c}{m} - \frac{4\pi^2 V^2}{l_1^2} \right)^2 + \frac{16\pi^2 \alpha^2 V^2}{m^2 l_1^2}}. \quad (13)$$

$$R = h_o. \quad (14)$$

Вираз (11) визначає закон поступальних вертикальних коливань центра мас копіюючих коліс (точка  $B$ ) при русі гичкозбиральної машини по нерівностям поверхні ґрунту, що задані аналітичним виразом (1).

Як видно з виразу (11), амплітуда власних коливань центра мас копіюючих коліс буде дорівнювати:

$$A = \sqrt{\frac{\left[ \frac{\alpha}{m}(N+R) + \frac{2\pi V}{l_1} M \right]^2}{\frac{\alpha^2}{m^2} - \frac{2c}{m}}} + (N+R)^2, \quad (15)$$

а амплітуда змушених коливань центра мас копіюючих коліс буде дорівнювати:

$$B = \sqrt{M^2 + N^2}. \quad (16)$$

Кругова частота  $\nu$  власних коливань центра копіюючих коліс знаходиться з такого виразу:

$$\nu = \sqrt{\frac{\alpha^2}{m^2} - \frac{2c}{m}}. \quad (17)$$

Кругова частота  $\omega$  змушених коливань буде дорівнювати:

$$\omega = \frac{2\pi V}{l_1}. \quad (18)$$

Визначивши координату  $z$  вертикального переміщення центра мас копіюючих коліс згідно виразу (11), можемо визначити вертикальне переміщення ножа роторного гичкозрізаючого апарату (точка  $E$ , рис. 2) з наступного виразу:

$$S_E(t) = l_2 \varphi(t) - \frac{l_2}{L} Z(t), \quad (19)$$

де  $l_2$  – відстань від точки  $M$  кріплення ножа до рами до точки  $O$  підвісу гичкозбиральної машини до нижньої тяги  $OK$ ;

$\varphi(t)$  – визначається згідно виразу:

$$\varphi = \frac{h_0}{L} \left( 1 - \cos \frac{2\pi Vt}{l_1} \right). \quad (20)$$

Отримана в результаті математична модель коливального руху фронтально навішеної гичкозбиральної машини може бути використана для визначення її оптимальних кінематичних і конструктивних параметрів. При подальшому чисельному моделюванні на ПЕОМ доцільно буде, в першу чергу, варіювати значенням швидкості руху трактора, з яким агрегатується машина, а також моментом інерції гичкозбиральної машини.

#### **Висновки.**

1. Проведено теоретичні дослідження коливального руху в повздовжньо-вертикальній площині гичкозбиральної машини, що фронтально навішена на колісний трактор.

2. Розроблена розрахункова математична модель руху гичкозбиральної машини, на основі використання вихідних рівнянь динаміки у формі Лагранжа 2-го роду.

3. Розроблена еквівалентна схема, на основі якої отримана система двох нелінійних диференціальних рівнянь, які описують коливання ротаційного ріжучого апарата гичкозбиральної машини в повздовжньо-вертикальній площині при русі її пневматичних копіюючих коліс по нерівностях поверхні ґрунту

4. Створено передумови для подальшого математичного чисельного моделювання параметрів фронтально навішеної гичкозбиральної машини, використовуючи розроблену модель коливального руху з метою визначення оптимальних кінематичних і конструктивних параметрів.

#### **Список літератури**

1. Василенко П. М. Введение в земледельческую механику [Текст] / П. М. Василенко. – К.: Сельхозобразование, 1996. – 252 с.
2. Морозов Б. И. Расчет движения колесной машины по неровной дороге [Текст] / Б. И. Морозов, Н. М. Грингауз // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1969. – № 7. – С. 11-14.
3. Василенко И. Ф. Теория режущих аппаратов жатвенных машин [Текст] / И. Ф. Василенко // Труды ВИСХОМ. – М.: 1937, №5. – С.7-14.
4. Резник Н. Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов [Текст] / Н. Е. Резник. – М.: Машиностроение, 1975. – 311 с.
5. Босой Е. С. Режущие аппараты уборочных машин. Теория и расчет [Текст] / Е. С. Босой. – М.: Машиностроение, 1967. – 167 с.
6. Татьяна Н. В. Расчет рабочих органов для обрезки ботвы сахарной [Текст] / Н. В. Татьяна // Тракторы и сельхозмашины. – 1962, №11. – С. 18-21.
7. Хвостов В. А. Машины для уборки корнеплодов и лука (теория, конструкция, расчет) [Текст] / В. А. Хвостов, Э. С. Рейнгарт. – М.: ВИСХОМ, 1995. – 391 с.
8. Булгаков В. М. Разработка конструкции новой универсальной ботвоуборочной машины [Текст] / В. М. Булгаков, А. А. Сиплывец и др. // Механізація с.-г. виробництва: Зб. наук. пр. НАУ. – К.: НАУ, 1997. – Т.ІІІ. – С. 76-77.
9. Булгаков В. М. Створення нового універсального комплексу бурякозбиральних машин для фермерських господарств [Текст] / В. М. Булгаков та ін. // Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації с.-г. техніки: Зб. наук. пр. – Кіровоград: КІСМ, 1997. – С. 22-25.
10. Булгаков В. М. Совершенствование технологического процесса и машин для уборки корнеплодов свеклы [Текст] / В. М. Булгаков // Автореф. дис. ... докт. техн. наук.– М.: ВИСХОМ, 1993. – 61 с.
11. Булгаков В. М. Бурякозбиральні машини [Текст]: [Монографія] / В. М. Булгаков. – К.: Аграрна наука, 2011. – 351 с.

12. Колычев Е. И. О выборе расчетного случая воздействия при исследовании плавности хода тракторов и сельхозмашин [Текст] / Е. И. Колычев, И. М. Перельцвайг // Тракторы и сельхозмашины. – 1976. – №3. – С. 9–11.

**Yevhen Ihnatiev, eng.**

*Tavria State Agrotechnological University, Melitopol, Zaporozhye region, Ukraine*

**Theoretical modeling of oscillatory motion of beet tops harvesting machine which is frontally-mounted on integral arable and row-crop tractor HTZ-16131**

Using of the frontally-mounted beet tops harvesting machines with rotary cutting units, as well as a significant increase in speeds of harvesting cause intense oscillations in its longitudinal vertical plane, which reduces the quality of the pruning heads of root crops and causing significant loss of beet tops.

Therefore there is a need for theoretical study of oscillatory motion in the longitudinal vertical plane of beet tops harvesting machines, which frontally-mounted on wheeled tractor. To do so developed a mathematical model of motion of beet tops harvesting machine, based on the use of the initial equations of dynamics in Lagrange form of the 2nd kind.

According to the elaborated equivalent circuit chosen and generalized coordinates and performed the necessary mathematical transformations was obtained a system that consists of two nonlinear differential equations that describe the oscillations of the rotary cutting device of beet tops harvesting machine in longitudinal vertical plane while moving its pneumatic gauge wheels on a rough surface of the soil.

**beet tops, rotary cutting unit, tractor, oscillation, differential equations**

Одержано 15.10.16

**УДК 631.362.36; 664.723**

**Б. І. Котов, проф., д-р техн. наук**

*Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця, Україна*

**Р.А. Калініченко, канд. техн. наук, О.Д. Курганський, асп.**

*Національний університет біоресурсів і природокористування України, м.Київ, Україна*

**С.П. Степаненко, канд. техн. наук, ст. наук. співр, В.О. Швидя, канд. техн. наук**

*Національний науковий центр „Інститут механізації та електрифікації сільського господарства”, с.м.т. Глеваха, Україна, E-mail: Stepanenko\_s@ukr.net*

## Теоретичні дослідження процесу охолодження зернового матеріалу при переміщенні у вібровідцентровому шарі

Розроблені математичні моделі і отримано аналітичні залежності для розрахунку режимних параметрів процесу охолодження зерна у вібропневмовідцентровому апараті.

**вібропневмовідцентровий апарат, зерновий матеріал, охолодження, перехресний рух потоків, кільцевий шар**

**Б.И. Котов, проф., д-р техн. наук**

*Винницький національний аграрний університет, г. Вінниця, Україна*

**Р.А. Калининко, канд. техн. наук, А.Д. Курганский, асп.**

*Национальный университет биоресурсов и природоиспользования Украины, г. Киев, Украина*

**С.П. Степаненко, канд. техн. наук, ст. науч. сотр, В.А. Швидя, канд. техн. наук**

*Национальный научный центр „Институт механизации и электрификации сельского хозяйства”, п.г.т. Глеваха, Украина*

### **Теоретические исследования процесса охлаждения зернового материала при перемещении в виброцентробежном слое**

Разработаны математические модели и получены аналитические зависимости для расчета режимных параметров процесса охлаждения зерна в вибропневмоцентробежном аппарате.

**вибропневмоцентробежный аппарат, зерновой материал, охлаждение, перекрёстное движение потоков, кольцевой слой**

**Постановка проблеми.** Охолодження зернових матеріалів в практиці агропромислового виробництва застосовується для зниження дії джерел самозігрівання при тимчасовому зберіганні та зниження температури зерна після сушіння в зерносушарках, так як за нормативними вимогами зерно після сушіння повинно мати температуру на 10°C більшу за атмосферне повітря (середовище зберігання) [1]. Практична експлуатація сушарок, де в якості охолоджувачів використовуються камери з повітророзподільчими коробами, які є продовженням шахтних сушильних камер, показує, що вони не забезпечують належного ефекту охолодження просушеного зерна. Більш перспективними є виносні охолоджувачі колонкового типу, які набули поширення у виробництві, але можливості інтенсифікації процесу теплообміну в них майже використані і обмежуються підвищенням швидкості повітря до 1,5 м/с. Використання віброзрідженого шару рухомого зерна для обробки охолоджуючим повітрям дозволяє суттєво інтенсифікувати теплообмін і підвищити продуктивність обладнання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розробкам теоретичних основ процесу охолодження зернового матеріалу і технічних засобів реалізації охолодження присвячена значна кількість робіт, виконаних у різні роки [2-7]. В роботі [2] обґрунтовані режимні параметри колонкових охолоджувачів, в роботі [3] досліджено охолодження у віброзрідженому шарі, роботи [4,5] висвітлюють питання інтенсифікації охолодження у закручених повітряних потоках пневмовідцентрового апарата; охолодження зерна у аероґравітаційних транспортерах вивчалось в роботах [6,7]. Аналізом існуючих публікацій виявлено, що основним інтенсифікуючим фактором процесу охолодження нагрітого зерна є підвищення відносної швидкості руху повітряного потоку (швидкості обтікання зернин). Але можливості збільшення швидкості повітряного потоку у пневмо і віброзрідженому шарі існуючих установок обмежені виносом матеріалу із шару. Тому є доцільним розглянути можливості інтенсифікації процесу охолодження зерна повітряним потоком в установках вібровідцентрової дії.

**Постановка завдання.** Скласти математичний опис теплових і механічних процесів при охолодженні зернового матеріалу у пневмовібровідцентровому шарі.

**Виклад основного матеріалу.** Для складання математичної моделі процесу охолодження зерна шляхом фільтрації повітря крізь кільцевий вертикально рухомий шар зернового матеріалу в режимі перехресної течії приймемо такі припущення, спрощуючи подальший аналіз:

– всі складові тепловіддачі зерна повітря враховуються коефіцієнтом теплообміну, значення якого залежить від режиму обтікання і в процесі охолодження не змінюється;

- градієнтом температури всередині зернини нехтуємо через його незначущість;
  - фізичні властивості зерна і повітря умовно прийняті постійними і віднесені до середніх температур входу і виходу із апарата;
  - швидкість руху повітря крізь шар приймаємо постійною.
- Розрахункова схема процесу показана на рис. 1.

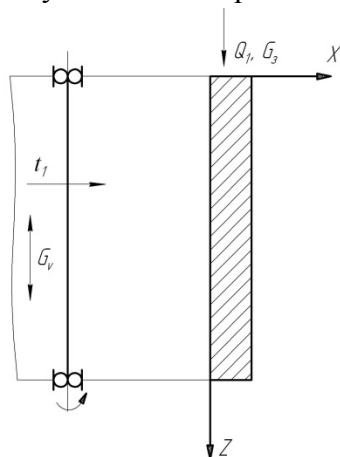


Рисунок 1 – Розрахунково-технологічна схема теплового процесу

Шар зерна рухається вздовж циліндричної опорної поверхні, яка обертається навколо вертикальної вісі і здійснює гармонічні коливання у вертикальному напрямку. Повітряний потік (шляхом просмоктування крізь шар) рухається у радіальному напрямку від центра до опорної перфорованої поверхні барабану).

З урахуванням прийнятих припущень, двомірний опис теплових процесів у перехресному русі потоків зерна (напрямок OZ) і повітря (OX) може бути записаний у вигляді диференціальних рівнянь теплообміну:

$$m_3 C_3 \frac{\partial \theta}{\partial \tau} + G_3 C_3 H \frac{\partial \theta}{\partial z} = \alpha \cdot F (t - \theta), \quad (1)$$

$$m_v C_p \frac{\partial t}{\partial \tau} + G_v C_p L \frac{\partial t}{\partial x} = \alpha \cdot F (\theta - t) \quad (2)$$

і рівняння теплового балансу повітря і зерна:

$$G_3 C_3 \partial \theta = G_v C_p \partial t. \quad (3)$$

В рівняннях (1) – (3) позначено:

$\theta, t$  – температура зерна і повітря, °C;

$C_3, C_p$  – питома теплоємність зерна і повітря, Дж/кг·°C;

$m_3, m_v$  – маса зерна і повітря в об'ємі шару що знаходиться на роторі, кг;

$G_3, G_v$  – масові витрати зерна і повітря, кг/с;

$\alpha, F$  – коефіцієнт і поверхня теплообміну, відповідно Вт/м<sup>2</sup>·°C і м<sup>2</sup>;

$H, L$  – висота і товщина шару матеріалу на поверхні барабану, м.

Розглянемо стаціонарний режим теплового процесу обробки зерна повітрям, коли в кожній точці об'єму рухомого шару на даний момент часу параметри зерна і повітря незмінні: прирівняємо похідні за часом до нуля  $\partial t / \partial \tau = \partial \theta / \partial \tau = 0$ .

Інтегруванням рівняння (3) в межах від  $t_1$  до  $t$  та від  $\theta_1$  до  $\theta$ , отримаємо:

$$t - t_1 = R \cdot (\theta_1 - \theta), \quad (4)$$

де  $R = G_3 C_3 / G_v C_p$ ;  $t_1, \theta_1$  – температура потоків на вході.

Підставляючи значення температури повітря  $t$  з рівняння (4) в рівняння (1) за

умови стаціонарності процесу, матимемо:

$$\frac{G_3 C_3 H}{\alpha F (R + 1)} \cdot \frac{d\theta}{dz} = \frac{t_1 + R\theta_1}{R + 1} - \theta. \quad (5)$$

Розв'язок рівняння (5) за граничної умови:  $z = 0, \theta = 0$ , отримаємо у вигляді:

$$\theta(z) = A - (A - \theta_1) \cdot e^{-\frac{z}{T_1}}, \quad (6)$$

$$\text{де } A = \frac{t_1 + R\theta_1}{R + 1}, T_1 = \frac{G_3 C_3 H}{\alpha F (R + 1)}.$$

Враховуючи, що шар зерна має невелику товщину, прийемо лінійний розподіл температури повітря в напрямку ОХ, тобто прийемо:

$$\frac{\partial t}{\partial x} = \frac{\Delta t}{\Delta x} = \frac{t_2 - t_1}{L}, t = t_{cp} = \frac{t_2 + t_1}{2},$$

де  $t_1, t_2$  – температура повітря на вході і виході з шару зерна.

Тоді рівняння (1) представимо у вигляді:

$$G_3 C_3 (t_2 - t_1) = \alpha F (\theta - 0,5t_1 - 0,5t_2). \quad (7)$$

Звідси визначимо температуру повітря на виході із шару зерна (температура відпрацьованого повітря):

$$t_2 = mt_1 + n\theta, \quad (8)$$

$$\text{де } n = \frac{\alpha F}{G_v C_p + 0,5\alpha F}, m = \frac{G_v C_p - 0,5\alpha F}{G_v C_p + 0,5\alpha F}.$$

Оскільки температура зерна змінюється в напрямку руху, то і температура повітря на виході шару буде змінюватись: підставляючи значення  $\theta(z)$  із (6) у рівняння (8), матимемо:

$$t_2(z) = mt_1 + n \left[ A - (A - \theta_1) \cdot e^{-\frac{z}{T_1}} \right]. \quad (9)$$

Для визначення кінетики і експозиції охолодження зерна в процесі, що розглядається, продиференціюємо рівняння (6) по  $z$  і підставимо отримане значення в рівняння (1). Отримаємо диференціальне рівняння динаміки охолодження зерна:

$$\frac{m_3 C_3}{\alpha F} \frac{d\theta}{d\tau} = -\frac{R + 1}{G_3 C_3 H \alpha F} \cdot (A - \theta_1) \cdot e^{-\frac{z}{T_1}} + \bar{t} - \theta, \quad (10)$$

де  $\bar{t} = 0,5t_1 + 0,5t_2(z)$  - середнє значення температури повітря.

З урахуванням (9) середня температура повітря визначиться наступним чином:

$$\bar{t} = 0,5 \cdot (1 + m)t_1 - 0,5 \cdot n\theta. \quad (11)$$

Підставляючи значення  $\bar{t}$  в рівняння (10) після перетворень матимемо:

$$T_2 \frac{d\theta}{d\tau} = B - \theta, \quad (12)$$

$$\text{де } T_2 = \frac{m_3 C_3}{\alpha F (1 - 0,5n)}; B = \frac{(1 + m)0,5t_1 - F(z)}{1 - 0,5n}; F(z) = \frac{(R + 1)(A - \theta_1)}{G_3 C_3 H \alpha F} \cdot e^{-\frac{z}{T_1}}.$$

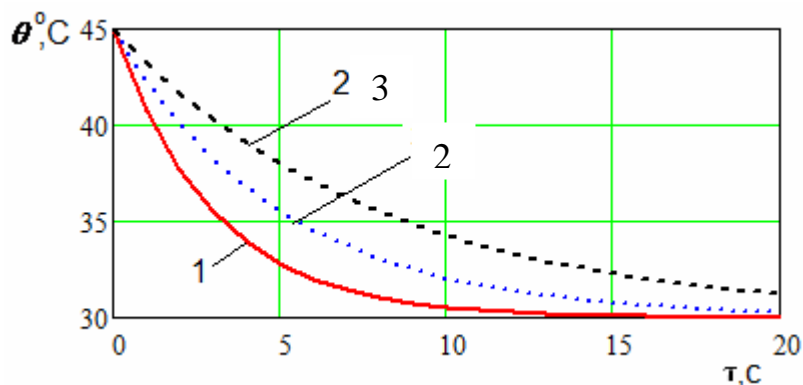
Розв'язуючи рівняння (12) за початкових умов:  $\tau = 0; \theta = \theta_0 = \theta_1$ , отримаємо: час охолодження зерна:

$$\tau = \frac{1}{T_2} \ln \frac{B - \theta_0}{B - \theta}, \quad (13)$$

зміна температури зерна в часі:

$$\theta(\tau) = B - (B - \theta_0) \cdot e^{-\frac{\tau}{T_2}}. \quad (14)$$

Таким чином, отримали рівняння для розрахунку процесу охолодження зерна в рухомому кільцевому шарі зерна при перехресному русі потоків. На рис.2 наведено графіки зміни температури зерна за часом.



1 – 10 мм; 2 – 20 мм; 3 – 30 мм

Рисунок 2 – Графічні залежності зміни температури зерна за часом від товщини шару зерна

В усі отримані рівняння входить параметр  $G_3$  – масова подача зерна, яка визначається швидкістю переміщення зернового шару вздовж поверхні:

$$G_3 = S \cdot V \cdot \rho_H, \quad (15)$$

де  $S = \frac{\pi}{4} [D^2 - (D - 2l)^2]$  – площа перетину шару зерна, м<sup>2</sup>;

$\rho_H$  – насінна щільність, кг/м<sup>3</sup>;

$V$  – швидкість руху.

Для визначення швидкості переміщення шару зерна та, відповідно, продуктивності установки, прийемо елементарний об'єм зернового шару  $\Delta V = \Delta x \cdot \Delta z$  за матеріальну точку і розглянемо її рух по циліндричній поверхні, яка рівномірно обертається навколо вертикальної вісі і одночасно здійснює гармонічні коливання у вертикальній площині (рис.3).

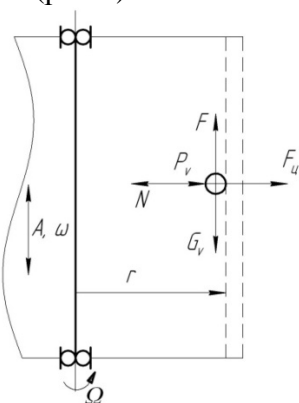


Рисунок 3 – Розрахунково-технологічна схема переміщення частки

Рівняння відносного руху матеріальної частки в проекції на вісі рухомої системи

координат, запишеться в такому вигляді:

$$\begin{aligned} m\ddot{z} &= mA\omega^2 \sin \omega t - mg + F \\ m\ddot{x} &= mr\Omega^2 - N + P_v \end{aligned} \quad (16)$$

де  $m$  – маса частки;

$A, \omega$  – амплітуда і частота вертикальних коливань;

$\Omega$  – кутова швидкість обертання;

$r$  – радіус циліндричної поверхні;

$F = N \cdot f$  – сила тертя;

$f$  – коефіцієнт тертя;

$N$  – нормальна реакція;

$P_v = k_b \cdot m \cdot g$  – сила повітряного потоку;

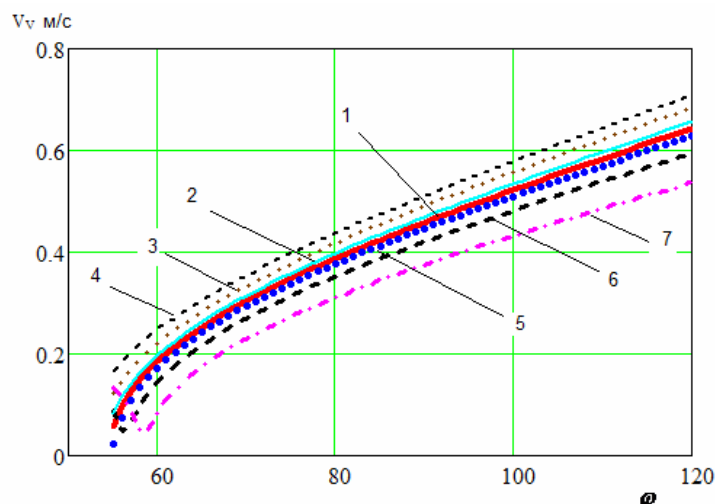
$k_a = \frac{v_v^2}{v_{a\dot{e}i}^2} + \frac{3\Delta P}{4 \cdot d_3 \cdot \rho_3 \cdot g}$  – коефіцієнт впливу повітряного потоку;

$\Delta P$  – різниця тиску повітря на поверхні шару і під решіткою;

$d_3, \rho_3$  – розмір і густина зернини;

$V_v$  – швидкість потоку зернини.

Для регулярного безвідриного режиму руху частини з миттєвими зупинками рівняння (14) мають стандартний розв'язок [8]. Результати дослідження руху частинки по поверхні при потокці повітря, діючого на внутрішню і зовнішню поверхню шару зерна, подано на рис. 4.



Крива 1 – безповітряного потоку; Крива 2,3,4 – подача повітряного потоку на зовнішню поверхню решета: Крива 2 –  $V=3$  м/с, Крива 3 –  $V=6$  м/с, Крива 4 –  $V=9$  м/с,

Крива 5,6,7 – подача повітряного потоку на внутрішню поверхню шару зерна (від центру):  
Крива 5 –  $V=3$  м/с, Крива 6 –  $V=6$  м/с, Крива 7 –  $V=9$  м/с

Рисунок 4 – Залежність швидкості руху зернового потоку від частоти обертання решета та швидкості повітряного потоку

Таким чином, отримані аналітичні залежності і їх графічна інтерпретація для розрахунків параметрів процесу охолодження зерна у вібровідцентрово-пневматичному агрегаті.

**Висновки.** В результаті проведених теоретичних досліджень створені спрощені математичні моделі процесів охолодження зерна в рухомому вібровідцентровому шарі при дії перехресного повітряного потоку.

Отримані розрахункові формули і графіки, які дозволяють визначити параметри теплового і кінематичного режиму роботи охолоджувальної установки.

## Список літератури

1. Послеуборочная обработка и хранение зерна [Текст] / Е.М. Вобликов, В.А. Буханцов, Б.К. Маратов, А.С. Прокопец. – РнД. «Март», 2001. – 240с.
2. Лурье В.М. Исследование процесса охлаждения семенного зерна: автореф. дис.... канд. техн. наук [Текст] / Лурье В.М.; ВИМ. – М., 1970. – 27с.
3. Авдеев А.В. Изыскание и исследование рациональных охладителей для зерносушилок сельскохозяйственного назначения: автореф. дис.... канд. техн. наук [Текст] / А.В. Авдеев; ВИСКОМ.– М., 1975. –20с.
4. Алтухова Т.А. Экспериментальные исследования работы вихревого охладителя зерна с помощью полнофакторного эксперимента [Текст] / Т.А. Алтухова, С.Н.Шуханов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. – №9. – С.99-102
5. Ханхасаев П.Ф. Интенсификация процесса охлаждения зерна путем повышения скорости обдува атмосферным воздухом: автореф.... дис. канд. техн. наук [Текст] / Ханхасаев П.Ф.. – Новосибирск, 1989. – 18с.
6. Соловьев М.И. Исследование теплообмена при движении зернистых материалов в горизонтальной пневмотрубе: автореф.... дис. канд. техн. наук [Текст] / М.И. Соловьев. – Минск, 1964. – 20с.
7. Блохин П.В. Аэрогравитационный транспорт [Текст] /П.В. Блохин. – М.: Колос, 1974. – 120с.
8. Заика П.М. Вибрационноперемещениетвердых и сыпучихтел в сельскохозяйственных машинах [Текст] / П.М. Заика. – К.: Изд-во УСХА, 1998. – 625с.

### **Borys Kotov, prof., DSc.**

*Vinitskii National Agrarian University, Vinnitsa, Ukraine*

### **Roman Kalinichenko, PhD tech. sci., Olexandr Kurganskiy, post-graduate**

*National University of life and environmental sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine*

### **Sergiy Stepanenko, PhD tech. sci., Sen. Researcher, Viktor Shvidia, PhD tech. sci.**

*National scientific centre "Institute for Agricultural Engineering and Electrification", Glevakha, Ukraine*

### **Theoretical research the cooling process of grain material when moving in layer vibrocentrifugal**

The purpose of research – create a mathematical description of the thermal and mechanical processes during cooling of the grain material pneumovibrocentrifugal layer.

Dimensional mathematical model describing the thermal processes in the cross-flow grain and the air has been developed. The analysis which made it possible to obtain a differential equation of grain cooling dynamics and the formula for calculating the change in the temperature of grain in time.

By analyzing the movement of a point on the inner surface of a rotating cylindrical sieve, which performs vertical harmonic oscillations were obtained image velocity depending on the flow of grain from the airflow and rotation frequency of the sieve.

As a result of theoretical investigations established simplified mathematical model of grain cooling processes in rolling vibrocentrifugal layer when exposed to air cross flow. These formulas and graphics that allow you to define the parameters of thermal and kinematic modes of operation of the cooling unit.

**pneumovibrocentrifugal apparatus, grain material, cooling, cross-flow movement, annular layer**

Одержано 08.09.16

УДК 539.3

**Л.М. Кривоблоцька, доц., канд. фіз.-мат. наук***Кіровоградський національний технічний університет, м.Кропивницький, Україна  
E-mail: igor\_givi@list.ru*

## Сингулярні ітерації в задачах газової динаміки

В статті викладено результати аналізу досліджень задач газової динаміки з метою встановити, з яким типом сингулярності зустрічаються механіки і математики при розв'язуванні ітераційними методами нелінійних проблем, які були запропоновані методи для нівелювання цих сингулярностей. Виявилось, що ці методи приводять до громіздких обчислень і штучних припущень при розв'язанні нелінійних задач; щоб покращити "добротність" ітеративних схем, потрібно у самі рівняння або в їх розв'язки у вигляді рядів або послідовностей певним чином вводити довільні функції і параметри, за допомогою яких можна впливати на прискорення збіжності ітераційних процесів. В статті запропоновано розв'язання задачі Лайтхілла на основі цього підходу.

**ударна хвиля, збурене середовище, задача Лайтхілла, сингулярні ітерації, регуляризація розв'язків****Л.Н. Кривоблоцкая, доц., канд. фіз.-мат. наук***Кировоградский национальный технический университет, г. Кропивницкий, Украина*

### Сингулярные итерации в задачах газовой динамики

В статье изложены результаты анализа исследований задач газовой динамики с целью установить, с каким типом сингулярности встречаются механики и математики при решении итерационными методами нелинейных проблем, какие методы были предложены для нивелирования этих сингулярностей. Оказалось, что эти методы приводят к громоздким вычислениям и искусственным предположениям при решении нелинейных задач; чтобы улучшить "добротность" итеративных схем, нужно в те же уравнения или в их решения в виде рядов или последовательностей определенным образом вводить произвольные функции и параметры, с помощью которых можно влиять на ускорение сходимости итерационных процессов. В статье предложено решение задачи Лайтхилла на основе этого подхода.

**ударная волна, возмущенная среда, задача Лайтхилла, сингулярные итерации, регуляризация решений**

**Постановка проблеми.** Ітераційні методи знайшли широке застосування при розв'язуванні нелінійних задач в різних областях фізики, математики, механіки, астрономії, машинобудування, зокрема, сільськогосподарського машинобудування, де багато деталей та агрегатів мають форму пластин з отвором та без нього. Особливо плідно ці методи використовуються при дослідженні нелінійних задач газової динаміки і абсолютно твердих тіл. За допомогою теорії збурень можна одержувати певне число наближень, проте ці наближення у багатьох випадках дозволяють одержати придатний, в практичному розумінні, розв'язок задачі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В задачах з вказаних областей механіки сингулярні ітерації зустрічаються порівняно часто і вони доставляють дослідникам значних клопотів. Тут можна назвати статті оглядового плану [1], в яких є посилання на задачі з аерогідрогазодинаміки, де знайдені методами ітерації розв'язки містять нерегулярні складові; вказані деякі методи їх регуляризації. Ці методи пізніше дістали назву метода Пуанкаре-Лайтхілла-Го (ПЛГ). В статті запропоновано розв'язання задачі Лайтхілла методом, ідеї якого викладені в працях [4], [5], [6], де досліджувався напружено-деформований стан пластини з отвором з врахуванням геометричної нелінійності. Розв'язки геометрично нелінійних задач мають на

«нескінченності» особливості, тобто вони необмежено зростають. Так, наприклад, якщо  $\alpha_1 = \rho$ ,  $\alpha_2 = \varphi$  – полярні координати, отвір  $L$  – круглий, то вже лінійне наближення для прогинів має особливості  $\rho^2$ ,  $\ln \rho$ ; моменти не мають особливостей. При  $k = 2, 3, \dots$  розв'язки задач для цієї пластини та обчислені на їх основі силові характеристики мають при  $\rho \rightarrow \infty$  ці та інші особливості вже більш високих порядків.

В процесі пошуку цих методів виникло непросте питання: де знайти, почерпнути вихідні ідейні принципи? В цьому значну допомогу надав проведений огляд вказаних наукових досліджень з ряду областей механіки. З'явилась така загальна ідея: вводити певним чином в самі початкові рівняння або в ітеративні схеми їх розв'язування довільні функції, параметри, варіюючи їх конкретним вибором, значеннями “гасити” небажані типи сингулярностей.

Зрозуміло, що реалізація на практиці цієї ідеї – задача не проста. В цій статті викладено конкретну реалізацію вказаної загальної ідеї.

**Постановка завдання.** Розглядається лише одна задача – задача Лайтхілла, на якій проілюстровано аналітичну природу сингулярних ітерацій і суть метода ПЛГ. Розглядаємо нескінчений двовимірний простір, який заповнений незбуреним ідеальним газом. Припускаємо, що у початку інерціальної системи координат  $Oxy$  є наявним кільце “нескінченно” малого радіусу з дуже розтягнутого полімерного матеріалу. Вважається, що кільце під дією внутрішнього зростаючого тиску починає розширюватись з певною швидкістю  $\varepsilon \alpha_0$ , де  $\varepsilon$  – малий параметр,  $\alpha_0$  – швидкість звуку у незбуреному газі. При його русі повітря буде збурюватись і спереду кільця побіжить ударна хвиля з швидкістю  $M \alpha_0$ , де  $M = \frac{v}{\alpha_0}$  – число Маха. Вибір системи

координат, необхідні позначення представлені на рис.1. Припускається, що позаду фронту ударної хвилі має місце адіабатичний процес. Ставиться задача: знайти поле швидкостей і тисків у області рухомого газу, яка обмежена радіусами  $\varepsilon a_0 t \leq r \leq M a_0 t$ .

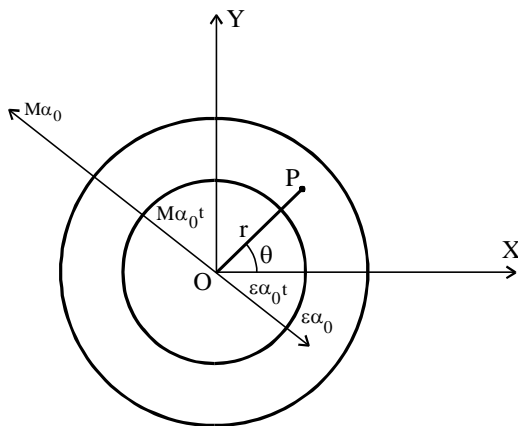


Рисунок 1 – Вибір системи координат для задачі Лайтхілла

**Виклад основного матеріалу.** Оскільки задача осесиметрична, то потенціал швидкостей  $\varphi(r, t)$  Лайтхілл пропонує знаходити у такому виді

$$\varphi = a_0^2 t f\left(\frac{r}{a_0 t}\right) = a_0^2 t f(x), \quad x = \frac{r}{a_0 t}. \quad (1)$$

Значить, в кінцевому рахунку, задача зводиться до знаходження функції  $f(x)$  на відріжку  $[\varepsilon, M]$ .

Для цього використовуються рівняння рідин (газів) в полярних (циліндричних) координатах [2].

$$\frac{\partial v_r}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r}, \quad (2)$$

де  $\rho = \rho(r, t)$  – густина газу,  $p = p(r, t)$  – функція тиску. У цьому рівнянні три невідомі функції:  $v_r(r, t)$ ,  $\rho_r(r, t)$ ,  $p_r(r, t)$ , дописуємо рівняння нерозривності [2]

$$a^2 \left( \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_r}{r} \right) + \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial p}{\partial t} + v_r \frac{\partial p}{\partial r} \right) = 0. \quad (3)$$

З врахуванням (3) рівняння руху (2) можна перетворити до виду

$$a^2 \operatorname{div} \vec{v} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial t} = v_r \frac{\partial v_r}{\partial t} + v_r^2 \frac{\partial v_r}{\partial r}, \quad (4)$$

де  $a^2 = \frac{\partial p}{\partial \rho}$  – швидкість звуку у збуреному газі;  $\operatorname{div} \vec{v} = \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_r}{r}$ .

Оскільки  $\vec{v} = \operatorname{grad} \varphi$ ,  $\operatorname{div}(\operatorname{grad} \varphi) = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial \varphi}{\partial r} \right)$ ,  $v_r = \frac{\partial \varphi}{\partial r}$ , то з (4) одержуємо

$$a^2 \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial \varphi}{\partial r} \right) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial t} = \frac{\partial \varphi}{\partial r} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial r \partial t} + \left( \frac{\partial \varphi}{\partial r} \right)^2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2}. \quad (5)$$

Використовуємо інтеграл Лагранжа-Коші [3],

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial t} = -\frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} - v_r \cdot \frac{\partial v_r}{\partial t} = -\frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} - \left( \frac{\partial \varphi}{\partial r} \right) \frac{\partial^2 \varphi}{\partial r \partial t}. \quad (6)$$

Підставляючи (6) у рівняння (5), одержуємо рівняння Лайтхілла для визначення функції  $\varphi(r, t)$ :

$$a^2 \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial \varphi}{\partial r} \right) = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} + 2 \frac{\partial \varphi}{\partial r} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial r \partial t} + \left( \frac{\partial \varphi}{\partial r} \right)^2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2}. \quad (7)$$

Якщо прийняти до уваги вираз (1), то після громіздких обчислень отримуємо:

$$\frac{a^2}{a_0^2} \left[ f''(x) + \frac{1}{x} f'(x) \right] = [x - f'(x)]^2 f''(x). \quad (8)$$

Згідно [2] знаходимо, що швидкість звуку пов'язана з потенціалом  $\varphi$  таким відношенням

$$\frac{a^2}{\varkappa - 1} + a_0^2 \left[ f(x) - x f'(x) + \frac{1}{2} f'^2(x) \right] = f_0(t), \quad (9)$$

де  $\varkappa$  – показник адіабати.

Вважаємо, що на лінії течії існує точка, в якій газ адіабатично гальмується. Тоді можна встановити, що

$$f_0 = \frac{a_0^2}{\varkappa - 1} = \text{const.}$$

Остаточно одержимо рівняння для визначення функції  $f(x)$  в області  $x \in [\varepsilon, M]$ :

$$\left[ 1 - (\alpha - 1) \left( f - x f' + \frac{1}{2} f'^2 \right) \right] \left( f'' + \frac{1}{x} f' \right) = [x - f'(x)]^2 f''(x). \quad (10)$$

При  $x = \varepsilon$  швидкості руху точок ободу кільця повинні співпадати з швидкістю руху матеріальних частинок, що до нього “прилипають”. Тоді

$$v_r = \frac{\partial \varphi}{\partial r} = a_0 f' \left( \frac{r}{a_0 t} \right) \Big|_{r=\varepsilon a_0 t} = \varepsilon a_0 \Rightarrow f'(\varepsilon) = \varepsilon. \quad (11)$$

У збуреному газі розповсюджується три типи поверхонь: поверхня уявного кільця  $S_0$ , спереду його рухається акустична хвиля з фронтом  $S_a$ , і спереду  $S_a$  рухається ударна хвиля з фронтом  $S_y$ , взаємне розміщення цих поверхонь вказуємо на рис. 2

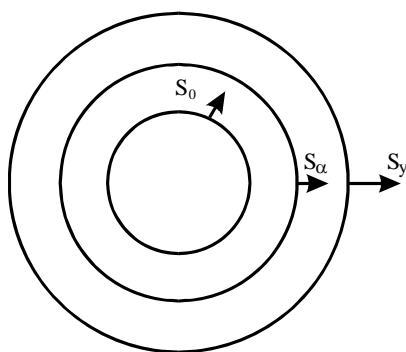


Рисунок 2 – Взаємне розміщення поверхонь  $S_0, S_a, S_y$

Величини, які відносяться до збуреного ударного хвилею середовища, будемо тут і надалі позначати “\* ”.

На поверхні  $S_a$  повинно бути неперервне спряження потенціалів швидкостей для дозвукового і надзвукового руху газу; маємо

$$\varphi(r, t) \Big|_{r=a_0 t} = \varphi^*(r, t) \Big|_{r=a_0 t}. \quad (12)$$

Приймаючи до уваги формулу (1), одержуємо з (12) другу граничну умову

$$f(x) \Big|_{x=1} = f^*(x) \Big|_{x=1}. \quad (13)$$

Третю і четверту граничні умови одержимо, якщо “вийдемо” на поверхню ударної хвилі  $S_y$ . При переході через поверхню не повинні терпіти стрибків потоки маси, енергії і кількості руху. В результаті одержують на  $S_y$  умови Гюгоніо-Ренкіна [3]. Потенціал швидкостей при переході через поверхню розриву повинен бути неперервним. Тоді

$$\varphi^*(r, t) = a_0^2 t f^* \left( \frac{r}{a_0 t} \right) \Big|_{r=a_0 M t} = a_0^2 t f^*(M) = 0 \Rightarrow f^*(M) = 0. \quad (14)$$

$$\frac{\theta_+}{\theta_-} \Big|_{r=M a_0 t} = \frac{(\alpha + 1)M^2}{(\alpha - 1)M^2 + 2} \Rightarrow \frac{M a_0}{M a_0 - a_0 f'(M)} = \frac{(\alpha + 1)M^2}{(\alpha - 1)M^2 + 2}. \quad (15)$$

В цій формулі  $\theta_+, \theta_-$  – швидкості ударної хвилі відносно газу спереду і позаду фронту хвилі  $S_y$ ; можна встановити, що  $\theta_+ = M\alpha_0$ ,  $\theta_- = M\alpha_0 - \alpha_0 f'(x)$ .

Приймаючи до уваги (15), маємо четверту граничну умову

$$f'(M) = \frac{2(M^2 - 1)}{(\alpha + 1)M}. \quad (16)$$

Встановлено, що для розв'язування поставленої задачі необхідно основне (ключове) рівняння (10) представити у такому виді:

$$(1 - x^2)f'' + \frac{1}{x}f' = (2a_1f - 2a_2xf' + a_2f'^2)f'' + \left[ \frac{2a_1}{x}f - 2a_1f' + \frac{a_1}{x}f'^2 \right]f'. \quad (17)$$

Бачимо, що тут  $x=1$  – особлива точка, тому рівняння (17) необхідно розглядати для  $x < 1$  – в області акустичних збурень і для  $x > 1$  – в області збурень від ударної хвилі.

Значить, повинні розглядати два рівняння:

а)  $x < 1$

$$Lf = L_1fN_2f + L_2fN_1f + a_2(Nf)^2N_2f + \frac{a_1}{x}(Nf)^3; \quad (18)$$

б)  $x > 1$

$$L^*f = -L_1^*fN_2^*f - L_2^*fN_1^*f - a_2(N^*f)^2N_2^*f - \frac{a_1}{x}(N^*f)^3. \quad (19)$$

У цих рівняннях  $L, L, L_1, L_2, N_1, N_2$  – лінійні диференціальні оператори наступного виду

$$L = (1 - x^2)\frac{d^2}{dx^2} + \frac{1}{x}\frac{d}{dx}; L^* = (x^2 - 1)\frac{d^2}{dx^2} - \frac{1}{x}\frac{d}{dx}; N_1 = \frac{d}{dx}, N_2 = \frac{d^2}{dx^2}; \quad (20)$$

$$L_1 = 2a_1 - 2a_2x\frac{d}{dx}; L_2 = \frac{2a_1}{x} - 2a_1\frac{d}{dx}; a_1 = \frac{1}{2}(-1); a_2 = \frac{1}{2}(\alpha + 1).$$

Граничні умови рівнянь (18), (19) будуть мати такий вид:

$$\begin{aligned} Nf \Big|_{x=\varepsilon} &= 0; f(x) = f^*(x) \text{ при } x = 1; \\ f^*(x) \Big|_{x=M} &= 0; N_1f^* \Big|_{x=M} = \frac{2(M^2 - 1)}{(\alpha + 1)M} \end{aligned} \quad (21)$$

Розв'язок поставленої задачі представляємо у такому виді:

$$f = \sum_{p=1}^{\infty} \varepsilon^p f_p(x); f^* = \sum_{m=1}^{\infty} \varepsilon^m f_m^*(x). \quad (22)$$

З аналізу наведених досліджень бачимо:

- сингулярності породжуються коефіцієнтами вихідного ключового рівняння;
- в перших і вищих наближеннях порядки цих сингулярностей типу

$(1 - x^2)^{-\alpha_k^{(m)}}$ ,  $(x^2 - 1)^{-\beta_k^{(m)}}$ , де  $\{\alpha_k^{(m)}\}, \{\beta_k^{(m)}\}$  – множини додатних чисел, які збільшуються зі збільшенням номера ітерації  $k$ ;

– застосування методу ПЛГ до порівняно простої осесиметричної задачі приводить до громіздких обчислень і штучних припущень; при застосуванні метода ПЛГ до розв’язку неосесиметричних задач труднощі і певного типу невизначеності істотно зростають.

Ця задача є яскравим підтвердженням необхідності і актуальності пошуку більш простих і ефективних методів регуляризації сингулярних ітерацій, рядів.

**Обчислення наближень нелінійної задачі.** Для визначення функцій  $f_p, f_m^*$  одержуємо послідовність таких лінійних диференціальних рівнянь:

а) область  $x < 1$

$$L f_1 = 0; \tag{23}$$

$$L f_2 = L_1 f_1 N_2 f_1; \tag{24}$$

.....

$$L f_k = \sum_{n=1}^{k-1} (L_1 f_{k-n} N_2 f_n + L_2 f_{k-n} N_1 f_n) + \sum_{q=1}^{k-2} \left[ \left( \sum_{n=1}^{k-q-1} N_1 f_{k-q-n} N_1 f_n \right) N_2 f_q + \frac{a_1}{x} \sum_{n=1}^{k-q-1} N_1 f_{k-q-n} N_1 f_n N_1 f_q \right]; \quad (k = 3, 4, 5, \dots); \tag{25}$$

б) область  $x > 1$ :

$$L_1^* f_1^* = 0; \tag{26}$$

$$L^* f_2^* = -L_1^* f_1^* N_2^* f_1^*; \tag{27}$$

.....

$$L^* f_k^* = -\sum_{n=1}^{k-1} (L_1^* f_{k-n}^* N_2^* f_n^* + L_2^* f_{k-n}^* N_1^* f_n^*) - \sum_{q=1}^{k-2} \sum_{n=1}^{k-q-1} (N_1^* f_{k-q-n}^* N_1^* f_n^* N_2^* f_q^* + \frac{a_1}{x} N_1^* f_{k-q-n}^* N_1^* f_q^*). \quad (k = 3, 4, 5, \dots). \tag{28}$$

До вказаних систем диференціальних рівнянь можна написати відповідні граничні умови, використовуючи (21).

Можна встановити, що загальні розв’язки рівнянь (23) – (28) можна представити у такому загальному вигляді:

а)  $\varepsilon \leq x \leq 1$

$$f_k = C'_k \varphi_1(x) + C'_{k+1} + \int_{\varepsilon}^x \frac{x_1}{(1-x_1^2)^{3/2}} [\varphi_1(x) - \varphi_1(x_1)] F_k(f_1, \dots, f_{k-1}; f'_1, \dots, f'_{k-1}; f''_1, \dots, f''_{k-1})_{x=x_1} dx_1; \tag{29}$$

$$\varphi_1(x) = \sqrt{1-x^2} + \frac{1}{2} \ln \frac{1-\sqrt{1-x^2}}{1+\sqrt{1-x^2}};$$

б)  $1 \leq x \leq M$

$$f_k^* = \tilde{C}_k^* \psi_1(x) + \tilde{C}_{k+1}^* + \int_1^x \frac{x_1}{(x_1^2-1)^{3/2}} [\psi_1(x) - \psi_1(x_1)] \Phi_k(f_1^*, f_2^*, \dots, f_{k-1}^*; f_1'^*, \dots, f_{k-1}'^*; f_1''^*, f_2''^*, \dots, f_{k-1}''^*)_{x=x_1} dx_1; \tag{30}$$

$$\psi_1(x) = \sqrt{x^2-1} - \arctg \sqrt{x^2-1}; \quad (k = 2, 3, \dots).$$

У цих рівняннях функції  $F_k(\dots)$ ,  $\Phi_k(\dots)$  – праві частини диференціальних рівнянь відповідно (23) – (25) і (26) – (28) для  $k$ -го наближення.  $\tilde{N}'_k$ ,  $C'_{k+1}$ ,  $\tilde{C}_k^*$ ,  $\tilde{C}_{k+1}^*$  – сталі інтегрування. Уже з загального виду формул (29), (30) бачимо канал появи сингулярностей в ітераціях і зростання їх порядку з зростанням номера наближення.

Наведемо розв'язки поставленої задачі у двох наближеннях. Після проведення громіздких обчислень для області  $\varepsilon \leq x \leq 1$  одержуємо

$$f(x) = \varepsilon f_1(x) + \varepsilon^2 f_2(x) + \dots \quad (31)$$

Тут введені такі позначення:

$$f_1(x) = \frac{\varepsilon}{\sqrt{1-\varepsilon^2}} \varphi_1(x) + \frac{2\sqrt{M^2-1}}{\varepsilon(x+1)} \left( \arctg \sqrt{M^2-1} - \sqrt{M^2-1} \right); \quad (32)$$

$$\varphi_1(x) = \sqrt{1-x^2} + \frac{1}{2} \ln \frac{1-\sqrt{1-x^2}}{1+\sqrt{1-x^2}};$$

$$f_2(x) = -\varphi_1(x) R_\varepsilon^{(1)}(x) + R_\varepsilon^{(2)} - R_\varepsilon^{(1)}(1) + R_1^{(2)}(M), \quad (33)$$

де функції  $R_\varepsilon^{(1)}(x)$ ,  $R_\varepsilon^{(2)}(x)$  мають наступну аналітичну структуру

$$R_\varepsilon^{(1)}(x) = -\frac{2C_1^2}{\sqrt{1-x^2}} + \frac{2C_1^2}{\sqrt{1-\varepsilon^2}} - \frac{a_1 C_1^2}{\sqrt{1-x^2}} + \frac{a_1 C_1^2}{\sqrt{1-\varepsilon^2}} + \frac{1}{2} a_1 C_1^2 \frac{x^2}{1-x^2} \ln \frac{1-\sqrt{1-x^2}}{1+\sqrt{1-x^2}} -$$

$$-\frac{1}{2} a_1 C_1^2 \frac{\varepsilon^2}{1-\varepsilon^2} \ln \frac{1-\sqrt{1-\varepsilon^2}}{1+\sqrt{1-\varepsilon^2}}; \quad (34)$$

$$R_\varepsilon^{(2)}(x) = -2C_1^2 \left( -\ln \sqrt{1-x^2} + \ln \sqrt{1-\varepsilon^2} - \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{1-x^2}} \ln \frac{1-\sqrt{1-x^2}}{1+\sqrt{1-x^2}} + \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{1-\varepsilon^2}} \ln \frac{1-\sqrt{1-\varepsilon^2}}{1+\sqrt{1-\varepsilon^2}} \right) -$$

$$-a_1 C_1^2 \left[ -\frac{1}{4} \frac{x^2}{1-x^2} \left( \ln \frac{1-\sqrt{1-x^2}}{1+\sqrt{1-x^2}} \right)^2 + \frac{1}{4} \frac{\varepsilon^2}{1-\varepsilon^2} \left( \ln \frac{1-\sqrt{1-\varepsilon^2}}{1+\sqrt{1-\varepsilon^2}} \right)^2 + \frac{2}{\sqrt{1-x^2}} \ln \frac{1-\sqrt{1-x^2}}{1+\sqrt{1-x^2}} - \right.$$

$$\left. -\frac{2}{\sqrt{1-\varepsilon^2}} \ln \frac{1-\sqrt{1-\varepsilon^2}}{1+\sqrt{1-\varepsilon^2}} - 2 \ln x^2 + 2 \ln \varepsilon^2 + 4 \ln \sqrt{1-x^2} - 4 \ln \sqrt{1-\varepsilon^2} \right] - 2a_1 C_1 C_2 \times$$

$$\times \left( \frac{3}{2} \frac{1}{\sqrt{1-x^2}} - \frac{3}{2} \frac{1}{\sqrt{1-\varepsilon^2}} + \frac{1}{4} \frac{x^2}{1-x^2} \ln \frac{1-\sqrt{1-x^2}}{1+\sqrt{1-x^2}} - \frac{1}{4} \frac{\varepsilon^2}{1-\varepsilon^2} \ln \frac{1-\sqrt{1-\varepsilon^2}}{1+\sqrt{1-\varepsilon^2}} \right). \quad (35)$$

Можна встановити, що потенціал швидкостей  $\varphi(x)$  для  $x \in [\varepsilon, 1]$  є неперервна функція. Інша справа з виразом для швидкостей матеріальних частинок газу, які знаходяться в околі поверхні  $x=1$ .

Маємо

$$v_r = \frac{\partial \varphi}{\partial r} = a_0 f'(x) = a_0 [\varepsilon f'_1(x) + \varepsilon^2 f'_2(x) + \dots]; \quad (36)$$

$$f'_1(x) = \frac{\varepsilon}{\sqrt{1-\varepsilon^2}} \varphi'_1(x); \quad f'_2(x) = -\varphi'_1(x) R_\varepsilon^{(1)}(x) - \varphi_1(x) \frac{dR_\varepsilon^{(1)}}{dx} + \frac{dR_\varepsilon^{(2)}}{dx}.$$

Громіздкими обчисленнями можна встановити, що

$$v_r = a_0 \left[ \varepsilon f_1'(x) + \varepsilon^2 f_2'(x) + \dots + \varepsilon^k f_k(x) + \dots \right], \quad (37)$$

$$\text{де } f_k'(x) = h_k(x, \varepsilon) + \sum_{m=1}^{N_k} \frac{h_k^{(m)}(x, \varepsilon)}{(1-x^2)^{\alpha_k^{(m)}}} \quad (k = 2, 3, \dots).$$

Тут введені позначення:  $h_k(x, \varepsilon)$  і  $h_k^{(m)}(x, \varepsilon)$  – регулярні на відрізку  $[\varepsilon \leq x \leq 1]$  функції;  $N_k$  – деяке ціле число;  $\{\alpha_m^{(k)}\}$  – множина (скінченна для заданого  $k$ ) додатних цілих або дробових чисел.

На основі одержаного числа наближень бачимо, що у функції  $v_r$  вже на перших кроках ітераційного процесу появляється особливість типу  $(1-x^2)^{-\beta}$  ( $\beta > 0$  – ціле додатне або дробове число).

Можна встановити, що з ростом номера наближень порядок цієї особливості катастрофічно збільшується. Тим самим неможливо обчислювати значення швидкості частинок газу в околі акустичної хвилі  $x=1$ .

Для області  $1 < x \leq M$  маємо:

$$v_r = \alpha_0 \left[ \varepsilon f_1^*(x) + \varepsilon^2 f_2^*(x) + \dots \right], \quad (38)$$

де

$$\left. \begin{aligned} f_1^*(x) &= \frac{2\sqrt{M^2-1}}{\delta(x+1)} \cdot \frac{\sqrt{x^2-1}}{x}; \\ f_2^*(x) &= \frac{d}{dx} \left\{ \Psi_1(x) [R_1^{(1)}(x) - R_1^{(1)}(M)] - [R_1^{(1)}(x) + R_1^{(2)}(M)] \right\}; \end{aligned} \right\}; \quad (39)$$

$$\begin{aligned} R_1^{(1)}(x) &= 2C_1^* \left( -\frac{1}{\sqrt{x^2-1}} + \frac{1}{\sqrt{x^2-1}} \Big|_{x=1} \right) - aC_1^* \left( \frac{\arctg \sqrt{x^2-1}}{x^2-1} - \frac{\arctg \sqrt{x^2-1}}{x^2-1} \Big|_{x=1} \right) + \\ &+ \frac{1}{\sqrt{x^2-1}} - \frac{1}{\sqrt{x^2-1}} \Big|_{x=1} \Big) + aC_1^* C_2^* \left( \frac{1}{x^2-1} - \frac{1}{x^2-1} \Big|_{x=1} \right); \end{aligned} \quad (40)$$

$$\begin{aligned} R_1^{(2)}(x) &= 2C_1^* \left( \ln x - \frac{1}{\sqrt{x^2-1}} \arctg \sqrt{x^2-1} \right) + 2a_1 C_1^* \left[ 2 \frac{\arctg \sqrt{x^2-1}}{\sqrt{x^2-1}} + \frac{1}{2} \frac{\arctg \sqrt{x^2-1}}{\sqrt{x^2-1}} - \right. \\ &- \left. \frac{1}{2} \frac{\arctg \sqrt{x^2-1}}{x^2-1} \Big|_{x=1} + \frac{1}{2} \left( \arctg \sqrt{x^2-1} \right)^2 \right] - 2a_1 C_1^* C_2^* \left[ -\frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{x^2-1}} + \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{x^2-1}} \Big|_{x=1} + \right. \\ &+ \left. \frac{1}{2} \frac{\arctg \sqrt{x^2-1}}{\sqrt{x^2-1}} - \frac{1}{2} \frac{\arctg \sqrt{x^2-1}}{x^2-1} \Big|_{x=1} + \frac{1}{2} \arctg \sqrt{x^2-1} \right]. \end{aligned} \quad (41)$$

В загальному випадку

$$f_k^*(x, \varepsilon) = h(x, \varepsilon, M) + \sum_{m=1}^{M_k} \frac{h_k^{(m)}(x, \varepsilon, M)}{(x^2-1)^{\beta_k^{(m)}}}. \quad k = (2, 3, \dots) \quad (42)$$

У формулах (40), (41) символічне позначення  $r(x) \Big|_{x=1}$  слід розуміти в тому сенсі, що обчислюється значення функції при значеннях  $x$  близьких (але не рівних) до

1. Зміст функцій  $h_k^*(x, \varepsilon)$ ,  $h_k^{*(m)}(x, \varepsilon, M)$  у виразі (42) повністю аналогічний змісту відповідних функцій у виразі (37). Зауважимо, що коефіцієнти  $C_1$ ,  $C_2$  і  $C_1^*$ ,  $C_2^*$ , які входять в наведені вище вирази, мають вид

$$C_1 = \frac{\varepsilon}{\sqrt{1-\varepsilon^2}}, C_2 = C_2^* = \frac{2\sqrt{M^2-1}}{\varepsilon(\varepsilon+1)} \left( \arctg \sqrt{M^2-1} - \sqrt{M^2-1} \right); C_1^* = \frac{2}{\varepsilon(\varepsilon+1)} \sqrt{M^2-1}. \quad (43)$$

Бачимо, для області  $1 < x < M$  вирази для  $v_r$  мають особливість типу  $(x^2-1)^{-\alpha}$  ( $\alpha$  – ціле або дробове число), порядок цих особливостей значно зростає зі збільшенням номера наближення.

Щоб “гасити” до певної міри порядки вказаних особливостей в одержаних аналітичних розв’язках, Лайтхілл ще на початку етапу розв’язування застосовує метод ПЛГ. Це означає, що пропонується знаходити шукані розв’язки у виді (23), і незалежну змінну  $x$  також представляти у вигляді розкладу

$$x = x^{(1)}\varepsilon + x^{(2)}\varepsilon^2 + \dots$$

Потім рекомендується підбирати функції  $x^{(k)}$  з таким розрахунком, щоб “знищувалися” особливості. Можна впевнитись, що такий підхід має не тільки обмежену область застосування, а і являється супергромідким.

**Регуляризація розв’язків задачі Лайтхілла.** З одержаних розв’язків задачі Лайтхілла для вказаних інтервалів бачимо, що в загальному розв’язки для швидкості руху матеріальних частинок можна представити такими сингулярними рядами:

а)  $\varepsilon \leq x \leq 1$

$$v_r = a_0 \sum_{k=1}^{\infty} \varepsilon^k \left[ h_k(x, \varepsilon) + \sum_{m=1}^{N_k} \frac{h_k^{(m)}(x, \varepsilon)}{(1-x^2)^{\alpha_k^{(m)}}} \right]; \quad (44)$$

б)  $1 \leq x \leq M$

$$v_r = a_0 \sum_{k=1}^{\infty} \varepsilon^k \left[ h_k^*(x, \varepsilon, M) + \sum_{m=1}^{M_k} \frac{h_k^{(m)*}(x, \varepsilon, M)}{(x^2-1)^{\beta_k^{(m)}}} \right]. \quad (45)$$

Вказані ряди, як бачимо, є розбіжними в околі точки  $x=1$  для  $\forall \varepsilon \geq 0$ . На фронті ударної хвилі, як встановлено на основі умов динамічної сумісності, має місце стрибок значень вказаних швидкостей. Для обчислення значень швидкості в околі фронту хвилі необхідно знаходити велику кількість наближень, що принципово неможливо для цієї осесиметричної задачі. Тому єдиним виходом в даній ситуації є застосування запропонованого в [4], [5] метода. Цей метод застосуємо з таким розрахунком, щоб знизити порядок особливості в околі точки  $x=1$ , підбираючи певним чином регуляризуючі функції і параметри.

Викладемо схему застосування розробленого методу, наприклад, для рядів типу (44).

Розглянемо частинну суму вказаного ряду:

$$v_r^{(N)} = a_0 \sum_{k=1}^N \varepsilon^k H \left( x, \varepsilon, \frac{1}{(1-x^2)^{\alpha_k^{(m)}}} \right). \quad (46)$$

Вводимо в розгляд узагальнені частинні суми:

$$v_r^{*(N)} = a_0 \sum_{k=1}^N \varepsilon^k H \left( x, \varepsilon, \frac{1}{(1-x^2)^{\alpha_k^{(m)}}} \right) \delta_k(N, \sigma, \lambda), \quad (47)$$

де величини  $\sigma$  – функції від незалежної змінної  $x$  ( $\varepsilon \leq x \leq 1$ ) і деяких поки ще довільних параметрів  $a_1, a_2 \dots$  таких, що  $\sigma > 0$ .

Оскільки в розглядуваній задачі вдалося по ходу обчислень виділити регулярну та іррегулярну частини в кожному наближенні, то це значно спрощує аналіз і проведення аналітичних перетворень.

Маємо:

$$v_r^{*(N)} = v_{r,N}^{*(r)} + v_{r,N}^{*(ir)}, \quad (48)$$

де

$$v_{r,N}^{*(r)} = a_0 \sum_{k=1}^N \varepsilon^k h_k(x, \varepsilon) \delta_k(N, \sigma, \lambda), \quad (49)$$

$$v_{r,N}^{*(ir)} = a_0 \sum_{k=1}^N \varepsilon^k \left( \sum_{m=1}^{N_k} \frac{h_k(x, \varepsilon)}{(1-x^2)^{\alpha_k^{(m)}}} \delta_k(N, \sigma, \lambda) \right). \quad (50)$$

Бачимо, що значний вплив на точність обчислень має іррегулярна частина (50). Зрозуміло, що при розв'язанні задачі Лайтхілла, навіть в осесиметричному випадку, можна одержати максимум три наближення в аналітичній формі. Як показали дослідження, на основі цих трьох наближень можна побудувати практично придатні розв'язки з асимптотичною точністю; для цього необхідно підібрати певним чином регуляризуючі функції  $\sigma$  і параметр  $\lambda$ . Покажемо, що у розгляді задачі це принципово можна здійснити.

Згідно розробленого алгоритму підбору цих функцій і параметрів будемо покладати

$$v_{r,3}^{*(ir)} = a_0 \sum_{k=1}^3 \varepsilon^k \left( \sum_{m=1}^{N_3} \frac{h_3(x, \varepsilon)}{(1-x^2)^{\alpha_3^{(m)}}} \delta_k(3, \sigma, \lambda) \right). \quad (51)$$

Формулюємо наступну нерівність

$$\left| \varepsilon^3 \left( \sum_{m=1}^{N_3} \frac{h_3(x, \varepsilon)}{(1-x^2)^{\alpha_3^{(m)}}} \delta_k(3, \sigma, \lambda) \right) \frac{\beta^3}{(\beta + \sigma(x, \dots))^3} \right| \leq \xi. \quad (52)$$

Наперед, згідно алгоритму, задаємо  $\varepsilon$  і  $\xi$  – фіксовану (асимптотичну точність обчислень). Припускаємо, що множина чисел  $\{\alpha_3^{(N_3)}\}$  утворює зростаючу послідовність, тоді максимальним порядком сингулярності буде величина  $\alpha_3^{(N_3)}$ . Оскільки

$$\beta = 2\lambda, \quad \lambda > 0, \quad \text{маємо } \frac{\beta}{\beta + \sigma(x, \dots)} = \frac{2\lambda}{2\lambda + \sigma(x, \dots)};$$

покладаємо  $\sigma = \frac{a_1}{(1-x^2)^{\alpha_3^{(N_3)}}}$ ,  $a_1 > 0$  – довільний параметр.

Тим самим

$$\frac{\beta}{\beta + \sigma(x, \dots)} = \frac{2\lambda(1-x^2)^{\frac{\alpha_3^{(N_3)}}{3}}}{2\lambda(1-x^2)^{\frac{\alpha_3^{(N_3)}}{3}} + a_1}, \quad \left( \frac{\beta}{\beta + \sigma(x, \dots)} \right)^3 = \frac{8\lambda^3(1-x^2)^{\alpha_3^{(N_3)}}}{\left( 2\lambda(1-x^2)^{\frac{\alpha_3^{(N_3)}}{3}} + a_1 \right)^3}.$$

Фіксуємо точку  $x_0$  достатньо близьку з заданою точністю до одиниці. Замість нерівності (52) розглядаємо наступну

$$\left| \varepsilon^3 \left( \sum_{m=1}^{N_3} \frac{h_3(x_0, \varepsilon)}{(1-x_0^2)^{\alpha_3^{(m)}}} \delta_k(3, \sigma, \lambda) \right) \frac{8\lambda^3(1-x^2)^{\alpha_3^{(N_3)}}}{\left( 2\lambda(1-x^2)^{\frac{\alpha_3^{(N_3)}}{3}} + a_1 \right)^3} \right| \leq \xi.$$

З цієї нерівності знаходимо остаточно значення параметрів підсумовуючої функції  $\lambda, a_1$ .

В кінцевому рахунку одержимо наступного виду наближені формули для обчислення іррегулярної частини швидкості матеріальних частинок газу на достатньо близькій відстані від фронту ударної хвилі.

$$v_{r,3}^{*(ir)} = a_0 \sum_{k=1}^3 \varepsilon^k \left( \sum_{m=1}^{N_3} \frac{h_3(x, \varepsilon)}{(1-x^2)^{\alpha_3^{(m)}}} \right) \delta_k(3, \sigma(x_k, a_1)). \quad (53)$$

де

$$\delta_1 = \frac{\beta}{p} \left[ 1 + \frac{\sigma}{p} + \frac{\sigma^2}{p^2} \right]; \quad \delta_2 = \frac{\beta^2}{p^2} \left[ 1 + \frac{2\sigma}{p} \right]; \quad \delta_3 = \frac{\beta^3}{p^3}.$$

У цій формулі слід розуміти, що  $\sigma = \sigma(x_0, a_1)$ ;  $p = 2\lambda + \sigma(x_0, a_1)$ .

Зрозуміло, що тут відпадає необхідність “гасити” сингулярності, але можна покращити практичну збіжність ряду, частинними сумами якого є (49).

**Висновки.** Оскільки в диференціальні рівняння Лайтхілла входять лише полілінійні оператори, то після громіздких аналітичних досліджень, обчислень можна показати, що розв’язки типу (53) задовольняють з асимптотичною точністю вихідному рівнянню і граничним умовам.

Можна вказати і інші типи регуляризованих функцій стосовно даної задачі і інші області застосування запропонованого метода в задачах механіки. Запропоновані методи є могутнім механізмом при розв’язанні задач нелінійних коливань, проблем стійкості, плоских і просторових задач теорії пружності, пластичності. На основі проведених конкретних обчислень можна робити ряд висновків, які важливі для інженерної практики.

## Список літератури

1. Проблемы механики [Текст] : сб. статей / Под ред. Х. Драйдена, Т. Кармана. – М.: Изд-во иностр. лит., 1959. – 340 с.
2. Пуанкаре А. Избранные труды в 3 т. Т1 : Новые методы небесной механики [Текст] / А. Пуанкаре . – М.: Наука, 1971. – С. 335-340.
3. Каюк Я.Ф. Метод регуляризации сингулярных итераций в нелинейных задачах изгиба пластин с отверстием [Текст] / Я.Ф. Каюк, Л.Н. Кривоблоцкая // Вісник Донецького університету, Сер. А: Природничі науки, 2002. – Вип. 1. – С. 83-90.
4. Каюк Я.Ф. Концентрация моментов в окрестности круглого отверстия пластины при больших изгибах [Текст] / Я.Ф. Каюк, Л.Н. Кривоблоцкая // Вісник Донецького університету, Сер. А: Природничі науки, 2002.– Вип. 2.– С. 187-191.
5. Каюк Я.Ф. Сингулярные итерации в нелинейных задачах концентрации напряжений [Текст] / Я.Ф. Каюк, Л.Н. Кривоблоцкая // Теорет. и прикладная механика. – 2002. – Вып. 36. – С.98-108.

**Larysa Kryvoblotska, Assoc. Prof., PhD phys. & math. sci.**

*Kirovograd National Technical University, Kropyvnickiy, Ukraine*

### **Singular iteration in gas dynamics problems**

The article presents the results of the analysis of gas dynamics research problems to determine with which type of singularity are encountered the Mechanical Engineers and Mathematics in solving of nonlinear problems when applying iteration methods; methods which have been proposed for the leveling of the singularity.

It was found that these methods lead to cumbersome calculations and artificial assumptions in solving of nonlinear problems; in order to improve the "quality factor" of iterative schemes, it is necessary in the same equation or their solutions in the form of series or sequences in a certain way to introduce the arbitrary functions and parameters, with which you can to influence on acceleration of convergence of iterative processes.

The article proposes a solution of Lighthill's problem based on this approach.

**shock wave, disturbed environment, Lighthill's problem, singular iteration, regularization of solutions**

Одержано 08.11.16

**УДК 631.37**

**В.П. Кувачов, доц., канд. техн. наук**

*Таврійський державний агротехнологічний університет, м.Мелітополь, Україна*

*E-mail: kuvachoff@mail.ru*

## До питання компонування спеціалізованих ширококолієних енерготехнологічних транспортних засобів для колійної системи землеробства

В статті розглядаються питання оптимального компонування спеціалізованих ширококолієних енерготехнологічних транспортних засобів для колійної системи землеробства з позиції їх задовільної стійкості та плавності руху.

**мостове та колійне землеробство, стійкість і плавність руху, компонування, амплітудно-частотні характеристики**

**В.П. Кувачев, доц., канд. техн. наук**

*Таврический государственный агротехнологический университет, г.Мелитополь, Украина*

**К вопросу компоновки специализированных ширококолейных энерготехнологических транспортных средств для колёйной системы земледелия**

В статье рассматриваются вопросы оптимального компонования специализированных ширококолейных энерготехнологических транспортных средств для колёйной системы земледелия с позиции их приемлемой устойчивости и плавности хода

**ширококолейное агросредство, мостовой трактор, устойчивость и плавность хода, компоновка, амплитудно-частотные характеристики**

**Постановка проблеми.** Людством в процесі техноеволюції запропонований вектор подальшого розвитку засобів механізації землеробства через колійні та мостові системи (controlled traffic farming CTF). Переваги таких систем достатньо обговорені в науковій літературі, наприклад [1,2], а перехід на такі системи очевидний. Енерготехнологічною основою вказаних систем є спеціалізовані ширококолейні транспортні засоби (wide span vehicles), або т.з. «мостові трактори» (wide span tractor).

Перший світовий практичний досвід компонування спеціалізованих ширококолейних енерготехнологічних транспортних засобів для колійної системи землеробства показав їх відмінність за компонувальною схемою. Остання, зрозуміло, дозволяє використовувати їх з максимальною ефективністю та безумовно впливає на експлуатаційні властивості, зокрема – стійкість та плавність руху. Тому правильне компонування вказаних ширококолейних агрозасобів з позиції потрібної стійкості та плавності руху забезпечує їм оптимальне перетворення керуючого і збурювального впливів, які діють на них.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В 1975 р. свій перший «мостовий трактор» сконструював Девід Доулер [1]. Останнім часом інтерес до «мостових тракторів» суттєво зріс. Над створенням спеціалізованих ширококолейних енерготехнологічних транспортних засобів для колійної системи землеробства працюють науковці в США, Англії, Японії, Польщі, Голландії, Росії та ін. [3,4]. Як правило, дослідні зразки спеціалізованих ширококолейних енерготехнологічних транспортних засобів для колійної системи землеробства комплектуються, або на основі модифікованих сільськогосподарських транспортних засобів або на базі самохідних агромотів (рис. 1).

Аналіз компонувальних схем вказаних ширококолейних агрозасобів показав їх відмінність за типом ходової частини, дорожніх шляхів, прольотної балки, розміщенням робочих органів, джерелом живлення, розташуванням кабіни, способами переміщення в робочому і транспортному стані, транспортуванням вантажів, керованістю та ін. Принципова відмінність їх компонувальних схем від традиційних машинно-тракторних агрегатів, специфіки використання і принципах функціонування ускладнює застосування загальновідомих методик оцінки їх експлуатаційно-технологічних властивостей, що дозволяє констатувати актуальність даних досліджень.

**Постановка завдання.** Метою даних досліджень є підвищення ефективності функціонування та використання ширококолейних засобів механізації сільськогосподарського виробництва для колійної системи землеробства шляхом вибору найоптимальнішої компонувальної схеми з позиції задовільної стійкості та плавності їх руху.



а) Мостовий трактор Доулера



б) Мостовий агрозасіб 12м



в) Бразильський мостовий трактор ETC СТВЕ



г) Мостовий трактор ASA-Lift WS 9600 WS



д) Дослідний зразок спеціалізованого електрифікованого ширококоліїного агрозасобу ТДАТУ



Рисунок 1 – Приклади відомих зразків спеціалізованих ширококоліїних енерготехнологічних транспортних засобів для колійної системи землеробства

**Виклад основного матеріалу.** За своєю компоувальною схемою спеціалізований ширококоліїний енерготехнологічний транспортний засіб для колійної системи землеробства може розміщати сільськогосподарські робочі органи (знаряддя) у варіантах (рис. 2): «переднього», іноді вживане у мові «середнє» навішування, коли останні розміщені усередині колісної бази; «заднього» навішування, коли вони розміщені позаду; «фронтальне» навішування, коли робочі органи розміщені попереду.

Розроблена нами теорія плоско-паралельного руху ширококоліїного агрозасобу для колійної системи землеробства у поздовжньо-горизонтальній та вертикальній площинах [5,6] дозволяє здійснювати достовірне обґрунтування нових схем, конструктивних параметрів, режимів роботи та параметрів керуючого впливу з огляду на їх прийнятну стійкість і плавність руху.

Розроблені у вказаній теорії математичні моделі руху спеціалізованого ширококоліїного агрозасобу у поздовжньо-поперечній і вертикальній площинах [5,6]

дозволяють оцінити вплив відстані від центру опору технологічної частини до осі задніх коліс агрозасобу (параметр  $b_H$ ), що визначає розміщення машин/знарядь за компоувальною схемою (рис. 2).

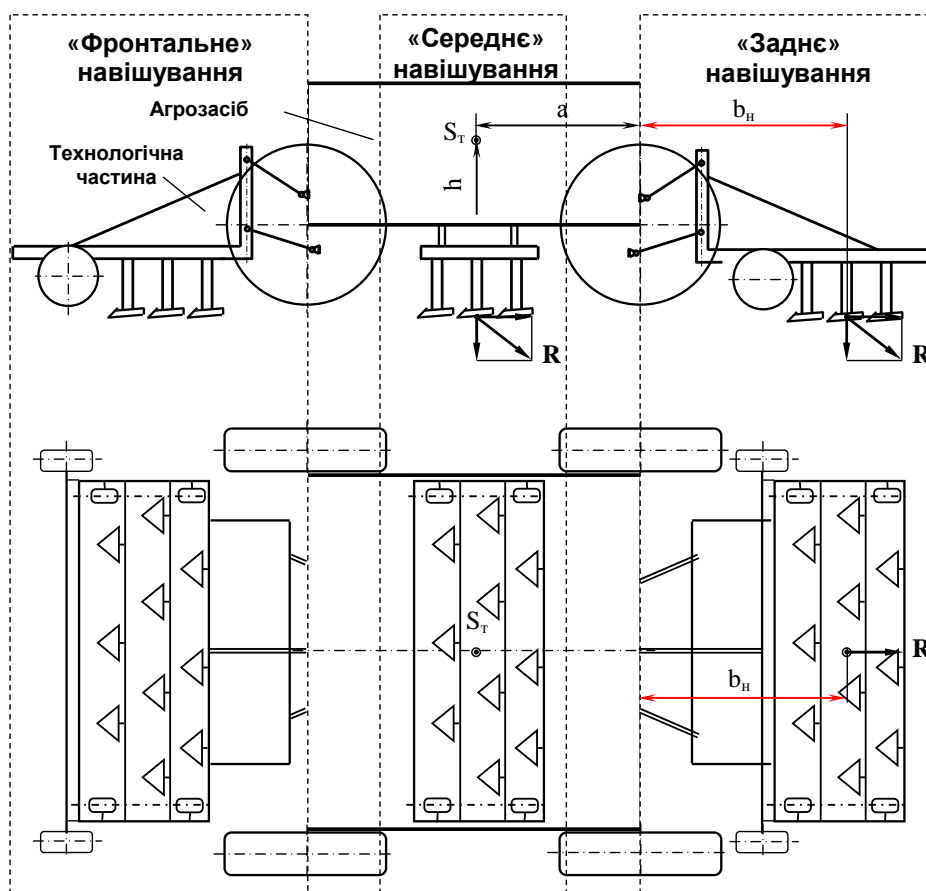


Рисунок 2 – Варіанти компоувальних схем ширококолісного агрозасобу за розміщенням машин/знарядь

Стійкість та плавність руху спеціалізованого ширококолісного агрозасобу, як слідуючої динамічної системи, оцінювали за допомогою амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) відпрацювання ним вхідних впливів, якими є складові головного вектора  $R$  опору технологічної частини і головний момент  $M_R$  у відповідних площинах.

В якості фізичного об'єкту досліджень був прийнятий дослідний зразок спеціалізованого електрифікованого ширококолісного агрозасобу ТДАТУ (рис. 1 д).

Аналіз розрахункових АЧХ (рис. 3) свідчить про те, що з позицій задовільної стійкості руху ширококолісного агрозасобу його технологічна частина повинна розміщуватися усередині його бази (крива 1) – «середнє» навішування робочих знарядь, оскільки в такому випадку в робочому діапазоні частот АЧХ наближаються до ідеальної. І, навпаки, розміщення технологічної частини позаду агрозасобу (крива 3) погіршує стійкість його руху, оскільки амплітуда АЧХ зростає, що не є бажаним. Але, суттєва різниця АЧХ при різних значеннях віддалення центру опору технологічної частини від осі задніх коліс агрозасобу проявляється лише на низьких частотах (до  $4-5 \text{ c}^{-1}$ ) збурювального впливу.

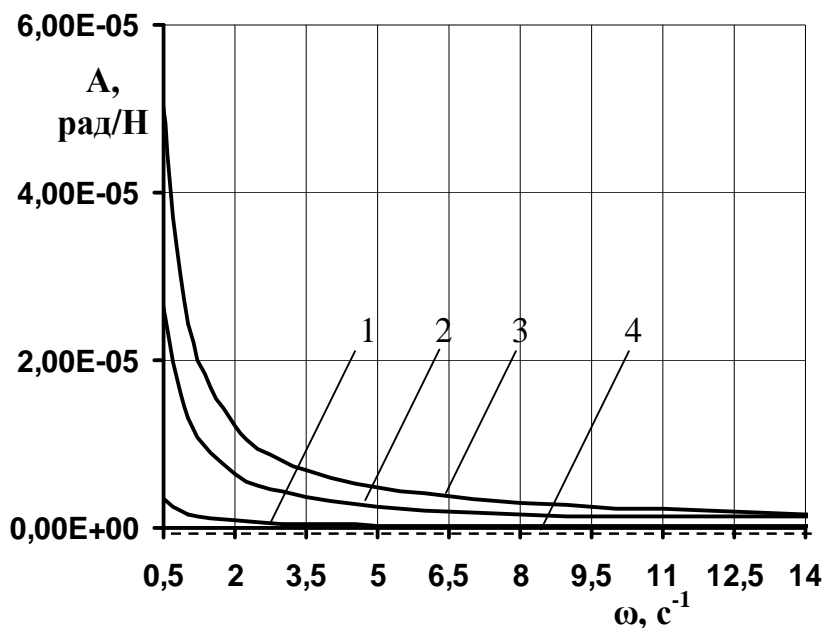


Рисунок 3 – АЧХ коливань курсового кута агрозасобу при відпрацюванні ним збурювального впливу за різної відстані центру опору технологічної частини від осі задніх коліс агрозасобу: 1 –  $b_n = -1\text{м}$ ; 2 –  $b_n = 0\text{м}$ ; 3 –  $b_n = 1\text{м}$ ; 4 – ідеальні характеристики

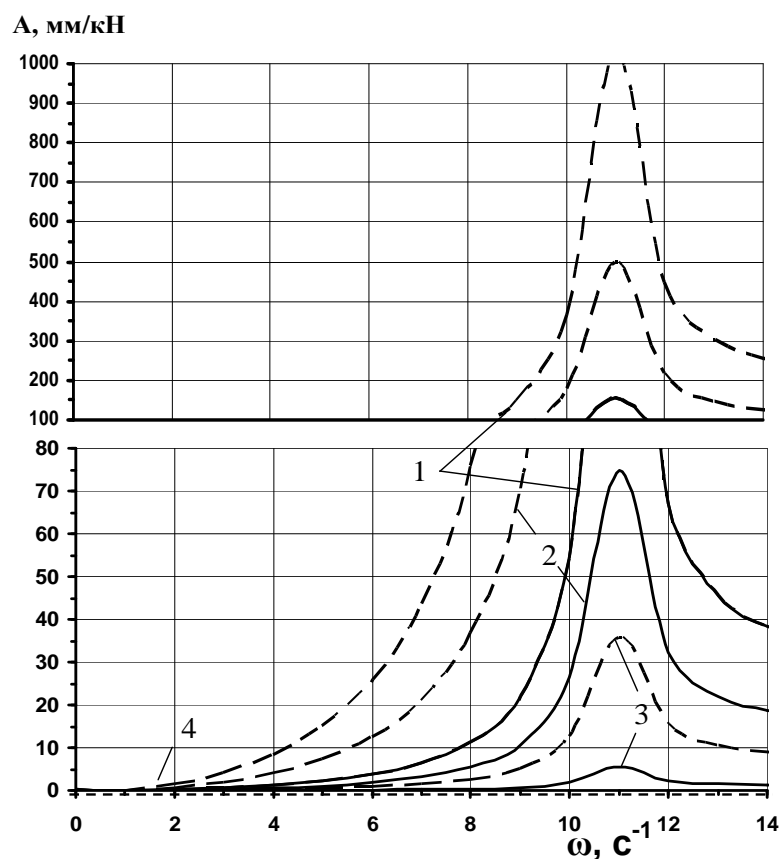


Рисунок 4 – АЧХ вертикальних коливань агрозасобу при відпрацюванні ним збурювального впливу (горизонтальної  $R_x$  (—) та вертикальної  $R_z$  (----) складових тягового опору с.-г. знаряддя) за різної відстані центру опору технологічної частини від осі задніх коліс агрозасобу: 1 –  $b_n = -1\text{м}$ ; 2 –  $b_n = 0\text{м}$ ; 3 –  $b_n = 1\text{м}$ ; 4 – ідеальні характеристики

А от оцінка плавності руху ширококолісного агрозасобу при відпрацюванні ним вхідних впливів у вищезазначених варіантах розміщення машин/знарядь показала зворотній результат (рис. 4). По-перше, аналіз розрахункових АЧХ свідчить про те, що зміщення відстані приєднання технологічної частини із заднього навішування с.-г. знарядь в міжколісний простір агрозасобу (варіант центрального навішування с.-г. знарядь) взагалі погіршує динаміку руху у вертикальній площині. Так, підсилення збурювального впливу при зміні конструктивного параметра  $b_n$  з 1м до -1м на резонансній частоті  $\omega=11 \text{ c}^{-1}$  для горизонтальної складової тягового опору  $R_x$  досягає майже в 20 разів, а для вертикальної  $R_z$  – в 30 разів. Але, на відміну від АЧХ коливань курсового кута агрозасобу при відпрацюванні ним збурювального впливу, цей процес відчутно спостерігається на частотах більших за  $4 \text{ c}^{-1}$ , з резонансним піком, що припадає на  $11 \text{ c}^{-1}$ .

Отриманий результат констатує той факт – якщо основний спектр коливань тягового опору технологічної частини буде мати низькочастотний характер, то з точки зору задовільної стійкості і плавності руху доцільно мати варіант розміщення технологічної частини у зоні міжколісного простору агрозасобу – «середнє» навішування, і навпаки – якщо високочастотний характер, то варіант «заднього» навішування.

А оскільки сьогодні науковцями пропонуються нові ґрунтообробні робочі органи для мостових машин з новими принципами роботи, наприклад, методом копання, або об'ємної деформації ґрунту, то частотні діапазони їх роботи потребують експериментального уточнення. Але отримані результати досліджень мають наукову цінність, оскільки дозволяють здійснювати правильне компоновання ширококолісних агрозасобів на етапі їх проектування з позиції потрібної стійкості та плавності їх руху, що забезпечує оптимальне перетворення керуючого і збурювального впливів, які діють на них.

#### **Висновки.**

1. Теоретичним шляхом доведено, що характер відпрацювання ширококолісним агрозасобом коливань тягового опору технологічної частини суттєво залежить від величини віддалення його центру опору відносно осі задніх коліс агрозасобу.

2. Встановлено, що зміщення центру опору технологічної частини із заднього навішування с.-г. знарядь в міжколісний простір агрозасобу – центральне навішування – покращує стійкість його руху, але суттєво погіршує динаміку вертикальних коливань.

3. Практично, якщо основний спектр коливань тягового опору с.-г. знарядь технологічної частини буде мати низькочастотний характер (до  $4\text{-}5 \text{ c}^{-1}$ ), то з точки зору задовільної стійкості і плавності руху доцільно мати варіант розміщення технологічної частини у зоні міжколісного простору агрозасобу – «середнє» навішування, і навпаки – якщо високочастотний характер ( $4\text{-}14 \text{ c}^{-1}$ ) – то прийнятий варіант «заднього» навішування.

#### **Список літератури**

1. Controlled Traffic Farming – CTF [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.controlledtrafficfarming.com>.
2. Надикто В.Т. Колійна та мостова системи землеробства: Монографія [Текст] / В.Т. Надикто, В.О. Улексін. – Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2008. – 270 с.
3. Pedersen Н.Н. User requirements for a Wide Span Tractor for Controlled Traffic Farming [Електронний ресурс] / Pedersen Н.Н. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: <http://cigr.org/>.
4. Future Farming Systems [Електронний ресурс] // Wide Span Controlled Traffic Farming. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <http://ctfeurope.com/2013/ws/>.
5. Кувачев В. Моделирование плоско-параллельного движения в горизонтальной плоскости ширококолейного агросредства при кинематическом способе его управления [Текст] / В. Кувачев // Motrol. – 2015. – Vol. 17, № 9. – P. 49–54.

6. Кувачев В. Моделирование плоско-параллельного движения в вертикальной плоскости ширококолейного агросредства для колесной системы земледелия [Текст] / В. Кувачев, В. Митков, О. Шульга // Motrol. – 2016. – Vol.18, №1. – P. 3-12.

**Vladimir Kuvachov, Assoc. Prof., PhD tech. sci.**

*Tavria State Agrotechnological University, Melitopol, Zaporozhye region, Ukraine*

**To the question of design the wide span vehicles for controlled traffic farming**

The purpose of this research is to increase the efficiency of the operation and use of wide span vehicles for the controlled traffic farming by selecting an optimal design scheme from the position of reasonable stability and smoothness.

Based on the theory of plane-parallel movement of the wide span vehicles in vertical and horizontal planes the impact of its technological part on the amplitude-frequency characteristics testing dynamic traction system is estimated.

In the variant the central mounting of agricultural implements, in contrast to the rear, improves the stability of the wide span vehicles, but significantly deteriorating the dynamics of its vertical oscillations is established.

**wide span vehicles, controlled traffic farming, stability and smoothness, agriculture, theoretical studies, amplitude-frequency characteristics**

Одержано 06.10.16

**УДК 631.312; 631.316.22**

**С.М. Лещенко, доц., канд. техн. наук, В.М. Сало, проф., д-р техн. наук, Д.І. Петренко, доц., канд. техн. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

*E-mail: serafsgm@ukr.net*

## **Вплив конструктивно-технологічних параметрів комбінованого глибокорозпушувача на обробіток ґрунту**

В роботі обґрунтовується необхідність проведення глибокого розпушування ґрунту чизельними знаряддями для покращення агрегатного стану, інфільтраційних властивостей, руйнування ущільненої підручної підшви та реалізації основ грунтозахисних та енергоощадних технологій. На основі оцінки конструкцій основних робочих органів чизельних знарядь зроблено висновок про доцільність використання розпушувальних лап із прямим стояком за умов введення в їх конструкцію додаткових рушіїв.

В результаті проведених досліджень підтверджено вплив додаткових робочих органів та елементів на якість кришення ґрунту і витрати енергії. Запропоновано вдосконалену конструкцію чизельної лапи із додатковими рушійми. Представлені окремі результати теоретичних та експериментальних досліджень вдосконаленого комбінованого чизеля, які підтверджують його ефективність та можливість використання в складних ґрунтово-кліматичних умовах України. Встановлено, що при проведенні обробітку важкого і середнього суглинку вдосконалим комбінованим чизелем можна досягти якісного показника кришення ґрунту на рівні 70-75%. Розроблені рекомендації по практичному використанню запропонованого чизельного глибокорозпушувача.

**комбінований чизель, чизельна лапа, рушії ґрунту, зниження енергоємності, ефективність кришення**

© С.М. Лещенко, В.М. Сало, Д.І. Петренко, 2016

С.Н. Лещенко, доц., канд. техн. наук, В.М. Сало, проф., д-р техн. наук, Д.И. Петренко, доц., канд. техн. наук

*Кировоградский национальный технический университет, г.Кропивницкий, Украина*

### **Влияние конструктивно-технологических параметров комбинированного глубокорыхлителя на обработку почвы**

В работе обосновывается необходимость проведения глубокого рыхления почвы чизельными орудиями для улучшения агрегатного состояния, инфильтрационных свойств, разрушения уплотненной подпахотной подошвы и реализации основ почвозащитных и энергосберегающих технологий. На основе оценки конструкций основных рабочих органов чизельных орудий, сделан вывод о целесообразности использования чизельных лап с прямой стойкой при условии введения в их конструкцию дополнительных деформаторов.

В результате проведенных исследований подтверждено влияние дополнительных рабочих органов и элементов на качество измельчения почвы и расходы энергии. Предложена усовершенствованная конструкция чизельной лапы с дополнительными деформаторами. Представлены некоторые результаты теоретических и экспериментальных исследований усовершенствованного комбинированного чизеля, подтверждающие его эффективность и возможность использования в сложных почвенно-климатических условиях Украины. Установлено, что при проведении обработки тяжелого и среднего суглинка усовершенствованным комбинированным рыхлителем можно достичь качественного показателя измельчения почвы на уровне 70-75%. Разработаны рекомендации по практическому использованию предложенного чизельного глубокорыхлителя

**комбинированный чизель, чизельная лапа, деформаторы почвы, снижение энергоемкости, эффективность крошения**

**Постановка проблеми.** Україна позиціонує себе в світі як аграрна держава із значним потенціалом нарощування обсягів виробництва продукції рослинництва. Сьогодні реалізувати цей потенціал виявилось дуже складно, оскільки існує ряд факторів, які не лише стримують підвищення врожайності сільськогосподарських культур, але й призводять до перевитрат енергії, деградації ґрунтів, загострення проявів вітрової та водної ерозій тощо. Одним із характерних факторів, що сприяють швидкій деградації ґрунтів, є використання ерозійно небезпечних знарядь на кожному із етапів обробки ґрунту. Останнє, у поєднанні зі збільшенням кількості проходів агрегатів по полю, використання надважкої техніки, майже повної відміни сівозмін та поступової природньої зміни ґрунтово-кліматичних умов, прискорює ущільнення ґрунтового середовища, загострює прояви вітрової та водної ерозій, руйнує біологічно цінні агрегати ґрунту, погіршує інфільтраційні властивості та активізує інші незворотні процеси, які призводять до зменшення рівня гумусу, а отже і загальної втрати родючості ґрунту. Крім цього, переущільнення ґрунту призводить до того, що він втрачає здатність до саморозущільнення і суттєво підвищуються енергетичні затрати на розпушування поверхневого горизонту [1-3]. Відомо, що втрата явища саморозущільнення настає вже при щільності на чорноземах в межах  $1,3...1,4 \text{ г/см}^3$ , при оптимальній  $1,1...1,3 \text{ г/см}^3$ . Щільність оброблюваного горизонту на протязі останніх 10-15 років підвищилася в 2...4 рази, що призвело до зниження врожайності рослин на 25...50% [4].

**Аналіз основних досліджень і публікацій.** Одним із шляхів зменшення ущільнення ґрунту та покращення його агрегатного стану під час механічного обробітку може бути впровадження в технологічні процеси вирощування продукції рослинництва глибокого розпушування ґрунту комбінованими глибокорозпушувачами. Досвід впровадження безвідвальних технологій обробітку ґрунту доводить, що повна заміна відвальної оранки та операцій дискування на глибоке розпушування дозволяє не тільки сприяти реалізації системи ресурсозберігаючого землеробства, а й започаткувати основи збереження та відновлення родючості ґрунту [2,3].

Сьогодні в Україні понад 50% посівних площ знаходяться в умовах недостатнього зволоження, хоча їх ґрунтово-кліматичні умови, за виключенням цього фактору, є сприятливими для отримання високих та стабільних врожаїв. Дефіцит ґрунтової вологи обумовлений не стільки недостатчею опадів, скільки неефективним збереженням вологи, оскільки 50...70% вологи, що потрапляє через опади, швидко випаровується. Це, насамперед, є актуальним для опадів, що випадають у осінньо-зимовий період, а здатність ґрунту акумулювати в собі вологу залежить безпосередньо від щільності ґрунту. Одним із найбільш ефективних заходів по накопиченню вологи є глибоке розпушування, яке сприяє збереженню структури ґрунту, значно зменшує поверхневе стікання талих і зливових вод, покращує аерацію ґрунтів [2,5,7].

Технічне забезпечення глибокого розпушування представлено у всіх розвинених країнах десятками різноманітних конструкцій, від простих чизелів та плоскорізів до комбінованих машин з різними типами і конструкціями робочих органів. Незважаючи на значне різноманіття конструкцій, з'явилася тенденція поєднання в одному основному робочому органі як типових широко розповсюджених вертикальних, так і горизонтальних рушіїв [1–5].

Хоч і існує певна відмінність в конструкціях чизельних лап, всі вони поділяються на робочі органи загального призначення та робочі органи з додатковими функціями, причому переважна більшість робочих органів машин загального призначення виготовляється з прямою стійкою, що насамперед пов'язане із простотою їх виготовлення і обслуговування [5]. Проте, існуючі конструктивні рішення не завжди забезпечують виконання агротехнічних вимог до означених робіт, що особливо чітко проявляється на важких обезструктурених ґрунтах, та ґрунтах із недостатньою чи надлишковою вологою.

З точки зору теоретико-експериментального обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів чизельних глибокорозпушувачів немає однозначного висновку – на яких типах ґрунтів який тип і форма робочих органів забезпечить необхідні якісні показники розпушування із мінімальними енерговитратами. Хоч в роботі [6] і розроблена періодична таблиця теоретичних форм робочих поверхонь ґрунтообробних знарядь, у якій в якості систематизуючого принципу визначено принцип взаємозв'язку і взаємопереходу форм поверхонь, її практичне використання є обмеженим і не надає чіткої відповіді відносно конструктивних особливостей розпушувальної лапи. Ще більш складно визначитися із параметрами додаткових деформаторів і допоміжних знарядь, які інтенсифікують процес розпушування ґрунту.

Слід зазначити, що під час розробки глибокорозпушувачів наведені в літературі методики визначення їх основних параметрів мають наступні основні недоліки [7]:

- не враховуються фізико-механічні властивості оброблюваного ґрунту під час вибору параметрів глибокорозпушувачів, а якщо враховуються, то лише у вигляді емпіричних коефіцієнтів, які характеризують конкретні ґрунтово-кліматичні умови, а, отже, ці залежності зазвичай є непридатними для інших умов;
- не розглядаються найменш енергоємні деформації руйнування середовища ґрунту при обґрунтуванні параметрів робочих органів;
- відсутній взаємозв'язок вибраних параметрів з якісним показником технологічного процесу глибокого розпушування ґрунту.

Тому питання адаптації робочих органів чизельних машин до існуючих умов та проведення, в залежності від зовнішніх факторів, визначення раціональних параметрів

глибокорозпушувачів для забезпечення якісного обробітку ґрунту із найменшими витратами енергії є доцільним.

**Постановка завдання.** Виходячи із наведеного, метою даної роботи є вивчення впливу конструктивно-технологічних параметрів глибокорозпушувача на якість безполицевого обробітку ґрунту.

**Виклад основного матеріалу.** Робочими органами чизельних ґрунторозпушувачів є прямі або криволінійні стояки зі змінними долотами (наральниками), а іноді і з стрілкою лапою. Якість і енергоємність розпушування ґрунту чизельним робочим органом залежать в основному від параметрів наральника та стояка.

Особливістю чизельного обробітку ґрунту є те, що оброблюваний шар ґрунту при цьому не обертається і не змінює своє положення в вертикальній площині, а конструктивна ширина захвату робочих органів є значно меншою за технологічну (рис. 1).

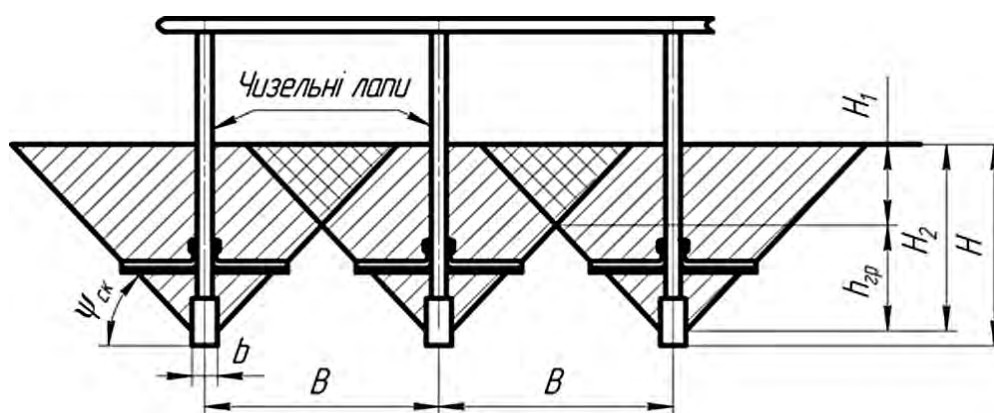


Рисунок 1 – Профіль зони деформації ґрунту робочими органами чизеля

Можна припустити, що долото діє на скибу ґрунту аналогічно двогранному клину.

Якісного розпушування ґрунту з мінімальними витратами енергії можна досягнути при умові, що задана глибина обробітку не перевищуватиме значення критичної глибини різання  $H_2$ . Якщо ця умова не виконується, то зона кришення ґрунту зменшується, а зона пластичних деформацій, а, отже, і енергоємність процесу зростає. Крім того, ґрунт у зоні руху долота сильно переущільнюється. Критична глибина кришення ґрунту залежить від кута сколювання  $\psi_{ск}$ .

Одним з показників, який характеризує якість обробітку ґрунту, є коефіцієнт повноти розпушування, що дорівнює відношенню площі поперечного перетину розпушеної зони до загальної площі.

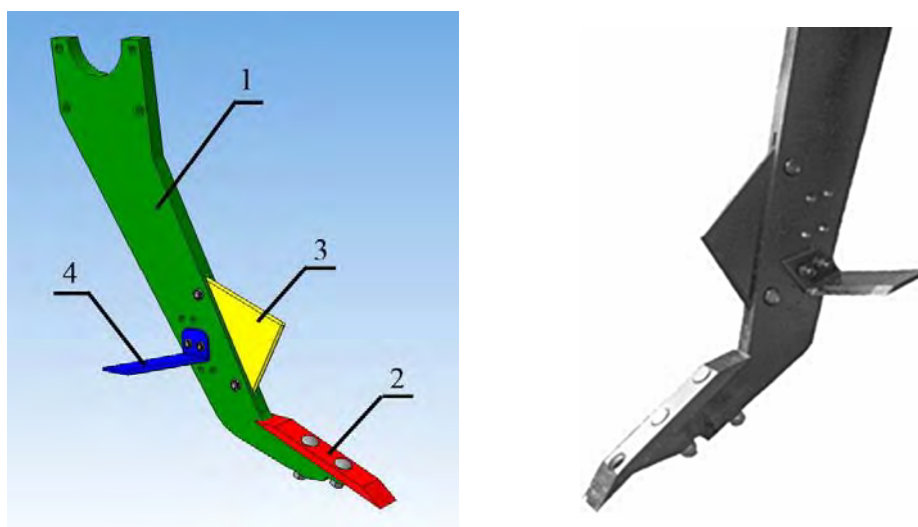
Аналізуючи зони розпушування ґрунту, встановлюють залежність геометричних розмірів робочих органів від їх взаємного розміщення. З урахуванням кута сколювання ґрунту (у середньому  $\psi_{ск} = 45^\circ$ ) при  $B < 2H$  коли  $H < H_2$ , висота незруйнованих підґрунтових гребнів  $h_{гр} = H_2 - H_1 = 0,5 \cdot B$ , а товщина суцільного розпушування верхнього шару  $H_1 = H_2 - 0,5B$ .

Отже, регулюванням відстані між робочими органами по ходу машини можна домогтися значного поліпшення якісних показників процесу розпушування. Все це дає змогу виконувати різноманітні види обробітку ґрунту: при  $B > 2H$  виконуються роботи по щільованню поля та утворенню кротодренажних мереж, при  $B < 2H$  – для основного безполицевого обробітку із заданою товщиною суцільного розпушування верхнього

шару, а у поєднанні з попереднім поверхневим обробітком – для розпушування підорного шару.

Відомо, що з метою створення сприятливих умов для накопичення вологи, ґрунт в процесі обробітку повинен бути рівномірно розпушеним по всій глибині, а відсоток окремих грудок розміром до 50 мм повинен бути не меншим за 70...80%. Основним недоліком простих чизельних глибокорозпушувачів, обладнаних тільки вертикальним рушієм, є формування в верхніх шарах обробленого ґрунту глибистої крупногрудкуватої структури, яка сприяє інтенсивному випаровуванню залишків вологи. Якщо ж ставити задачу забезпечення максимальної рівномірності розпушування при обробітку ґрунту на велику глибину, то цілком логічним є поєднання в конструкції чизельних робочих органів вертикальних і горизонтальних рушіїв [8]. Авторами запропоновано конструкцію чизельної лапи із вертикальними та горизонтальними рушіями, попередні випробування якої доводять її високу ефективність на важких суглинкових ґрунтах [9-11]. Запропонована чизельна лапа (рис. 2) складається з стояка 1, долота 2, зуба для подрібнення брил 3 та крил 4. Під час розпушування ґрунту чизельною лапою долото 2 сколює суцільне середовище, зуб 3 інтенсивно подрібнює брили і відводить їх від стояка 1, а крила 4, крім підрізання бур'яну, додатково кришать ґрунт в зоні їх розміщення, та залежно від положення на стояку, можуть зменшувати нерівності дна борозни. Зміна положення крил 4 відносно дна борозни відбувається шляхом переміщення останніх відносно отворів на стояку та їх закріплення гвинтами. Аналіз процесу розпушування ґрунту запропонованою чизельною лапою дозволяє умовно виділити горизонтальні та вертикальні рушії. До горизонтальних можна віднести долото 2 та крила 4, які підрізають кореневу систему рослин та розпушують ґрунт; до вертикальних – стояк 1 та зуб 3, які подрібнюють ґрунт та розбивають крупні грудки.

На першому етапі під час дослідження взаємодії ґрунтового середовища і чизельної лапи [7] вважали, що передня робоча грань клина (долота) розглядається як підпорна стінка, що переміщується в напрямку нерозпушеного середовища, а зусилля різання подібне до пасивного підпирання ґрунту. При цьому слід відмітити, що основну роботу по деформації і сколюванню ґрунту виконує долото. На робочий орган зі сторони ґрунту діє реакція недеформованого середовища (ґрунту)  $Q$  (рис.3), яка направлена протилежно до напрямку зусилля різання, що змінюється в залежності від фізико-механічних властивостей ґрунту і параметрів лапи. На ґрунтах із нормальною вологістю сила  $Q$  співпадає зі швидкістю агрегату  $\bar{V}_{agr}$ , а на пересушених та переущільнених ґрунтах вона відхиляється від нормалі на кут  $\varphi_1$  (кут внутрішнього тертя ґрунту). В теоретичних дослідженнях врахування зміни кута внутрішнього тертя ґрунту буде достатньо для врахування фізико-механічних властивостей оброблюваного середовища. Крім реакції  $Q$  зі сторони ґрунту на чизельну лапу діє сила ваги пласта  $G$ ; результуюча елементарних нормальних сил опору ґрунту і сил тертя на поверхні робочого органу  $R_0$ , яка відхилена від нормалі до поверхні на кут тертя ґрунту по сталі  $\varphi$ ; сила, що обумовлена інерцією шару ґрунту  $F$ , що направлена в напрямку, протилежному до абсолютної швидкості руху скиби  $\bar{V}$  та утворює кут  $(90 - \psi)$  з віссю  $OZ$ .



1 – стояк; 2 – долото; 3 – зуб; 4 – крила

Рисунок 2 – Чизельна лапа з горизонтальними та вертикальними рушіями

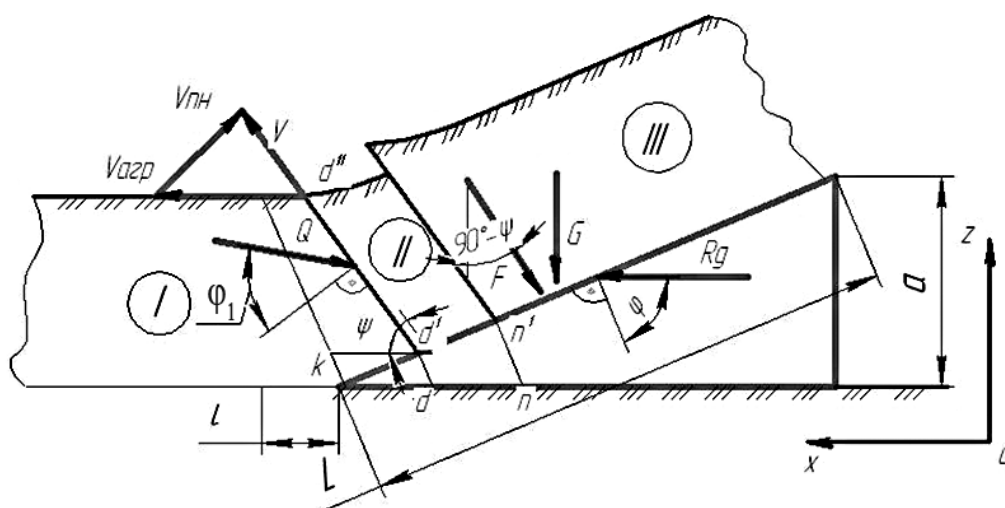


Рисунок 3 – Схема силової взаємодії ґрунту з робочим органом

Аналогічно до перетворень, проведених В.Н. Щириком [7], можна отримати рівність для визначення реакції недеформованого ґрунту  $Q$ :

$$Q = \frac{F \cdot (\sin \psi - \cos \psi \cdot \operatorname{ctg}(\beta + \varphi)) + G}{\cos(\psi + \varphi_1) + \sin(\psi + \varphi_1) \cdot \operatorname{ctg}(\beta + \varphi)},$$

де  $\beta$  – кут установки долота до дна борозни, град.

Для того, щоб не відбувалося збивання ґрунту перед робочим органом, необхідно, щоб був достатнім підпор, тобто виконувалась умова

$$\sigma_s \geq \frac{Q}{S},$$

де  $\sigma_g$  – опір ґрунту стисканню кПа;

$S$  – площа поперечного перетину скиби, що деформується, м<sup>2</sup>.

Після знаходження сили інерції  $F$ , сили ваги оброблюваного ґрунту  $G$ , з врахуванням того, що кут сколювання  $\psi = 90^\circ - \frac{\beta + \varphi + \varphi_1}{2}$ , і проведення перетворень, можна отримати нерівність, яка визначає умову при якій не виникає забивання ґрунту перед робочим органом:

$$\sigma_g \geq \frac{V_{azp}^2 \cdot \gamma \cdot \left( \frac{\sin(\beta + \varphi + \varphi_1)}{2} - \sin^2 \left( \frac{\beta + \varphi + \varphi_1}{2} \cdot \text{ctg}(\beta + \varphi) \right) \right) + L \cdot g \cdot \gamma}{\sin \left( \frac{\beta + \varphi + 3\varphi_1}{2} \right) + \cos \left( \frac{\beta + \varphi + 3\varphi_1}{2} \right) \cdot \text{ctg}(\beta + \varphi)},$$

де  $\gamma$  – об'ємна вага (щільність ґрунту), г/см<sup>3</sup>;  $L$  – довжина долота, м.

Звідки довжина долота  $L$ :

$$L = \frac{1}{g \cdot \gamma} \cdot \left[ \left[ \sigma_g \cdot \left( \sin \left( \frac{\beta + \varphi + 3\varphi_1}{2} \right) + \cos \left( \frac{\beta + \varphi + 3\varphi_1}{2} \right) \cdot \text{ctg}(\beta + \varphi) \right) \right] - \left[ V_{azp}^2 \cdot \gamma \cdot \left( \frac{\sin(\beta + \varphi + \varphi_1)}{2} - \sin^2 \left( \frac{\beta + \varphi + \varphi_1}{2} \cdot \text{ctg}(\beta + \varphi) \right) \right) \right] \right]$$

Виходячи із довжини долота  $L$  та відстані, на яку руйнується ґрунт перед долотом  $l$ , можна знайти відстань між робочими органами для глибокого розпушування ґрунту у поздовжньому напрямку  $\Delta L$ :

$$\Delta L = a \cdot \text{ctg} \left( \frac{\beta + \varphi + \varphi_1}{2} \right) + L \cdot \cos \beta.$$

На основі проведених аналітичних досліджень можна зробити висновок, що при обробітку важкого та середнього суглинку зі швидкістю  $V_{azp} = 2,5$  м/с, щільністю  $\gamma = 1,3$  г/см<sup>3</sup>, кутами тертя  $\varphi = 25^\circ$   $\varphi_1 = 45^\circ$  та опору ґрунту стисканню  $\sigma_g = 3,5$  кПа раціональне значення кута установки долота до дна борозни  $\beta = 25...30^\circ$  при довжині долота  $L = 0,28...0,35$  м. За таких умов відстань між рядами розпушувальних лап у поздовжньому напрямку  $\Delta L = 0,45...0,55$  м при глибині розпушування  $a$  до 40 см.

На етапі аналітичних досліджень силової взаємодії всієї вдосконаленої чизельної лапи з ґрунтом було умовно розділено долото, стояк та крила на окремі елементи. На основі раціональної формули В.П. Горячкіна для відвальних плугів та її інтерпретації В.В. Труфанова для плоскорізних знарядь [2], яка враховує лише суму статичних сил і сил тертя, була доповнена динамічна складова. Після проведення перетворень отримано рівняння опору чизельного робочого органу із прямим стояком і додатковими горизонтальними деформаторами, що враховує нормальні сили, сили тертя, швидкість руху МТА і інші фактори:

$$R = \sum (N_G + N_C + N_K) + \sum [fG + f_1(N_G + N_C + N_K) + 2f_B(R_{GB} + R_{BC} + R_{BK})] + (K + \varepsilon_D V^2 + \varepsilon_K V^2)(Bh_B + Sh_D + Sh_K),$$

де  $N_G$  – горизонтальні складові сил, що діють на долото;

$N_C, N_K$  – опори переміщення стояка і крил відповідно (лобовий опір);

$fG$  – сила тертя об дно борозни;

$f_1(N_G + N_C + N_K)$  – горизонтальна складова сил тертя від нормальних сил;

$2f_B(R_{GB} + R_{BC} + R_{BK})$  – горизонтальні та бокові складові сил тертя на бокових площинах долота стояка та крил відповідно;

$K$  – коефіцієнт, який характеризує здатність ґрунту протидіяти деформації;

$\varepsilon_D, \varepsilon_K$  – коефіцієнти, що залежать від форми робочої поверхні долота і крил відповідно, властивостей і розміру ґрунтового перетину, що деформується відповідними елементами;

$Bh_B + Sh_D + Sh_K$  – сума активних площ стояка, долота і крил.

Повноцінна оцінка ефективності роботи запропонованих чизельних лап може бути надана тільки за результатами порівняльних випробувань, але вже в даний час, спираючись на результати попередніх експериментальних досліджень, можна однозначно стверджувати, що введення додаткових рушіїв в конструкцію комбінованої чизельної лапи сприяє підвищенню загальної рівномірності розпушування ґрунту при його обробі на велику глибину. Так, навіть при надмірно високій твердості ґрунту ( $T = 8...10$  МПа) під час проведення досліджень комбінований чизельний глибокорозпушувач, обладнаний лапами з плоскими розпушувальними крилами та зубовими котками, забезпечив середній якісний показник кришення ґрунту 70...75% [10-14].

**Висновки.** 1. З метою реалізації систем ґрунтозахисних та енергоощадних технологій є необхідним впровадження в технологічні процеси вирощування продукції рослинництва, на заміну традиційним способам обробки ґрунту, операцій глибокого розпушування, що можуть проводитися комбінованими чизельними знаряддями.

2. Незважаючи на значну кількість конструкцій чизельних ґрунтообробних робочих органів, більшість чизельних лап виготовляються у вигляді прямої стійки із додатковими рушіями різних конструкцій, що дозволяє інтенсифікувати якісні показники кришення ґрунту.

3. Розроблена конструктивно-технологічна схема чизельної лапи глибокорозпушувача та аналітично обґрунтовані окремі параметри, а саме: при обробі важкого та середнього суглинку зі швидкістю  $V_{зр} = 2,5$  м/с, щільністю  $\gamma = 1,3$  г/см<sup>3</sup>, кутами тертя  $\varphi = 25^\circ, \varphi_1 = 45^\circ$  та опору ґрунту стисканню  $\sigma_g = 3,5$  кПа, раціональне значення кута установки долота до дна борозни  $\beta = 25...30^\circ$  при довжині долота  $L = 0,28...0,35$  м. За таких умов відстань між рядами розпушувальних лап у поздовжньому напрямку  $\Delta L = 0,45...0,55$  м при глибині розпушування  $a$  до 40 см.

4. Наведено аналітичну залежність для визначення опору чизельного робочого органу із прямими стояком і додатковими деформаторами, яка враховує нормальні сили, сили тертя, швидкість руху МТА і інші фактори.

## Список літератури

1. Бледных В.В. Устройство, расчет и проектирование почвообрабатывающих орудий: Учебное пособие [Текст] / Бледных В.В. – ЧГАА, Челябинск – 2010. – 214 с.
2. Панов И.М. Физические основы механики почв. Монография / И.М. Панов, В.И. Ветохин – К.: Феникс, 2008. – 266 с.
3. Лещенко С.М. Технічне забезпечення збереження родючості ґрунтів в системі ресурсозберігаючих технологій [Текст] / Лещенко С.М., Сало В.М. // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград, 2013. – Вип. 43, ч.1. – С. 96-102.
4. AMAZONE. Интеллекнтное растениеводство. – AMAZONEN-WERKE, H. Dreyer GmbH & Co. KG – Hasbergen-Gaste, 2014. – 188 с.
5. Лещенко С. Состояние вопроса и перспектива интенсификации работы чизельных орудий с целью сохранения естественного плодородия [Текст] / С. Лещенко, В. Сало, А. Васильковский // MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. An international journal on operation of farm and agri-food industry machinery.– Vol. 16, №2,.–Lublin – Rzeszów: Polish Academy of Sciences, 2014. – P. 195–201.
6. Ветохин В.И. Системные и физико-механические основы проектирования рыхлителей почвы: Дис. ... д-ра техн. наук: [Текст] / В.И. Ветохин // НТУУ «Киевский политехнический институт», ОАО «ВИСХОМ». – К. - М.: КПИ – ВИСХОМ, 2010. – 284 с.
7. Щириков В.Н. Определение параметров глубокорыхлителей для обработки почвы в засушливых условиях [Текст] / Щириков В.Н., Пархоменко Г.Г. // Вестник аграрной науки Дона. – Зерноград, 2012. – №4 (20). – С. 17–22.
8. Корабельский В.И. Технологические основы формирования криволинейных рабочих органов рыхлителей [Текст] / В.И. Корабельский, В.В. Погорелый // Труды Таврической гос. агротехн. академии. – 2006. – Вып.40. – С. 74-82.
9. Leschenko S. Experimental estimate of the efficiency of basic tilling by chisel equipment in the conditions of soil / S. Leschenko, V. Salo, D. Petrenko // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград, 2014. – Вип. 44 – С. 237-243.
10. Лещенко С.М. Експериментальна оцінка якості роботи комбінованого чизеля з додатковими горизонтальними та вертикальними деформаторами [Текст] / Лещенко С.М., Сало В.М., Петренко Д.І. // Вісник Харківського національного технічного університету ім. П. Василенка. – Харків, 2015. – Вип. 156 – С. 25–34.
11. Лещенко С.М. Вплив конструктивних параметрів чизельної лапи глибокорозпушувача на деформацію ґрунту [Текст] / Лещенко С.М., Сало В.М., Петренко Д.І., Лісовий І.О. // Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти – Вип. 4. – Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2016. – С. 115-124.
12. Сало В.М. Аналіз процесів чизелювання ґрунтів з застосуванням різних комбінацій робочих органів [Текст] / В.М. Сало, С.М. Лещенко, В.А. Пашинський, Р.В. Ярових // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград: КНТУ, 2015. – Вип. 45, ч.1 – С. 126-132.
13. Сало В. Технічне забезпечення процесів глибокого розпушування ґрунту [Текст] / В. Сало, С. Лещенко // Пропозиція: український журнал з питань агробізнесу. Інформаційний щомісячник. – 2015. – № 10. – С.122-124.
14. Лещенко С.М. Обґрунтування доцільності проведення глибокого чизельного рихлення на переущільнених та ерозійно-небезпечних ґрунтах [Текст] / Лещенко С.М., Сало В.М. // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград: КНТУ, 2015. – Вип. 28.– С. 181-186.

**Serhii Leschenko, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Vasil Salo, Prof., DSc., Дмитро Петренко, Assoc. Prof., PhD tech. sci.**

*Kirovograd National Technical University, Kropyvnickiy, Ukraine*

**The influence structural and technological parameters combined chisel for cultivation**

The article gives suggestion on the improvement of deep tillage of soil with the help of combined chisel equipment. Taking into account the existing technologies of tillage and technical equipment for the realization of the above-mentioned operations we concluded that it is reasonable to give up traditional moldboard tillage. Taking into consideration the experience in the agrarian sphere of the developed countries and researchers'

findings the deep tillage by the combined chisel equipment can be the starting point of energy saving and soil protecting technologies. Considering the specificity of soils and variety of requirements for technical support of chisel tillage, the issue of improvement of chisel tilling equipment needs effective scientific solving, including the process of adaptation of the existing designs to certain conditions.

On the basis of the research findings we proved a positive influence of the additional working parts and elements on the quality of soil pulverization and energy costs. The improved design of a chisel sweep with additional deformers was suggested. In the function of the additional working parts of the combined chisel it is recommended to use a coupled crosskill roller with straight teeth which functions as supportive and provides breaking big lumps and equal distribution of useful residues at the set depth. The presented results of theoretical and experimental research of the improved combined chisel prove its efficiency and enable its application in difficult soil and climatic conditions of Ukraine. It was specified that cultivation of hard and medium clay loam by a combined chisel increases the quality indicator of soil pulverization at the level of 70-75%. The recommendations for practical application of the suggested tilling appliance were developed.

**a combined chisel, chisel sweep, soil deformers, decrease of energy consumption, efficiency of soil pulverization**

Одержано 25.10.16

**УДК 62-752, 62-755**

**А.Ю. Невдаха, доц., канд. техн. наук, В.О. Дубовик, доц., канд. техн. наук**  
*Кіровоградський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*  
*E-mail: viktor\_dubovik@mail.ru*

## До розрахунку міцності різьбових з'єднань

В статті проведені дослідження метричних різьбових з'єднань, які дозволяють розраховувати коефіцієнт повноти різьби. Це дає можливість збільшити міцність різьбових з'єднань і, як результат, підвищити надійність вузла і машини в цілому. В розрахунках враховували, що сила розподілена по поверхні витка і прикладена в центрі ваги його робочої поверхні. При цьому враховували зусилля, яке руйнує тіло болта, а також силу зрізу різьби болта і зусилля зрізу витка гайки. З отриманих рівнянь зрізу для витків болта і гайки визначили коефіцієнт повноти різьби. В результаті проведених досліджень були отримані умови рівномірності стержня болта і різьби гайки. Із співвідношень для метричних стандартних різьб і однакових матеріалів болта та гайки визначили висоту гайки, яка відповідає висоті стандартних гайок.

**з'єднання, різьба, болт, гайка, міцність**

**А.Ю. Невдаха, доц., канд. техн. наук, В.А. Дубовик, доц., канд. техн. наук**  
*Кіровоградский национальный технический университет, г. Кропивницкий, Украина*

### **К расчёту прочности резьбовых соединений**

В статье проведены исследования метрических резьбовых соединений, позволяющие рассчитывать коэффициент полноты резьбы. Это дает возможность увеличить прочность резьбовых соединений и, как результат, повысить надежность узла и машины в целом. В расчетах учитывали, что сила распределена по поверхности витка и приложена в центре тяжести его рабочей поверхности. При этом учитывали усилие, которое разрушает тело болта, а также силу срезания резьбы болта и усилие среза витка резьбы гайки. Из полученных уравнений среза для витков болта и гайки определили коэффициент полноты резьбы. В результате проведенных исследований были получены условия равнопрочности стержня болта и резьбы гайки. Из соотношений для метрических стандартных резьб и одинаковых материалов болта и гайки определили высоту гайки, которая соответствует высоте стандартных гаек.

**соединения, резьба, болт, гайка, прочность**

© А.Ю. Невдаха, В.О. Дубовик, 2016

**Постановка проблеми.** Деталі, з яких складається машина зв'язані між собою тим чи іншим чином. Ці зв'язки можна розділити на рухомі (шарніри, підшипники та інші) і нерухомі (різбові, зварні, шпонкові та інші). Наявність рухомих зв'язків у машині обумовлено її кінематичною схемою. Нерухомі зв'язки обумовлені доцільністю розбирання машини на вузли та деталі для того, щоб спростити виробництво, полегшити складання, ремонт, транспортування і обслуговування.

Нерухомі зв'язки в техніці – це з'єднання. З'єднання є важливими елементами конструкцій. Більшість аварій і можливі несправності в роботі машин обумовлені незадовільною якістю з'єднань.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Серед роз'ємних з'єднань найбільш широке розповсюдження отримали різбові з'єднання, а саме з'єднання болтові.

Вибір матеріалу для деталей різбових з'єднань залежить від великого числа факторів, зв'язаних з комплексом технологічних операцій, які визначають форму різьби і кінцеві властивості матеріалу в ній. Але основна маса кріпильних виробів, що випускається для загального користування, виготовляється з вуглецевих і конструкційних сталей, це пояснюється не тільки економічними міркуваннями, а й умовами масової фабрикації цих виробів. З низько- і середньо вуглецевих сталей для виготовлення деталей різбових з'єднань зазвичай приймають сталі марок Ст. 3, Ст. 4 і Ст. 5, при чому остання для важко навантажених з'єднань. Із вуглецевих якісних сталей найчастіше використовують сталі А12 (автоматна), 35, 45 і інші. В найбільш навантажених з'єднаннях використовуються леговані сталі (40Х, 40ХН, 30ХНГСА, 18ХНВА і інші). У випадках, коли вирішальне значення має зниження ваги з'єднання, що має, наприклад, місце в конструкціях літаючих апаратів, використовуються титанові сплави.

Дуже часто болтові з'єднання в конструкції є самим відповідальним елементом. Значна частина аварій і поломок в роботі машини буває пов'язана з незадовільною роботою болтових з'єднань.

Надійність роботи болтових з'єднань залежить від багатьох факторів, які часто не підлягають точному прогнозуванню.

Одним з самих важливих елементів болтів є їх різьба. Не дивлячись на велику кількість методик розрахунку різбових з'єднань, існує ряд умовностей, які теоретично ще не пояснено. Серед цих параметрів є коефіцієнт повноти різьби, який розраховується за різними критеріями.

Як правило, в розрахунках коефіцієнт повноти різьби задають [1, 3], а не розраховують. Це, в свою чергу, зменшує точність розрахунків, що приводить до погіршення працездатності різбових з'єднань.

**Постановка завдання.** Враховуючи вище сказане нами пропонується свій варіант розрахунку коефіцієнта повноти різьби, а також висоти гайки.

**Виклад основного матеріалу.** Для розрахунку приймаємо, що сила, яка розподілена по поверхні витка і прикладена в центрі ваги робочої поверхні витка. Зусилля, яке руйнує тіло болта, може бути визначено:

$$\sigma_{руїн} = \sigma_s \cdot \frac{\pi d_1^2}{4}, \quad (1)$$

де  $d_1$  - номінальний внутрішній діаметр різьби;

$\sigma_s$  - границя міцності матеріалу болта.

$$F_{зр}^{\sigma} = \pi \cdot d_{зр} \cdot k_1 \cdot h \cdot \tau_{взр}^{\sigma}, \quad (2)$$

де  $d_{зр}$  - діаметр циліндричної поверхні зрізу витків;

$k_1$  - коефіцієнт повноти різьби болта (рис. 1);

$h$  - висота гайки;

$\tau_{взр}^{\sigma}$  - межа міцності на зріз матеріалу болта.

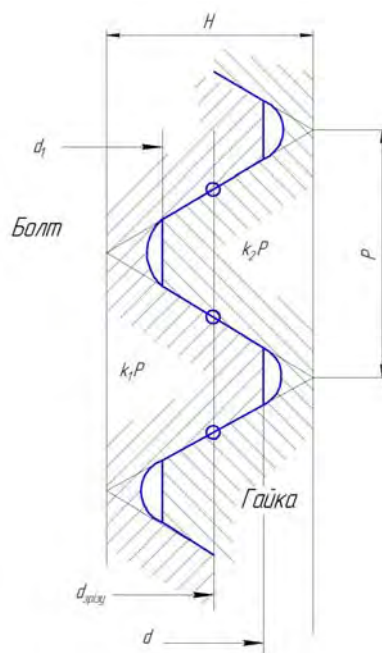


Рисунок 1 – До розрахунку різьби на зріз

Зусилля, яке зрізає витки гайки, відповідно дорівнює:

$$F_{зр}^{\sigma} = \pi \cdot d_{зр} \cdot k_2 \cdot h \cdot \tau_{взр}^{\sigma}, \quad (3)$$

$k_2$  - коефіцієнт повноти різьби гайки;

$\tau_{взр}^{\sigma}$  - межа міцності на зріз матеріалу гайки.

Останні величини мають ті ж значення, що і в попередньому випадку.

З рівності зусиль зрізу для витків болта і гайки знайдемо:

$$k_1 \cdot \tau_{взр}^{\sigma} = k_2 \cdot \tau_{взр}^{\sigma}. \quad (4)$$

З іншого боку, з розгляду рисунку 1 видно, що

$$k_1 \cdot P + k_2 \cdot P = P \text{ або } k_1 + k_2 = 1. \quad (5)$$

Вирішуючи останні два рівняння, можна знайти вирази для визначення коефіцієнтів повноти різьби:

$$k_1 = \frac{\tau_{взр}^{\sigma}}{\tau_{взр}^{\sigma} + \tau_{взр}^{\sigma}} \text{ і } k_2 = \frac{\tau_{взр}^{\sigma}}{\tau_{взр}^{\sigma} + \tau_{взр}^{\sigma}}. \quad (6)$$

Якщо наближено прийняти  $d_{зр} = d$ , то зусилля зрізу витків різьби гайки дорівнює:

$$F_{зр} = \pi \cdot d \cdot k_2 \cdot h \cdot \tau_{взр}^{\sigma} = \pi \cdot d \cdot h \frac{\tau_{взр}^{\sigma} \cdot \tau_{взр}^{\sigma}}{\tau_{взр}^{\sigma} + \tau_{взр}^{\sigma}}. \quad (7)$$

Умова рівномірності стержня болта і різьби гайки може бути записана у наступному вигляді:

$$F_{руйн} = F_{зр}, \quad (8)$$

або

$$\sigma'_e \frac{\pi d_1^2}{4} = \pi \cdot d \cdot h \frac{\tau_{\text{взр}}^{\bar{\sigma}} \cdot \tau_{\text{взр}}^{\bar{\epsilon}}}{\tau_{\text{взр}}^{\bar{\sigma}} + \tau_{\text{взр}}^{\bar{\epsilon}}}. \quad (9)$$

Звідси

$$h = \frac{\sigma'_e \cdot d_1^2 (\tau_{\text{взр}}^{\bar{\sigma}} + \tau_{\text{взр}}^{\bar{\epsilon}})}{4d \cdot \tau_{\text{взр}}^{\bar{\sigma}} \cdot \tau_{\text{взр}}^{\bar{\epsilon}}}, \quad (10)$$

або

$$\frac{h}{d} = \frac{1}{4} \cdot \frac{d_1^2}{d^2} \cdot \frac{\sigma'_e \cdot (\tau_{\text{взр}}^{\bar{\sigma}} + \tau_{\text{взр}}^{\bar{\epsilon}})}{\tau_{\text{взр}}^{\bar{\sigma}} \cdot \tau_{\text{взр}}^{\bar{\epsilon}}}. \quad (11)$$

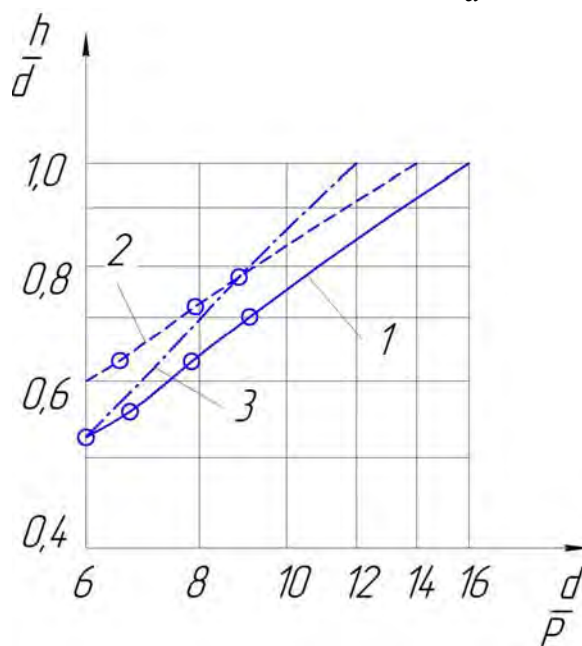
Враховуючи, що для метричної різьби

$$\frac{d_1^2}{d^2} = \left(1 - 1,08 \frac{P}{d}\right), \quad (12)$$

отримаємо

$$\frac{h}{d} = \frac{1}{4} \cdot \left(1 - 1,08 \frac{P}{d}\right) \cdot \frac{\sigma'_e \cdot (\tau_{\text{взр}}^{\bar{\sigma}} + \tau_{\text{взр}}^{\bar{\epsilon}})}{\tau_{\text{взр}}^{\bar{\sigma}} \cdot \tau_{\text{взр}}^{\bar{\epsilon}}}. \quad (13)$$

На рис. 2 зображені криві, які визначають значення  $\frac{h}{d}$  в залежності від  $\frac{d}{P}$ .



1 – гайка із звичайним розміром під ключ; 2 – гайка із зменшеним розміром під ключ ( $\sigma_e^{\bar{\sigma}} = 750 \dots 850$  МПа,  $\sigma_e^{\bar{\epsilon}} = 560 \dots 670$  МПа); 3 – гайка із звичайним розміром під ключ ( $\sigma_e^{\bar{\sigma}} = 380 \dots 580$  МПа)

Рисунок 2 – Відносна висота гайки  $\frac{h}{d}$ , необхідна для рівномірності різьби і стержня болта

**Висновки.** В результаті проведених досліджень встановлено, що при співвідношеннях, справедливих для метричних стандартних різьб і однакових матеріалах болта і гайки, умова рівномірності забезпечується шляхом врахування коефіцієнта повноти різьби болта. Це дає можливість забезпечити міцність різьбових

з'єднань. А з виразу (13) можна отримати, що  $\frac{h}{d} = 0,8$  або  $h = 0,8d$ , що відповідає висоті гайок. Це дозволяє виготовляти різьбові з'єднання із заданими характеристиками міцності для відповідних умов навантаження.

### Список літератури

1. Иванов М.Н. Детали машин: Учебник для машиностроительных специальностей вузов [Текст] / М.Н. Иванов. – Изд. перераб., М.: Высшая школа, 1984. – 336 с.
2. Павлище В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: Підручник [Текст] / В.Т. Павлище. – К.: Вища школа, 1993. – 556 с.
3. Решетов Д.Н. Детали машин: Учебник для студентов машиностроительных и механических специальностей вузов [Текст] / Д. Н. Решетов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989. – 496 с.

**Andriy Nevdaha, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Viktor Dubovik, Assoc. Prof., PhD tech. sci.**

*Kirovograd National Technical University, Kropivnitskiy, Ukraine*

#### **Calculation of the strength of threaded connections**

The paper studies metric threaded connections which allow to calculate the coefficient of completeness thread. This makes it possible to increase the strength of threaded connections and as a result increase the reliability of the site and the car in general.

The calculations take into account that the force is distributed over the surface of the coil and attached to the center of gravity of its working surface. This took into account the efforts that destroys the body bolt and screw thread cut power and effort slice spiral nuts.

From these equations for cut turns the bolt and nut factor determined completeness thread. As a result of the research were obtained conditions rivnomitsnosti rod bolt and nut thread. With relations for metric standard thread and the same material bolt nuts and nut height determined which corresponds to the height standard screws.

**connection, thread, bolt, nut, strength**

Одержано 04.11.16

**УДК 621.825.5/7**

**В.О. Проценко, доц., канд. техн. наук, О.Ю. Клементьєва, асп.**

*Херсонська державна морська академія, м.Херсон, Україна*

*E-mail: eseui@ukr.net*

## Деформації канатів у муфтах від неспіввісності з урахуванням їх закріплення

В статті виконані теоретичні дослідження видовження канатів сполучних муфт від неспіввісності поєднаних валів. Розглянуте вирішення задачі для випадків шарнірного та жорсткого закріплення канатів у напівмуфтах. Встановлено, що жорстке закріплення канатів спричиняє їх додатковий натяг. Показано, що в муфтах з тангенціальним розташуванням канатів додатковий натяг при їх жорсткому закріпленні менший ніж у муфтах з канатами хордального розташування.

**муфта, канат, розподіл, навантаження, неспіввісність, закріплення**

**В.А. Проценко, доц., канд. техн. наук, О.Ю. Клементьева, асп.**

*Херсонская государственная морская академия, г.Херсон, Украина*

### **Деформации канатов в муфтах от несоосности с учетом их закрепления**

В статье выполнены теоретические исследования удлинения канатов соединительных муфт от несоосности соединяемых валов. Рассмотрено решение задачи для случаев шарнирного и жесткого закрепления канатов в полумуфтах. Установлено, что жесткое закрепление канатов приводит к их дополнительному натяжению. Показано, что в муфтах с тангенциальным расположением канатов дополнительное натяжение при их жестком закреплении меньше чем у муфт с канатами хордального расположения.

**муфта, канат, распределение, нагрузка, несоосность, закрепление**

**Постановка проблеми.** Сучасні тенденції до побудови ресурсощадних технологій та машин, в тому числі сільськогосподарських, вимагають розроблення уточнених методів їх розрахунків. Це стає можливим при розробленні розрахункових методик, що враховують дійсні умови роботи об'єкта розрахунків. Особливо актуальними та важливими вказані проблеми є для муфт приводів, оскільки більшість з них є складними та коштовними елементами, що мають необґрунтовано завищені запаси міцності.

**Аналіз виконаних досліджень та постановка завдання.** Муфти з канатними пружними елементами [1] мають достаньо просту конструкцію та порівняно дешеві за рахунок застосування в якості пружних деталей поширених елементів – сталевих канатів. Цим обумовлені їх головні переваги, проте методи розрахунку таких муфт на сьогодні досліджені недостатньо. Зокрема має резерв для дослідження процес передавання муфтами навантаження в умовах не співвісності, зокрема радіальної. Тому метою даної роботи є оцінка впливу неспіввісності напівмуфт на деформації канатів муфт з урахуванням їх закріплення.

**Виклад основного матеріалу.** Будова муфт, що розглядатимуться у роботі зрозуміла з рис. 1. за одним уточненням, що канати в них можуть розташовуватися в напівмуфтах хордально (обидва кінці їх закріплені на колі одного діаметру) та тангенціально (кінці закріплені на колах різних діаметрів).

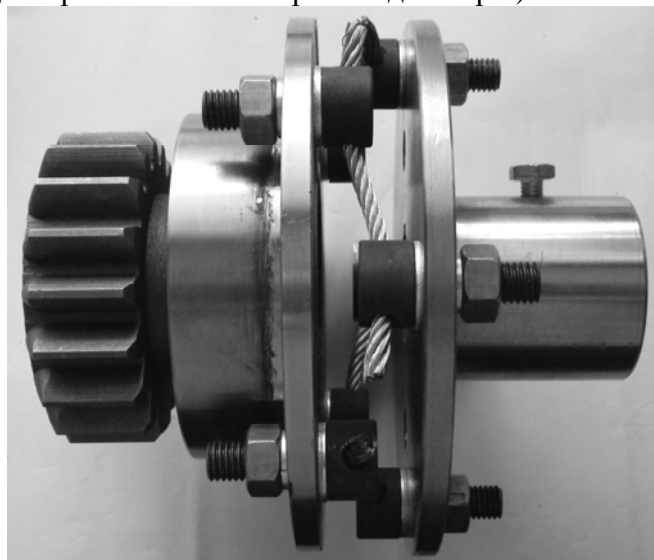


Рисунок 1 – Муфта з канатами хордального розташування

За наявності радіальної неспіввісності  $\Delta_r$  канати муфт будуть працювати у нерівних умовах, про що наочно свідчать зокрема дані рис. 2.

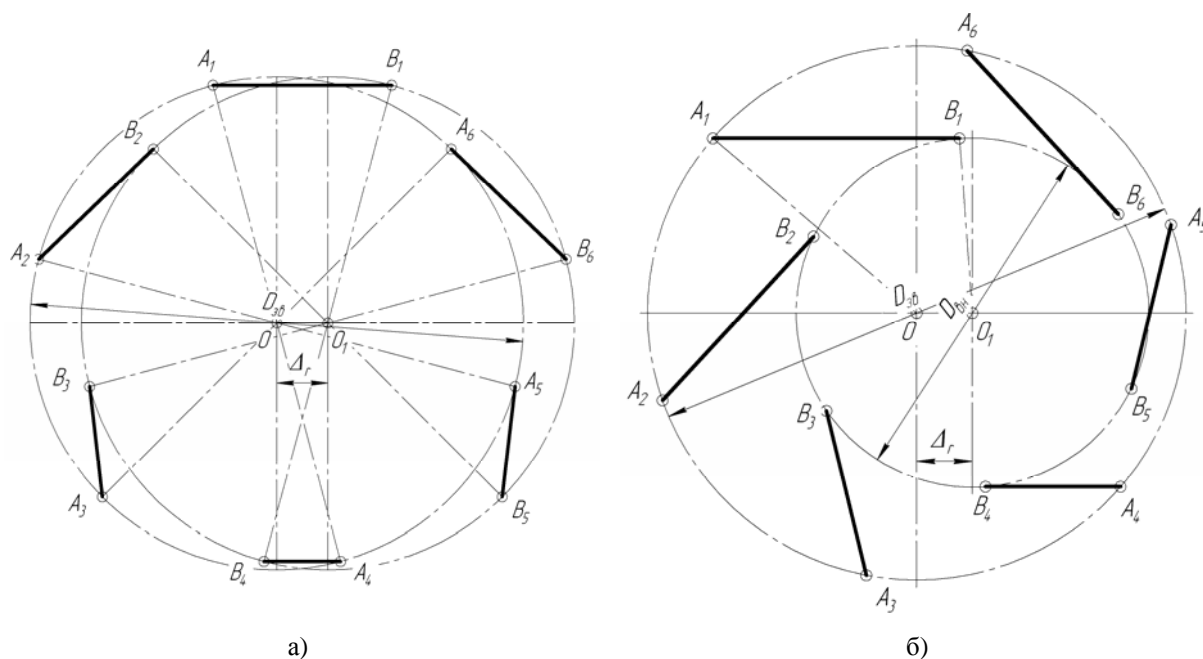


Рисунок 2 – Схема роботи муфт з торцевою установкою канатів хордального (а) та тангенціального (б) розташування в умовах радіальної неспіввісності

Для обчислення деформації канатів муфт при шарнірному їх закріпленні у напівмуфтах застосуємо аналогію – вважатимемо муфту сукупністю чотиришарнірних механізмів зі змінною довжиною ланки  $AB$ . При цьому ведучою напівмуфтою є ланка  $OA$ , веденою – ланка  $O_1B$ , канатом – ланка  $AB$ , відстань  $OO_1$  адекватна радіальній неспіввісності  $\Delta_r$ .

Задачу обчислення довжин канатів (ланок  $AB$ ) кожного миттєвого механізму вирішували методом замкнених векторних контурів [2]. Для застосування цього методу уявимо кінематичну схему чотиришарнірного механізму у вигляді замкненого векторного контура  $AOO_1B$  (рис. 3), для якого можна записати векторне рівняння:

$$\vec{V}_1 + \vec{V}_2 = \vec{V}_3 + \vec{V}_4, \quad (1)$$

де  $\vec{V}_1 = OA$  – радіус ведучої напівмуфти;

$\vec{V}_2 = L_{ki}$  – довжина каната;

$\vec{V}_3 = \Delta_r$  – радіальна неспіввісність;

$\vec{V}_4 = AB$  – радіус веденої напівмуфти.

Після проектування рівняння (1) на осі координат та перетворень отримаємо:

$$V_2 = \sqrt{(V_3 + V_4 \cos \varphi_{\text{внi}} - V_1 \cos \varphi_{\text{вчi}})^2 + (V_4 \sin \varphi_{\text{внi}} - V_1 \sin \varphi_{\text{вчi}})^2}. \quad (2)$$

Для знаходження кутів  $\beta_{ui}$  нахилу осей канатів до радіуса веденої напівмуфти  $OB$  використовували метод змінюваних трикутників [3]. При цьому, після розгляду трикутників  $OA_1O_1$  та  $O_1A_1B_1$  (рис. 3) за рахунок застосування теореми косинусів отримали:

$$\cos \beta_{ui} = \frac{AB^2 + OB^2 - AO^2 - OO_1^2 + 2AO \times OO_1 \times \cos \varphi_{\text{вчi}}}{2AB \times OB}. \quad (3)$$

Далі виконували застосування отриманих формул для конкретних конструкцій муфт з хордальним та тангенціальним розташуванням канатів (рис. 4).

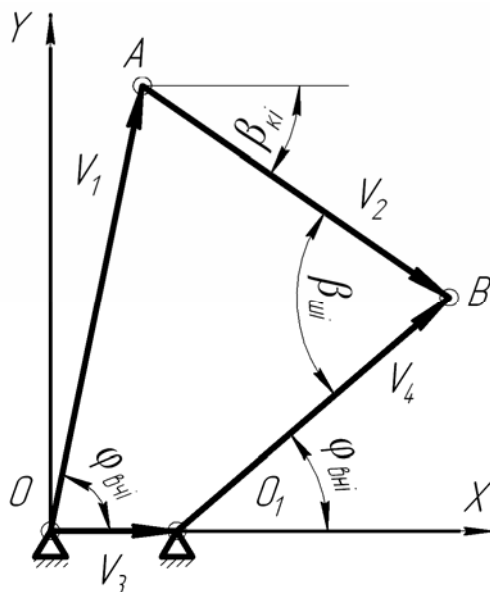


Рисунок 3 – Схема замкнутого векторного контура чотиришарнірного механізму

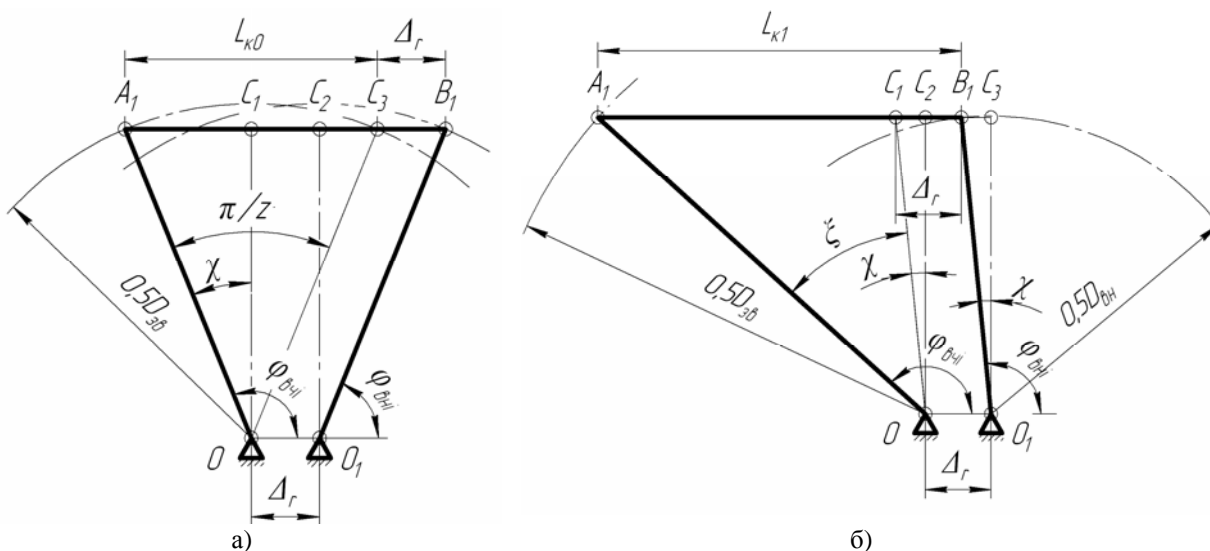


Рисунок 4 – Схема до розрахунку параметрів муфти з канатами хордального (а) та тангенціального (б) розташування в умовах радіальної неспіввідності

Для муфти з канатами хордального розташування отримано вирази для обчислення довжини каната, а також кутів координат точок закріплення канатів (центрів затискних елементів) на ведучій напівмуфті ( $A_i$ )  $\varphi_{vhi}$ , та на веденій ( $B_i$ ) -  $\varphi_{vni}$ :

$$L_{ki} = \sqrt{[\Delta_{ri} + 0,5D_{36}(\cos \varphi_{vni} - \cos \varphi_{vhi})]^2 + [0,5D_{36}(\sin \varphi_{vni} - \sin \varphi_{vhi})]^2}, \quad (4)$$

$$\cos \beta_{vhi} = \frac{L_{ki}^2 - \Delta_r^2 + 2D_{36}\Delta_r \cos \varphi_{vhi}}{2L_{ki}D_{36}}, \quad (5)$$

$$\varphi_{vhi} = \frac{\pi}{2} + \arcsin \frac{L_{k0}}{D_{36}} + \frac{2\pi}{z}(i-1), \quad (6)$$

$$\varphi_{\text{вн}i} = \frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{L_{\kappa 0}}{D_{3\theta}} + \frac{2\pi}{z}(i-1), \quad (7)$$

$$\varphi_{\text{вч}i} - \varphi_{\text{вн}i} = 2 \arcsin \frac{L_{\kappa 0}}{D_{3\theta}}. \quad (8)$$

Аналогічно для муфти з канатами тангенціального розташування:

$$L_{\kappa i} = \sqrt{[\Delta_r + 0,5D_{\text{вн}} \cos \varphi_{\text{вн}i} - 0,5D_{3\theta} \cos \varphi_{\text{вч}i}]^2 + [0,5D_{\text{вн}} \sin \varphi_{\text{вн}i} - 0,5D_{3\theta} \sin \varphi_{\text{вч}i}]^2}, \quad (9)$$

$$\cos \beta_{\text{вч}i} = \frac{L_{\kappa i}^2 + 0,25(D_{\text{вн}}^2 - D_{3\theta}^2) - \Delta_r^2 + D_{3\theta} \Delta_r \cos \varphi_{\text{вч}i}}{L_{\kappa i} D_{\text{вн}}}, \quad (10)$$

$$\varphi_{\text{вч}i} = \frac{\pi}{2} + \arccos \frac{0,5D_{3\theta} \sin \xi}{L_{\kappa 0}} + \xi + \frac{2\pi}{z}(i-1), \quad (11)$$

$$\varphi_{\text{вн}i} = \frac{\pi}{2} + \arccos \frac{0,5D_{3\theta} \sin \xi}{L_{\kappa 0}} + \frac{2\pi}{z}(i-1), \quad (12)$$

$$\varphi_{\text{вч}i} - \varphi_{\text{вн}i} = \xi, \quad (13)$$

де  $\xi$  – кут монтажного зміщення напівмуфт (рис. 4, б).

Відлік кутових координат тут виконується від осі  $X$ , що лежить в площині радіального зміщення напівмуфт (площина радіального зміщення - площина в якій лежать осі обох поєднаних напівмуфт за наявності між ними радіального зміщення), а відлік кутів повороту муфти  $\varphi_m$  від осі  $Y$ , до неї перпендикулярної. Першим положенням каната вважали таке положення в якому його вісь паралельна цій площині, а відтак кут повороту муфти в цьому положенні вважали нульовим.

Видовження канатів муфт за умови шарнірного їх закріплення можна обчислити за формулою:

$$\Delta L_{\kappa i} = L_{\kappa i} - L_{\kappa 0}. \quad (14)$$

Враховуючи те, що для обох варіантів муфт  $\varphi_{\text{вч}i} - \varphi_{\text{вн}i} = \text{const}$  ((8) та (13)), кути поворотів канатів та шарнірів можна визначити за формулами:

$$\Delta \beta_{\text{вч}i} = \beta_{\text{вч}i} - \beta_{\text{вч}1}. \quad (15)$$

Ілюстрацією впливу конструктивних параметрів муфт на кути повороту та видовження канатів при шарнірному їх закріпленні є відповідно рис. 5 та рис. 6. Вони містять графіки, побудовані для муфт у яких  $z = 6$ ,  $D_{3\theta} = 145$  мм,  $D_{\text{вн}} = 95$  мм при радіальному зміщенні  $\Delta_r = 1,5$  мм. Оскільки канати в модельних муфтах розташовані з кроком  $60^\circ$  ( $z = 6$ ), то за графіками можна також оцінити згадані параметри для всіх канатів муфти.

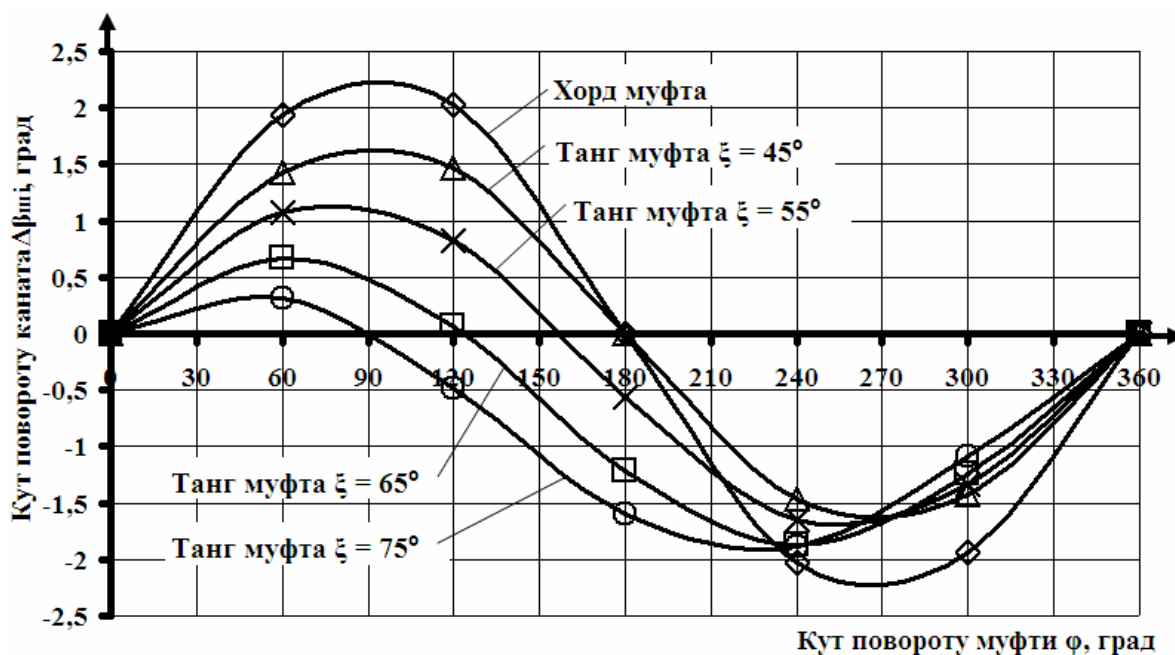


Рисунок 5 – Графік зміни кута повороту канатів за один оберт муфти

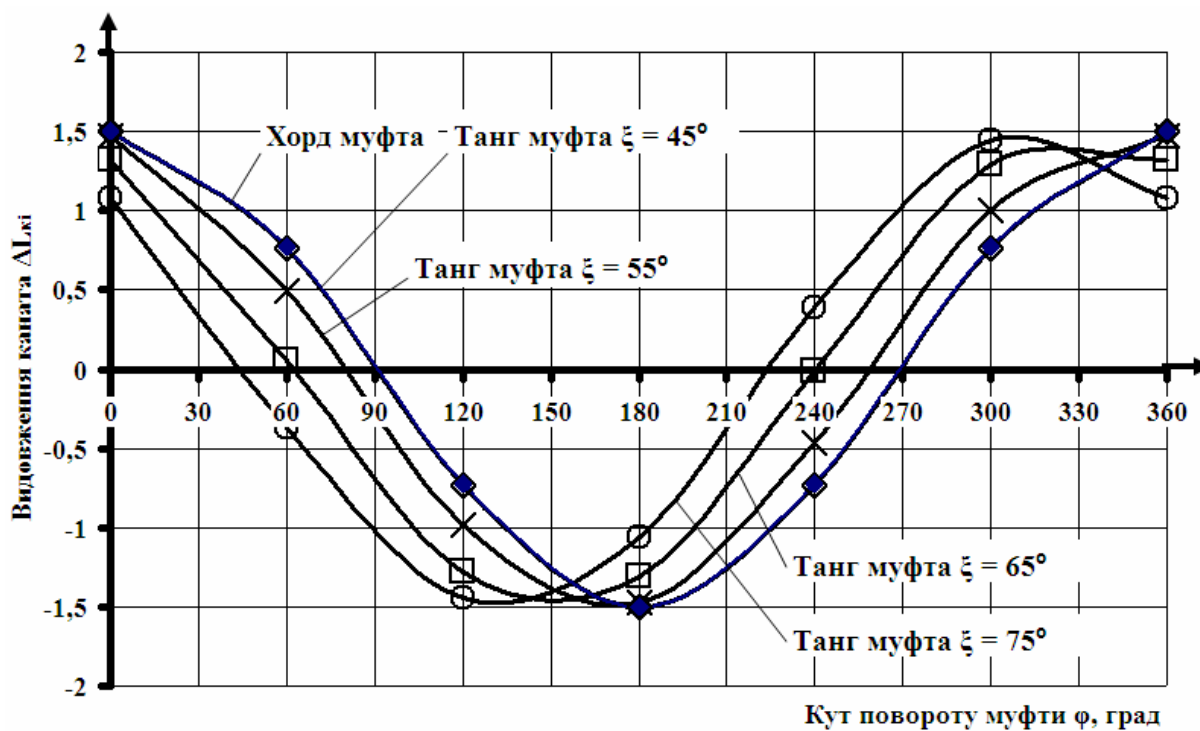


Рисунок 6 – Графік зміни видовження канатів за один оберт муфти при їх шарнірному закріпленні

Тепер розглянемо варіант, коли канати у напівмуфтах закріплені жорстко. Їх деформації знайдемо за рахунок аналізу наближеної розрахункової схеми, показаної на рис. 7.

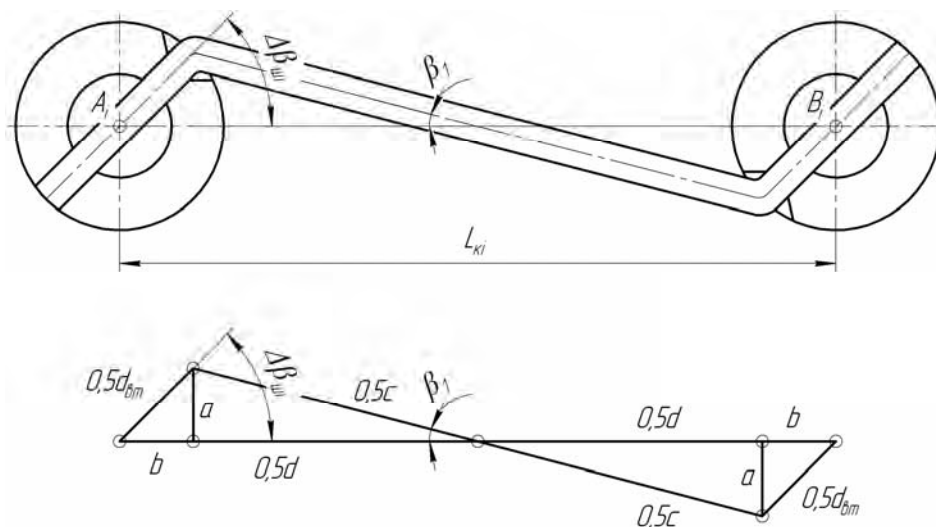


Рисунок 7 – Схема деформації жорстко закріплених канатів

Під час роботи муфти в умовах радіальної неспіввісності за рахунок повороту їх кріпильних елементів канати додатково витягуюватимуться, при цьому можна записати наступні вирази:

$$a = 0,5d_{em} \sin \Delta\beta_{ui}, \quad (16)$$

$$b = 0,5d_{em} \cos \Delta\beta_{ui}, \quad (17)$$

$$d = L_{ki} - 2b, \quad (18)$$

$$c = \frac{d}{\cos \beta_1} = \frac{L_{ki} - 2b}{\cos \beta_1}, \quad (19)$$

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{a}{0,5d} = \frac{d_{em} \sin \Delta\beta_{ui}}{L_{ki} - 2b} = \frac{d_{em} \sin \Delta\beta_{ui}}{L_{ki} - d_{em} \cos \Delta\beta_{ui}}, \quad (20)$$

Замінюємо  $\cos \beta_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \beta_1}}$ . (21)

Звідки:

$$c = (L_{ki} - d_{em} \cos \Delta\beta_{ui}) \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \beta_1}. \quad (22)$$

Реальну довжину каната можна обчислити за формулою:

$$L_{kpi} = c + d_{em} = (L_{ki} - d_{em} \cos \Delta\beta_{ui}) \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \beta_1} + d_{em}. \quad (23)$$

Відповідно видовження канатів в такому варіанті можна обчислити за формулою:

$$\Delta L_{кри} = L_{кри} - L_{к0}. \quad (24)$$

На рис. 8 показані графіки зміни видовження канатів за один оберт муфти при жорсткому (суцільна лінія) та шарнірному (пунктирна лінія) їх закріпленні. Дані наведених графіків доводять, що жорстке закріплення канатів спричиняє їх додатковий натяг за рахунок «намотування» на втулки, що можна враховувати при силовому розрахунку муфт та сполучених ними валів. Особливо важливим є врахування цієї додаткової витяжки канатів при великих розмірах муфт та значеннях неспіввісності, що може стати причиною виникнення значних кутів повороту канатів у місцях їх закріплення та додаткових натягів каната, а відтак і сил, що навантажують вали.

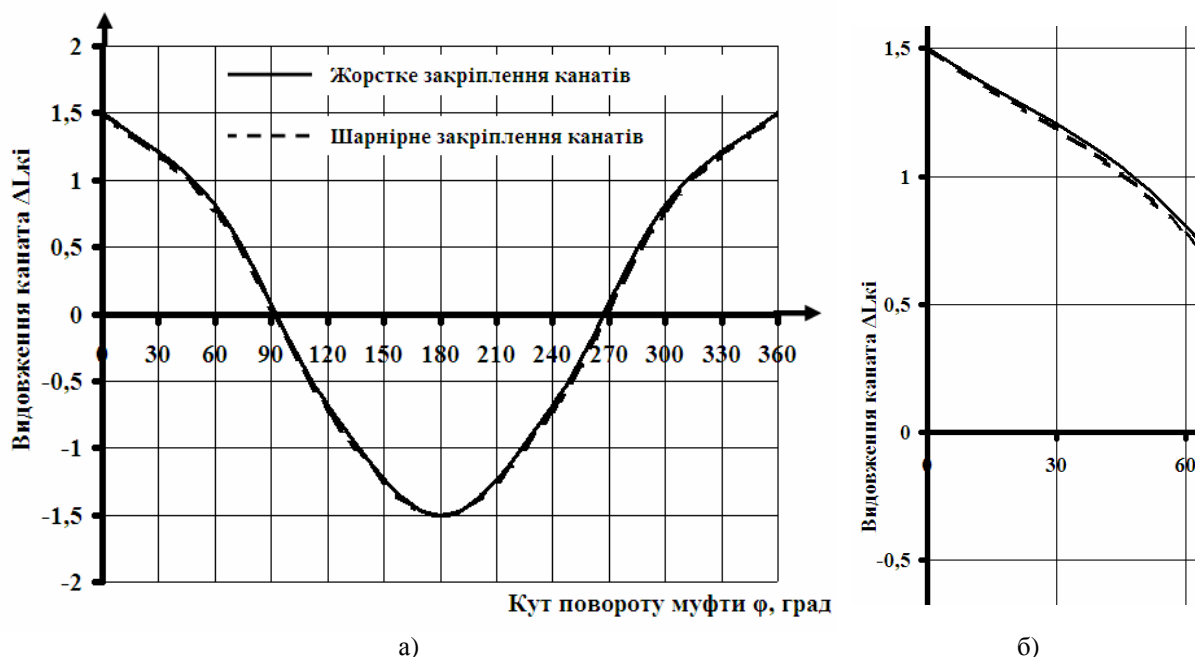


Рисунок 8 – Графік зміни видовження канатів за один оберт хордальної муфти при їх шарнірному та жорсткому закріпленні: загальний вид (а) та збільшений фрагмент (б)

**Висновки.** У підсумку виконаної роботи можна зробити наступні висновки:

1. Показано, що застосування муфт з торцевими канатами хордального та тангенціального розташування для сполучення неспіввісних валів в умовах наявності радіальної розцентровки стає причиною нерівномірного навантаження їх несучих канатів;

2. Встановлено, що за умови жорсткого закріплення канатів без можливості повороту в напівмуфтах вони натягуються від неспіввісності сильніше за рахунок впливу додаткового натягу через «намотування» на втулки. Тому, з точки зору зниження навантаженості канатів та сполучених канатними муфтами валів можна рекомендувати шарнірне закріплення канатів у напівмуфтах.

3. Показано, що муфти з канатами тангенціального розташування мають менші кути повороту канатів ніж муфти з хордальним розташуванням канатів, що є причиною меншого додаткового натягу від «намотування» на втулки.

Слід однак відзначити, що розрахункова схема за рис. 7 характеризується неточністю, пов'язаною із представленням у ній каната гнучкою ниткою, вісь якої

здатна при згині не утворювати радіусних ділянок через свою низьку згинальну жорсткість. Це припущення дещо занижує значення додаткових видовжень канатів муфти, проте дещо нівелюється наявністю піддатливості у інших деталей муфти. У всякому разі більш точні відповіді на питання розподілу навантаження між елементами муфти повинен дати експеримент.

З огляду на це, напрямками подальших теоретичних та експериментальних пошуків можна рекомендувати наступні:

1. Дослідження коефіцієнта корисної дії муфт з канатними пружними елементами. Тепловиділення в муфтах та розрахунок їх на нагрівання;
2. Дослідження розподілу навантаження між канатами муфт при сполученні не співвісних валів;
3. Дослідження довговічності муфт з канатними пружними елементами.

## Список літератури

1. Проценко В.О. Навантажувальна здатність муфт із торцевою установкою канатів різних варіантів розташування [Текст] / В.О. Проценко, О.Ю. Клементьєва // Науковий вісник національного університету біоресурсів та природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – К.: НУБІП, 2016. – №240. – С. 357 – 364.
2. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин: учеб. для вузов [Текст] / И.И. Артоболевский. – М.: Наука, 1988. – 640 с.
3. Озол О. Г. Теория механизмов и машин. Пер. с латыш. [Текст] / Под ред. С. Н. Кожевникова. – М.: Наука, 1984. – 432 с.

**Vladislav Protsenko, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Oksana Klementyeva, post-graduate**  
*Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine*

### **Deformation ropes in couplings of misalignment based on their consolidation**

The work aimed of theoretical research rope extension of connecting coupling shafts misalignment to be connected with regard to their consolidation.

It is shown that the ropes in the sleeve if unevenly loaded radial misalignment. To evaluate the deformation of the rope misalignment applied method closed-loop vector and method changes triangles. Settlement scheme for the coupling s chordal and tangential arrangement of ropes made up for their application. Couplings in these settlement schemes are given to the articulated four-link mechanism with adjustable rod length. The expressions for determining the instantaneous length of the rod, and therefore the instantaneous value of rope elongation, as well as catch their turn in the fastening places. The effect of these parameters on the basic design coupling parameter - mounting angle offsets, as well as a way to secure the ropes - tough and hinge. The solution of the problem for the case of swivel and fixed ropes in the coupling parts. The graphs illustrate this influence.

It was found that the rigid fastening of ropes leads to further tension. It is shown that the coupling with the tangential arrangement of ropes additional tension in their rigid attachment less than than in couplings with ropes chordal arrangement. It is shown that from the standpoint of reducing the loading of shafts to be connected it is advisable to fix the ropes couplings hinged.

**coupling, rope, distribution, load, misalignment, consolidation**

Одержано 30.10.16

УДК 631.354.2

**С.В. Пустовіт, канд. техн. наук, В.І. Котков, доц., канд. техн. наук**

*Житомирський національний агроекологічний університет, м. Житомир, Україна*

*E-mail: pustovitl@ukr.net*

**М.І. Шмалюк, викл.**

*Житомирського агротехнічного коледжу, м. Житомир, Україна*

## Визначення зон деформації ґрунту при роботі дискових знарядь

Описано теоретичне обґрунтування величини площ зон деформованого та недеформованого дисками ґрунту, значення площ яких, дозволить визначити тяговий опір агрегату та визначити відстані між дисками на батареї.

**дисковий обробіток, деформація ґрунту, обробіток ґрунту, висота гребенів, зона деформація**

**С. В. Пустовит, канд. техн. наук, В. И. Котков, доц., канд. техн. наук**

*Житомирский национальный агроэкологический университет, г. Житомир, Украина*

**Н. И. Шмалюк, препод.**

*Житомирский агротехнический колледж, г. Житомир, Украина*

**Определение зон деформации почвы при работе дисковых орудий**

Описано теоретическое обоснование величины площадей зон деформированной и недеформированной дисками почвы, значения площадей которых, позволит определить тяговое сопротивление агрегата и определить расстояния между дисками на батарее.

**дисковая обработка, деформация ґрунта, обработка почвы, высота гребней, зона деформация**

**Постановка проблеми.** Обробіток ґрунту – одна з найважливіших в системі землеробства. Незважаючи на те, що серед факторів, які впливають на врожайність, на думку деяких вчених, відводиться лише 7,5 – 17,4%, це найбільш значуща й енергонасичена сукупність технологічних операцій.

Обробіток ґрунту традиційно складається з оранки та боронування або луцення, проте більш популярним на сьогодні видом обробітку є оранка дисковими плугами. Як свідчать результати досліджень дискові плуги і борони мають один значний недолік – вони залишають після себе необроблену частину ґрунту, так звані гребні, від вершини яких проводяться заміри реальної глибини обробітку.

Передпосівна обробка ґрунту повинна забезпечити грудкуватий верхній шар для проникнення повітря і легкого проростання паростка рослини, а також ущільнене ложе із наступною капілярною системою, сприяючою припливу вологи до насіння. Крім того, всі види передпосівної обробки ґрунту і догляду за рослинами включають роботу по боротьбі з бур'янами.

Перспективним вирішенням цього питання є створення відповідних конструкцій комбінованих ґрунтообробних машин. Тому, проведення досліджень з метою покращення основного обробітку ґрунту, є актуальним.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз літературних джерел з питань визначення площ зон деформації показує, що існує певний науковий вакуум з детального аналізу роботи дискових знарядь.

Обґрунтування робочих процесів дискового обробітку, спрямованих на покращення показників обертання скиби, та розробка конструкцій відповідних робочих органів, що забезпечували б достатню якість обробітку ґрунту за основними агротехнічними показниками, є основною задачею наукового супроводу створення машини вказаного типу, а сама проблема актуальною.

В основному наукові дослідження дискових робочих органів проводилися в напрямі обґрунтування раціональних технологічних параметрів, визначення впливу дискових знарядь на якість обробітку ґрунту, урожайність сільськогосподарських культур.

Вивченню енергетичних затрат при деформації ґрунту присвячені роботи, в основному, Н. А. Лучинського, П. С. Мартова, Г. Н. Сінеокова.

Однак дискові ґрунтообробні знаряддя мають ряд технологічних недоліків, основними з яких є утворення гребнистої поверхні дна борозни та поздовжня нестійкість агрегату від діагонального розміщення секцій.

**Постановка завдання.** Метою є обґрунтування основних параметрів та режимів роботи дискового плуга з підрізною лапою.

**Виклад основного матеріалу.** Кут атаки дисків впливає на процес їх роботи. Чим більший кут атаки, тим більше кришиться та розпушується ґрунт, краще підрізуються бур'яни та присипається їх насіння. Проте надмірне збільшення кутів атаки ускладнює сповзання часток ґрунту з поверхні диска, а також призводить до скупчення ґрунту перед диском. За невеликих кутів атаки ( $10\dots 20^\circ$ ) диски розрізують верхній шар ґрунту і лише частково кришать і розпушують його. Так відбувається під час роботи дискових борін. У дискових плугах диски розміщують під кутом атаки  $\beta = 40\dots 45^\circ$ , у луцильниках  $\beta = 10\dots 35^\circ$  і боронах  $\beta = 10\dots 22^\circ$ . Якщо кут атаки становить  $10\dots 20^\circ$ , то дискові луцильники використовують як дискові борони.

Діаметр диска  $D$  є основним із геометричних параметрів. Розміри його безпосередньо пов'язані з глибиною обробітку, причому зі збільшенням діаметра диска погіршується його заглиблення в ґрунт внаслідок зростання вертикальної складової реакції ґрунту. Залежно від умов роботи діаметр диска слід вибрати найменшим із допустимих значень.

Відстань між дисками на батареї, висота гребенів, що утворюються при проході дисків, їх ширина, віддалі між дисками в сукупності утворюють зону недеформованого ґрунту, що до 50% зменшує фіксовану глибину обробітку.

Відповідно теоретичне обґрунтування величини площ зон деформованого та недеформованого дисками ґрунту має наукове значення, так як є підставою для визначення тягового опору робочого органа (машинами в цілому) та його складових.

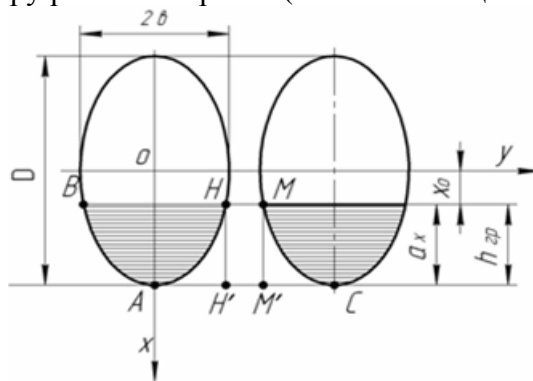


Рисунок 1 – Вертикальна проекція дисків із зонами перекриття

Між діаметром диска  $D$  і глибиною обробітку  $a$  рекомендується таке співвідношення:

$$D = ka, \quad (1)$$

де  $k$  – коефіцієнт глибини обробітку (для плугів  $k = 3,0 \dots 3,5$ ; для борін  $k = 4,0 \dots 6,0$  і для лушпильників  $k = 5,0 \dots 6,0$ ).

Відповідно теоретичне обґрунтування величини площ зон деформованого та недеформованого дисками ґрунту має наукове значення, так як є підставою для визначення тягового опору робочого органа (машинами в цілому) та його складових.

Введемо наступні позначення:

$D$  – діаметр диска;  $\theta$  – кут атаки;  $a_x$  – глибина ходу;  $h_{гр}$  – висота гребня;  $\delta$  – віддаль між дисками.

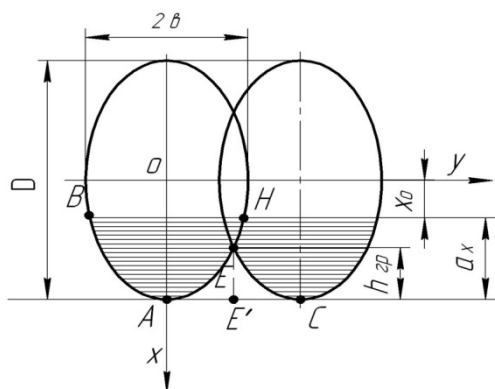


Рисунок 2 – Вертикальна проекція дисків без зони перекриття

Знайдемо: 1)  $F_{ВНА} = f(D, a_x)$ ;

2)  $F_{АЕС} = f(D, B)$ ,

де  $F_{ВНА}$  і  $F_{АЕС}$  – площа нормальної проекції диска, зануреного в ґрунт і площа поперечного перерізу гребеня ґрунту, не розпушеного суміжною парою дисків відповідно.

Візьмемо до уваги проекцію двох суміжних дисків знаряддя, занурених в ґрунт, на площину, яка нормальна до ходу агрегату, відносно прямокутної системи координат  $x, o, y$  (рис. 1)

Обчислимо площу  $F_{ВНА}$ , яка виражає проекцію частини диска, зануреного в ґрунт, і площу  $F_{АЕС}$ , яка виражає поперечний переріз гребеня ґрунту, не розпушеного суміжними дисками.

Нехай  $\frac{D}{2}$  і  $\delta$  – осі еліпса, який є проекцією диска на нормальну площину до ходу агрегату. Тоді його рівняння має вигляд:

$$\frac{4x}{D^2} + \frac{y^2}{\delta^2} = 1. \quad (2)$$

Розв'язавши рівняння (1) відносно змінної  $y$ , матимемо:

$$y = \frac{\delta}{D} \cdot \sqrt{D^2 - 4x^2}. \quad (3)$$

Тоді площа  $F_{ВНА}$  буде:

$$F_{BHA} = 2 \int_{x_0}^{D/2} \frac{b}{D} \cdot \sqrt{D^2 - 4x^2} dx. \quad (4)$$

Обчисливши інтеграл, що записаний у правій частині рівності (3), одержимо:

$$F_{BHA} = \frac{b \cdot D}{2} \left( \frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{2x_0}{D} \right) - \frac{bx_0}{D} \cdot \sqrt{D^2 - 4x_0^2}. \quad (5)$$

Враховуючи те, що (рис.1)  $x_0 = \frac{D}{2} - a_x$  і  $2b = D \cdot \cos(90^\circ - \theta) = D \cdot \sin \theta$ , тобто  $b = \frac{D}{2} \sin \theta$  із залежності (4), після тотожних перетворень і спрощень одержимо:

$$F_{BHA} = \left( \frac{D^2}{4} \left( \frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{D - 2a_x}{D} \right) - \frac{D - 2a_x}{2} \cdot \sqrt{a_x \cdot (D - a_x)} \right) \cdot \sin \theta. \quad (6)$$

Оскільки  $F_{AEC}$  (рис. 2) симетрична відносно вертикальної осі, то:

$$F_{AEE} = 2F_{AEE'} = 2 \left( AE' \cdot h_{ep} - \int_{x_1}^{D/2} \frac{b}{d} \sqrt{D^2 - 4x^2} dx \right). \quad (7)$$

За допомогою рівняння визначаємо:

$$I = \int_{x_1}^{D/2} \frac{b}{D} \sqrt{D^2 - 4x^2} dx = \frac{b}{D} \cdot \int_{x_1}^{D/2} \sqrt{D^2 - 4x^2} dx = \frac{bD}{4} \left( \frac{\pi}{2} \arcsin \frac{2x_1}{2D} \right) - \frac{bx_1}{2D} \sqrt{D^2 - 4x_1^2}. \quad (8)$$

Враховуючи одержані вище залежності для  $b_{\max_1}$ , рівності (7) представимо у вигляді:

$$AE' = \sqrt{h_{ep} \cdot (D - h_{ep})} \cdot \sin \theta. \quad (9)$$

Площа  $F_{AEC}$  матиме вигляд:

$$F_{AEC} = \left[ \frac{2D \cdot tg\theta - B}{4tg^2\theta} \sqrt{D^2 \cdot tg^2\theta - B^2} - \frac{D^2}{4} \left( \frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{B}{D \cdot tg\theta} \right) \right] \sin \theta. \quad (10)$$

Залежність від  $h_{\bar{a}d} = \frac{D \cdot tg\theta - B}{2tg\theta}$  справедлива при умові:

$$D^2 \cdot tg^2\theta - B^2 \geq 0. \quad (11)$$

Розв'язавши нерівність відносно  $B$ , одержимо залежність:

$$B \leq D \cdot tg\theta. \quad (12)$$

Якщо кут  $\theta$  вибраний, то віддаль  $B$  між сусідніми дисками потрібно розраховувати із умови (12).

У випадку, зображеному на рис. 1 площа  $F_{AHMC}$  обчислюється за формулою

$$F_{AHMC} = 2F_{AHH'} + F_{H'NMM'}. \quad (13)$$

Площу  $F_{AHH'}$  одержимо за формулою:

$$F_{AHH'} = \frac{1}{2} \left[ \frac{2D \cdot tg\theta - B}{4tg^2\theta} \cdot \sqrt{D^2 \cdot tg^2\theta - B^2} - \frac{D^2}{4} \left( \frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{B}{D \cdot tg\theta} \right) \right] \sin \theta. \quad (14)$$

Із рис. 2 слідує, що з урахуванням (14), рівність (13) представлено так:

$$F_{AHMC} = \left( \frac{2Dtg\theta - B}{4 \cdot tg^2\theta} \cdot \sqrt{D^2 \cdot tg^2\theta - B^2} - \frac{D^2}{4} \left( \frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{B}{Dtg\theta} \right) \right) \sin \theta + \frac{m(D \cdot tg\theta - B)}{2tg\theta} \quad (15)$$

Визначимо відстань між дисками:

$$B = \left( D + \frac{m}{\sin \theta} \right) \cdot \operatorname{tg} \theta . \quad (16)$$

**Висновки.** Описано теоретичне обґрунтування величини площ зон деформованого та недеформованого дисками ґрунту. Одержані значення площ зон деформації ґрунту дисками ґрунтообробних машин дозволять визначити тяговий опір агрегату, проаналізувати енергозатрати на додаткове рихлення недеформованих зон.

Отримано залежність для визначення необхідної відстані між дисками.

## Список літератури

1. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник [Текст] / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін.; За ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2004. – 544 с.
2. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник [Текст] / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.; За ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2005. – 464 с.
3. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. Книга 2: Машини для рільництва [Текст] / П.В. Сисолін, Т.І. Рибак, В.О. Сало / За ред. Черновола М.І. – К.: Урожай, 2002. – 364 с.

**Sergiy Pustovit, PhD tech. sci., Volodymyr Kotkov, Assoc. Prof., PhD tech. sci.**

*Zhytomyr National Agroecological Universit, Zhitomir, Ukraine*

**Mykola Shmalyuk, lect.**

*Teacher of the highest category of Zhytomyr crop College, Zhitomir, Ukraine*

### **Determination of soil deformation zones at work disk tools**

A promising solution preplant tillage is to create appropriate designs combined tillage machines. The aim is to study the basic parameters and operating modes of the disk plow split paw.

Theoretical study area size and deformed zones deformed disks soil mentioned areas will determine their traction and resistance unit of distance between wheels on the battery.

The theoretical justification value areas and zones of deformation deformed disks soil. The resulting deformation zones mentioned areas of soil tillage machinery drives will determine traction resistance unit to analyze power inputs for further loosening deformed zones.

**disk tillage, soil deformation, cultivation, the height of the ridges, the zone of deformation**

Одержано 28.10.16

УДК 62-93:681.5

**Vasyl Savchenko, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Sergiy Minenko, PhD tech. sci., Vitaliy Krot, post-graduate**

*Zhytomyr National Agroecological University, Zhytomyr, Ukraine*

*E-mail: minenkos@mail.ru*

## Researching indexes of reliability of systems of microclimate control onto productivity of products of protected soil

Based on the exponential law of distribution of the reliability of the mathematical model, which allows the best way to present the appearance of failures in the system. The article examines a complex index for recognition of equation for flawless operation of microclimate control at the exhibition law of distribution of reliability and linear and quadratic law of distribution of intensity depending on the time of system operation. The resulting model makes it possible to carry out practical research into the reliability of climate control systems.

**microclimate, intensity of faults, probability of flawless operation, intensity of restoration**

**В.Н. Савченко, доц., канд.техн.наук, С.В. Миненко, канд.техн.наук, В.В. Крот, асп.**

*Житомирский национальный агроэкологический университет, г. Житомир, Украина*

**Исследование показателей надежности систем управления микроклимата на производительность продукции защищенного грунта**

На основе экспоненциального закона распределения надежности получена математическая модель, которая позволяет наилучшим образом представить появление отказов в системе. В статье рассматривается комплексный показатель для распределения надежности – вероятность безотказной работы системы управления микроклиматом на основе закона распределения надежности и линейного, а также квадратичного закона распределения интенсивности в зависимости от времени работы системы. Полученная модель позволяет проводить практические исследования в надежности систем микроклимата.

**микроклимат, интенсивность отказов, вероятность безотказной работы, интенсивность восстановления**

**Statement of the problem** The use of greenhouse complexes in Ukraine became widely spread. This happens due to, above all, the ability to get crop in a given period of the year, with a control product quality and yield. But to solve these problems it is necessary to create complex systems of microclimate enabling to provide optimal conditions for plant growth, while using as little energy vehicles [1]. Therefore, before systems of microclimate put forward a number of basic requirements, the main of which is the ability to easily and clearly manage your microclimate, as well as their high reliability. Typically, increasing the reliability of such systems entails significant increase in their value, therefore we must study operability of systems [2,3].

**Analysis of recent researches and publishings.** Most of the works on the reliability of complex technical systems based on the determination of individual reliability indicators that allow define only one property of the object, and do not take into account the integrity of the system, as well as the relationships between the executive and control bodies of [4,5]. As a result, for the determination of the reliability of using probabilistic processes taking into

account the distribution function failures of complex systems. When using a sophisticated climate control systems used by probability distribution function such as normal distribution law Weibull, Gamma distribution, and Haussovskiyi etc. [5]. But most laws do not take into account the growth of physical deterioration actuators and do not give a coherent picture of performance reliability of complex control systems microclimate. So, therefore, designed a system with the appearance of failure, are not specific and clear mechanisms to ensure the necessary microclimate parameters in the Recovery operability of the system that failed. All this requires human intervention and control of these parameters in all phases of the operation, which reduces their automation.

**The main material.** Taking into account that any system eventually has physical deterioration, due to the emergence of such processes as wear by friction, fatigue, hydro and pneumatic rust etc., can assume the appearance of failures will eventually increase, especially for complex control systems microclimate. Therefore, the study of complex reliability indexes uses exponential law of distribution of reliability [6].

In most cases, the law of distribution failure rate is determined by experimentation that requires large amounts of statistical data [6].

Consider the case where the law of distribution failure rate is linear and quadratic dependence:

$$\lambda(t) = at + b, \quad (1)$$

$$\lambda(t) = at^2 + bx + c. \quad (2)$$

Therefore, the possibility of flawless work at the exponential law shall be:

$$P(t) = e^{-(at+b)t}, \quad (3)$$

and

$$P(t) = e^{-(at^2+bt+c)t}. \quad (4)$$

To determine the real index of probabilities of flawless work it is necessary to determine a time period: start –  $t_1$ , end –  $t_2$ , allowing us to determine the probability of flawless work in the period:  $\Delta t = t_2 - t_1$ .

Therefore:

$$P(\Delta t) = e^{-\int_{t_1}^{t_2} (at+b)dt}, \quad (5)$$

and for quadratic dependence:

$$P(\Delta t) = e^{-\int_{t_1}^{t_2} (at^2+bt+c)dt}. \quad (6)$$

By running a range of mathematic transformation we obtain:

$$P(\Delta t) = e^{-(t_2-t_1)\left(\frac{a}{2}(t_2+t_1)-b\right)}, \quad (7)$$

$$P(\Delta t) = e^{-\left(\frac{a}{3}(t_2^3 - t_1^3) + \frac{b}{2}(t_2^2 - t_1^2) + c(t_2 - t_1)\right)} \quad (8)$$

With equations (9) and (10) the parameters of  $a, b, c$  determine the constructive peculiarities of system of microclimate control and can be determined experimentally.

Theoretically the parameters of  $a, b, c$  cannot obtain any meaning since probabilities of flawless work lies within  $P(t) = 0 \dots 1$ . Therefore, determining the limit values determine the probability of failure of these parameters, thus it is necessary to consider that these parameters are interrelated.

By defining the interdependence parameter of  $a$  i  $b$  equation (9) assuming that the system works smoothly in the period of  $\Delta t = t_2 - t_1$ . In this case the probability of flawless work  $P(\Delta t) = 1$ , therefore the equation (9) shall be:

$$1 = e^{-\left(t_2 - t_1\right)\left(\frac{a}{2}(t_2 + t_1) - b\right)} \quad (9)$$

By running a range of mathematic transformation we obtain:

$$a \geq \frac{2b}{(t_2 - t_1)}, \quad (10)$$

therefore at the value of coefficient  $a \geq \frac{2b}{(t_2 - t_1)}$  the system works flawlessly, at lower values of coefficient  $a$  on the period of  $\Delta t$  some faults may occur.

When considering equation (10), the value of  $a$ , depending on parameters  $b$  and  $c$ , shall be:

$$a \geq \frac{-3b(t_2 + t_1) - 6c}{2(t_2^2 + t_2 t_1 + t_1^2)} \quad (11)$$

Thus, when the adopted assumptions, we obtain equation (7) and (8) that allows determining the probability of failure of the system, while we test equation showing the dependency ratios  $a, b, c$ .

**Conclusion.** The resulting composite index to determine the equation uptime microclimate control systems at exponential law of distribution reliability and linear and quadratic intensity distribution law, depending on the time of operation.

**Perspectivity of further researches.** Mathematical dependence needs to be tested experimentally, using highly reliable climate control systems.

## References

1. Halleux D. Energy consumption due to dehumidification of greenhouses under northern latitudes // Journal of Agricultural Engineering Research. – 1998. – Vol. 69. – P. 35-42.
2. Zwart H. F. A simulation model to estimate perspectives of energy saving measures in horticulture // Acta Horticulturae. – 1997. – 443. – P. 119-127.
3. Савченко В. М. Формальні моделі для регулювання мікроклімату в теплицях [Текст] / В. М. Савченко, С. В. Міненко, О. А. Махов // Формування конкурентоспроможної економіки: теоретичні, методичні та практичні засади: матеріали II міжнар. наук.-практ. Інтернет-конф., 21-22 берез. 2013 р. – Тернопіль: Крок, 2013. – С. 87-89.

4. Савченко В. М. Стратегії контролю процесами мікроклімату в індустріальних теплицях [Текст] / В. М. Савченко, С. В. Міненко, О. А. Махов // Зб. тез доп. VII Всеукр. Наук.-практ. Конф. студентів та аспірантів "Підвищення надійності машин і обладнання". – Кіровоград: КНТУ, 2013. – С. 48-50.
5. Матвеевский В.Р. Надежность технических систем: учеб. пособ. [Текст] / В.Р. Матвеевский. – Московский государственный институт электроники и математики. – М., 2002. –С. 31, 33-35.
6. Половко А.М. Основы теории надежности [Текст] /А.М. Половко, С.В. Гуров. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 560 с.

**В.М. Савченко, доц., канд. техн. наук, С.В. Міненко, канд. техн. наук, В.В. Крот, асп.**

*Житомирський національний агроекологічний університет, м. Житомир, Україна*

#### **Дослідження показників надійності систем керування мікрокліматом на продуктивність продукції захищеного ґрунту**

Метою дослідження є створення математичної моделі для визначення комплексного показника надійності для систем керування мікрокліматом в середовищі закритого ґрунту.

Основним питанням при вирощуванні рослин в середовищі захищеного ґрунту є важливість підтримання необхідного мікроклімату, що досягається відповідними системами. Вихід з ладу будь-якої складової цієї системи значно знижує урожайність рослин. Тому дослідження надійності систем керування надійності є важливим питанням. В статті розглянутий комплексний показник – ймовірність безвідмовної роботи, що відповідає експоненціальному розподілу появи відмов. При дослідженні даного показника прийняті два основних закони інтенсивності відмов, що дали змогу отримати математичні моделі комплексного показника надійності у виробничих умовах. Математично визначені сталі коефіцієнти, що впливають на рівень надійності систем керування мікрокліматом.

В результаті досліджень отримана модель для визначення надійності системи управління мікрокліматом. Дане рівняння ґрунтоване на експоненціальному законі розподілу надійності і запропоновані закони розподілу інтенсивності від часу роботи.

**мікроклімат, інтенсивність відмов, ймовірність безвідмовної роботи, інтенсивність відновлення**

Одержано 24.10.16

**УДК 631.3(075.8)**

**В.В. Адамчук, проф., д-р техн. наук, академік НААН України**

*Національний науковий центр "Інститут механізації та електрифікації сільського господарства" Національної академії аграрних наук України, м.Київ, Україна*

**В.М. Булгаков, проф., д-р техн. наук, академік НААН України**

*Національний університет біоресурсів і природокористування України, м.Київ, Україна  
E-mail: vbulgakov@meta.ua*

## **Стан та перспективи наукових досліджень галузі агроінженерії**

У статті проаналізовано сучасний стан агроінженерної науки та сучасного сільськогосподарського машинобудування. Розглянуті основні перспективи виходу з кризового становища в державі у напрямі проведення фундаментальних та прикладних наукових досліджень сучасного рівня, проектних і конструкторських розробок зі створення сільськогосподарської техніки, яка б відповідала кращим світовим аналогам.

**дослідження, агроінженерія, конструкторські розробки, сільськогосподарська техніка**

© В.В. Адамчук, В.М. Булгаков, 2016

**В.В. Адамчук, проф., д-р техн. наук, академик НААН України**  
*Национальный научный центр “Институт механизации и электрификации сельского хозяйства”  
Национальной академии аграрных наук Украины, г.Киев, Украина*

**В.М. Булгаков, проф., д-р техн. наук, академик НААН України**

**Стан та перспективи наукових досліджень галузі агроінженерії**  
*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, г.Киев, Украина*

В статті проаналізовано сучасне становище Агроінженерної науки і сучасного сільськогосподарського машинобудування. Розглянуті основні перспективи виходу з кризового стану в державі в напрямку проведення фундаментальних і прикладних наукових досліджень сучасного рівня, проектних і конструкторських розробок по створенню сільськогосподарської техніки, відповідної кращим світовим аналогам.

**исследования, агроинженерия, конструкторские разработки, сельскохозяйственная техника**

**Постановка проблеми.** Сучасне сільськогосподарське виробництво – це високотехнологічна, енерговитратна галузь господарювання, проблеми розвитку якої мають комплексний характер, пов'язаний із природою, великими людськими і матеріально-технічними ресурсами та значним за обсягами оборотом коштів.

Технічною й технологічною основою високорозвинутого агропромислового комплексу, стрижнем товарного виробництва якісних продуктів харчування і переробної промисловості є машинні технології, фактично сучасна механізація сільського господарства, автоматизація його виробничих процесів, новітні високотехнологічні (у тому числі біотехнологічні) системи та комплекси машин і устаткування.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проаналізуємо в якому стані знаходиться зараз механізація сільського господарства, починаючи з розвитку фундаментальної та прикладної науки, забезпечення новітніми технологіями та технічними засобами для землеробства, тваринництва, переробки тощо.

По-перше, на нашу думку, підготовка кандидатів та докторів наук у галузі агроінженерії в нашій країні зараз відбувається не на належному рівні. Ретельно прослідкуємо, а що саме зараз є предметом досліджень багатьох аспірантів та докторантів аграрних університетів країни. Жодним чином не ставлячи перед собою завдання когось образити, у нас є всі підстави стверджувати про те, що нині у наших вишах та й науково-дослідних установах агроінженерна наука, що створюється і успішно захищається, відверто робиться на полицю [1,3].

При цьому, як не дивно, саме у вишах йде вже багато років суцільний великий вал захистів кандидатських і докторських дисертацій у галузі механізації і електрифікації сільського господарства, що не мають нічого спільного зі справжньою наукою в галузі агроінженерії, яка може принести хоч якусь користь виробництву, державі, але вона, на жаль, нікому не потрібна [10,11]. Але тут ще, на превеликий жаль, спостерігається дивна ситуація, коли більшість здобувачів цих високих наукових звань у вишах дійсно взагалі ніколи не бачили ні ріллі, ні ферми, ні току, ні теплиці. Звідки ж буде, в цьому разі, справжня, актуальна і нова університетська агроінженерна наука? А що є підставою для такого занадто критичного твердження?

**Виклад основного матеріалу.** Якщо ретельно розібратись у підґрунті цього майже ганебного стану, то цілком зрозуміло, що раніше тематика наукових досліджень на факультетах механізації сільського господарства, яка хоча й формувалась стихійно, але переважно виходячи з актуальних проблем тієї сільськогосподарської техніки, яка в країні виготовлялась і яка обов'язково вивчалась та досліджувалась на інженерних факультетах академій і сільськогосподарських інститутів [2,4,9]. Тоді, скажемо відверто, наша сільськогосподарська техніка була, в цілому, не зовсім досконала та високонадійна, а тому наукові дослідження було на що спрямовувати. І це було цілком логічно і сприйнятливо у науковому середовищі, оскільки були міцні зв'язки науковців

з заводами-виготовлювачами, з сільськогосподарськими підприємствами, Сільгосптехнікою та ін. Маємо всі підстави стверджувати, що тоді виробники сільськогосподарської техніки і виробники сільськогосподарської продукції самі інтенсивно шукали шляхи співпраці з науковцями зі вдосконалення сільськогосподарської техніки, що виготовлялася в країні та експлуатувалася на наших ланах і фермах.

А тепер? Коли аспіранти та докторанти, загалом молоді люди, які взагалі ніколи не бачили нашої ж власної невідосконаленої сільськогосподарської техніки, а скажімо бачили (і бачать при вивченні, або спостерігають у полі) виключно сільськогосподарську техніку іноземного виробництва, відпрацьовану, вдосконалену і високонадійну, то що вони повинні самі досліджувати [5-8]? Робочі органи та технології іноземного походження? Ні! Там вже і без нас майже все науково відпрацьовано й вдосконалено, і це для наших дослідників буде марна трата часу та коштів. Шукати щось особливе і неповторне? Але це дуже й дуже рідко спостерігається і жодним чином не гарантує стовідсоткового доведення такого дослідження до масового виробництва, оскільки окрім наукового опрацювання, для цього у подальшому ще й потрібні потужні конструкторські роботи сучасного рівня, виготовлення дослідного зразка, його прискіпливе багатоступеневе випробування та відповідне доведення до промислового виробництва, величезна праця дизайнерів, технологів, виробничників, застосування надсучасного виробничого обладнання тощо. А тому, якщо саме в нашій державі найближчим часом не буде створено на високому рівні цього ланцюга – “освіта-наука-виробництво”, то заздалегідь можна стверджувати, що й всі ці наукові розробки вітчизняних вчених будуть гіршими за іноземні, або якщо стверджувати дуже відверто, уся наукова продукція (навіть така, що має світовий пріоритет) не знайде вітчизняного споживача і буде у подальшому фактично нікому не потрібна. На жаль, можемо з сумом констатувати, що робити та досліджувати механізовані процеси сільськогосподарського виробництва на експериментальних установках, які зроблені безпосередньо самими аспірантами або докторантами з “підручних” засобів, без використання сучасного рівня вимірювальних приладів (яких просто немає) – це ганебне і хибне явище, яке не відповідає сучасним, справжнім світовим науковим дослідженням у галузі агроінженерії!

А що ж тоді зараз пропонують досліджувати своїм аспірантам та докторантам наукові керівники, скажемо у вишах? Візьмемо на себе сміливість стверджувати, це те, що у більшості випадків майже нікому не потрібно. Для того, щоб запропонувати і в подальшому вдало дослідити щось принципово нове й актуальне необхідно не тільки вийти на світовий рівень, а й навіть зробити крок ще й далі. Слід також констатувати сумний факт, що велика кількість наукових статей, навіть брошур й монографій та підручників, навчальних посібників, яка нагадує зараз великий брудний потік взагалі нецензуваної продукції, що друкується зараз у країні (тепер монографії та підручники у вишах вже пишуть і видають навіть асистенти) ніхто у світі не читав і читати не буде. А для чого тоді це робиться?

Для того що б пропонувати й досліджувати гострі актуальні питання галузі агоро інженерії потрібно хоч раз керівникові та аспіранту (докторанту) поїхати та відвідати щорічні виставки сільськогосподарської техніки в Ганновері, Парижі, Брно. Якщо там ретельно подивитися, то неважко побачити, що весь ринок вже вщент заповнений і різним (навіть великим) типорозміром усіляких зразків сільськогосподарської техніки для будь-яких технологій, умов експлуатації, і навіть побачити вражаючі перспективні напрацювання. Що ж тоді нам залишається робити? А нам треба шукати свою “наукову нішу” в безмежному науковому просторі, хоча це дуже і дуже нелегко!

Слід також ретельно вивчати наукові статті, надруковані англійською мовою, мати глибокий матеріал зарубіжного патентного пошуку. А вони (іноземні вчені) ж не все, що отримали (особливо найперспективне), друкують. А тому ми нібито приречені весь час когось наздоганяти. Але треба в цьому напрямі щось робити!

Не можемо обійти стороною ще й таке гостре питання. Ось, наприклад, десь у виші, або в науково-дослідному інституті нашої країни було зроблено нове, високоякісне наукове дослідження (теоретичне або експериментальне) і отримані гарні нові результати (хоча зараз це відбувається дуже рідко). Власного споживача цієї наукової продукції у нас зараз, на жаль, немає і воно, як нікому не потрібне, “лягає на полицю” (ми вже так багато років живемо), але при цьому ми надрукували гарні статті з результатами цих досліджень в різних виданнях, подали і отримали патенти України. Виходить, що навіть той, хто буде зацікавлений в цих дослідженнях, може їх привласнити без усіляких труднощів навіть не повідомляючи про це творців цих досліджень. Тепер у вік сучасних комп’ютерних технологій навіть нікуди не потрібно ходити, шукати, гортати монографії, наукові журнали й переписувати результати – все є в комп’ютері: і статті, і патенти, і наукові звіти (за всі роки). Ось і виникає закономірне питання: “А що ж робити в цьому випадку”? А нічого! Якщо мова йде про фундаментальні дослідження, то хоча б можна стверджувати про якийсь свій пріоритет (якщо результати цього дослідження обов’язково надруковані англійською мовою в журналах, які мають міжнародні індекси цитування). В іншому разі, виконання такого дослідження нікому непотрібно (виробника у нас немає, а українських наукових журналів ніхто в світі не читає).

Поza увагою не повинні бути зараз і такі важливі питання. Наприклад, якщо сказати відверто, то про яке впровадження результатів наукових досліджень кандидатської дисертаційної роботи може йти нині мова, якщо аспірант ледве зміг “склепати” нескладну експериментальну установку і на ній отримати хоча б якісь наукові дані. Далі треба “втїлити” у конструкцію результати проведених ним теоретичних досліджень. А як це зробити? Треба виготовляти вже новий зразок вдосконаленої машини або її робочого органу, а це також нелегко (якщо не казати відверто – просто неможливо). А від нього і донині продовжують вимагати впровадження результатів дослідження. А впровадження – це доведена до промислового виробництва вдосконалена сільськогосподарська машина, чи новий робочий орган, ретельно проведені порівняльні випробування цієї нової машини і якогось найближчого аналога, прискіпливо проведені підрахунки результатів випробувань. А скажімо тоді прямо – а де ж в аспіранта є можливості промислового виготовлення предмета свого дослідження, якщо це дуже й дуже складно і затратно, а у нас майже немає власного виробництва, яке б почало масово виготовляти аспірантську розробку? Як він далі проведе випробування двох порівнювальних машин в умовах звичайного виробництва? І де візьме той аналог, якщо зараз всі лани і ферми в країні заповнили зразки іноземного виробництва, показники ефективності яких будуть заздалегідь (це ясно і без будь-яких випробувань) набагато кращі? Так про яке саме впровадження в такому разі може йти мова?

А з яких більш-менш реальних підстав має зараз здобувач кандидатського ступеня розраховувати економічну ефективність своїх наукових досягнень? Цілком зрозуміло, що всі ці економічні показники кожний здобувач приймає як умовні (“бере зі стелі”), а тому ці розділи дисертаційних робіт є просто хибними і теж нікому не потрібними.

Все це свідчить про те, що у нас вже дуже багато років поспіль ці питання виглядають як майже абсурдні, а тому вимагають негайного перегляду і виправлення. У світі такого давно вже немає!

Тепер – оглянемо, а як же працюють зараз в Україні заводи та підприємства, які випускають сільськогосподарську техніку. На жаль, вони у переважній більшості зовсім не зацікавлені придбати та застосовувати будь-які наукові дослідження, зроблені саме в Україні, оскільки для своїх зразків, у більшості випадків, купують робочі органи та комплектуючі вироби провідних світових фірм, ретельно відпрацьовані, високонадійні конструктивні елементи, які теж нашою промисловістю не виготовляються. А, оскільки, українські промисловці купують закордонні комплектуючі та готові робочі органи, то, насамперед, вони разом з імпортом готової продукції фактично імпортують і інтелектуальну її складову. А саме в цій складовій з великою ймовірністю може бути й частка української наукової думки, оскільки, як вже казали вище, все зараз доступно без жодних обмежень: і наші наукові праці і наші технічні розробки.

Таким чином коло замкнулося! Цілком зрозуміло, що на заході такі обставини сприймаються досить позитивно. Там не зацікавлені, щоб в нашій країні була і справжня наука, і високотехнологічне власне виробництво сільськогосподарської техніки. Придбати саме їх техніку – от до чого підштовхують нас вже багато років поспіль.

Щоправда може виникнути закономірне питання – а є взагалі зараз у нас такий високий рівень наукових досліджень та конструкторських напрацювань, який би цілком реально зацікавив виробників у світі і відповідав би сучасному рівню застосування у високотехнологічному сільському господарстві? Так, він безумовно є. Навіть у сучасний період часу, коли грошей катастрофічно бракує, замовників немає, навіть за умов майже відсутньої мотивації у проведенні наукових досліджень – такі ідеї, такі результати, такі конструкції, такі науково-обґрунтовані технічні рішення, робочі органи, пристрої та вдосконалені технології у нас все ж таки є. Успішне виконання Державних науково-технічних програм, які охоплюють багато технічних розробок, що мають техніко-технологічні показники, що не гірші (а по деяким показникам й кращі) ніж західні аналоги, і що виконуються за фундаментальними і прикладними напрямками досліджень, які здійснює ННЦ “ІМЕСГ” Національної академії аграрних наук, а також деякі фундаментальні напрацювання, що виконані в НУБіП України та у Таврійському державному агротехнологічному університеті, свідчать саме про це [4]. Так, створена нова теорія вібраційного викопування коренеплодів буряків з ґрунту, нова теорія відцентрового розсіву мінеральних добрив та ґрунтовні основи агрегування машино-тракторних агрегатів визнані у світі і надруковані англійською мовою в журналах багатьох країн світу в Європі та в Америці.

Що стосується сумісної роботи науковців НДІ і викладачів вишів, то з цього приводу поки що можна з сумнівом стверджувати наступне. Керівництво академічного Національного наукового центру “ІМЕСГ” багато разів зверталось до керівників багатьох факультетів механізації сільського господарства і до ректорів провідних вишів агротехнологічного спрямування з проханням більш тісного контакту та проведенні деяких сумісних актуальних і вкрай важливих наукових досліджень, які дали б безсумнівну взаємну користь. Це стосувалось, наприклад, співпраці в галузях автоматизації, енергетики, сучасних технологій рослинництва тощо. Однак, на жаль, такої тісної співпраці, поки що, немає.

А що в цьому випадку трапляється? В чому ж заховане коріння цієї відмови? Здається, що в НДІ мають бажання мати від вузівських вчених не теорії, рівняння, формули, графіки, а конкретні актуальні нові проекти, розроблені і представлені на рівні хоча б технічного завдання або конкретно сучасного, ретельно проробленого нового науково-технічного проекту. А тому, так здається, що вузівські вчені не поспішають втілювати свої рівняння і формули у конкретні пристрої, робочі органи,

знаряддя, оскільки рівняння та формули швидше за все не відображають реальних процесів, що відбуваються у виробництві. А то й відверто кажучи – складати рівняння для якогось існуючого або дещо вдосконаленого процесу, чи робочого органу (дійсно такі, що відображають реальні процеси, або взагалі хибні) набагато легше, ніж створювати новітні високотехнологічні процеси та працездатні робочі органи сільськогосподарських машин нового покоління на базі отримання нових фізичних знань. А тому, без навмисно проведеної ідентифікації побудованих математичних моделей, що описують механізовані процеси у сільському господарстві, ґрунтовній їх перевірці в експериментальних лабораторних та польових умовах вказані рівняння нічого не варті, а у більшості випадків ще й фіктивні. А то ще й зараз дехто з “сучасних” дослідників, відшукавши вражаючі за розмірами системи диференціальних рівнянь в інших галузях наук, навмисно “переносять” їх на механізовані процеси аграрного виробництва, звичайно ж представляючи їх як нібито власно отримані. Це стосується ґрунтообробки, де рівняння “запозичують” з галузі матеріалознавства (особливо використовуючи дослідження сучасного рівня композиційних матеріалів), технічного сервісу сільськогосподарської техніки, “запозичивши” діагностичне обладнання, що використовується при експлуатації літаків, а виставляючи це як власно розроблене, теорії надійності сільськогосподарської техніки з використанням ґрунтовних математичних досліджень в авіаційній та ракетній техніці тощо. Ось і маємо зараз в агроінженерній галузі науки дуже багато рівнянь та “запозичень” і дуже мало власного виробництва конкурентоспроможних сільськогосподарських машин та обладнання.

Таким чином, підсумовуючи вище сказане, першочерговими негайними заходами, на нашу думку, які потрібно зробити в країні у галузі агроінженерії, є наступне.

При проведенні наукових досліджень (фундаментальних та прикладних), виходити з того, що майже в усьому високорозвиненому світі справжня наука завжди робиться на замовлення. Так само повинно бути, і ми в це віримо, й у нас. Навіть фундаментальні дослідження, які не приносять миттєвої користі, повинна замовляти держава, якщо вона зацікавлена, насамперед, в отриманні їх результатів, а по-друге спроможна сама мати у себе (як своє надбання і свій науковий потенціал) високотехнологічні, конкурентоспроможні галузі виробництва.

Навіть не для кого, вже багато років, не є секретом те, що у високорозвиненому світі досить давно існує така ефективна формула у створенні і використанні наукових результатів галузевої науки: «Виробництво (несуттєво яке: державне, або приватне)» → «Гроші» → «Наука» → «Подальше високотехнологічне виробництво» → «знову Наука». У нас у більшості випадків діяла і продовжує діяти зовсім інша формула: «Держава» → «Гроші» → «Наука» → «Полиця».

Іноді замість «Полиця» – багаторічне, майже, марне у багатьох випадках, бігання навколо «Виробництва» – а чи не візьмете Ви нашу (мою) розробку і не впровадите її у себе?

Таким чином, і це підтверджує світовий досвід, наука у кожній галузі виробництва повинна робитись тільки на замовлення. На замовлення саме того суб'єкту (в даному випадку конкретного виробництва), який безпосередньо зацікавлений у цій науці. Виробництво (державне або приватне) в цьому разі фактично купує вкрай необхідні йому наукові результати і не буде марно витратити гроші на те, що йому не потрібно. Вченим же залишається тільки висопродуктивно й ефективно працювати, не думаючи про те, куди потім збути розроблені надбання. Державні підприємства (галузі підприємств) створюють і фінансують власні галузеві науково-дослідні інститути, потужні конструкторські бюро тощо (чого варто існування при

уряді США агенції NASA в галузі аеронавтики та досліджень космічного простору), приватні – або самі утворюють у власних структурах науково-дослідні інститути (наприклад, у складі відомої фірми «Джон-Дір» є приватний дуже потужний науково-дослідний інститут), лабораторії, випробувальні центри, або шукають відомих професорів в університетах і заключають з ними окремі угоди на успішне наукове розв'язання тієї чи іншої вкрай їм необхідної проблеми, або необхідного наукового опрацювання на перспективу. Але на заході найчастіше здійснюється дуже успішно одночасне застосування обох вказаних форм замовлення наукової продукції. І державні і приватні підприємства самі шукають виконавців вкрай їм необхідних наукових опрацювань – і в державних Інституціях і у окремих професорів. Найголовнішим для замовників є кінцевий результат – здатність його отримання, строки і вартість. Вкотре треба окремо підкреслити, що на заході замовляти те, що нікому не потрібно, ніхто в жодному разі не буде. А це спонукає, протягом багатьох років, мати в державі дуже потужний прошарок вчених (де б вони не працювали – в університетах, чи в інститутах, чи на фірмах), для яких головним є не отримання диплома кандидата чи доктора наук, а здатність до успішного розв'язання гострих наукових проблем галузі – оскільки саме тоді він (професор, конструктор) буде затребуваним, йому будуть пропонувати виконання нових науково-технічних проектів (які він може успішно виконувати), у нього будуть від цієї роботи непогані гроші, життя в нього (і у його родини) буде кращим.

А в нас майже все навпаки – отримав диплом (у теперішній час будь яким чином) і маєш гроші, майже нічого не виробляючи в науці для потреб галузі. Що ще треба? А то ще й у нас оголошують конкурси: “подавайте на конкурси власні наукові проекти, розхвалюйте себе, все одно ніхто у стислому змісті заявки не знайде дійсного стану справ, окрім того, скільки скажемо маєш статей у журналах, номінованих у Scopus”. Коротше кажучи – пропонуйте все, що особисто ви можете, а ми відберемо і будемо фінансувати на наш погляд кращі. Але в країні, де майже і в цьому разі можна за все-про все “домовитись”, якщо “дуже потрібно”, то цілком очевидно, що переможці цих конкурсів будуть заздалегідь відомі. Але найголовним є те, що хіба владні структури будуть брати потім на себе обов'язок по впровадженню отриманих по цим проектам результатів? Звичайно ж ні! Вони також щорічно кладуть їх на “полицю”. Відповідальних за це не буде ні з боку виконавців, ні з боку фінансуючих сторін.

А як же все це трапилось в нашій країні? Здається, що донедавна Україна в галузі агроінженерії ще мала власне потужне сільськогосподарське машинобудування. Колись у нас були й потужні галузеві науково-дослідні інститути і потужні конструкторські бюро, академічні НДІ і відомі у світі наукові школи з землеробської механіки та динаміки машин і агрегатів в університетах. А зараз, на нашу думку, майже все це нещадно втрачається, або вже втрачено. Держава, якщо підтверджувати цей величезний спадок, сприяла цьому (потужні державні заводи сільськогосподарського машинобудування знищені, або майже повністю «жебракують») переходу на світові норми застосування замовлень наукової продукції не відбулось, от і купуємо для себе всюди і майже всю сільськогосподарську техніку та технології за кордоном, роблячи майже нікому не потрібними і власних вчених і виробників.

А як же тоді існує зараз власне сільськогосподарське виробництво? Нам можуть заперечити ствердженням, що технологічне і технічне переоснащення АПК в нашій державі можна успішно здійснювати за рахунок щорічного імпорту сільськогосподарської техніки і не в цьому є справа. Однак цей шлях прямо веде до того, що ми колись (і дуже швидко, якщо не вже) можемо опинитись на узбіччі науково-технічного і соціального розвитку, потрапляючи в повну, навіть кабальну залежність від економічно і технологічно розвинутих держав світу. Саме вони

диктуватимуть нам свої умови, підштовхуючи бути лише (і бути назавжди) сировинним придатком Європи і світу.

Ми розуміємо, що швидко і поверхневими закликами цієї занадто складної проблеми не вирішити і по-справжньому прогресивних перетворень в аграрно-інженерній галузі науки забезпечити неможливо, але починати все ж таки потрібно!

Нам усім потрібно невпинно та наполегливо, крок за кроком, піднімати рівень власних наукових досліджень, який би був, насамперед, конкурентоспроможним у світі. А тому, при виконанні власних досліджень, потрібно усім відштовхуватися від вже досягнутого світового рівня розвитку тієї чи іншої галузі науки (механізації, електрифікації, автоматизації, навіть роботизації), а не від досягнень особисто тих вчених, які будуть їх виконувати.

Цілком ймовірно, що дехто скаже, що у світовому науковому просторі більшість актуальних питань в галузі агроінженерії вже вважаються виконаними і достатньо відпрацьованими, то чого ми беремось за їх розв'язування, знаючи про це? Але все одно потрібно наполегливо шукати своє бачення розв'язання тієї чи іншої актуальної науково-технічної задачі в галузі агроінженерії, мати свої, більш ефективні шляхи їх розв'язання, вміти підходити нестандартно (а головне – далекоглядно) до проведення нових теоретичних та експериментальних досліджень тощо. При цьому вкрай необхідно враховувати умови виробництва сільськогосподарської продукції саме в Україні, особливості вітчизняних ґрунтів, природних умов тощо.

Керівництву вишів та НДІ, на наш погляд, потрібно відшукати такі важелі щодо виконавців наукових досліджень, щоб була реальна користь від отримання нових наукових результатів, користь від їх впровадження, користь від перспектив подальшого руху в правильному напрямку, коротше кажучи, не проведення і, найголовніше, подальше невикористання саме цих розробок в нашій країні було б просто економічно не вигідним!

Потрібно спрямовувати наукові дослідження на отримання принципово нових, різнобічних фізичних знань в кожній з зазначених галузей таким чином, щоб ступінь наукової розробки того чи іншого технічного та технологічного питання була найбільш глибокою, а її обсяг достатньо великим. Тоді це й буде поштовхом до наступного першочергового розроблення принципово нових наукоємних механізованих технологій за обов'язковою умовою їх енергоощадності, ресурсоощадності та екологічної безпеки. Без цього виробникам сільськогосподарської продукції нашої країни і її переробникам не досягти конкурентоспроможності на товаронасичених світових ринках. Залишиться бути тільки сировинним придатком – неминуча доля економічно відсталих держав.

А це вже повинен бути початок так званої “ланцюгової реакції” в напрямі глибокого науково-технічного прориву в тій чи іншій галузі агроінженерії.

**Висновки.** Підсумовуючи сказане, ще раз хочемо підкреслити, що зараз потрібно робити глибокі, комплексні фундаментальні та прикладні розробки, наукова змістовність яких і глибина проробки були б найбільш вражаючими. Саме під такі розробки заздалегідь потрібно оголошувати конкурси, а для їх виконання залучати вчених обов'язково на контрактній основі. Так робиться в усьому світі. А вже у контракті обов'язково конкретно зазначати, що повинен вчений зробити, що дослідити, який буде прогнозований результат його наукової роботи і що за це і скільки виш або НДІ повинні йому сплатити. Керівництво вузівської та академічної науки в цьому питанні повинні бути дуже вимогливими. Цілком зрозуміло, що потрібно залучати для виконання наукових досліджень сучасного рівня саме тих вчених, хто здатен і обов'язково зможе це зробити! Іншого шляху зараз просто немає!

В заключенні маємо ще раз підкреслити, що наведені нами думки (в деяких

випадках навіть занадто суворі) не претендують на беззаперечність. Більшість з наведених негативних висловів вже багато років відома в широких колах освітянського та наукового середовищах. А тому нам треба всім негайно виправляти вказане становище, починати рухатись у напрямі кращих світових, Європейських традицій, підкріплюючи власні дії конкретними справами, програмними заходами, загальним обов'язковим застосуванням моральних норм і правил. Безумовно, що треба розумно сполучати руйнівний пафос з утворювальною діяльністю.

## Список літератури

1. Зубець М.В. Економічні аспекти реформування аграрно-промислового комплексу України [Текст] / М.В. Зубець, М.Д. Безуглий . – К.: Аграрна наука, 2010. – 31 с.
2. Сисолін П.В. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструювання, проектування. Книга 1. Машини для рільництва [Текст] / П.В. Сисолін, В.М. Сало, В.М. Кропивний. – К.: Урожай, 2001. – 282 с.
3. Безуглий М.Д. Сучасний стан реформування аграрно-промислового комплексу України [Текст] / М.Д. Безуглий, М.В. Присяжнюк. – К.: Аграрна наука, 2012. – 47 с.
4. Система техніко-технологічного забезпечення виробництва продукції рослинництва [Текст] / за ред. В.В. Адамчука, М.І. Грицишина. – К.: Аграрна наука, 2012. – 416 с.
5. Zuckerrüben: Erntetechnik und Bodenschutz / FAT-Berichte Nr. 567 // Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), CH-8356 Tänikon TG. – 2001.– P. 1-19.
6. Roller O. Entblatten statt Köpfen / Dr. Olaf Roller // Zuckerrüben Journal № 2 // Rheinischer Landwirtschafts-Verlag GmbH, 2010.– P. 14-15.
7. Merkes R. 50 Jahre Produktionstechnik im Zuckerrübenbau in Deutschland / R. Merkes // Zuckerrübe. – 2001, № 4. – P. 214-217.
8. Es geht um den Kopf / Zuckerrüben Journal №3 // Rheinischer Landwirtschafts-Verlag GmbH, 2010.– P. 7-8.
9. Адамчук В.В. Перспективи розвитку і застосування у сільському господарстві сучасних високотехнологічних засобів [Текст] / В.В. Адамчук, В.М. Булгаков, І.В. Гринник // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України : Зб. наук. праць / “УкрНДПВТ ім. Леоніда Погорілого”. – Дослідницьке, 2013. – Вип. 17 (31). С. 22-33.
10. Калетнік Г.М. Сучасний стан та перспективи кадрового і наукового забезпечення галузі механізації сільського господарства [Текст] / Г.М. Калетнік, В.М. Булгаков // Механізація та електрифікація сільського господарства : Міжвідомчий тематичний наук. зб. – Нац. наук. центр “ІМЕСГ” НААН України. – Глеваха, 2013. – Вип. 97. Т.1. – С. 24-36.
11. Калетнік Г. Землеробська механіка і сучасний етап розвитку вітчизняного сільгоспмашинобудування [Текст] / Григорій Калетнік, Валерій Адамчук, Володимир Булгаков // Голос України. – 2013. – 16 листопада (№ 216). – С. 4-5.

### **Valery Adamchuk, Prof., DSc.**

*NSC “Institute of mechanization and electrification of agriculture”, town Glevaha, Kiev region, Ukraine*

### **Vladimir Bulgakov, Prof., DSc.**

*National University of Bio-resources and Environmental Sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine*

#### **State and perspectives of research field ahroinzheneriyi**

The article is an analysis of agricultural mechanization since development from of basic and applied science.

The article analyzes the current state agroengineering of science and modern agricultural engineering. The main prospects for exit from the crisis in the state in the direction of fundamental and applied research of the modern level of design and design development for the creation of agricultural machinery, corresponding to the best world analogues.

So, development should be done so that the scientific pithiness be most impressive.

#### **research, ahroinzheneriya, design development, agricultural machinery**

Одержано 14.10.16

УДК 631.1:631.58

**А.В. Войтік, доц., канд. техн. наук, Р.В. Вихватнюк, викл., Л.М. Худік, викл.**  
*Уманський національний університет садівництва, м. Умань, Україна*  
*E-mail: liuda\_89@ukr.net*

## Технологія обробітку ґрунту стріп-тіл: історичний розвиток та поширення в Україні

У роботі розглянуто історичні аспекти становлення і розвитку технології обробітку ґрунту стріп-тіл, наведено інформацію про перших розробників та популяризаторів технології у Сполучених Штатах.

Висвітлено основні переваги й недоліки системи стрічкового обробітку у порівнянні з традиційними методами землеробства, а також умови використання її з огляду на окремий ґрунтово-кліматичний та локально-географічний стан виробничих угідь. Виконано аналіз стану застосування ошадних технологій у провідних фермерських господарствах України із використанням сучасних агрегатів для стрічкового обробітку зарубіжного та вітчизняного виробництва. Зроблено висновок, що в Україні технологія стріп-тіл вивчена ще недостатньо і є значні перспективи її впровадження в різних регіонах під час вирощування різноманітних сільськогосподарських культур.

**обробіток ґрунту, стріп-тіл, ноу-тіл, ошадні технології, чизельна сівалка**

**А.В. Войтик, доц., канд. техн. наук, Р.В. Выхватнюк, препод., Л.М. Худик, препод.**  
*Уманский национальный университет садоводства, г. Умань, Украина*

### **Технология обработки почвы стрип-тилл: историческое развитие и распространение в Украине**

В работе рассмотрены исторические аспекты становления и развития технологии обработки почвы стрип-тилл, приведена информация о первых разработчиках и популяризаторах технологии в Соединенных Штатах.

Раскрыты основные преимущества и недостатки системы полосовой обработки по сравнению с традиционными методами земледелия, а также условия использования ее с учетом отдельных почвенно-климатических и локально-географических состояний производственных угодий. Выполнен анализ применения сберегающих технологий в ведущих фермерских хозяйствах Украины с использованием современных агрегатов для полосовой обработки зарубежного и отечественного производства. Сделан вывод, что в Украине технология стрип-тилл изучена еще недостаточно и есть значительные перспективы ее внедрения в различных регионах при испытании разных сельскохозяйственных культур.

**обработка почвы, стрип-тилл, ноу-тилл, сберегающие технологии, чизельная сеялка**

**Постановка проблеми.** Для отримання високих врожаїв аграрії всього світу постійно розробляють нові технології обробітку ґрунту. Важливим при цьому є зниження собівартості вирощування сільськогосподарської продукції. Стрічковий обробіток ґрунту стріп-тіл добре зарекомендував себе у країнах Північної Америки, а також удостоївся поширення серед деяких європейських виробників. Технологія стріп-тіл (Strip Tillage) являє собою стрічковий обробіток поля, який поєднує переваги традиційного орного обробітку і нульової технології. Суть технології стрічкового землеробства полягає у розпушуванні смуг, які обробляються від бур'янів, удобрюються і засіваються культурними рослинами. Особливу роль в технологічному ланцюгу стріп-тіл відіграють спеціальні сільськогосподарські машини та начіпні пристосування. Наявність у техніці навігаційних приладів і допоміжних пристроїв дозволяє дуже точно проводити висів і подальший догляд за культурами.

Під час стрічкового розпушування приблизно дві третини всього поля залишається без змін. Така система дозволяє скоротити витрати на обробіток ґрунту у 2–3 рази. Застосовується в основному під просапні культури (кукурудзу, соняшник, буряк), а також під ріпак і сою. Важливою перевагою цієї технології є те, що разом з розпушуванням, існує можливість одночасного внесення добрив під насіння на глибину 12–30 см або навіть різні добрива у два рівні для досягнення рослиною першого рівня через 15, а другого – через 45 днів росту. Завдяки цьому рослина отримує підживлення в особливо необхідні етапи: період активного росту і формування урожаю. Як результат – формується потужна коренева система та здатність до кращого пристосування до умов вирощування.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Останнім часом в наукових та галузевих виданнях з'явилося досить багато публікацій, направлених на висвітлення особливостей застосування технології стріп-тіл, а також технічних рішень для її реалізації у різних кліматичних регіонах світу. У науковій праці українських вчених узагальнено основні напрями систем обробітку ґрунту в Україні та світі, наведено їх характеристику й оцінку, коротко проаналізовано систему обробітку стріп-тіл, її переваги та особливості застосування [1].

У роботі інших вітчизняних дослідників обґрунтовано ефективність енерго- і ресурсозбереження за рахунок використання стрічкової технології обробітку ґрунту [2]. Авторами встановлено, що порівняно з традиційною, економія за технологією стріп-тіл на базі вітчизняної чи зарубіжної техніки істотно не відрізняється й орієнтовно знаходиться на такому рівні: затрати робочого часу 76 %, витрати палива – 70 %, прями експлуатаційні і приведені витрати – 60–70 %. За витратами робочого часу (праці) і палива вітчизняна техніка для технології стріп-тіл дещо поступається зарубіжній, проте витрати коштів на одиницю праці у 1,7–2 рази менші.

Проаналізувавши тенденції розвитку машин для стрічкового обробітку ґрунту, українськими авторами розроблено схему загальної компоновки стріп-тіл-агрегату, визначено типи і роль складових робочих органів таких машин, окреслено шляхи подальшого використання їх в ґрунтово-кліматичних умовах України [3,4]. Залежно від функціональних задач конструктивних елементів машин для стріп-тіл, російськими вченими обґрунтовано особливості застосування спеціальної техніки провідних світових виробників [5].

**Постановка завдання.** Мета роботи – розглянути історію розвитку і становлення технології обробітку ґрунту стріп-тіл. Визначити основні принципи та переваги даної системи господарювання, а також конструктивні елементи технічних засобів для реалізації даного методу. Обґрунтувати наявний стан та перспективи застосування стріп-тіл у сільському господарстві України.

**Виклад основного матеріалу.** Під час впровадження ресурсозберігаючих технологій обробітку ґрунту стріп-тіл та ноу-тіл (нульовий обробіток), однією з основних задач для її розробників було сформувати технічно виправдану, стійку та економічно альтернативну технологію у порівнянні з класичними технологіями обробітку ґрунту. Перші дослідження та публікації щодо впровадження аналогічних до сучасної стріп-тіл систем обробітку ґрунту з'явилися ще задовго до кінця 90-х рр., коли почався етап бурхливого впровадження технології у виробництво кукурудзи в США. Так, у 1989 р. автори Фоллет і Шимель [6] зафіксували, що у той час як класичні системи вирощування сільськогосподарських культур призводили до зношування ґрунтів і навіть до опустелювання угідь, зберігаючі технології зупиняли ерозію ґрунту, підвищували вміст у ньому органічних речовин, покращували збереження вологості, перебіг біологічних процесів у ґрунті і його родючість, зумовлюючи поступове зростання урожайності сільськогосподарських культур. Однак, поряд із цим було

виділено також можливі ризики застосування даних технологій, пов'язані з особливими умовами вирощування культур (ерозія легкого ґрунту на смугах, надмірне ущільнення та структурні пошкодження поверхневого шару на перезволожених ґрунтах).

Дані 2001 р. відображали застосування техніки для стріп-тіл на площі понад 45 млн. га. З того часу площі використання ресурсо-зберігаючих технологій обробітку ґрунту істотно зросли. За останніми даними Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН, найбільша частка земель із ощадними технологіями обробітку ґрунту розміщена у Північній і Південній Америці та Австралії (табл. 1).

Таблиця 1 – Площі використання консервуючих систем обробітку ґрунту за континентами

Континент	Площа (га)	Відсоток від загальної площі під консервуючими системами в світі	Відсоток земель під консервуючими технологіями від загальної площі орних земель
Південна Америка	55,464,100	45	57,3
Північна Америка	39,981,000	32	15,4
Австралія та Нова Зеландія	17,162,000	14	69,0
Азія	4,723,000	4	0,9
Росія та Україна	5,100,000	3	3,3
Європа	1,351,900	1	0,5
Африка	1,012,840	1	0,3
Всього у світі	124,794,840	100	8,8

Значне розширення площ під ощадними технологіями спостерігалось безпосередньо в Азії, особливо у Китаї та Казахстані, де їх було зареєстровано понад мільйон гектарів [7]. На сьогоднішній день, площі зі стріп-тіл та ноу-тіл у світі сягнули понад 100 млн. га, демонструючи свою пристосованість до усіх типів кліматичних умов, ґрунтів та умов вирощування сільськогосподарських культур (табл. 2). Вони використовуються від Полярного кола до тропіків, на висоті 3000 м над рівнем моря, в дуже дощових районах з 2500 мм/рік та в надзвичайно посушливих регіонах із опадами 250 мм/рік.

Таблиця 2 – Використання ощадних систем обробітку ґрунту серед країн світу (країни з площею > 500,000 га)

Країна	Площа під зберігаючими системами (100 млн. га)
США	35 613(2009)
Бразилія	31 811(2012)
Аргентина	29 181(2013)
Канада	18 313(2013)
Австралія	17 695(2014)
Китай	6 670(2013)
Росія	4 500(2011)
Парагвай	3 000(2013)
Казахстан	2 000(2013)
Уругвай	1 072(2013)
Іспанія	792(2013)
Болівія	706(2007)
Україна	700(2013)

Дана система зарекомендувала себе як така, що уже не може бути проігнорована науковими й виробничими установами, виробниками машин, а також іншими, пов'язаними зі стріп-тіл галузями сільського господарства, тому широке визнання переваг цього методу господарювання повинно забезпечити поширення її в недостатньо пристосованих регіонах.

Історія зародження технології стріп-тіл сягає другої половини ХХ століття, коли виробники сільськогосподарської техніки пропонували велику кількість зразків агрегатів, схожих за конструкцією до використовуваних в технології стріп-тіл сучасних машин. У 1964 р. представником американської компанії «Massey-Fergusson» Джоном Моррісоном було зареєстровано патент [8], де нова технологія обробітку ґрунту описувалася як «спосіб і пристрій для садіння, за якого насіння вкладається у смугу ущільненого ґрунту, оточену цілиною, і покриту пухким шаром його для покращення проростання насіння за рахунок істотного зниження втрат вологи на поверхні через капілярну дію». Зображений у патенті пристрій для стрічкового обробітку подібний до сучасних зразків агрегатів для стріп-тіл (рис. 1).

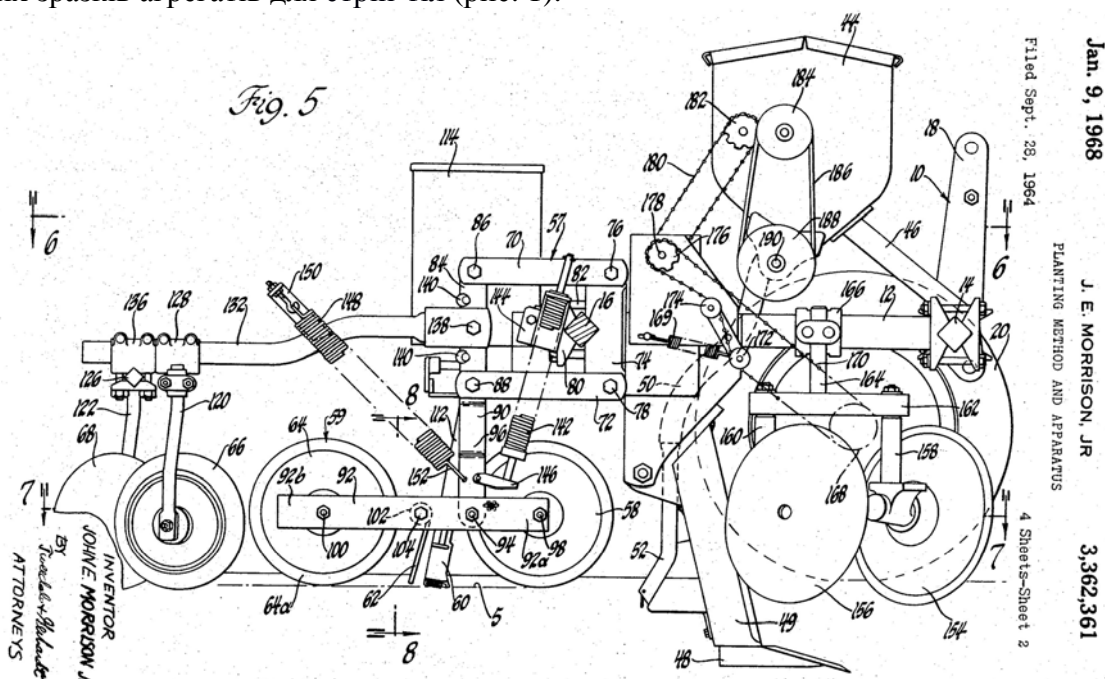


Рисунок 1 – Перша запатентована машина для технології стріп-тіл

У 1972 р. Дж. І. Кейс запропонував чизельну сівалку «Chisel Planter» (рис. 2). Це була нова машина, яка відповідала передовій на той час технології мінімального обробітку ґрунту та виконувала шість стрічок за один прохід [9].

Не зважаючи на те, що перші ідеї з'явилися ще у 60-х рр. ХХ століття, поширення технологія стріп-тіл набула тільки у 90-х рр. завдяки популяризаторській діяльності прихильника зберігаючої технології Джима Кінселли з м. Лексінгтон (штат Іллінойс, США). Саме він вперше серйозно організував систему, представивши її публічно, та сприяв поширенню серед фермерів США.

На той час Дж. Кінселла співпрацював з великою групою фермерів із Середнього Заходу, які мали проблеми з повільним ростом кукурудзи в умовах ноу-тіл на ранніх етапах розвитку рослин. Після реалізованих у 1984 р. випробувань стрічкового обробітку, стало очевидним успішне вирішення створеної системою ноу-тіл проблеми

повільного росту посівів. Учасниками групи було розроблено набір демонстраційних матеріалів й започатковано активну роботу із поширення інформації про нову технологію.



Рисунок 2 – Чизельна сівалка «Chisel Planter», розроблена Дж. І. Кейсом

За свій внесок у розвиток технології стріп-тіл, Джима Кінселлу у 2011 р. нагороджено відзнакою Асоціації виробників кукурудзи штату Іллінойс (Illinois Corn Growers Association).

На сьогоднішній день спостерігається подальший розвиток і поширення технологій стріп-тіл у світі. Так, у США станом на 2010–2011 рр. частка стріп-тіл у структурі вирощування чотирьох основних культур – кукурудзи, пшениці, сої та бавовни становила 39 % [10].

Що стосується України, наявність невеликого числа стійких та однозначних результатів застосування технології стріп-тіл свідчить про деяку недовіру серед фермерів та недостатність виробничого досвіду. Проте, згідно інформації провідного науково-виробничого видання України [11], чимало вітчизняних агровиробників більшменш успішно господарюють в умовах використання ощадних систем землеробства. Так, спеціалістами ТОВ «Рост-Агро», що знаходиться у Глобинському районі на Полтавщині, доведено абсолютно позитивний результат застосування стріп-тіл для вирощування високоякісних гібридів насінневої кукурудзи. На противагу випробуваній у господарстві ще із 2004 р. нульовій технології (ноу-тіл), яка, порівняно із традиційним обробітком ґрунту, не забезпечила бажаних результатів, стрічкова система задовольнила потреби як в економії ресурсів, так і в створенні сприятливого для розвитку рослин ґрунтового мікроклімату.

Натомість, в іншому господарстві Полтавщини (АПОП «Великобухівське» Миргородського району), зафіксовано протилежний досвід землеробського пошуку. У 2009–2011 рр. унаслідок потужної водної ерозії в оброблених смугах на горбистих схилах полів господарства, стріп-тіл створив безліч проблем із вимиванням розпушеного ґрунту й не забезпечив очікуваного ефекту щодо урожайності кукурудзи, порівняно з використовуваною там уже вісім років нульовою системою обробітку.

Крім просапних зернових, стрічковий обробіток ріллі схвально зарекомендував себе і під час вирощування технічних культур та зернових суцільного висіву. Зокрема, потужні рівномірні сходи озимого ріпаку зафіксовано в 2015 р. у фермерському господарстві «Новатор» Ананьївського району Одеської області, а на Черкащині (ПП «Хутірець») з допомогою цієї технології отримано 90 ц/га пшениці, 75 ц/га ячменю та понад 50 ц/га ріпаку в умовах лише 320 мм опадів [12]. Реалізацію даної системи обробітку здійснено у цих господарствах експлуатацією обробно-посівного стріп-тіл-комплексу «Mzugi Pro-Till» британського виробництва. Як зазначено у тому ж джерелі, в Україні цей метод обробітку поля дедалі активніше застосовують також «Агро КМР» (Дніпропетровська обл.), «Дружба Нова» (Чернігівщина), фермерське господарство «Степ» (Черкаська обл.), ПП «Агро-Вільд Україна» (Київська обл.) та ін.

Не дивлячись на те, що більшість українських господарств для впровадження стрічкової системи землеробства віддають перевагу техніці зарубіжного виробництва (Horsch, John Deere, Orthman, Kinze, Great Plains та ін.), деякі машинобудівні підприємства України пропонують не гіршу альтернативу дороговартісним іноземним зразкам. Беззаперечним лідером на ринку стріп-тіл-агрегатів є вітчизняне підприємство ТОВ «Краснянське спеціалізоване підприємство «Агромаш», що розробляє удосконалені комплекси для виконання п'яти технологічних операцій з підготовки ґрунту за один прохід та одночасно глибокого підживлення нарізаних смуг завдяки комплектації туковисівним обладнанням [13].

**Висновки.** В Україні новітні ресурсозберігаючі технології вирощування різних сільськогосподарських культур перебувають на етапі активного апробування. Проте, порівняно із нульовою системою обробітку ґрунту ноу-тіл, що вже завоювала впевнені позиції в агровиробництві та накопичила безсумнівно успішний досвід господарювання низкою вітчизняних господарств, стріп-тіл знаходиться на початковому етапі становлення. Досвід застосування стрічкової технології в окремих підприємствах свідчить про можливість її успішної реалізації в рослинництві для різних культур. Однак, висока чутливість до специфічних умов вирощування викликає побоювання та недовіру виробників до її використання. Саме тому важливим є ознайомлення та перейняття кращого досвіду у країн, які цю технологію вже активно використовують та мають значні практичні і теоретичні напрацювання.

З огляду на зазначені у роботі факти, серед переваг технології стріп-тіл слід відзначити економію мінеральних добрив та паливних ресурсів за рахунок відсутності потреби у додатковому підживленні культури та повної обробки ґрунту за 1–2 проходи техніки; можливість одночасно з розпушуванням виконувати висів насіння завдяки наявності спеціальних навісних пристосувань у комплектації агрегатів; можливість висіву насіння у більш ранні строки за рахунок утримання вологи ґрунтом та кращого прогрівання його верхнього шару; зниження ерозії та збереження природної родючості ґрунту; збільшення урожайності культур одночасно зі зниженням собівартості виробництва. Недоліками стрічкової обробки є обов'язкове узгодження робочої ширини міжрядь з розмірами ходової частини трактора, необхідність оснащення сільськогосподарських машин системою GPS для точного проходження по колії, неможливість обробітку важких та перезволожених, а також занадто легких ґрунтів.

Перспективність подальших досліджень зводиться до пошуку шляхів пристосування технічних та агрономічних рішень до окремих виробничих умов певного регіону.

## Список літератури

1. Томашівський З.М. Системи обробітку ґрунту в Україні та світі [Текст] / З.М. Томашівський, В.Я. Іванюк // Актуальні проблеми ґрунтознавства, землеробства та агрохімії: матеріали Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, присвяченої 95-річчю утворення кафедри ґрунтознавства, землеробства та агрохімії ЛНАУ та Міжнародному Дню агрохіміка. – Львів, 2014. – С. 156–160.
2. Гречкосій В.Д. Ефективність технології strip-till в системі обробітку ґрунту [Текст] / В.Д. Гречкосій, Р.В. Шатров // Науковий вісник НУБіП України: Серія “Техніка та енергетика АПК”. – К., 2015. – Вип. 212, ч.1. – С. 309–314.
3. Голуб Г.А. Ефективність технології strip-till в системі обробітку ґрунту [Текст] / Г.А. Голуб, А.В. Дворник // Науковий вісник НУБіП України: Серія “Техніка та енергетика АПК”. – К., 2014. – Вип. 196. – С. 48–55.
4. Лепеть Є.І. Культиватор для роботи в умовах природнього землеробства за технологією Strip-till [Текст] / Є.І. Лепеть // Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету. – 2014. – № 2 (34). – С. 38–41.
5. Беляев В.И. Технология Strip-till: особенности конструкций машин ведущих мировых производителей и их применения [Текст] / В.И. Беляев, Т. Майнел, Р. Тиссен // Вестник АГАУ. – 2013. – № 11 (109). – С. 86–91.
6. Follet R.F. Effect of tillage practices on microbial biomass dynamics / R.F. Follet, D.S. Schimel // Soil Science Society America Journal. – 1989. – №4. – Vol. 53. – P. 1091–1096.
7. FAO (2011c), CA Adoption Worldwide, FAO-CA (website available online at: <http://www.fao.org/ag/ca/6c.html>).
8. Пат. US 39965464A. Planting method and apparatus / Morrison Jr., John E. – заявл. 09/28/1964; опубл. 01/09/1968.
9. Wendel C.H. 150 Years of JI Case / C.H. Wendel // Krause Publications. – 2005. – 336 p.
10. Wade T. Conservation-Practice Adoption Rates Vary Widely by Crop and Region / Tara Wade, Roger Claassen, Steven Wallander // EIB-147, U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service. – 2015. – 40 p.
11. Жолобецький Г. Стріп-Тілл: шляхом проб і помилок [Текст] / Г. Жолобецький // Пропозиція. – 2013. – № 2. – С. 26–30.
12. Федорчук Ю. Стріп-тіл від «Новатора» / Ю. Федорчук // Одеські вісті. – 2015. – Вип. 12.09. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу – <http://izvestiya.odessa.ua/uk/2015/09/12/stryp-til-vid-novatora>.
13. Агрегат смугового обробітку ґрунту АСОГ-8 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://krasnagromash.vn.ua/index.php/2012-03-04-12-18-59/-----8/104--8>.

**Andriy Voytik, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Roman Vykhvatniuk, lect., Liudmyla Khudik, lect.**  
*Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine*

**Strip-till technology: historical development and dissemination in Ukraine**

The purpose of the research was to examine the historical development and formation of strip-till technology, identify the basic principles and benefits of this system and determine the current condition and prospects of promotion the strip-till technology in the agricultural sector of Ukraine.

It was examined the historical aspects of the formation and development the strip-till technology, provided information about the first developers and popularizers in the United States. The basic advantages and disadvantages of strip cultivation system compared to traditional methods of farming, and it use due to the separate soil, climatic and local-geographical conditions of industrial land were reviewed. The review of the preserving technologies applying in the leading Ukrainian farms using modern foreign and domestic strip-till-machines were accomplished.

It was concluded that strip-till technology has studied not enough in Ukraine and there are significant prospects for its implementation in various regions during growing more crops.

**tillage, strip-till, no-till, preserving technologies, chisel planter**

Одержано 02.11.16

УДК 631.361

**С.М. Герук, доц., канд. техн. наук**

*Житомирський агротехнічний коледж, м.Житомир, Україна*

**А.П. Довбиш, асп.**

*Національний науковий центр „Інститут механізації та електрифікації сільського господарства”, с.м.т. Глеваха, Україна, E-mail: andreidovbysh@mail.ru*

## Вплив збурень коливань вібросепаратора на динаміку зернової суміші

Досліджено амплітуду коливань зернової маси при проходженні резонансу за різних значень різниці початкових фаз власних та вимушених коливань. Виведено диференціальні рівняння, які описують коливання зернової суміші у зоні резонансу. Встановлено, що зростання початкового значення різниці фаз власних та вимушених коливань спричиняє зменшення амплітуди переходу через резонанс, так зростання величини вказаної величини на 0,2 радіани спричиняє зменшення амплітуди переходу через резонанс до 26%.

**математична модель, зернова суміш, сепаратор, резонанс**

**С.М. Герук, доц., канд. техн. наук**

*Житомирський агротехнічний коледж, г.Житомир, Україна*

**А.П. Довбиш, асп.**

*Національний науковий центр „Інститут механізації та електрифікації сільського господарства”, п.г.т. Глеваха, Україна*

**Влияние возмущений колебаний вибросепаратора на динамику зерновой смеси**

Исследованы амплитуду колебаний зерновой массы при прохождении резонанса при различных значениях разности начальных фаз собственных и вынужденных колебаний. Выведены дифференциальные уравнения, описывающие колебания зерновой смеси в зоне резонанса. Установлено, что рост начального значения разности фаз собственных и вынужденных колебаний приводит к уменьшению амплитуды перехода через резонанс, так рост величины указанной величины на 0,2 радианы приводит к уменьшению амплитуды перехода через резонанс до 26%.

**математическая модель, зерновая смесь, сепаратор, резонанс**

**Постановка завдання.** Технологічні процеси підготовки зерна різних сільськогосподарських культур для переробки, зберігання чи реалізації включають в себе низку послідовних операцій, автоматизація яких значною мірою знижує собівартість кінцевого продукту. Методи сепарації та адгезії зерна (передпосівне оброблення насінневого матеріалу з метою використання новітніх засобів біологічного збагачення ґрунту), а відтак відповідні машини вказаних технологічних процесів, в останні десятиліття отримали широке застосування у сільському господарстві. Їх впровадження сприяє інтенсифікації процесів якісної підготовки зерна чи посівного матеріалу, дозволяє позбутись багатьох трудомістких операцій. Це зумовлено з одного боку відносно конструктивною простотою вказаних машин, а з іншого – високою продуктивністю.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Теоретичним дослідженням повітряної сепарації зернових сумішей присвячена велика кількість робіт [1,2,3]. Найбільш ґрунтовні результати досліджень з використанням математичної моделі руху матеріальної точки у турбулентному повітряному потоці отримані П.М. Заїкою [4].

© С.М. Герук, А.П. Довбиш, 2016

Обчислення характеристик руху, що виконані в цих роботах, не враховують показники власних коливань зернової суміші, а значить процес її сепарації в певній мірі залежать від відносної швидкості вздовж сита (зменшується до 15% за швидкості відносного руху 1м/с.). Незважаючи на вище наведене, обсяг аналітичних досліджень динамічних процесів в даній сфері є недостатній.

**Постановка завдання.** Дослідити амплітуду коливань зернової маси при проходженні резонансу за різних значень різниці початкових фаз власних та вимушених коливань та швидкостей проходження через резонанс коливань.

**Виклад основного матеріалу.** Відомо, що головними чинниками, які визначають процес вібросепарації зернової маси є їх амплітуда та частота коливань відносного руху вздовж сита. В той же час, використання чисельних методів інтегрування для неї не дає відповіді на основні практичні питання – залежність частоти коливань зернової суміші від амплітуди, параметрів зовнішнього збурення, основних характеристик зернової суміші та інше.

Визначальні показники власних коливань зернової суміші, а значить процес її сепарації в певній мірі залежать від відносної швидкості вздовж сита (зменшується до 15% за швидкості відносного руху 1м/с.). У випадку дії збудника горизонтальних коливань на вібромашину, інтенсивність процесу сепарації значною мірою залежить від співвідношення між частотами власних коливань зернової суміші та зовнішнього збурення.

Динамічний процес сепарації залежить від вигляду взаємодії сипкого середовища із стінками контейнера. Їх будемо моделювати, відповідно до прийнятої фізичної моделі, крайовими умовами “балочного типу” (із шарнірним закріпленням кінців).

Наведене дозволяє диференціальне рівняння (1) подати у вигляді

$$\frac{\partial^2 w(x,t)}{\partial t^2} - \alpha^2 \frac{\partial^2 w(x,t)}{\partial x^2} \left( \frac{\partial w(x,t)}{\partial x} \right)' = \mu g \left( \tau, \frac{\partial w(x,t)}{\partial x}, \frac{\partial w(x,t)}{\partial t} \right) + \frac{H\omega^2}{\rho} \cos(\omega t + \psi), \quad (1)$$

де  $\alpha^2 = \frac{EA}{\rho}(v+1)$ ,  $\tau = \mu t$  - “повільний час”,

$$\mu \bar{g} \left( \tau, \frac{\partial w(x,t)}{\partial x}, \frac{\partial w(x,t)}{\partial t} \right) = \mu g \left( \tau, \frac{\partial w(x,t)}{\partial x}, \frac{\partial w(x,t)}{\partial t} \right) - \left( 2V \frac{\partial^2 w(x,t)}{\partial x \partial t} + V^2 \frac{\partial^2 w(x,t)}{\partial x^2} + \frac{\partial w(x,t)}{\partial x} \frac{dV}{dt} + \frac{\beta \partial w(x,t)}{\rho \partial t} \right).$$

Не дивлячись на те, що обмеження досліджуваного об'єкту в цілому є незначними і вони обгрунтовані для низки вібраційних машин із горизонтальним збудженням коливань, вони одночасно дозволяють побудувати наближений аналітичний розв'язок рівняння (1) за крайових умов (2), тобто описати аналітично динамічний процес відносних коливань зернової суміші вздовж сита під час процесу вібросепарації

Наведене дозволяє записати крайові умови для рівняння (1) у вигляді

$$w(x,t)|_{x=0} = w(x,t)|_{x=l} = 0. \quad (2)$$

У зв'язку із тим, що у вказаному випадку математична модель динаміки зернової суміші є неавтономною (права частина рівняння (1) є періодичною за фазою зовнішнього періодичного збурення), для неї треба розглядати принципово два різні випадки: нерезонансний та резонансний. Що стосується першого випадку (нерезонансного), то як показано у [5], мале за величиною періодичне збурення не значною мірою впливає на визначальні показники коливань системи.

Якщо прийняти до уваги обмеження щодо величин швидкості руху зернової

суміші вздовж сита та внутрішньої сили тертя у її моделі динамічного процесу, то можна стверджувати, що основні параметри коливань в процесі сепарації за один період змінюються на незначну величину. Це дозволяє для диференціальних рівнянь використати апарат усереднення [5,6] за змінною  $\psi$ .

Таким чином,

$$\frac{da}{dt} = \frac{\mu}{2\Gamma\Omega(a)} \int_0^{2\pi} \int_0^l sa(1, \nu+1, \psi_k) X(x) \left[ \hat{f}_1(a, x, \psi) + \frac{2\beta a \Omega(a)}{(3\nu+4)\rho} X(x) \right] dx d\psi_k, \quad (3)$$

$$\frac{d\psi}{dt} = \Omega(a) + \frac{(\nu+2)}{4a\Gamma\Omega(a)} \int_0^{2\pi} \int_0^l ca(\nu+1, 1, \psi) X(x) \left[ \hat{f}_1(a, x, \psi_k) - V^2 \left( \frac{\Pi_x}{l} \right)^2 a X(x) \right] dx d\psi.$$

Це дозволяє стверджувати, що амплітуда та частота зернової суміші за умови відсутності резонансу описуються з точністю до величин порядку  $\mu^2$  диференціальними рівняннями (3).

Більш складним у дослідженні, одночасно важливішим із практичної сторони, є резонансний випадок. У зв'язку із цим, зазначимо що:

- а) власна частота зернової суміші залежить від амплітуди коливань;
- б) період за фазою власних коливань ( $\psi$ ) рівний періоду за вказаним аргументом відповідних  $A_{teb}$  – функцій, тобто  $2\Pi$ ;
- в) період зовнішнього збурення за фазою зовнішнього збурення  $\omega t + \phi$  рівний  $2\pi$ ; за умову резонансу будемо приймати рівність періодів за часом власних та вимушених коливань, тобто  $\frac{\Pi}{\Omega(a)} = \frac{\pi}{\omega}$ .

Таким чином, резонансні коливання зернової суміші будуть мати місце при виконанні умови  $\omega \approx \frac{\pi}{\Pi} \Omega(a)$ . Останнє показує, що для кожної амплітуди власних

коливань зернової суміші вздовж сита  $\Omega(a) = \alpha a^{\frac{\nu}{2}} \left( \frac{\Pi_x}{l} \right)^{\frac{\nu+2}{2}}$  існує своя резонансна частота збурення коливань вібраційного сепаратора

$$\omega = \frac{\pi\alpha}{\Pi} \left( \frac{\Pi_x}{l} \right)^{\frac{\nu+2}{2}} a^{\frac{\nu}{2}} \quad (4)$$

і, навпаки, – для кожної частоти збурень вібраційної машини існує таке значення амплітуди коливань (амплітуди резонансу) зернової маси  $a_p$  вздовж сита сепаратора, при наближенні якої мають місце резонансні коливання

$$a_p = \left\{ \left( \frac{l}{\Pi_x} \right)^{\frac{\nu+2}{2}} \frac{\Pi\omega}{\pi\alpha} \right\}^{\frac{2}{\nu}}. \quad (5)$$

На рис. 1. представлено залежність частоти зовнішнього збурення від амплітуди  $a$  коливань зернової маси та параметру нелінійності  $\nu$ , (при  $l=100\text{см}$ ,  $\alpha=75$ ), а на рис. 2. – амплітуди резонансу від частоти зовнішнього збурення та параметру нелінійності  $\nu$

Таким чином, при наближенні частоти зовнішнього збурення до значення, яке визначається залежністю (4), мають місце резонансні коливання сипкого середовища. З іншого боку, явище резонансу у квазілінійних чи нелінійних системах суттєво залежить від різниці фаз власних та вимушених коливань.

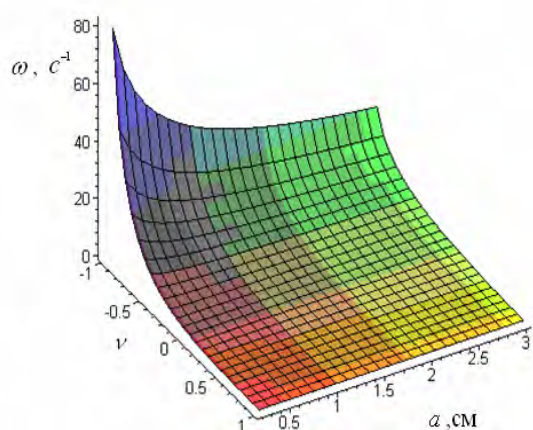


Рисунок 1 – Залежність частоти зовнішнього збурення від амплітуди  $a$  коливань зернової маси та параметру нелінійності  $\nu$

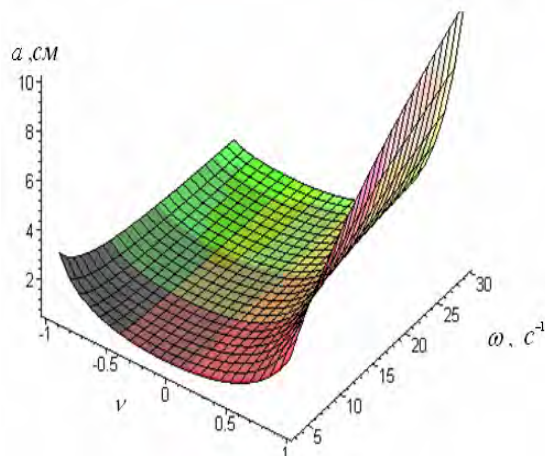


Рисунок 2 – Залежність амплітуди резонансу від частоти зовнішнього збурення та параметру нелінійності  $\nu$

Тому формально вводячи параметр  $\vartheta = \frac{\pi}{\Pi} \psi - \theta \Rightarrow \theta = \frac{\pi}{\Pi} \psi + \vartheta, \psi = \frac{\Pi}{\pi} (\theta - \vartheta)$  у систему диференціальних рівнянь (3) отримуємо

$$\frac{da}{dt} = \frac{sa(1, \nu + 1, \psi) \left[ \mu \hat{g}(a, \psi) + \frac{H\omega^2}{\rho} \cos\left(\frac{\pi}{\Pi} \psi + \vartheta\right) \right]}{\text{Pa}\Omega(a)}, \quad (6)$$

$$\frac{d\vartheta}{dt} = \frac{\pi}{\Pi} \Omega(a) - \omega - \frac{(\nu + 2)ca(\nu + 1, 1, \psi) \left[ \mu \hat{g}(a, \psi) + \frac{\bar{H}\omega^2}{\rho} \cos\left(\frac{\pi}{\Pi} \psi + \vartheta\right) \right]}{2\text{Pa}\Omega(a)},$$

$$\text{де } \hat{g}(a, \psi) = \mu \hat{f}_1(a, \psi) - \frac{2\beta a \Omega(a)}{(3\nu + 4)\rho} sa(1, \nu + 1, \psi) - \frac{\nu + 2}{3\nu + 4} \left( \frac{k\Pi_x}{l} \right)^2 V^2 aca(\nu + 1, 1, \psi).$$

Праві частини диференціальних рівнянь (6) є  $2\Pi$ - періодичними за фазою власних коливань  $\psi$ , а отже їх можна усереднити за цією змінною. Наведене дозволяє систему диференціальних рівнянь (6), які описують коливання зернової суміші у зоні резонансу, представити у вигляді

$$\frac{da}{dt} = -\frac{2\beta(\nu + 2)^2 a}{(3\nu + 4)\Pi\rho} \frac{\sqrt{\pi}\Gamma\left(\frac{3}{\nu + 2}\right)}{\Gamma\left(\frac{1}{2} + \frac{3}{\nu + 2}\right)} - \frac{\hat{H}\omega^2}{2\text{Pa}\rho\Omega(a)} \sin \vartheta; \quad (7)$$

$$\frac{d\vartheta}{dt} = \alpha a^{\frac{\nu}{2}} \frac{\Pi}{\pi} \left( \frac{\Pi_x}{l} \right)^{\frac{\nu+2}{2}} - \omega - \frac{(\nu + 2)^2 a^{\frac{\nu}{2}} V^2}{(3\nu + 4)\Pi_r \text{Pa}\alpha \left( \frac{k\Pi_x}{l} \right)^{\frac{\nu-2}{2}} \Gamma\left(\frac{1}{2} + \frac{3}{\nu + 2}\right)} + \frac{\bar{H}\omega^2}{2\text{Pa}\rho\Omega(a)} \cos \vartheta, \quad (8)$$

$$\text{де } \hat{H} = \frac{1}{2\Pi} \int_0^{2\Pi} sa(1, \nu + 1, \psi) \sin\left(\frac{\pi}{\Pi} \psi\right) d\psi, \quad \check{H} = \frac{1}{2\Pi} \int_0^{2\Pi} ca(\nu + 1, 1, \psi) \cos\left(\frac{\pi}{\Pi} \psi\right) d\psi.$$

Приймаючи до уваги, що остання система рівнянь описує коливання зернової маси у резонансній зоні, тобто при наближенні параметру  $a$  до  $a_p$ , різницю

$$\alpha a^{\frac{\nu}{2}} \frac{\Pi}{\pi} \left(\frac{\Pi_x}{l}\right)^{\frac{\nu+2}{2}} - \omega \text{ у другому рівнянні можна замінити більш простим виразом, а саме}$$

$$\alpha \frac{\Pi}{\pi} \left(\frac{\Pi_x}{l}\right)^{\frac{\nu+2}{2}} a_p^{\frac{\nu-2}{2}} (a - a_p).$$

Для деяких частот зовнішнього збурення та фізико-механічних характеристик зернової суміші значення амплітуди резонансу та амплітуди під час переходу через резонанс представлено у табл.1.

Таблиця 1 – Залежність амплітуди коливань під час переходу через резонанс від різних значень зовнішніх та внутрішніх параметрів

Параметри					
$l$ , см	$\alpha$	$\nu$	$\omega$ , $c^{-1}$	$a_p$ , см	$a$ , см
150	100	-2/3	10	2,754	12,513
150	100	-2/3	12	1,594	16.213
150	100	-2/3	15	0,861	25.187
150	150	-2/3	10	9,295	16,982
150	150	-2/3	12	5,379	15.198
150	150	-2/3	15	2,754	18.214
100	150	-2/3	10	20,915	26,137
100	150	-2/3	12	12,104	21.187
100	150	-2/3	15	6,197	20.143
100	100	-2/3	10	6,108	14,924
100	100	-2/3	12	3,586	15.132
100	100	-2/3	15	1,836	20.513
100	150	-2/5	10	3,580	11,732
100	150	-2/5	12	1,439	12,517
100	150	-2/5	15	0,471	17,784
100	150	-2/7	10	0,743	8,342
100	150	-2/7	12	0,207	11, 156
100	150	-2/7	15	0, 043	9,897

Крім цього, амплітуда переходу через резонанс залежить більшою мірою як для квазілінійних систем [7] від початкового значення різниці фаз власних та вимушених коливань та швидкості переходу через резонанс. Результати, які стосуються чисельного симулювання рівнянь у стандартному вигляді (7,8) за різних значень початкових фаз власних та вимушених коливань подані у табл. 2, а для різних швидкостей переходу через резонанс у табл. 3.

Таблиця 2 – Значення амплітуди коливань зернової маси під час переходу через резонанс за різних значень різниці початкових фаз власних та вимушених коливань при  $\nu = -2/7$

Параметри					
$l$ , см	$\alpha$	$\omega$ , $c^{-1}$	$a_p$ , см	$\vartheta_{ t=0}$ , рад.	$a$ , см
100	150	10	0,743	0	8,342
100	150	12	0,207	0	7,156
100	150	15	0,043	0	9,897
100	150	10	0,743	0,2	6,154
100	150	12	0,207	0,2	10,042
100	150	15	0,043	0,2	16,943
100	150	10	0,743	0,4	5,214
100	150	12	0,207	0,4	8,256
100	150	15	0,043	0,4	14,013
100	150	10	0,743	0,6	5,011
100	150	12	0,207	0,6	6,123
100	150	15	0,043	0,6	11,087
100	150	10	0,743	1,0	2,413
100	150	12	0,207	1,0	2,621
100	150	15	0,043	1,0	5,312

Таблиця 3 – Значення амплітуди коливань зернової маси під час переходу через резонанс за різних швидкостей походу через резонанс коливань при  $\nu = -2/7$

параметри						
$l$ , см	$\alpha$	$\omega$ , $c^{-1}$	$\vartheta_{ t=0}$ , рад.	$\nu$	Шв. переходу	$a$ , см
150	100	10	0	$-2/7$	3t	12,347
150	100	12	0	$-2/7$	3t	18,142
150	100	15	0	$-2/7$	3t	20,017
150	100	10	0	$-2/7$	12t	6,142

Продовження таблиці 3

150	100	12	0	$-2/7$	12t	8,173
150	100	15	0	$-2/7$	12t	13,125
150	100	10	0,6	$-2/7$	12t	3,845
150	100	12	0,6	$-2/7$	12t	4,464
150	100	15	0,6	$-2/7$	12t	7,422
150	100	10	0,6	$-2/5$	12t	6,213
150	100	12	0,6	$-2/5$	12t	4,827
150	100	15	0,6	$-2/5$	12t	6,224
150	100	10	0,3	$-2/5$	12t	7,531
150	100	12	0,3	$-2/5$	12t	6,423
150	100	15	0,3	$-2/5$	12t	8,731
100	150	10	0,3	$-2/3$	12t	7,413
100	150	12	0,3	$-2/3$	12t	8,326
100	150	15	0,3	$-2/3$	12t	13,147
100	150	10	0,3	$-2/3$	6t	10,213
100	150	12	0,3	$-2/3$	6t	12,641
100	150	15	0,3	$-2/3$	6t	19,016
100	150	10	1	$-2/3$	6t	4,831
100	150	12	1	$-2/3$	6t	4,762
100	150	15	1	$-2/3$	6t	5,681

**Висновки.** Із наведеного вище випливає, що резонансні коливання зернової суміші в процесі вібраційної обробки мають місце за певного співвідношення між частотою збурення коливань сепаратора, амплітуди коливань її вздовж сита та основних фізико-механічних параметрів зернової суміші. Крім цього для значень параметру  $-1 < \nu < 0$ :

- більшим значенням частоти збурення горизонтальних коливань вібраційного сепаратора відповідає менше значення амплітуди, за якої мають місце резонансні коливання та одночасно амплітуда коливань зернової суміші під час переходу через резонанс є більшою;

- більшим значенням параметру  $\nu$  відповідає менше значення амплітуди за якої має місце резонанс, а також менше значення амплітуди переходу через резонанс зернової маси;

- зростання початкового значення різниці фаз власних та вимушених коливань спричиняє зменшення амплітуди переходу через резонанс. Так зростання вказаної величини на 0,2 рад. спричиняє зменшення амплітуди переходу через резонанс до 26%. Що стосується швидкості переходу через резонанс, то для більш швидкого

зменшення різниці частот власних та вимушених коливань, амплітуда переходу через резонанс приймає менше значення.

## Список літератури

1. Анпилогов В. А. Исследование динамики частиц при объемной вибрационной обработке [Текст] / В. А. Анпилогов // Вопросы совершенствования технологических процессов машиностроения. – Ижевск, 1971. – С. 24 – 31.
2. Бабичев А. П. Проблемы вибрационной технологии [Текст] / А. П. Бабичев // Винница Всеукраинский научн. техн. журнал Вибрации в технике и технологиях. – 1994. – №1. – С. 1 – 3.
3. Стоцько З. А. Вплив оброблюваних деталей на динаміку завантаження контейнера вібромашини [Текст] / Стоцько З. А., Сокіл Б. І., Топільницький В. Г., Пилипишин М. В. // Укр. зб. Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2003. – Вип. 37.– С.39–43.
4. Заика П. М. Вибрационное перемещение твердых и сыпучих тел [Текст] / П. М. Заика. – К.: УСХА, 1998. – 625 с.
5. Волосов В. М. Метод осреднения в теории нелинейных колебательных систем [Текст] / Волосов Владимир Маркович, Моргунов Борис Иванович. – М.: МГУ, 1971. – 507 с.
6. Митропольский Ю. А. Асимптотические решения уравнений в частных производных [Текст] / Ю. А. Митропольский, Б. И. Моисеенков. – К.: Вища школа, 1976. – 216 с.
7. Боголюбов Н. Н. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний [Текст] / Н. Н. Боголюбов, Ю. А. Митропольский. – М.: Наука. –1974. – 504 с.

**Stanislav Geruk, Assoc. Prof., PhD tech. sci.**

*Zhytomyr Agricultural College, Zhytomyr, Ukraine*

**Andriy Dovbysh, post-graduate**

*National Scientific Centre "Institute for Agricultural Engineering and Electrification", Glevakha, Ukraine*

### **The influence of of disturbances on dynamics of vibrations vibration separator cereal mixture**

The grain mass oscillations amplitude when passing the resonance is studied at different values of the initial and forced oscillations difference. The differential equations that describe the oscillations of the grain mixture in resonance zone are deduced.

The graphic dependences of external excitation frequency on the grain mass oscillations amplitude and nonlinearity parameter are developed. The graphic dependences of the resonance amplitude on the external excitation frequency and nonlinearity parameter are developed as well.

It was found that the growth of the initial value of the phase difference of own and forced oscillations caused a reduction in the amplitude of passing through the resonance. Consequently, the growth of the given value by 0.2 rad caused a reduction in the amplitude of passing through the resonance to 26%.

**mathematical model, grain mixture, separator resonance**

Одержано 04.11.16

УДК 681.513.5

**Б.М. Гончаренко, проф., д-р техн. наук, В.Д. Кишенько, проф., канд. техн. наук, О.П. Лобок, доц., канд. фіз.-мат. наук, Є.В. Кронг, асп.**

*Національний університет харчових технологій, м.Київ, Україна*

**Л.Г. Віхрова, проф., канд. техн. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет, м.Кропивницький, Україна*

*E-mail: VIHROVALG@ukr.net*

## Розроблення автоматизованої системи керування технологічними процесами виробництва хліба з використанням сценарного підходу

Розглянуті підходи до інтенсифікації хлібопекарської промисловості, яка забезпечує попит населення України на хлібобулочні вироби. Розв'язання задач поліпшення якості продукції в хлібопекарському виробництві, раціонального використання ресурсів і сировини, підвищення продуктивності технологічних ліній неможливе без автоматизації технологічних процесів на основі сучасних інформаційних технологій, передових досягнень в теорії та практиці автоматизованого керування. В статті розглянуті зміст та приклади сценаріїв абстрактного (А) та структурного (С) керування та їхня реалізація. Проведене представлення вхідних та вихідних змінних процесів у вигляді нечітких величин [1]. Сформоване графічне зображення А- та С-сценаріїв керування.

Технологічні процеси промислового хлібопекарського виробництва є складним технологічним комплексом, характерними особливостями якого є високий ступінь невизначеності, велика розмірність, латентність показників якості сировини та напівфабрикатів, багатоцільова поведінка, коли пріоритетність цілей залежить від ситуації, яка виникає в залежності від стану об'єкта керування. Рекомендоване використання при автоматизації хлібопекарського виробництва сценаріїв та алгоритмів керування із застосуванням інтелектуальних механізмів сприятиме розв'язанню вищезначених задач.

**хлібопекарське виробництво, інформаційні технології, автоматизація виробництва, сценарний підхід, А- та С- сценарії керування**

**Б.Н. Гончаренко, проф., д-р техн. наук, В.Д. Кишенько, проф., канд. техн. наук, А.П. Лобок, доц., канд. фіз.-мат. наук, Є.В. Кронг, асп.**

*Національний університет пищевых технологий, г. Киев, Украина*

**Л.Г. Вихрова, проф., канд. техн. наук**

*Кировоградский национальный технический университет, г.Кропивницкий, Украина*

**Разработка автоматизированной системы управления технологическими процессами производства хлеба с использованием сценарного подхода**

Рассмотрены подходы к интенсификации хлебопекарной промышленности, которая обеспечивает спрос населения Украины на хлебобулочные изделия. Решение задач улучшения качества продукции в хлебопекарном производстве, рационального использования ресурсов и сырья, повышение производительности технологических линий невозможно без автоматизации технологических процессов на основе современных информационных технологий, передовых достижений в теории и практике автоматизированного управления. В статье рассмотрены содержание и примеры сценариев абстрактного (А) и структурного (С) управления и их реализация. Проведено представление входных и выходных переменных процессов в виде нечетких величин. Сформировано графическое изображение А- и С-сценариев управления.

**хлебопекарное производство, информационные технологии, автоматизация производства, сценарный подход, А- и С-сценарии управления**

**Постановка проблеми.** Існуючі системи автоматизації технологічних процесів хлібопекарського виробництва не забезпечують оперативного комплексного реагування на швидкоплинні зміни ситуаційної поведінки об'єктів керування, яка залежить від багатьох чинників технологічного та організаційного характеру. Поліпшення якості продукції в хлібопекарському виробництві, раціональне використання ресурсів і сировини, підвищення продуктивності технологічних ліній неможливі без автоматизації технологічних процесів на основі сучасних інформаційних технологій, передових досягнень в теорії та практиці автоматизованого керування [2,6], наприклад, на основі сценарного підходу.

**Постановка завдання.** Метою статті є підвищення техніко-економічних показників хлібопекарського виробництва шляхом створення автоматизованої системи багатоцільового керування з використанням сценаріїв виробничих ситуацій та інтелектуальних механізмів.

**Виклад основного матеріалу.** В хлібопекарській промисловості основна сировина може відрізнитися своїми якісними характеристиками. Широкий діапазон зміни якості сировини суттєво впливає на перебіг технологічних процесів і здійснює постійні збурювальні впливи, які ускладнюють керування процесами виробництва.

Для запобігання браку продукції та отримання задовільної якості хлібобулочних виробів з борошна з пониженими хлібопекарськими властивостями можна регулювати перебіг технологічних процесів за допомогою різних технологічних прийомів. Параметри технологічних процесів, таких, як зберігання сировини, тривалість замісу, температура тіста, температура, вологість та тривалість вистоювання, температура та тривалість випікання також впливають на якість готового продукту (рис. 1).

Опарний спосіб дає кращий результат при переробці слабкого та дефектного борошна з неякісного зерна.

Для розроблення ефективної системи автоматизації розглянемо основні складові етапи та операції, виділивши задачі та проблеми кожного з етапів.

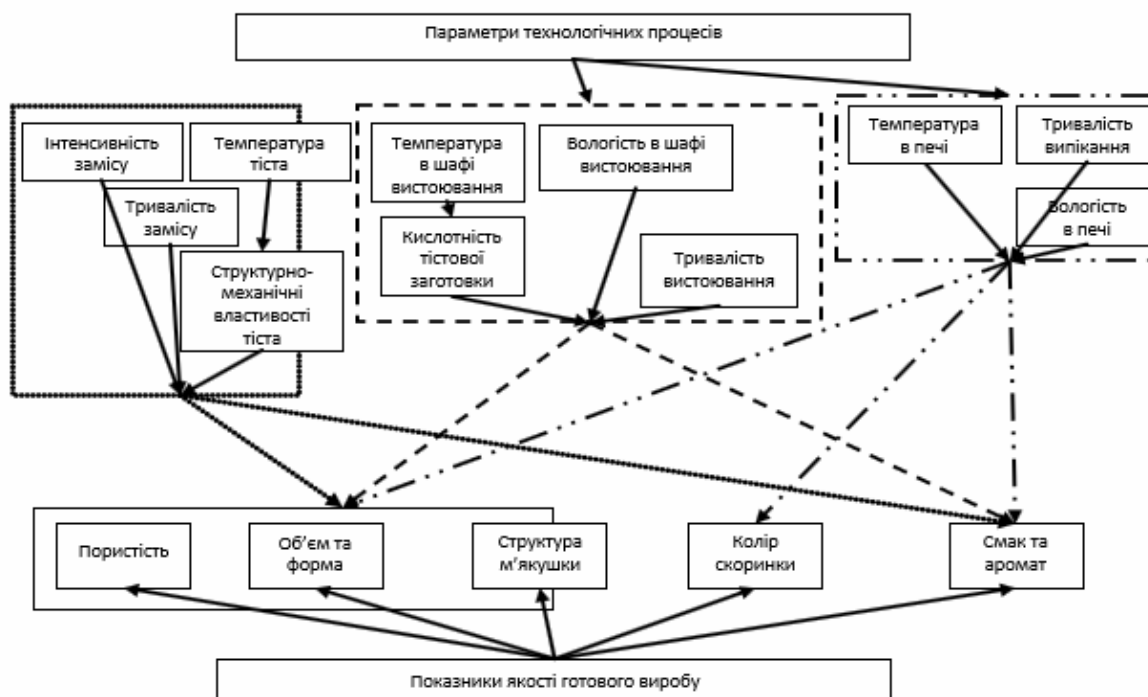


Рисунок 1 – Показники якості готового хлібопекарського виробу

Типова схема автоматичного регулювання вологості на тістомісильних апаратах неперервної дії, наведена на рис. 2. Недоліком даної схеми є те, що вона розрахована на стабільну якість борошна. Тому раціональним буде доповнити її системою підтримки прийняття рішень, використання якої сприятиме ефективній переробці борошна іншої якості.

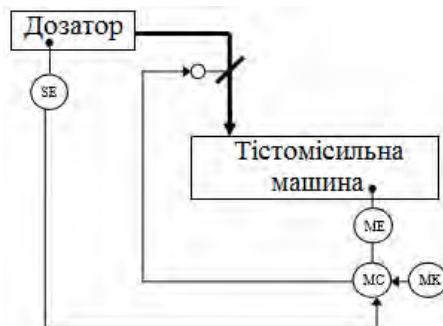


Рисунок 2 – Типова схема автоматичного контролю та регулювання вологості напівфабрикатів та тіста

Тривалість бродіння напівфабрикатів є одним з основних параметрів процесу приготування тіста [3]. Для його регулювання масу напівфабрикату в ємності для бродіння фіксує зважувальний механізм (WE, WT), а витрату враховує витратомір (FE, FT), ці дані опрацьовуються в (WY) за відповідною формулою (рис. 3):

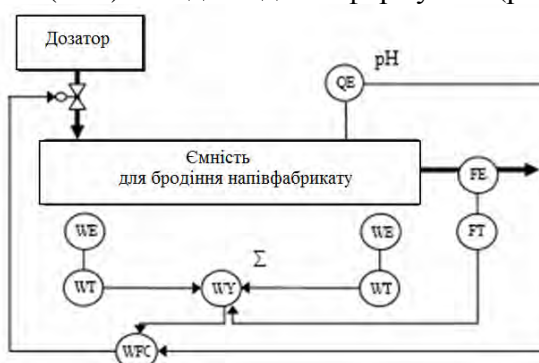


Рисунок 3 – Типова схема регулювання тривалості бродіння

При зміні тривалості бродіння (внаслідок порушень в роботі дозаторів чи при зміні продуктивності агрегату) розрахунковий пристрій (WFC) дає команду про зміну продуктивності дозаторів до встановлення нової маси.

Ступінь механічного оброблення тіста при замісі характеризується величиною витраченої енергії. За схемою на рис. 4 крутний момент визначається давачем, що передає сигнал на регулювальний пристрій, який відповідно до реологічних властивостей тіста для даного сорту борошна керує частотою обертання, нахилом місильних лопатей чи тривалістю замісу.

На даному етапі необхідно контролювати масу тістової заготовки та ступінь її готовності до випікання. Керованими параметрами є температура та вологість повітря в шафі вистоювання, а також тривалість вистоювання.

Регулювання маси тістової заготовки шляхом стабілізації рівня тіста над подільником з давачами рівня не дає необхідної точності, тому доцільно здійснювати стабілізацію температури та вологості в шафі вистоювання і регулювати лише тривалість вистоювання.

Сформована тістова заготовка до вистоювання має безпористу структуру. Тому для релаксації напруг, розпушування тістової заготовки, і надання їй форми

майбутнього хліба проводиться процес остаточного вистоювання. Щоб даний процес протікав достатньо інтенсивно і без підсихання поверхні тістової заготовки, параметри повітря в шафі вистоювання повинні відповідати певним значенням температури і відносної вологості (35-45°C, 75-85%). При вистоюванні протікають біохімічні, мікробіологічні, колоїдні і фізичні процеси. Далі хліб випікають. Якість готових виробів оцінюють за даними аналізу середніх проб, відібраних від партії хлібобулочних виробів, згідно з ДСТ.

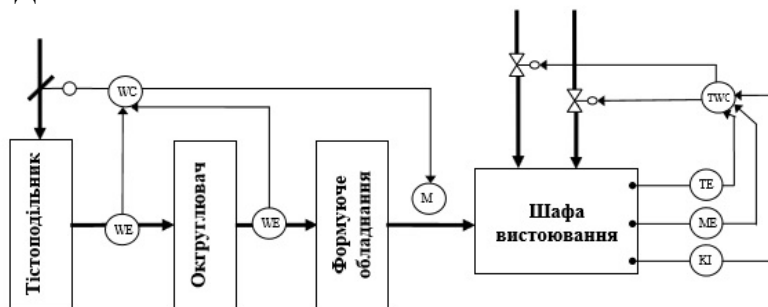


Рисунок 4 – Типова схема автоматичного регулювання оброблення тіста

Хлібопекарська промисловість характеризується високим ступенем невизначеності, для усунення якої можна використати певні керування на різних етапах технологічного процесу. Так, наприклад, інтенсивний заміс тіста скорочує тривалість бродіння. Недостатня виброженість тіста може компенсуватись за рахунок збільшення тривалості вистоювання та випічки при відповідних режимах – підвищенні відносної вологості повітря в шафі вистоювання та середовища в пекарній камері, збільшення температури вистоювання та зниження температури випікання [4]. Отже, однакові кінцеві результати функціонування технологічного процесу можна отримати при різних режимних параметрах та різній структурі технологічної схеми, що забезпечує широкий вибір керувальних дій при проектуванні технологічної схеми та при її аналізі, з метою покращення системи керування. Але перебрати всі можливі варіанти структури та вибрати з них оптимальні практично неможливо.

Поліпшити ситуацію можливо за рахунок використання сценаріїв керування хлібопекарським виробництвом на основі когнітивно - сценарних моделей технологічних процесів, а також алгоритмів керування із застосуванням інтелектуальних механізмів [5].

Для забезпечення якості продукції та процесів її виробництва на рівні АСУТП необхідно здійснювати тотальний моніторинг ТП; оптимальне та адаптивне регулювання процесу; неперервний контроль технічного стану апаратури та функціонування виробничого об'єднання; моніторинг якості та витрат ресурсів; моніторинг неконтрольованих дій на об'єкт; забезпечення достовірності даних про якість процесів і продукції [6].

Виділяються різні підходи до керування технологічними системами: системний, процесний, ситуаційний.

Ситуаційний підхід концентрується на ситуаційних відмінностях, він визначає, які змінні ситуації значущі і як вони впливають на ефективність керування. Ситуаційний підхід до керування досліджує, які моделі та алгоритми ефективні і на основі цього аналізу пропонуються рішення про побудову системи керування для конкретних умов.

Послідовність певних дій в сценарії має властивість причинності і передбачає зв'язок попередньої дії з наступною. Реалізація сценаріїв керування технологічними процесами здійснюється на основі нечіткої моделі представлення знань. Такий спосіб є

достатньо гнучким та зручним для представлення логічних зв'язків між елементами сценаріїв [6].

Для ефективного керування якістю продукції необхідно мати моделі якості, які встановлюються на основі експертного опитування та кваліметрії.

Сценарний підхід дозволяє проводити багатоваріантний ситуаційний аналіз модельованої системи. Сценарій – спосіб досягнення поставлених цілей з урахуванням чинників впливу середовища, в якому перебуває система, що характеризується цілями, чинниками впливу, операціями, між- операційними зв'язками. Операція як крок сценарію по-різному визначається в абстрактному А- та структурному С-сценаріях. В А- випадку операція не враховує внутрішню структуру об'єкта при перетворенні вхідних об'єкта у вихідні («чорний ящик»). С-сценарій деталізує внутрішню структуру об'єктів, які описані наборами властивостей-атрибутів. Атрибути набувають значення у деяких областях. Ці значення можуть змінюватися за визначеними правилами. Операція С-сценарію є блоком, в якому розміщені об'єкти з однаковим набором атрибутів. Сценарій характеризується такими складовими: цілями, чинниками впливу, операціями, міжопераційними зв'язками.

С-сценарій деталізує А-сценарій з урахуванням еволюції об'єкта при виконанні операцій та передачі об'єктів від одних операцій до інших. Еволюція об'єктів проявляється у зміні значень атрибутів, при переходах виникають «мутації» – поява нових ознак і втрата ознак, що стали непотрібними. Кожен клас С-сценарію працює автономно і взаємодіє з іншими класами і зовнішнім середовищем, щоб внести у вхідні черги нові об'єкти та видалити з вихідних черг «відпрацьовані» об'єкти.

Послідовність керувальних діянь визначалася на множині вхідних та вихідних змінних, представлених як нечіткі величини [7]. Кожен сценарій зв'язує зміну зовнішніх умов з результируючими вихідними змінними. С-сценарій визначає, як зазначалося, внутрішню структуру об'єкта і описує її наборами властивостей-атрибутів. Операція С-сценарію являє собою блок, в якому розміщені об'єкти з однаковим набором атрибутів, і трактується як клас, складники якого належать до деякого простору [8].

Сформуємо графічне представлення А-сценарію системи (рис. 5).

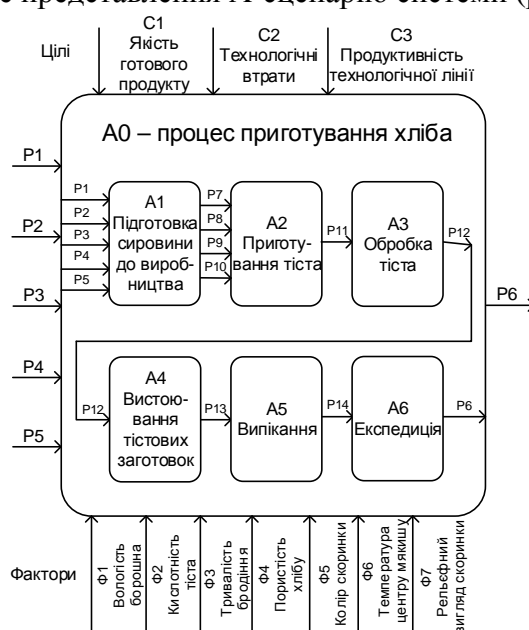


Рисунок 5 – Графічне представлення А-сценарію системи

Об'єктні потоки в А-сценарії процесу приготування хліба подано в табл. 1.

Таблиця 1 – Позначення об'єктних потоків даних

Позначення	Зміст
P1	Подавання борошна
P2	Подавання води
P3	Подавання солі
P4	Подавання дріжджового розчину
P5	Подавання допоміжної сировини
P6	Вихід готової продукції до торгової мережі
P7	Подавання підготовленого борошна
P8	Подавання води
P9	Подавання опари
P10	Подавання допоміжної сировини (решта за рецептурою)
P11	Подавання тіста
P12	Подавання тістових заготовок
P13	Подавання тістових заготовок після вистоювання
P14	Вихід готової продукції

Будемо розрізняти, по-перше, моделювання функціонування існуючої системи, і по-друге, моделювання розвитку системи. Сценарний підхід ефективніший при застосуванні до розвитку системи. При цьому сценарій має включати прогнозування розвитку системи при різних стратегіях, вибір (на основі результатів прогнозування) найкращої стратегії, операції з реалізації вибраної стратегії [5].

А-сценарій перетворюється в С-сценарій таким чином [9]:

- структуруються об'єкти;
- вводяться класи об'єктів та переходи між ними, формуються описи життєвих циклів всередині кожного класу;
- визначається набір інтегральних показників функціонування системи (значення цих показників встановлюються в ході імітаційного моделювання С-сценарію);
- задаються вирази залежностей ступеню досягнення цілей від інтегральних показників та факторів впливу.

Важливим етапом передбачення є оцінка реалістичності розроблених сценаріїв із попереднім визначенням умовних ймовірностей подій, що формують ці сценарії. Головна особливість умовних ймовірностей полягає в тому, що в такому разі вони фактично є психологічною оцінкою ймовірності тієї чи іншої події.

На рис. 6 наведений фрагмент С-сценарію на основі сценарію А1 – підготовка сировини до виробництва.

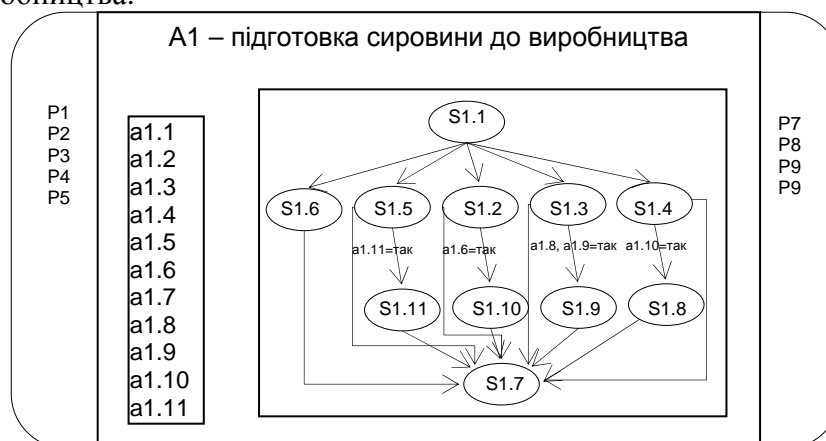


Рисунок 6 – Фрагмент С-сценарію, клас А1

Атрибути об'єктів вказані в табл.2.

Таблиця 2 – Атрибути об'єктів С-сценарію.

Клас	Позначення атрибута	Зміст атрибута
A1	a 1.1 a 1.2 a 1.3 a 1.4 a 1.5 a 1.6 a 1.7 a 1.8 a 1.9 a 1.10	Сила борошна Колір борошна Вміст випадкових домішок Газоутворювальна здатність Вологість борошна Крупність борошна Кислотність борошна Колір води Мутність води % вміст нерозчинних речовин в соляному розчині Швидкість піднімання тіста
A2	a 2.1 a 2.2 a 2.3 a 2.4 a 2.5 a 2.6 a 2.7	Вологість борошна Кислотність борошна Вологість опари Температура опари Час дозрівання Дозрілість тіста Вологість тіста Температура тіста
A3	a 3.1 a 3.2 a 3.3	Густина тіста Вологість тістової заготівки Тривалість вистоювання
A4	a 4.1 a 4.2 a 4.3	Температура в шафі для вистоювання Відносна вологість повітря Тривалість вистоювання
A5	a 5.1 a 5.2 a 5.3 a 5.4 a 5.5 a 5.6 a 5.7 a 5.8	Температура м'якушки Колір скоринки Клейкість м'якушки Маса тістової заготівки Температура печі Тривалість випічки Вологість в пекарній камері Об'єм тістової заготівки
A6	a 6.1 a 6.2	Органолептичні показники Маса виробу

**Висновки.** Використання сценаріїв та алгоритмів керування із застосуванням інтелектуальних механізмів сприятиме підвищенню продуктивності виробництва, зменшенню питомих втрат і витрат ресурсів та сировини, поліпшенню якості продукції. Наведені зміст та приклади сценаріїв абстрактного (А) та структурного (С) керування та їх реалізація. Проведене представлення вхідних та вихідних змінних процесів у вигляді нечітких величин. Сформоване графічне зображення А- та С-сценаріїв керування.

## Список літератури

1. Ладанюк А.П. Основи системного аналізу: навч. посіб.[Текст] / А.П. Ладанюк. – Вінниця: Нова книга, 2004. – 176 с.
2. Шаруда С.С. Автоматизована система багатоцільового управління технологічними процесами хлібопекарського виробництва на основі сценарного підходу: автореферат дис. канд. техн. Наук [Текст] / С.П. Шаруда. – К., 2009. – 23 с.
3. Кишенько В.Д. Автоматичне управління процесами приготування тіста в хлібопекарському виробництві : дис. канд. техн. наук: 05.13.07 [Текст] / В.Д. Кишенько. – К., 1995. – 294 с.
4. Кафаров В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологи [Текст] / В.В. Кафаров; – М.: Химия, 1976. – 464 с.
5. Методы формирования сценариев развития социально-экономических систем [Текст] / [Кульба В.В., Кононов Д.А., Косяченко С.А., Шубин А.Н.]. – М.: СИНТЕГ, 2004. – 296 с.
6. Ладанюк А.П. Інноваційні технології в управлінні складними біотехнологічними об'єктами агропромислового комплексу [Текст]: монографія / А.П. Ладанюк, В.М. Решетюк, В.Д. Кишенько, Я.В. Смітюх. – К.: «Центр учбової літератури», 2014. – 280 с.
7. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB [Текст] / С.Д.Штовба. – М.: Горячая линия, 2007. –288 с.
8. Юдицкий С.А.Сценарный подход к моделированию поведения бизнес-систем. Серия: Управление организационными системами [Текст] / С.А. Юдицкий. – М.: Синтегб, 2001. – 112 с.
9. Ладанюк А.П. Сучасні методи автоматизації технологічних об'єктів [Текст]: монографія / А.П. Ладанюк, О.А. Ладанюк, Р.О.Бойко, В.В. Іващук, Д.О.Кроніковський, Д.А.Шумігай. – К.: «Інтер Логістик Україна», 2015. – 408 с.

**Borys Goncharenko, Prof., DSc., Vasyl Kischenko, Prof., PhD tech. sci., Olexiy Lobok, Assoc. Prof., PhD phys. & math., Yevgenia Kronh, post-graduate**

*National University of Food Technologies, Kiev, Ukraine*

**Larysa Vikhrova, Prof., Ph.D tech. sci.**

*Kirovograd National Technical University, Kropyvnickiy, Ukraine*

### **Development of automated process control systems of production of bread using scenario approach**

Approaches to intensify the baking industry that provides consumer demand for bakery Ukraine. The article deals with the content and scripts abstract examples (A-) and structural (C-) controls and their implementation. A study represent input and output variables in a process of fuzzy variables. The current graphic representation of A- and C-control scenarios. Processes for industrial bakery production is a complex technological complex, theme which is the high degree of uncertainty, a large dimension latency indicators of quality of raw materials and semi-finished multi behavior when the priority targets depending on the situation that arises depending on the control object. Recommended use in bakery production automation scripts and control algorithms using intelligent mechanisms contribute to resolving the mentioned above problems.

Problem solving improve product quality in the baking industry, rational use of resources and raw materials, improved performance of production lines is impossible without automation of technological processes based on modern information technology, the latest achievements in the theory and practice of automatic control.

**breadmaker production, information technology, manufacturing automation, scenario approach, A- and C-control scripts**

Одержано 07.06.16

УДК 621.9.048.4

**І.І. Єніна, доц., канд. техн. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет, м.Кропивницький, Україна*

*E-mail: omata@ukr.net*

## Дослідження взаємодії електромагнітного поля з ґрунтом

В роботі запропоновано та досліджено використання нормальних хвиль до поверхні ґрунту. Основними інформативними параметрами при цьому є характеристики середовища: діелектрична проникність і кут падіння електромагнітної хвилі. Характеристиками взаємодії електромагнітної хвилі з поверхнею ґрунту є коефіцієнт відбиття та коефіцієнт проходження електромагнітних хвиль.

При цьому, джерело та приймач випромінювання можуть бути об'єднані в одній приймально-передавальній антені.

**ґрунт, електромагнітне поле, діелектрична проникність, електромагнітні хвилі, коефіцієнт відбиття, параметр оптимізації**

**И.И. Енина, доц., канд. техн. наук**

*Кировоградский национальный технический университет, г. Кропивницкий, Украина*

**Исследование взаимодействия электромагнитного поля с почвой**

В работе предложено и исследовано использования нормальных волн к поверхности почвы. Основными информативными параметрами при этом являются характеристики среды: диэлектрическая проницаемость и угол падения электромагнитной волны. Характеристиками взаимодействия электромагнитной волны с поверхностью почвы является коэффициент отражения и коэффициент прохождения электромагнитных волн.

При этом источник и приемник излучения могут быть объединены в одной приемо-передающей антенне.

**почва, электромагнитное поле, диэлектрическая проницаемость, электромагнитные волны, коэффициент отражения, параметр оптимизации**

**Постановка проблеми.** Метою даної роботи є обґрунтування інформативних параметрів ґрунту, а саме взаємодії високочастотного електромагнітного поля з середовищем.

Поставлена мета реалізується шляхом вирішення наступних задач: дослідження та аналізу амплітудних коефіцієнтів відбиття та проходження електромагнітних хвиль при падінні на границю розподілу середовища; використання можливості об'єднання функцій випромінювання та прийому в одній приймально-передаючій антені.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Характеристиками поширення електромагнітних хвиль у хвилеводі зазнають впливу від зміни вологості розміщеного у ньому матеріалу. Використання хвилевих вологоміврів обмежується рідкими середовищами. При дискретних вимірах вологості керамічної ваги у діапазоні 17–21%, абсолютна похибка склала  $\pm 1,2\%$  [2].

Основою методів прохідних хвиль є залежність від вологовмісту матеріалу затухання або фазового зсуву хвилі, яка проходить крізь нього. Серед методів надвисокочутливий (НВЧ) цей найбільш поширений. Окрім вологості на затухання хвилі значно впливає щільність матеріалу. Приймальна та передаюча антени, або

пасивний відбивач повинні пересуватися у ґрунті. При цьому втрачається перевага безконтактності методу.

Прикладом реалізації методу є пристрій, розроблений в ЦНІРЕС Росії. Він розроблений на базі НВЧ-радару зі ступінчастою зміною частоти. Передавач працює на частотах 200, 400, 600, 800 і 1000 МГц. Вимірювання проводиться на поверхні ґрунту з допомогою малозаглиблених (7,5 см) штирьових антен. Відновлення профілю вологості здійснюється на основі фазово-частотних і амплітудно-частотних характеристик з застосуванням модельних залежностей. Метод не є безконтактним.

**Постановка завдання.** Виходячи із наведеного, метою даної роботи є оцінка використання нормальної хвилі до поверхні ґрунту для контролю вологості по коефіцієнту відбиття; застосування електромагнітного контролю характеристик середовищ і узгодження характеристики з параметрами електромагнітних хвиль кількісних характеристик інформативних параметрів ґрунту для безконтактного виміру.

**Виклад основного матеріалу.** Для вирішення задачі вимірювання вологості ґрунту необхідні дані про електричні характеристики середовища, отримані методом розповсюдження хвиль у вільному просторі [1].

Плоска електромагнітна хвиля, з деякими допущеннями, відповідає законам геометричної оптики. Комплексний коефіцієнт заломлення речовини на яку падає хвиля

$$n^* = n - jk, \quad (1)$$

де  $k$  – коефіцієнт поглинання, який визначає швидкість згасання амплітуди хвилі по мірі її проходження в середовище.

В свою чергу із рівняння Максвелла [2]:

$$n^* = \sqrt{\varepsilon^*} = \sqrt{\varepsilon' - j\varepsilon''}, \quad (2)$$

де  $\varepsilon'$  та  $\varepsilon''$  – дійсна та уявна частини діелектричної проникливості.

Таким чином, речовина в високочастотному електромагнітному полі може бути однозначно охарактеризована однією комплексною електричною величиною або парою скалярних. Згідно Дебаю використовується поняття комплексної відносної діелектричної проникливості [2]:

$$\varepsilon = \varepsilon' - j \cdot \varepsilon'' = \varepsilon'_{\infty 0} + \varepsilon_{\infty 0} - \frac{\varepsilon'_{\infty 0}}{1 + j\omega\tau}, \quad (3)$$

де  $\varepsilon'$  і  $\varepsilon''$  – дійсна та уявна частини діелектричної проникливості;

$\varepsilon'_{\infty 0}$  і  $\varepsilon''_{\infty 0}$  – оптична та статична діелектричні постійні;

$\omega$  – циклічна частота;

$\tau$  – час релаксації.

Діелектрична проникність є характеристикою речовини, що відображає процеси поляризації її атомів, іонів, молекул, ансамблей молекул і цілих структур.  $\varepsilon'$  для ґрунту, що представляє собою складну гетерогенну систему, залежить від складу діелектричних властивостей мінеральної основи твердого тіла, структури, дисперсності, пористості від особливостей діелектричної поляризації, форми зв'язку повітря та води з твердою фазою, вологості та температури системи, частоти електромагнітного поля. Для характеристики речовин в електромагнітному полі використовують також похідні величини: провідність  $\sigma$  та тангенс кута діелектричних втрат  $tg\delta$ , причому

$$\sigma = \omega \varepsilon_0 \cdot \omega'' , \quad (4)$$

де  $\varepsilon_0$  – абсолютна діелектрична проникливість вакууму.

Під дією змінного електромагнітного поля в середовищі виникає струм, який містить дві складові. Одна з них співпадає по фазі з зовнішнім полем та визиває поглинання його енергії на нагрів середовища. Це струм провідності. Друга – випереджає зовнішнє поле по фазі на  $\pi/2$  та вкладу в поглинання енергії не вносить і його називають струмом зміщення. Складові комплексної діелектричної проникливості і тангенс кута втрат зв'язані співвідношенням  $tg\delta = \varepsilon''/\varepsilon'$ . Якщо  $tg\delta \gg 1$ , то середовище може вважатися провідником, якщо  $tg\delta \ll 1$ , середовище представляє собою діелектрик. Величина  $\varepsilon$  та  $tg\delta$  залежать від частоти. При зміні частоти електромагнітних хвиль в широкому діапазоні частот властивості одного і того ж середовища можуть значно змінюватися. Це, в першу чергу, відноситься до середовищ, що займають проміжне положення між провідником та діелектриком, до яких відноситься ґрунт. Гранична частота, при якій  $tg\delta = 1$ , для сухого і вологого ґрунту, відповідно, 0,5 та 10 МГц [3].

При застосуванні електромагнітного контролю характеристик середовищ і матеріалів необхідно узгодити характеристики з параметрами електромагнітних хвиль. Це здійснюється за допомогою хвильового рівняння Максвелла. Рішення цього рівняння виглядає наступним чином [4, 5, 6]

$$\left. \begin{aligned} \vec{E} &= \vec{E}_0 e^{j\omega t - \gamma x} \\ \vec{H} &= \vec{H}_0 e^{j\omega t - \gamma x} \end{aligned} \right\} , \quad (5)$$

де  $\vec{E}, \vec{H}$  – вектори напруженостей електричного і магнітного полів в момент  $t$ , в точці простору з координатою  $X$ ;

$\vec{E}_0, \vec{H}_0$  – початкові значення  $\vec{E}$  та  $\vec{H}$ ;

$\gamma$  – постійна розповсюдження,

$$\gamma = j\omega\sqrt{\varepsilon\varepsilon_0\mu\mu_0} = \alpha + j\beta , \quad (6)$$

де  $\mu$  – комплексна магнітна проникливість:

$$\mu = \mu' - j\mu'' , \quad (7)$$

але для ґрунту – маломанітного середовища  $-\mu'' = 0$  і  $\mu = \mu'' = 1$ ;  $\alpha$  – коефіцієнт затування;  $\beta$  – фазова постійна, причому [8]:

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \omega\sqrt{\varepsilon_0\varepsilon'\mu_0}\sqrt{1/2(-1 + \sqrt{1 + tg^2\delta})} = \frac{2\pi}{\lambda_0}\sqrt{\varepsilon'/2(-1 + \sqrt{1 + tg^2\delta})} \\ \beta &= \omega\sqrt{\varepsilon_0\varepsilon'\mu_0}\sqrt{1/2(1 + \sqrt{1 + tg^2\delta})} = \frac{2\pi}{\lambda_0}\sqrt{\varepsilon'/2(1 + \sqrt{1 + tg^2\delta})} \end{aligned} \right\} , \quad (8)$$

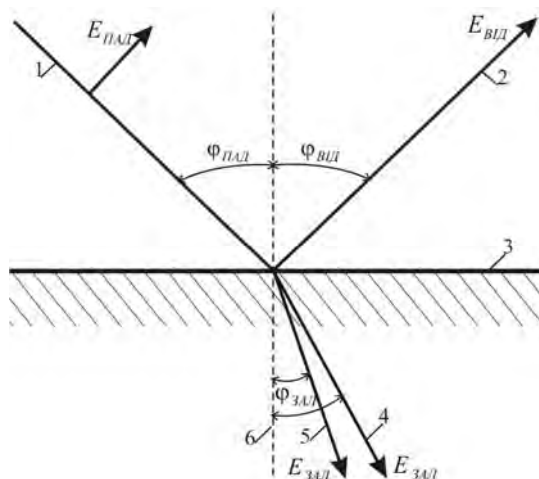
де  $\lambda_0$  – довжина хвилі в вакуумі;

$\alpha$  – характеристика поглинання енергії хвиль речовиною. Відстань, на якій компоненти (8) поля зменшуються у  $e$  раз, називається ефективною глибиною проникнення хвиль у речовину  $D$  та визначається рівнянням:

$$D = 1/\alpha. \quad (9)$$

Взаємодія хвиль з ґрунтом супроводжується їх відбиттям та заломленням на границі розподілу.

Процеси при відбитті та проходженні плоскої хвилі через плоску границю повітря-середовище пояснюються (рис. 1) [2].



1,2 – падаючий, відбитий промені; 4,5 - заломлені промені; 3 – середовище;  
6 – нормаль до поверхні;  $\varphi_{пад}$  – кут падіння, відбиття;  $\varphi_{зал}$  – кут заломлення;  
 $E_{пад}, E_{від}, E_{зал}$  – електричні вектори падаючої, відбитої і заломленої хвиль

Рисунок 1 – Відбиття і заломлення електромагнітних хвиль на межі двох середовищ

При цьому виконуються два відомих закони Снеліуса – закони відбиття:

$$\varphi_{пад} = \varphi_{від}, \quad (10)$$

та закон заломлення (для хвилі, що розповсюджується з першого середовища в друге):

$$\frac{\sin \varphi_{пад}}{\sin \varphi_{зал}} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \sqrt{\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}}, \quad (11)$$

де  $\varphi_{пад}, \varphi_{від}, \varphi_{зал}$  – кути падіння, відбиття та заломлення;

$\lambda_1, \lambda_2$  – довжини хвиль;

$v_1, v_2$  – швидкості розповсюдження в першому та другому середовищах, відповідно.

Амплітудні коефіцієнти відбиття  $r$  та проходження  $\tau$  електромагнітних хвиль при падінні на плоску границю розподілу середовища визначаються рівняннями Френеля [7]. Якщо хвиля падає з повітряного середовища  $\varepsilon_1 = 1$  на поверхню речовини

з комплексною діелектричною проникливістю  $\varepsilon_2 = \varepsilon$ , то формули Френеля коефіцієнтів відбиття перпендикулярно та паралельно поляризованих хвиль, мають вигляд:

$$\left. \begin{aligned} r_{\perp} &= \left( \cos \varphi_{na\partial} - \sqrt{\varepsilon - \sin^2 \varphi_{na\partial}} \right) / \left( \cos \varphi_{na\partial} + \sqrt{\varepsilon - \sin^2 \varphi_{na\partial}} \right), \\ r_{\parallel} &= - \left( \sqrt{\varepsilon - \sin^2 \varphi_{na\partial}} - \varepsilon \cdot \cos \varphi_{na\partial} \right) / \left( \sqrt{\varepsilon - \sin^2 \varphi_{na\partial}} + \varepsilon \cdot \cos \varphi_{na\partial} \right) \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Коефіцієнти відбиття являються функціями характеристики середовища  $\varepsilon$  та кута падіння електромагнітної хвилі  $\varphi_{na\partial}$ . Якщо джерело та приймач електромагнітних хвиль встановити на мобільному об'єкті та здійснити контроль вологості ґрунту, підібравши в якості інформативного параметра коефіцієнт відбиття  $r$ , то останній буде змінюватись як від зміни вологості, так і зміни положення первинного перетворювача відносно поверхні контрольованої поверхні ґрунту. Це можливо відобразити рівнянням:

$$dr(\varepsilon, \varphi_{na\partial}) = \frac{\partial r}{\partial \varepsilon} d\varepsilon + \frac{\partial r}{\partial \varphi_{na\partial}} d\varphi_{na\partial}. \quad (13)$$

Перший доданок представляє собою корисний сигнал, а другий є заважаючим фактором.

Параметром оптимізації  $k$  можна прийняти відношення сигнал-перешкода, максимальне значення якого буде критерієм при виборі виду поляризації та оптимального кута  $\varphi_{na\partial}$ . Обчисливши похідні, що входять у вираз (12), для двох можливих типів поляризації, отримаємо:

$$k_{\perp} = \left| \frac{\partial r_{\perp}}{\partial \varepsilon} \right| / \left| \frac{\partial r_{\perp}}{\partial \varphi_{na\partial}} \right| = \left| \frac{\text{ctg} \varphi_{na\partial}}{2(\varepsilon - 1)} \right|, \quad (14)$$

$$k_{\parallel} = \left| \frac{\partial r_{\parallel}}{\partial \varepsilon} \right| / \left| \frac{\partial r_{\parallel}}{\partial \varphi_{na\partial}} \right| = k_{\perp} \left( 1 - \frac{2}{\varepsilon} \sin^2 \varphi_{na\partial} \right). \quad (15)$$

Максимум обох параметрів досягається одночасно при  $\varphi_{na\partial} = \varphi_0$ . При цьому два рівняння (14, 15) перетворюються в одне:

$$r = E_{\text{від}} / E_{na\partial} = r_{\perp} \Big|_{\varphi_{na\partial=0}} = r_{\parallel} \Big|_{\varphi_{na\partial=0}} = \frac{1 - \sqrt{\varepsilon}}{1 + \sqrt{\varepsilon}}. \quad (16)$$

Для коефіцієнта проходження аналогічно отримаємо:

$$\tau = E_{\text{прох}} / E_{\text{від}} = \tau_{\perp} \Big|_{\varphi_{na\partial=0}} = \tau_{\parallel} \Big|_{\varphi_{na\partial=0}} = \frac{2}{1 + \sqrt{\varepsilon}}. \quad (17)$$

**Висновки.** Для контролю вологості по коефіцієнту відбиття запропоновано використання нормальної хвилі до поверхні ґрунту. Джерело та приймач хвиль в цьому випадку повинні розташовуватись на одній нормалі, тобто бажано використовувати можливість об'єднання функцій випромінювання та прийому в одній прийнятно-передаючій антені. Остання повинна бути такою, щоб вектори  $\vec{E}$  та  $\vec{H}$  створеного нею поля лежали в горизонтальній площині.

## Список літератури

1. Єніна І.І. Експериментальні дослідження електричних характеристик ґрунту для автоматичного дистанційного вимірювання вологості [Текст] / І.І. Єніна // Тезиси докладов междунар. научно-практической конф. «Современные информационные технологии в управлении и профессиональной подготовке операторов сложных систем», ДЛАУ. г.Кировоград, 18-19 декабря, ДЛАУ, 2003. – С. 55-57.
2. Федоткин И.М. Физико-технические основы влагометрии в пищевой промышленности [Текст] / И.М. Федоткин, В.П. Ключков. – К. : Техника, 1974. –320 с.
3. Троицкий Н.В. Диэлектрические свойства и влажность почвы: автореф. дис. канд. техн. наук. [Текст] / Ленинград, Агрофизический институт. – Л., 1974. –18 с.
4. Петров Б.М. Электродинамика и распространение радиоволн [Текст] / Б.М. Петров. – М. : Радио и связь, 2000. – 559 с.
5. Тимофеев В.А. Электромагнитные поля и волны: Учебное пособие [Текст] / В.А. Тимофеев. – Ярославль: ЯрГУ, 2008. –180 с.
6. Хиппель А.Р. Диэлектрики и волны[Текст] / А.Р. Хиппель. –М.: Иностранная литер., 1960. –438 с.
7. Салимгареева О.А. Использование рефлектометрии во временной области для оценки пространственного варьирования влажности почвы / О.А. Салимгареева, А.А. Понизовский, С.М. Чудинова, Е.В. Мироненко, А.М. Ермолаев // Почвоведение. –1998. –№12. – С. 1438-1443.
8. Никольский В.В. Электродинамика и распространение радиоволн [Текст] / В.В. Никольский. – М. : Наука, 1982. –384 с.

**Irina Enina, Assoc. Prof., PhD tech. sci**

*Kirovohrad National Technical University, Kropyvnickiy, Ukraine*

### **Research of electromagnetic field and soil interaction**

Interaction of electromagnetic waves and environment was considered to develop means of one-sided access radio waves control.

On irradiation of system surface reflection and refraction of radio waves are observed at the boundary of air and environment. Here the law of reflection is fulfilled. Amplitude coefficient of electromagnetic waves reflection and passage to the plain interface of air and environment is determined by Fresnel equation.

The basic information-bearing parameters here are environmental characteristics, in particular, dielectric permittivity and electromagnetic waves incidence angle. The characteristic of electromagnetic wave and soil surface interaction is the coefficient of electromagnetic waves reflection and the coefficient of electromagnetic waves passage.

It is desirable to use normal waves to the surface of soil to reduce the interfering factor effect as the formula shows. Upon that the source and receiver of radiation can be combined in one receiving-transmitting antenna.

**soil, electromagnetic field, dielectric permittivity, electromagnetic waves, reflection coefficient, optimization parameter**

Одержано 03.11.16

УДК 631.372+629.3.017

О.Д. Кістечок, інж.

*Таврійський державний агротехнологічний університет, м. Мелітополь, Україна**E-mail: imesh@zp.ukrtel.net*

## Показники роботи орного машино-тракторного агрегату, утвореного за схемою «push-pull»

В статті наведені показники роботи орного машинно-тракторного агрегату, який працює за схемою «push-pull». При проведенні досліджень використані методи машиновикористання, проведення польових експериментів та обробки їх результатів з використанням кореляційно-спектрального аналізу. Згідно отриманих експериментальних даних робоча ширина захвата агрегату, який працював за схемою «push-pull» – «2+4» була на 20,9% більше, ніж в агрегату за схемою «0+5». Незважаючи на те, що робоча швидкість руху першого агрегату виявилася на 1,5% нижчою, через перевагу в ширині захвату продуктивність його роботи була вищою на 19,5%. У силу цього, питома витрата палива агрегатом за схемою «2+4» виявилася навпаки нижчою. В умовах польового експерименту економія палива склала 11,5%. Середньоквадратичне відхилення глибини оранки для обох порівнюваних агрегатів не перевищувала агротехнічних вимог ( $\pm 2$  см) і окремо становила: для агрегату за схемою «0+5» – 1,98 см, а для агрегату за схемою «2+4» – 1,52 см. Застосування орного машино-тракторного агрегату, працюючого за схемою «push-pull» – «2+4» забезпечує обробіток ґрунту із кращою рівномірністю ходу корпусів плугів по глибині. Орний агрегат в складі трактора ХТЗ-16131, двохкорпусного фронтального й чотирьохкорпусного задньоначіпленого плугів («2+4») у порівнянні із машинно-тракторним агрегатом у складі цього ж енергетичного засобу й задньонавішеного п'ятикорпусного орного знаряддя («0+5») має більшу на 19,5% продуктивність роботи й меншу на 11,5% питому витрату палива. Використання орного машино-тракторного агрегату, що працює за схемою «2+4» дозволяє обробляти ґрунт із більшою стабільністю ходу корпусів плугів по глибині.

**машино-тракторний агрегат, оранка, агрегування, «push-pull», фронтальний плуг, продуктивність, витрата пального**

А.Д. Кістечок, інж.

*Таврический государственный агротехнологический университет, г.Мелитополь, Украина*

### Показатели работы пахотного машинно-тракторного агрегата, составленного по схеме «push-pull»

В статье приведены показатели работы пахотного машинно-тракторного агрегата, который работает по схеме «push-pull». При проведении исследования использованы методы машиноиспользования, проведение полевых экспериментов и обработка их результатов с использованием корреляционно-спектрального анализа. **Результаты.** Согласно полученным экспериментальным данным рабочая ширина захвата агрегата, который работал по схеме «push-pull» – «2+4» была на 20,9% больше, чем у агрегата по схеме «0+5». Несмотря на то, что рабочая скорость движения первого агрегата оказалась на 1,5% ниже, из-за преимуществ в ширине захвата производительность его работы была выше на 19,5%. В силу этого удельный расход топлива агрегатом по схеме «2+4» оказался наоборот ниже. В условиях полевого эксперимента экономия топлива составила 11,5%. Среднеквадратическое отклонение глубины пахоты для обоих сравниваемых агрегатов не превышает агротехнических требований ( $\pm 2$  см) и отдельно составляет: для агрегата по схеме «0+5» – 1,98 см, а для агрегата по схеме «2+4» – 1,52 см. Применение пахотного машинно-тракторного агрегата, работающего по схеме «push-pull» – «2+4» обеспечивает возделывание почвы с лучшей равномерностью хода корпусов плугов по глубине. Пахотный агрегат в составе трактора ХТЗ-16131, двухкорпусного фронтального и четырехкорпусного задненавешенного плугов («2+4») по сравнению с машинно-тракторным агрегатом в составе этого же энергетического средства и задненавешенного пятикорпусного пахотного орудия («0+5») имеет большую на 19,5% производительность работы и меньшие на 11,5% удельные затраты топлива. Использование пахотного машинно-тракторного агрегата, который работает по схеме «2+4» разрешает обрабатывать почву с большей стабильностью хода корпусов плугов по глубине.

© О.Д. Кістечок, 2016

машинно-тракторний агрегат, пахота, агрегатирование, «push-pull», фронтальный плуг, производительность, расход топлива

**Постановка проблеми.** Однією з найбільш важливих задач сільськогосподарського виробництва є зменшення енергетичних витрат на оранці. Першим кроком у вирішенні цієї проблеми є підвищення тягово-зчіпних властивостей трактора шляхом збільшення його зчіпної ваги.

У складі орного машино-тракторного агрегату домогтися цього можна шляхом застосування плугів, приєднаних за схемою «push-pull». Як показують теоретичні дослідження, за рахунок вертикальної складової тягового опору фронтального плуга збільшується довантаження передніх коліс, а значить і зчіпна вага трактора. У результаті це приводить як до певного зменшення його буксування, так і зниженню питомої витрати палива орним агрегатом в цілому [1-3].

Однак, при неправильному приєднанні фронтального плуга до енергетичного засобу може мати місце не довантаження, а навпаки – розвантаження передніх коліс трактора й неминуча при цьому втрата керованості й стійкості руху всього орного машино-тракторного агрегату. Теоретичними дослідженнями встановлено, що для того щоб уникнути цього при використанні трактора з номінальним тяговим зусиллям 30...32 кН фронтальний плуг повинен мати два корпуси, а задній – 4 (схема «2+4») [4]. Трактор при цьому рухається правими колесами в борозні, фронтальний плуг приєднаний до нього в горизонтальній площині жорстко, а опорне колесо цього знаряддя розміщене поза борозною.

**Постановка завдання.** Отримання і аналіз результатів експериментальної оцінки тракторних, тягово-енергетичних і агротехнічних показників роботи орного машино-тракторного агрегату, працюючого за схемою «push-pull» із числом корпусів «2+4».

**Методи дослідження.** При проведенні досліджень використані методи машиновикористання, проведення польових експериментів та обробки їх результатів з використанням кореляційно-спектрального аналізу.

**Методика дослідження.** Орний машино-тракторний агрегат за схемою «2+4» складався із трактора ХТЗ-16131, фронтального двохкорпусного й задньоначіпленого чотирьохкорпусного плугів (рис. 1).



Рисунок 1 – Орний машино-тракторний агрегат, що працює за схемою «push-pull» – «2+4»

Для порівняння з ним у таких же самих польових умовах досліджували орний машино-тракторний агрегат, працюючий за схемою «0+5», що складається із цього ж

агрегатуючого трактора й задньоначіпленого п'ятикорпусного плуга ПЛН-5-35 (рис. 2).



Рисунок 2 – Орний машино-тракторний агрегат, працюючий за схемою «0+5»

Технічні характеристики орних машино-тракторних агрегатів наведені у таблиці 1. Як бачимо з характеристик табл. 1 дані орні агрегати, що працюють за різними схемами, мають приблизно один і той же порядок показників, що дає підстави для їх порівняльних експериментальних досліджень і подальшої оцінки.

У процесі польових експериментальних досліджень реєстрували наступні параметри: вологість і щільність ґрунту, поздовжньо-вертикальний профіль поверхні поля, тяговий опір і робочу ширину захвата ( $B_p$ ) плугів, швидкість руху ( $V_p$ ) агрегатів, буксування коліс ( $\delta$ ) і годинну витрату палива ( $G_h$ ) тракторів, глибину оранки ( $h$ ).

Вологість ґрунту визначали широко відомим методом гарячого сушіння. Для вимірювання щільності агротехнічного фону використовували спеціально розроблений метод і прилад на його основі [5].

Таблиця 1 – Технічні характеристики орних машино-тракторних агрегатів

№ п/п	Показник	Значення
Агрегатуючий колісний трактор		
1.	Потужність двигуна трактора ХТЗ-16131, кВт	132
2.	Експлуатаційна маса, кг	8100
3.	Коля трактора, мм	2100
4.	Поздовжня база трактора, мм	2860
5.	Розмір шин переднього й заднього мостів трактора	16,9R38
Орні знаряддя		
6.	Ширина захвата фронтального плуга, м	0,70
7.	Ширина захвата задньоначіпленого плуга, м	1,40
8.	Ширина захвата орного МТА схеми «2+4», м	2,10
9.	Ширина захвата орного МТА схеми «0+5», м	1,75

Коливання амплітуди й частоти нерівностей профілю поверхні поля в поздовжньому напрямку (профіль поля) вимірювали за допомогою спеціального профілографа.

Тяговий опір плугів реєстрували з використанням тензометричної ланки, розрахованої на тягове зусилля до 40 кН.

Швидкість робочого руху орного машино-тракторного агрегату фіксували за допомогою встановлюваного на тракторі шляховимірювального колеса. На маточинах переднього й заднього мостів агрегатуючого трактора встановлювали лічильники обертів, електричні сигнали яких знімали за допомогою струмознімачів.

Для вимірювання годинної витрати палива досліджуваним трактором застосовували витратомір імпульсного типу. Електричні сигнали, що виробляються профілографом, тензометричною ланкою, шляховимірювальним колесом, лічильниками обертів і паливоміром записували на ПК, пропускаючи їх через аналогово-цифровий перетворювач.

Буксування коліс трактора розраховували за формулою:

$$\delta = 1 - \frac{n_{xx}}{n_p} \cdot \frac{V_p}{V_{xx}}, \quad (1)$$

де  $n_{xx}$ ,  $n_p$  – частота обертання ходових коліс агрегатуючого трактора при русі орного машино-тракторного агрегату, відповідно без тягового навантаження й з ним,  $\text{с}^{-1}$ ;

$V_{xx}$ ,  $V_p$  – швидкість руху агрегату без навантаження й з ним,  $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$ .

Рух орних машино-тракторних агрегатів без навантаження передбачав їхнє переміщення по полю із плугами, піднятими в транспортне положення.

Продуктивність орного машино-тракторного агрегату ( $W_a$ ,  $\text{га} \cdot \text{год}^{-1}$ ) та питомі витрати ним палива ( $G_u$ ,  $\text{кг} \cdot \text{га}^{-1}$ ) визначали наступним чином [10]:

$$W_a = 0,1B_p \cdot V_p \quad (2)$$

та

$$G_u = \frac{G_h}{W_a}, \quad (3)$$

де  $G_h$  – годинна витрата палива,  $\text{кг} \cdot \text{год}^{-1}$ .

Реєстрування проведених вимірів всіх параметрів досліджуваних орних машино-тракторних агрегатів була здійснена у 5-й повторності.

**Результати дослідження.** Лабораторно-польові експериментальні дослідження проводили на полі, вологість ґрунту якого становила 16,5%, а щільність –  $1,26 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$ . Коливання нерівностей профілю поверхні поля були високочастотними. Однозначно на це вказує довжина кореляційного зв'язку (абсциса першого нульового значення нормованої автокореляційної функції  $\rho$ ) ординат даного процесу, що не перевищує 0,3 м (див. рис. 3). Більше того, судячи з нормованої автокореляційної функції, коливання амплітуди поздовжнього профілю поля містить приховану періодичну складову з періодом, що приблизно дорівнює 0,75 м.

Дисперсія коливань була також незначною (1,21 см) і зосереджена в діапазоні частот 0... 12  $\text{м}^{-1}$ . При швидкості руху орного машино-тракторного агрегату 1,98  $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$  це становить 0...24  $\text{с}^{-1}$  або 0...4 Гц.

Із проведеного вище кореляційно-спектрального аналізу можна зробити висновок, що відносно висока частота й мала дисперсія коливань нерівностей повздовжньо-вертикального профілю поверхні поля не можуть бути генераторами більш-менш істотних коливань тягового опору агрегованих із трактором ХТЗ-16131 фронтального й задньонавішеного плугів. Основні зміни цього параметра (тобто тягового опору) буде формувати, як правило, внутрішня структура ґрунтового середовища, на яку впливають робочі органи орних знарядь [8, 9, 11].

Плуги машино-тракторних агрегатів, працюючих за схемами «0+5» і «2+4» були налаштовані на ту саму глибину оранки – 25 см.

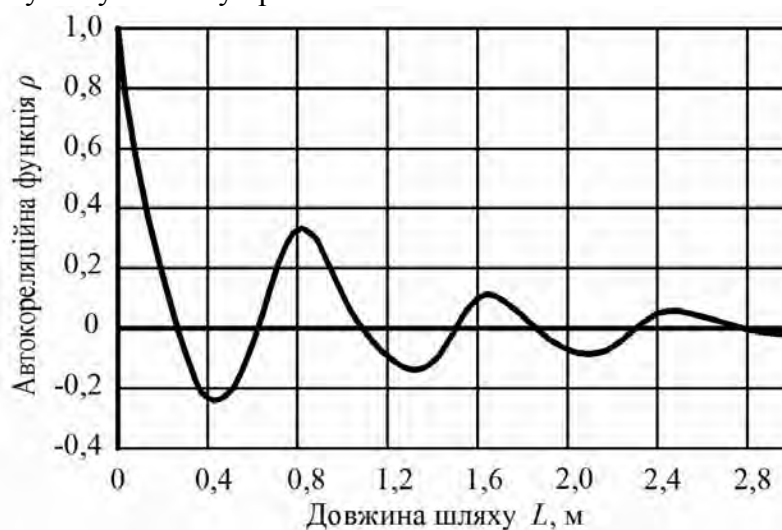
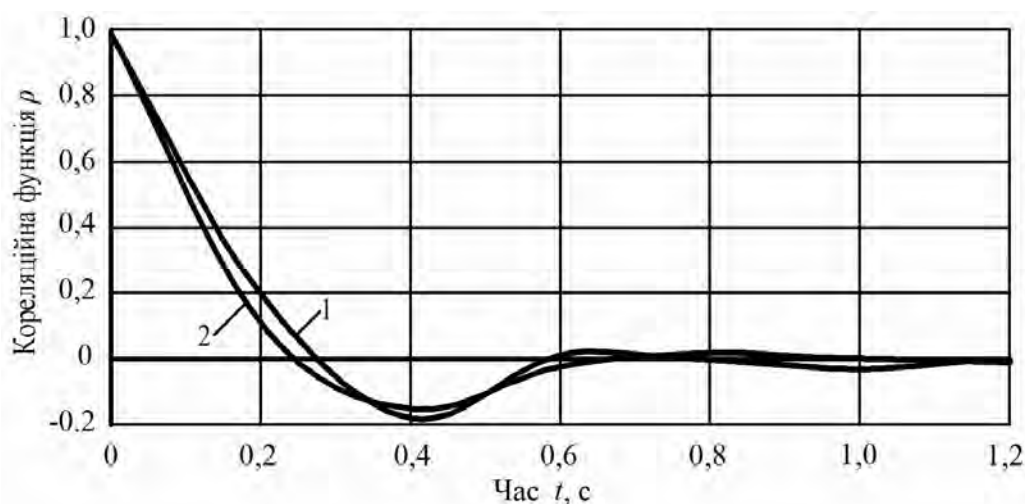


Рисунок 3 – Нормована автокореляційна функція ( $\rho$ ) коливань профілю поверхні поля як функція шляху  $L$

Для машино-тракторного агрегату, працюючого за схемою «0+5» тяговий опір плуга змінювався в межах 26,6...28,4 кН. Середнє квадратичне відхилення цього параметра становило  $\pm 4,0...4,8$  кН. У результаті коефіцієнт варіації тягового опору змінювався в межах 14,01...8,0%, що вказує на середню варіабельність даного процесу [6]. У порівнянні з орним знаряддям ПЛН-5-35 сумарний тяговий опір фронтального й задньонавішеного плугів агрегату за схемою «2+4», при приблизно такому ж значенні середнього квадратичного відхилення ( $\pm 5$  кН), становило 31,5...34,7 кН. Час кореляційного зв'язку для даних процесів змінювався при цьому в межах 0,24...0,26 с (рис. 4).



1 – «0+5»; 2 – «2+4»

Рисунок 4 – Нормовані кореляційні функції коливань тягового опору плугів орних машино-тракторних агрегатів, працюючих за схемами

З аналізу попередніх досліджень й використання подібних агрегатів відомо, що така тривалість кореляційного зв'язку (за часом) характеризує процес як високочастотний [7]. Реальним доказом цього є спектр дисперсій коливань тягового опору плугів. У досліджуваних машино-тракторних агрегатів він зосереджений у діапазоні частот  $0...25\text{ с}^{-1}$  або  $0...4\text{ Гц}$ .

За результатами вимірів дійсна ширина захвату машино-тракторного агрегату, працюючого за схемою «push-pull» (тобто «2+4») була на 20,9% більше, ніж в орного агрегату, працюючого за схемою «0+5». Що стосується робочої швидкості руху, то для машино-тракторного агрегату з одним п'ятикорпусним плугом за рахунок меншої ширини захвату, а значить і меншого тягового опору агрегатованого знаряддя, вона була більшою на 1,5% (табл. 2).

У результаті продуктивність роботи за 1 годину для агрегату, працюючого за схемою «2+4» виявилася на 19,5% більшою, ніж у машино-тракторного агрегату з одним задньоначіпленим п'ятикорпусним плугом.

Оскільки тяговий опір плугів орного машино-тракторного агрегату, працюючого за схемою «2+4» більше, ніж в агрегату, що працює за схемою «0+5», то він, природно, мав більше буксування коліс агрегатуючого трактора (табл. 2). В абсолютному вимірі – на 0,6%, а у відносному – на 4,3%.

Таблиця 2 – Результати експериментальних досліджень орних машино-тракторних агрегатів на базі трактора ХТЗ-16131

Схема тракторного агрегату	Робоча швидкість руху, $V_p, \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$	Робоча ширина захвату $V_p, \text{ м}$	Продуктивність роботи агрегату за годину $W_a, \text{ га}\cdot\text{год}^{-1}$	Глибина оранки $h, \text{ см}$	Буксування коліс трактора $\delta, \%$	Тяговий опір плуга $P_{сп}, \text{ кН}$	Годинна витрата палива $G_h, \text{ кг}\cdot\text{год}^{-1}$	Питома витрата палива агрегатом $G_{it}, \text{ кг}\cdot\text{га}^{-1}$
«0+5»	2,01	1,77	1,28	24,9±0,3	13,8	27,4	21,2	16,5
«2+4»	1,98	2,14	1,53	25,1±0,1	14,4	33,1	22,3	14,6

У той же час, за рахунок більшої продуктивності роботи, питома витрата палива для машино-тракторного агрегату, працюючого за схемою «push-pull» виявилася, на 11,5% меншою. Ця економія має місце завдяки більш ефективному використанню тягових властивостей переднього мосту агрегатуючого трактора. Їхне поліпшення відбувається за рахунок використання фронтального знаряддя, правильне агрегування якого спричиняється довантаженням передніх рушіїв енергетичного засобу.

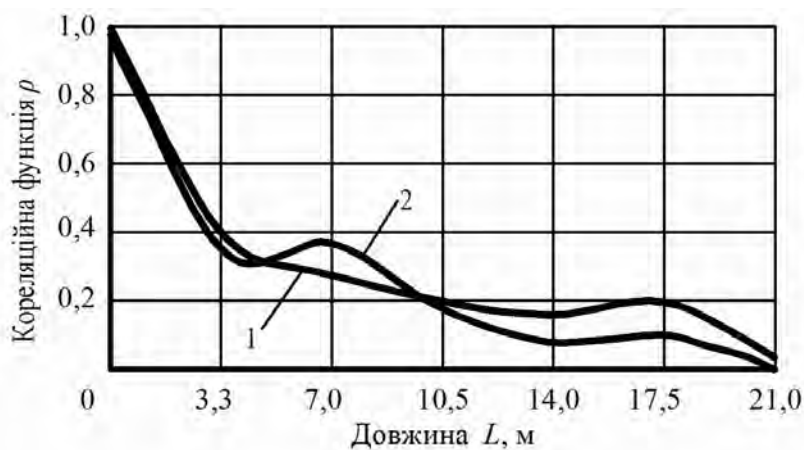
Одним з основних агротехнічних показників роботи орного машино-тракторного агрегату є рівномірність глибини оранки. Згідно експериментальних даних середнє квадратичне відхилення цього параметра в обох порівнюваних агрегатів не перевищувало агротехнічних вимог ( $\pm 2\text{ см}$ ) і окремо становило: для машино-тракторного агрегату, працюючого за схемою «0+5» – 1,98 см, а для машино-

тракторного агрегату, працюючого за схемою «2+4» – 1,52 см.

З отриманих результатів дисперсійного аналізу випливає, що на статистичному рівні значимості 0,05 різниця між цими середніми квадратичними відхиленнями є не випадковою, оскільки відповідно до F-критерію Фішера нуль-гіпотеза про рівність порівнюваних статистичних оцінок не відхиляється.

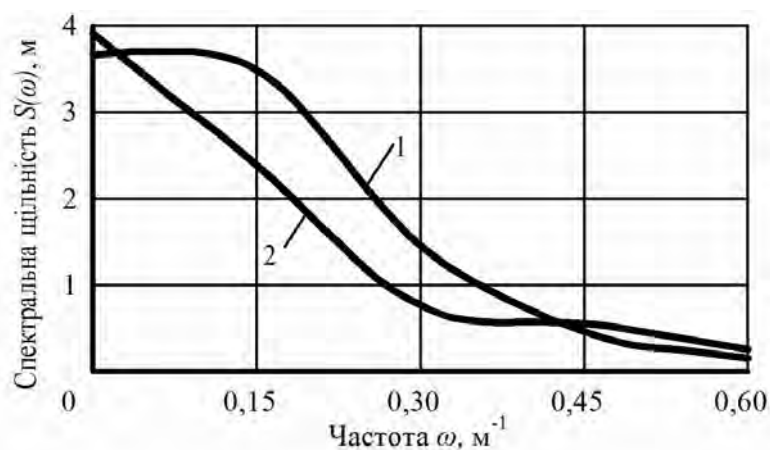
Інакше кажучи, з довірчою ймовірністю 95% можна стверджувати, що машино-тракторний агрегат, працюючий за схемою «2+4», здійснює оранку з більш високою стабільністю по глибині обробки ґрунту. Однією з причин такого результату може бути та обставина, що передній міст агрегуючого трактора ХТЗ-16131 через наявність фронтального плуга здійснює менші вертикальні коливання при його русі в борозні. У підсумку саме це позитивно відбивається на плавності переміщення як фронтального, так і задньоначіпленого плугів.

Варто підкреслити, що нормовані кореляційні функції й спектральні щільності коливань глибини оранки порівнюваних машино-тракторних агрегатів між собою відрізняються мало (рис. 5 та рис. 6). Для обох варіантів машино-тракторних агрегатів довжина кореляційного зв'язку становить не менше 21 м.



1 – «0+5»; 2 – «2+4»

Рисунок 5 – Нормовані кореляційні функції ( $\rho$ ) коливань глибини оранки машино-тракторними агрегатами, працюючими за схемами



1 – «0+5»; 2 – «2+4»

Рисунок 6 – Спектральні щільності [ $S(\omega)$ ] коливань глибини оранки машино-тракторними агрегатами, працюючими за схемами

Причому, коливання глибини оранки не містять прихованої періодичної складової. Пояснити такий результат можна тим, що агротехнічний фон перед оранкою був вирівняний за допомогою дискової борони. Доказом цього є маленька дисперсія коливань нерівностей поверхні поля, складова всього 1,24 см<sup>2</sup>.

Більше того, під час робочого руху колеса трактора мають певне буксування. І тому, що цей процес супроводжується зрізанням ґрунту ґрунтозачепами рушіїв, то відбувається додаткове вирівнювання шляху руху для енергетичного засобу.

Амплітуда його вертикальних коливань при цьому зменшується, що обумовлює зниження вертикальних коливань агрегованих із трактором плугів. Остаточним наслідком цього є підвищення стабільності глибини оранки машино-тракторним агрегатом, працюючим за схемою «push-pull».

### Висновки.

1. Отримані результати експериментальних досліджень та випробувань показали наявні переваги фронтального агрегування орних знарядь із колісним агрегуючим трактором і дозволяють створювати на його основі високоефективні машино-тракторні агрегати, що працюють за схемою «push-pull».

2. Орний машино-тракторний агрегат такої схеми в складі трактора ХТЗ-16131, двохкорпусного фронтального й чотирьохкорпусного задньонавішеного плугів («2+4») у порівнянні із машино-тракторним агрегатом у складі цього ж енергетичного засобу й задньонавішеного п'ятикорпусного орного знаряддя («0+5») має більшу на 19,5% продуктивність роботи й меншу на 11,5% питому витрату палива.

3. Використання орного машино-тракторного агрегату, що працює за схемою «2+4» дозволяє обробляти ґрунт із більшою стабільністю ходу корпусів плугів по глибині.

### Список літератури

1. Надькто В.Т. Агрегатирование МЭС с передненавесным плугом [Текст] / В.Т. Надькто // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 1994.– №7. – С. 18-21.
2. Кутьков Г.М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства [Текст] / Г.М. Кутьков. – М.: Колос, 2004. – 504 с.
3. Гуськов В.В. Тракторы: Теория: Учебник для студентов вузов по спец. «Автомобили и тракторы» [Текст] / В.В. Гуськов, Н.Н. Велев, Ю.Е. Атаманов и др. – М.: Машиностроение, 1988. – 376 с.
4. Кістечок О.Д. Дослідження стійкості руху орного МТА за схемою «push-pull» [Текст] / О.Д. Кістечок та ін. // Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха, 2015. – Вип. №2 (101). – С. 99-105.
5. Кувачов В.П. Методика та результати оцінки нерівностей профілю ґрунтово-дорожніх фонів за допомогою ЕОМ [Текст] / В.П. Кувачов, В.М. Кюрчев та ін. // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь, 2008. – Вип. 6, т. 6. – С. 28–34.
6. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) [Текст] / Б.А. Доспехов – М.: Агрпромпиздат, 1985. – 351 с.
7. Булгаков В.М. Агрегативання плугів [Текст] / В.М. Булгаков, В.І. Кравчук та ін. – К.: Аграрна освіта, 2008. – 134 с.
8. Касымов А.Ш. Установившееся прямолинейное движение пахотного агрегата с передней и задней навеской [Текст] / А.Ш. Касымов, В.В. Золотарев // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 1988.– №1. – С. 13 – 18.
9. Гячев Л.В. Устойчивость движения сельскохозяйственных машин и агрегатов [Текст] / Л.В. Гячев. – М.: Машиностроение, 1981. – 206 с.
10. Иофинов С.А. Эксплуатация машинно-тракторного парка [Текст] / С.А. Иофинов, Г.П. Лышко. – М.: Колос, 1984. – 480 с.
11. Василенко П.М. Методика построения расчетных моделей функционирования механических систем (машин и машинных агрегатов) [Текст]: учебное пособие / П.М. Василенко, В.П. Василенко. – К.: УСХА, 1980. – 137 с.

**Oleksandr Kistechok, eng.**

*Tavria State Agrotechnological University, Melitopol, Zaporozhye region, Ukraine*

**Working indicators of arable machine-tractor unit which created according to the «push-pull» scheme**

Receiving and analysis of experimental assessment results of trajectory, traction, power and agrotechnical indicators of operation of the arable unit working according to the scheme «push-pull» with «2+4» number of the bodies. When carrying out researches methods of machine using, field experiments and processing of their results with use of the correlation and spectral analysis are used. The obtained experimental data indicate that the working width of the aggregate which created according to the «push-pull» – «2+4» was by 20.9% greater than that of the aggregate created according to the scheme «0+5». Working speed of movement of first aggregate was by 1.5% lower, because of advantage in a working width productivity of its work was 19.5% higher. Therefore the specific fuel consumption by the aggregate created according to the scheme «2+4» turned out to be by 11.5% lower. The mean root square deviation in the depth of ploughing by both the compared aggregates did not exceed the agrotechnical requirements ( $\pm 2$  cm); however the use of a ploughing aggregate, created according to the scheme «push-pull» – «2+4», ensures soil cultivation with more uniform plough by depth. The arable unit consisting of a tractor HTZ-16131 and front-mounted double-bodies and a rear-mounted four-bodies ploughs («2+4») in comparison with the machine-tractor unit consisting of a same tractor and five-bodies rear-mounted plough («0+5») has bigger on 19.5% work performance and lower by 11.5% specific fuel consumption. Use of the arable machine-tractor unit which works according to the scheme «2+4» allows to process the soil with bigger stability of plows bodies movement on depth.

**machine-tractor unit, plowed land, aggregation, «push-pull», frontal plow, productivity, fuel consumption**

Одержано 17.10.16

**УДК 631.362.36; 633.1**

**Б. І. Котов, проф., д-р техн. наук**

*Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця, Україна*

**С.П. Степаненко, канд. техн. наук, ст. науч. співр., В.О. Швидя, канд. техн. наук**

*Національний науковий центр „Інститут механізації та електрифікації сільського господарства”, с.м.т. Глеваха, Україна, E-mail: stepanenko\_s@ukr.net*

## Технологічні аспекти сепарації зерна у вертикальному каналі

У статті розглянуто питання підвищення ефективності вібровідцентрового сепаратора з ступінчасто-конічним решетом, шляхом дії примусового повітряного потоку. Наведені математичні моделі руху падаючих часток при дії бокового повітряного потоку.

**зерновий матеріал, вертикальний канал, повітряний потік, вібровідцентровий сепаратор, решето**

**Б.И. Котов, проф., д-р техн. наук**

*Винницкий национальный аграрный университет, г. Винница, Украина*

**С.П. Степаненко, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., В.А. Швидя, канд. техн. наук**

*Национальный научный центр „Институт механизации и электрификации сельского хозяйства”, п.г.т. Глеваха, Украина*

### Технологические аспекты сепарации зерна в вертикальном канале

В статье рассмотрены вопросы повышения эффективности виброцентробежного сепаратора с ступенчато-коническим решетом, путём действия принудительного воздушного потока. Наведены математические модели движения падающих частиц при воздействии бокового воздушного потока.

**зерновой материал, вертикальный канал, воздушный поток, виброцентробежный сепаратор, решето**

© Б.І. Котов, С.П. Степаненко, В.О. Швидя, 2016

**Постановка проблеми.** Наявність у зернопродукуючих господарствах України сепараторів зерна вібровідцентрового типу достатньо високої продуктивності (15-25, 50 т/год.) і сучасні вимоги виробництва щодо збільшення продуктивності та ефективності їх використання висувають задачі їх подальшого вдосконалення з метою збільшення питомої продуктивності і якості розділення зернових матеріалів. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми, не змінюючи елементну базу серійних машин, є використання циліндричних решіт із ступінчасто-конічною формою поверхні, що дозволяє при незмінних розмірах конструкції сепаратора збільшити величину поверхні решета і інтенсифікувати процес розділення використовуючи додаткову складову вертикальних коливань [1]. Але при цьому задача інтенсифікації видалення дрібної (прохідної) фракції залишається поза увагою.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблеми інтенсифікації процесу вібровідцентрової сепарації зернових матеріалів достатньо повно висвітлені в фундаментальній праці М.Л. Тищенка [2], а також інших дослідників [3-5]. Визначено, що основним фактором низької інтенсивності просіювання є перекриття отворів зернами крупних фракцій, а дрібні фракції залишаються на поверхні шару зерна і можуть потрапляти до сходової фракції. Перемішування шару зерна в процесі руху пропонується здійснювати за допомогою різних за формою інтенсифікаторів (пруток, гафр, штифт тощо) встановлених на опорній поверхні циліндричного решета.

Дослідження руху зерна по поверхні конічного ступінчастого решета висвітлені в роботах [6-8], як моделювання руху матеріальної точки, в тому числі і при дії примусового повітряного потоку, спрямованого радіально в напрямку до вісі ротора сепаратора. Аналізом існуючих досліджень встановлено, що при дії радіально спрямованого (від поверхні решета до поверхні шару зерна) потоку повітря, рух дрібної (легкої) частки по поверхні отвору гальмується. Для визначення дії повітряного потоку у вигляді струменю на зерно в зоні «переміщення» шару з однієї сходинок конуса на іншу необхідні додаткові дослідження.

На відміну від зазначених публікацій, у статті розглядається задача руху часток різного розміру і маси під дією струменю повітря, спрямованого до решета, після сходу із сходинок секційного решета.

**Постановка завдання.** Виявити аналітичним дослідженням можливість інтенсифікації процесу розділення зернового матеріалу повітряним потоком і отримання формул для наближеного розрахунку.

**Виклад основного матеріалу.** Сутність підвищення якості розділення зернової суміші (збільшення просіюваності вібровідцентрового решета) при значних навантаженнях дією повітряного потоку на шар зерна, що пересипається з конуса на конус, полягає у тому, що при сході потоку зернового матеріалу з елемента опорної поверхні частки (зернівки) починають рухатись у повітряному просторі і під дією повітряного потоку їх траєкторії відхиляються з різною швидкістю і на різну відстань. При цьому, дрібні (легкі) зернівки досягають поверхні раніше за важкі (крупні) і таким чином відбувається перерозподіл місця розташування фракцій на решеті (дрібна фракція буде ближче до поверхні).

Далі, в рамках метода досліджень динаміки матеріальної точки подано математичний опис переміщення зернового матеріалу (часток різного розміру і маси) при наявності зустрічного (радіального) потоку повітря і квадратичному опорі руху частки.

Траєкторії полідисперсного зернового матеріалу, що сходять потоком з конічного елемента опорної поверхні зі швидкістю  $v_0$  під кутом  $\alpha_0$ , представимо окремими лініями, вздовж яких рухаються окремі зернівки. Не враховуючи взаємодію

частинок в ході польоту, окремі лінії отримуємо варіюванням коефіцієнту парусності  $K_n$ , який за визначенням враховує опір, розмір і масу кожної частки.

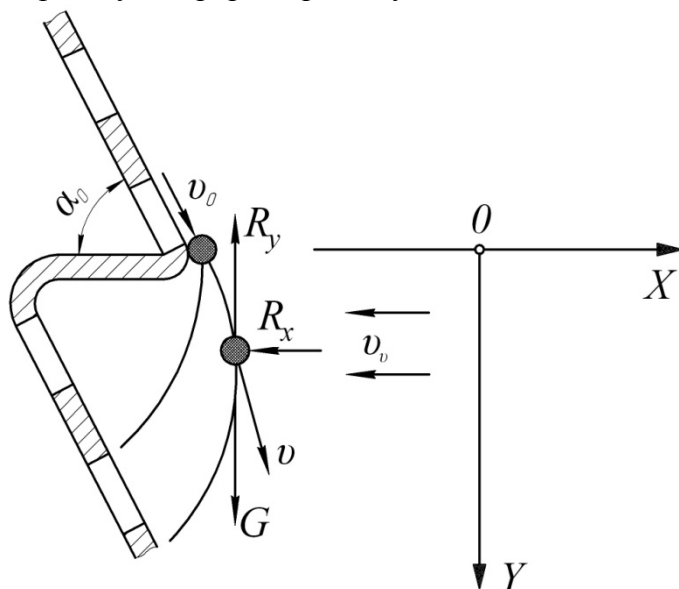


Рисунок 1 — Технологічно-розрахункова схема сходу частки з кінчного елементу опорної поверхні решета

Для розрахунку координат  $x(\tau)$  і  $y(\tau)$ , визначаючих положення частки на траєкторії в момент часу  $\tau$ , використовуємо систему нелінійних диференціальних рівнянь:

$$\frac{d^2x(\tau)}{d\tau^2} = -K_n \left( \frac{dx(\tau)}{d\tau} + u_v \right) \sqrt{\left( \frac{dx(\tau)}{d\tau} + u_v \right)^2 + \left( \frac{dy(\tau)}{d\tau} \right)^2}, \quad (1)$$

$$\frac{d^2y(\tau)}{d\tau^2} = g - K_n \left( \frac{dy(\tau)}{d\tau} \right) \sqrt{\left( \frac{dx(\tau)}{d\tau} + u_v \right)^2 + \left( \frac{dy(\tau)}{d\tau} \right)^2}. \quad (2)$$

Як початкову умову, прийmemo:

$$x(0) = y(0) = 0; \quad \frac{dx}{d\tau}(0) = u_{0x}; \quad \frac{dy}{d\tau}(0) = u_{0y};$$

$$u_{0y} = u_0 \cdot \sin \alpha_0; \quad u_{0x} = u_0 \cdot \cos \alpha_0. \quad (3)$$

Коефіцієнт парусності в рівнянні (1) і (2) визначається з формули:

$$K_n = \frac{s_v}{m} \cdot C_0(Re) \cdot \frac{s_M}{0.5}, \quad (4)$$

де  $m = \frac{\pi \cdot 4 \cdot d_e^3 \cdot \psi}{3 \cdot \rho_p}$  — маса частки, кг;

$d_e$  — еквівалентний діаметр частки;

$\rho_p$  — густина матеріалу частки, кг/м<sup>3</sup>;

$\psi$  — коефіцієнт форми частки;

$u_v$  — швидкість повітряного потоку, м/с;

$C_0(Re)$  – коефіцієнт опору повітряному потоку;

$Re$  – критерій Рейнольдса;

$S_M = \frac{\pi \cdot d_p^2}{4}$  – площа міделевого перетину частки, м<sup>2</sup>;

$g$  – прискорення сили тяжіння, м/с<sup>2</sup>;

$\alpha_0$  – кут сходу частки з поверхні (кут розкриття твірної конуса), град;

$v_0 = \sqrt{v_{0x}^2 + v_{0y}^2}$  – швидкість сходу частки з опорної поверхні.

Швидкість сходу частки з опорної поверхні, яка дорівнює початковій швидкості руху частки у повітряному просторі можна визначити з аналізу руху частки (матеріальної точки) по конічній поверхні, яка здійснює обертання навколо вісі  $Oy$  з коловою швидкістю  $\Omega$  і коливальних гармонічних рухів у вертикальному напрямку вздовж вісі  $Ox$  [7,8]:

$$v_0 = \frac{\omega \cdot |\xi_H - \xi_B|}{2\pi} \quad (5)$$

Переміщення частки вгору та вниз за один оберт:

$$\xi_B = \frac{\cos(\varphi - \beta)}{\cos\varphi} \cdot \left\{ A \cdot (\cos\omega\tau_{B0} - \cos\omega\tau_B) - v_{0B} \cdot (\tau_B - \tau_{B0}) - \right. \\ \left. - g \cdot \left[ K_{\text{ц}} \cdot \text{tg}(\varphi - \beta) + 1 - \frac{\sin\varphi}{\cos(\varphi - \beta)} \cdot K_{\text{в}} \right] \cdot \frac{(\tau_B - \tau_{B0})^2}{2} \right\}; \quad (6)$$

$$\xi_H = \frac{\cos(\varphi + \beta)}{\cos\varphi} \cdot \left\{ R \cdot (\cos\omega\tau_{H0} - \cos\omega\tau_H) - v_{0H} \cdot (\tau_H - \tau_{H0}) - \right. \\ \left. - g \cdot \left[ K_{\text{ц}} \cdot \text{tg}(\varphi + \beta) - 1 - \frac{\sin\varphi}{\cos(\varphi + \beta)} \cdot K_{\text{в}} \right] \cdot \frac{(\tau_H - \tau_{H0})^2}{2} \right\}; \quad (7)$$

де  $\xi_B, \xi_H$  – переміщення частки по поверхні решета за одне коливання вгору та вниз, відповідно, м;

$K_{\text{в}} = \frac{v_0^2}{v_{\text{вир}}^2}$  – коефіцієнт питомого тиску;

$K_{\text{ц}} = \frac{\Omega^2 \cdot R}{g}$  – коефіцієнт відцентровості;

$v_{\text{вир}}$  – швидкість вітання частки, м/с;

$R$  – середній радіус решета, м;

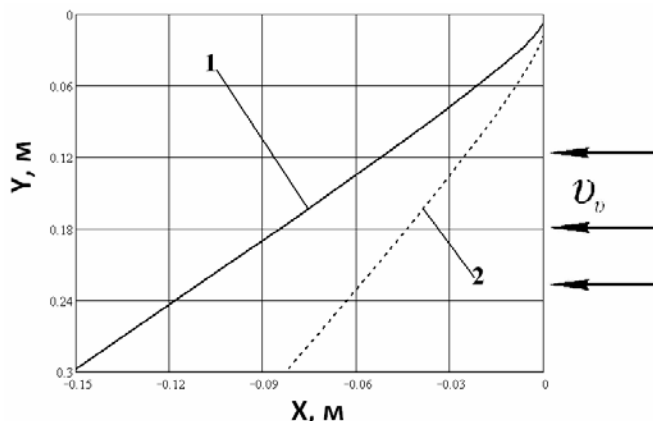
$\tau_{B0}, \tau_{H0}$  – початковий момент руху частки вгору та вниз, відповідно, с;

$\tau_B, \tau_H$  – кінцевий момент руху частки вгору та вниз, відповідно, с;

$A, \omega$  – амплітуда та частота вертикальних гармонічних коливань;

$\varphi, \beta$  – кут тертя і кут нахилу твірної конічної поверхні решета до вертикальної вісі.

Траєкторії руху часток різного розміру наведено на рис. 2 (отримано при параметрах:  $v_0=0,2$  м/с;  $\alpha_0=60^\circ$ ;  $v_v=5$  м/с;  $K_{\text{п1}}=0,272$ ;  $K_{\text{п2}}=0,159$ ). Як можна визначити з графіків менша частка відхиляється крутіше і раніше досягає опорної поверхні, таким чином відбувається перерозподіл “малих і великих” часток на поверхні решета і тим самим досягається підвищення просіюваності і ефективності решітного розділення у вібровідцентровому полі.



1 – дрібні; 2 – крупні

Рисунок 2 — Траєкторії руху часток

Наближене аналітичне рівняння задачі [8] з визначення траєкторій руху часток можна отримати наступним наближенням.

Якщо записати рівняння (1), (2) у вигляді:

$$\begin{cases} \ddot{x} = -K_{\pi} \left(1 + \frac{\dot{x}}{v}\right) \cdot v^2 \sqrt{\left(1 + \frac{\dot{x}}{v}\right)^2 + \left(\frac{\dot{y}}{v}\right)^2}, \\ \ddot{y} = g - K_{\pi} \cdot \frac{\dot{y}}{v} \cdot v \cdot \sqrt{\left(1 + \frac{\dot{x}}{v}\right)^2 + \left(\frac{\dot{y}}{v}\right)^2}, \end{cases} \quad (8)$$

то величину  $\varphi = \sqrt{\left(1 + \frac{\dot{x}}{v}\right)^2 + \left(\frac{\dot{y}}{v}\right)^2}$  можна вважати сталою, яка в межах практичних режимів і реальних швидкостей переміщення часток змінюється від 1,02 до 1,12 [8].

Тому рівняння (8), з урахуванням припущення  $\varphi = \text{const} = 1.07$ , можна записати у вигляді:

$$\ddot{y} = g - K_0 \cdot v \cdot \dot{y}, \quad (9)$$

$$\ddot{x} = -K_0 \cdot v^2 - K_0 \cdot v^2 \cdot \frac{\dot{x}}{v}, \quad (10)$$

де  $K_0 = K_{\pi} \cdot \varphi$ , які можна проінтегрувати окремо.

Інтегруючи рівняння (9) і (10) при початкових умовах:  $\tau = 0, x=y=0, \frac{dx}{d\tau} = u_{0x}, \frac{dy}{d\tau} = u_{0y}$  ( $u_{0x}, u_{0y}$  – проєкції початкової швидкості на вісі  $Ox$  і  $Oy$ ), отримаємо аналітичні залежності для складових швидкості і переміщення часток зерноматеріалу при переході з верхнього елемента опорної поверхні до нижнього:

$$v_y = b_1 - (b_1 - u_{0y}) \cdot e^{-K_0 \cdot v \cdot \tau}, \quad (11)$$

$$u_x = (u_v + u_{0x}) \cdot e^{-K_0 \cdot v \cdot \tau} - u_v, \quad (12)$$

$$y = \frac{g}{K_0 \cdot v} \cdot \tau - \frac{1}{K_0 \cdot v} \cdot \left(\frac{g}{K_0 \cdot v} - u_{0y}\right) \cdot (1 - e^{-K_0 \cdot v \cdot \tau}), \quad (13)$$

$$x = \frac{1}{K_0 \cdot v} \cdot (u_v + u_{0x}) \cdot (1 - e^{-K_0 \cdot v \cdot \tau}) - u_v \cdot \tau. \quad (14)$$

За допомогою формул (11-14) розраховуються траєкторії руху часток зерно матеріалу в будь-якій точці кінцевого елемента опорної поверхні решета.

Величина  $x$  кінцева точка траєкторії руху частки при цьому  $x = l$ , де  $l$  – ширина сходинки решета. Підставляючи значення  $x = l$  у рівняння (14), визначається час падіння (переміщення) частки. Підставляючи отримане значення  $\tau_x$  у рівняння (13),

визначається висота падіння  $y=h$ ; за значенням  $h$  для найбільш крупної частки визначається висота струменя повітря і ширина лопатей вентилятора.

**Висновки.** У результаті проведених теоретичних досліджень визначено можливість перегрупування часток різного розміру у шарі спрямованим повітряним потоком при переході з одного елементу ступінчасто-конічного решета на другий.

Створена спрощена математична модель руху компонентів зернового матеріалу у падаючому шарі при дії бокового потоку повітря.

Для кількісної оцінки впливу повітря на рух часток з різним коефіцієнтом парусності необхідно додаткові числові експерименти.

## Список літератури

1. Гончаров Е.С. Ступенчатое решето для виброцентробежных сепараторов [Текст] / Е.С. Гончаров // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – К.: Урожай, 1984. – Вып.30. – С.33-36.
2. Тищенко А.Н. Интенсификация сепарирования зерна [Текст] /Л.Н. Тищенко. – Х.: Основа, 2004. – 224с.
3. Котов Б.І. Дослідження шляхів підвищення ефективності віброрешітних сепараторів зерна і насіння [Текст] /Б.І. Котов, С.П. Степаненко, М.Г. Пастушенко // Вібрації в техніці та технологіях. – 2004. –№ 3. – С. 61-63.
4. Котов Б.І. Дослідження ефективності вібровідцентрової сепарації зерна на ступінчасто-конічному решеті методом планування експериментів [Текст] / Б.І. Котов, С.П. Степаненко, М.Г. Пастушенко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – 2012. – Вип.42. – С. 300-306.
5. Котов Б.І. Експериментальна оцінка процесу вібровідцентрового очищення зерна ступінчасто-конічним решетом [Текст] / Б.І. Котов, М.Г. Пастушенко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – 2005. – Вип. 35. – С. 205-208.
6. Котов Б.І. Математичне моделювання руху частинки у віброзрідженому шарі на поверхні конічної центрифуги [Текст] / Б.І. Котов, М.Г. Пастушенко // Сб. наукових праць Кіровоградського державного університету. 2004. – Вип.14. – С. 25-30.
7. Гончаров Е.С. Механико-математическая модель движения частиц семенной смеси по поверхности ротора центробежно-вибрационного сепаратора [Текст] / Е.С. Гончаров, С.И. Малюта // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – К.: Колос. – 1986. – Вип. 64. – С. 24-39.
8. Гортинский В.В. Вопросы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях [Текст] /В.В. Гортинский, А.Б. Демский, М.А. Борискин. – М.: Колос, 1980. – С. 303.
9. Котов Б.І. Тенденції розвитку конструкцій машин та обладнання для очищення і сортування зерноматеріалів [Текст] / Б.І. Котов, Степаненко, М.Г. Пастушенко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – 2003. – Вип. 33. – С. 53-60.

**Borys Kotov, Prof., DSc.**

*Vinitskii National Agrarian University, Vinnytsa, Ukraine*

**Sergiy Stepanenko, PhD tech. sci., Sen. Researcher, Viktor Shvidia, PhD tech. sci.**

*National scientific centre "Institute for Agricultural Engineering and Electrification", Glevakha, Ukraine*

### **Technological aspects of grain separation in the vertical channel**

The purpose of research — to identify analytical study the possibility of intensifying the process of separating the grain of the material air flow and obtain formulas for approximate calculation.

The system analyzes the forces that act on a piece at a gathering with stair-stepped conical sieve in a horizontal air flow. Thus we obtained nonlinear differential equations on the basis of which the numerical method constructed the trajectory of motion of particles with different sizes. Approximate analytical calculation of particles motion trajectories based on the fact that the value of the absolute velocity is assumed constant and equal to 1.02 to 1.12.

As a result of theoretical studies determined the possibility of rearrangement of particles of different sizes in the layer of the air flow direction in the transition from one element of the step-conical sieve into another. Created a simplified mathematical model of the motion of the grain of the material components in the incident layer when exposed to side airflow.

**grain material, a vertical channel, airflow, vibrocentrifugal separator, sieve**

Одержано 03.11.16

УДК 631.374:631.362:633.1

**В.Л. Куликівський, канд. техн. наук, В.К. Палійчук, доц., канд. техн. наук, В.М. Боровський, ст. викл.**

*Житомирський національний агроекологічний університет, м. Житомир, Україна*  
E-mail: kylikovskiy@mail.ru

## Дослідження процесу травмування зерна гвинтовим конвеєром

Представлено результати експериментальних досліджень гвинтових конвеєрів та живильників, які були направлені на визначення раціональних конструктивних параметрів шнеків. Встановлено, що основний вплив на травмування зернового матеріалу конвеєром мають зазор між витками і кожухом та частота обертання гвинтового робочого органу.

**технологічний процес, конвеєр, зерновий матеріал, параметри, гвинтовий робочий орган, травмування**

**В.Л. Куликовский, канд. техн. наук, В.К. Палийчук, доц., канд. техн. наук, В.Н. Боровский, ст. преп.**

*Житомирский национальный агроэкологический университет, г.Житомир, Украина*

### **Исследование процесса повреждения зерна винтовым конвейером**

Представлены результаты экспериментальных исследований винтовых конвейеров и питателей, которые были направлены на определение рациональных конструктивных параметров шнеков. Установлено, что основное влияние на повреждение зернового материала конвейером имеют зазор между витками и кожухом и частота вращения винтового рабочего органа.

**технологический процесс, конвейер, зерновой материал, параметры, винтовой рабочий орган, повреждение**

**Постановка проблеми.** Технологічний процес сільськогосподарського виробництва нерозривно пов'язаний із переміщенням великої кількості вантажів, починаючи від подачі сировини, міжопераційного транспортування і до видачі готової продукції [1].

Гвинтові конвеєри широко використовуються в сільськогосподарських машинах, виконуючи роль транспортуючих (комбайни, зерноочисні машини, зерносушарки) та основних робочих органів (змішувачі кормів, протруювачі, навантажувачі) [1,2].

Ефективність роботи конвеєрів залежить від багатьох факторів, що характеризують умови їх використання. Також слід відмітити значний вплив конструктивних і кінематичних параметрів конвеєрів на процес переміщення зернового матеріалу та довговічність гвинтових робочих органів. Тому, постає проблема у виборі оптимальних параметрів конвеєрів, які забезпечать максимальний ресурс гвинтових робочих органів і найбільшу продуктивність при найменшій потужності та мінімальній степені травмування зерна, що переміщується.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Згідно результатів попередньо проведених досліджень [3-6] величина зазору між витком і кожухом двояко впливає на основні показники роботи шнека як транспортуючого робочого органу. По-перше, внаслідок зменшення діаметру несучої поверхні і розподілу потоків зернової маси,

зменшується продуктивність транспортування. По-друге, збільшення зазору і наближення його до середніх розмірів зернових частинок, що транспортуються, призводить до підвищення травмування і руйнування окремих зерен. Для сільськогосподарського виробництва цей фактор є дуже суттєвим, оскільки від ступеня пошкодження зерна залежить не тільки його подальша схожість, але і можливість ефективного збереження.

Як відмічається в роботі [5], руйнуюча дія шнекового робочого органу на зерновий матеріал знижується, коли зазор збільшується до розмірів, що в декілька разів перевищує розмір частинок. В цьому випадку між кожухом і витком конвеєра в зазорі утворюється проміжний шар зернової маси. При нахилах конвеєра, більших за кут тертя, зернова маса починає рухатись у зазорі в напрямку, протилежному напрямку транспортування. Це негативно впливає на ефективність роботи гвинтового конвеєра, знижуючи його продуктивність.

**Постановка завдання.** Мета досліджень полягає у встановленні залежності травмування зернового матеріалу від параметрів гвинтового конвеєра та обґрунтування його оптимальних показників. Об'єкт досліджень – технологічний процес транспортування зернового матеріалу гвинтовими робочими органами. Предмет досліджень – залежність травмування зернового матеріалу, що переміщується від параметрів конвеєра.

**Виклад основного матеріалу.** На травмування, як результат процесу взаємодії зернини з гвинтовими робочими поверхнями (поверхнями тертя) конвеєрів зерноочисних машин (зовнішні фактори), морфолого-анатомічні і фізико-механічні властивості зернини (внутрішні фактори) здійснює вплив велика кількість параметрів, незалежних та взаємопов'язаних, що змінюються в широких межах [7].

Для оцінки травмування зернини при транспортуванні необхідно вивчити структурну модель цього процесу (рис. 1).

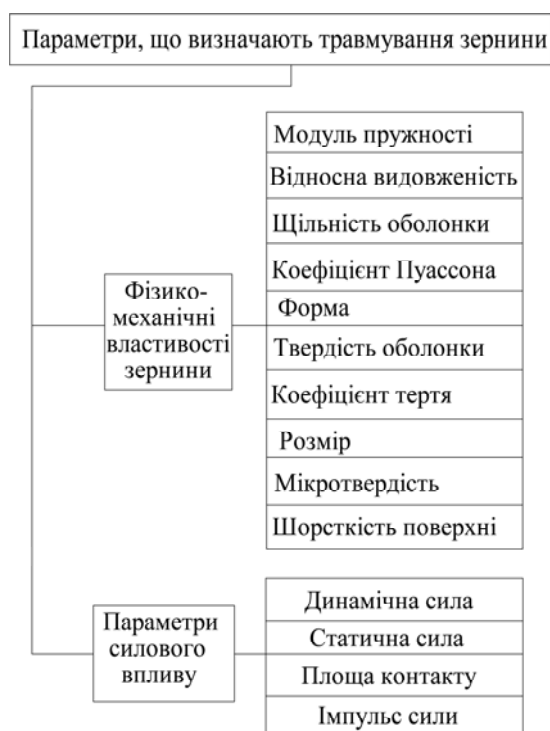


Рисунок 1 – Структурна модель травмування зернини конвеєром

У вказану модель входять морфолого-анатомічні і фізико-механічні властивості зернини, параметри силового впливу та характеристика контакту зернини і гвинтової поверхні (рис. 2).

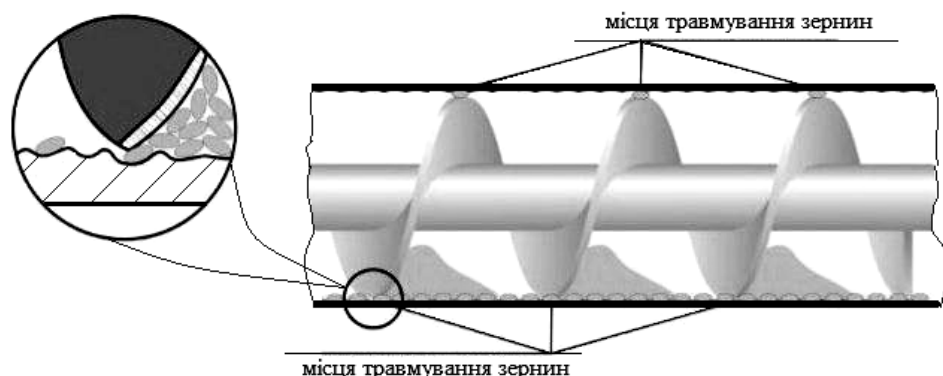
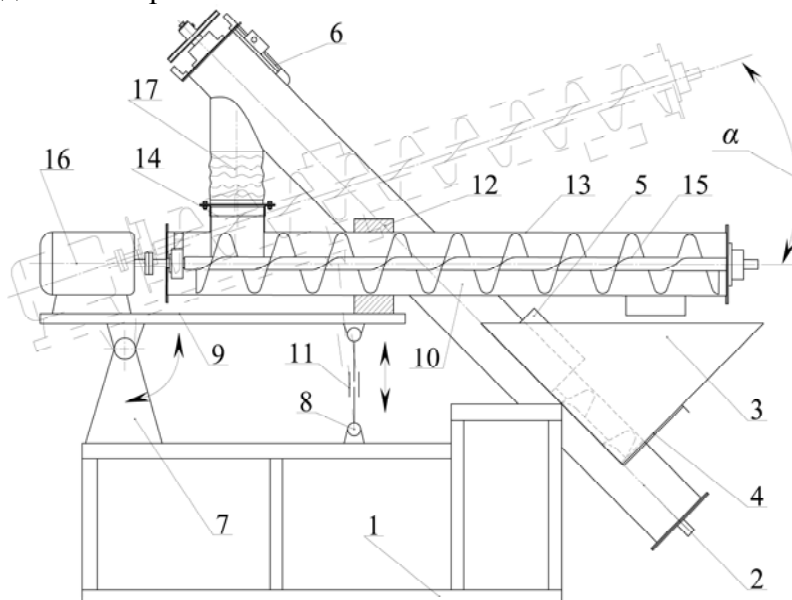


Рисунок 2 – Взаємодія гвинтового робочого органу конвеєра із зерном

З метою підвищення продуктивності праці при проведенні експериментальних досліджень впливу конструктивно-технологічних параметрів гвинтових конвеєрів на травмування зерна (озимої пшениці), що переміщується та встановлення закономірності динаміки зношування робочих органів шнеків, було запропоновано конструкцію універсального стану (рис. 3) [8]. Його мобільність в циркуляції сипкого матеріалу і розширені технологічні можливості в знятті різних характеристик механізмів дозволяють проводити ресурсні випробування гвинтових конвеєрів та шнекових живильників. Наявність у робочих органах конвеєрів власних окремих приводів дозволяє підвищити надійність стану та надає можливість незалежного керування швидкістю обертання кожного гвинта.



1 – рама; 2 – крутопохилий шнек; 3 – бункер; 4, 5 – заслінки; 6, 16 – електродвигуни;  
7, 8 – шарнірні механізми; 9 – плита; 10 – гвинтовий конвеєр, що досліджується (випробовується);  
11 – регулювальна гайка; 12 – механізм кріплення; 13 – кожух; 14 – завантажувальний лоток; 15 – гвинт;  
17 – рукав;  $\alpha$  – кут нахилу гвинтового конвеєра

Рисунок 3 – Стенд для дослідження характеристик гвинтових конвеєрів

В результаті теоретичних досліджень і пошукових дослідів встановлено, що основний вплив на параметр оптимізації (травмування зернового матеріалу) здійснюють наступні фактори: кінематичний – частота обертання шнекового робочого органу; конструктивні – зазор між витком та кожухом і кут нахилу гвинтового конвеєра [6,9,10].

Отримані результати експериментальних досліджень дають змогу визначити значення факторів, при яких будуть забезпечуватись вимоги щодо травмування. Для цього, задавшись значеннями кута нахилу транспортера  $\alpha=0$  град., побудуємо графіки при різній частоті обертання гвинтового робочого органу (рис. 4).

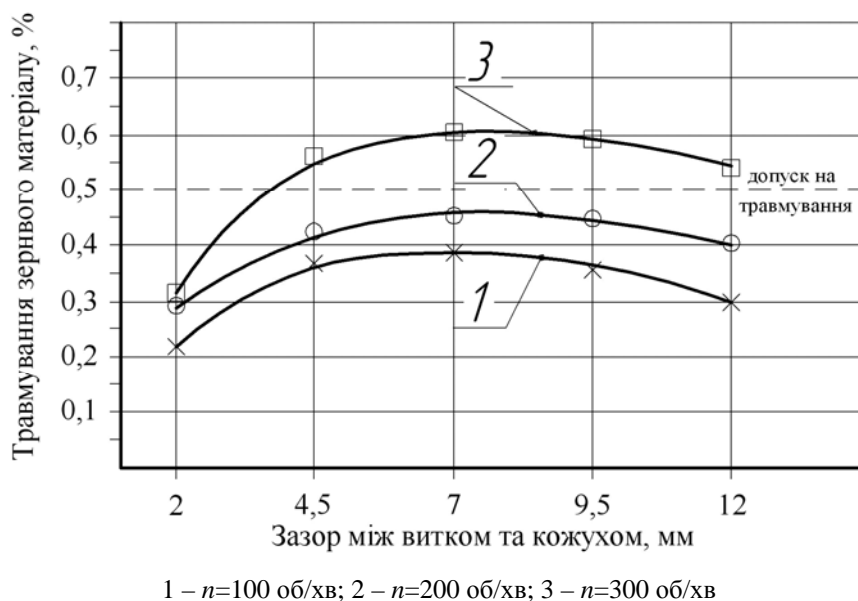


Рисунок 4 – Залежність травмування зернового матеріалу горизонтальним гвинтовим конвеєром, при різних значеннях частоти обертання робочого органу

Пошкодження зерна є основним фактором, що впливає на роботу гвинтових конвеєрів зерноочисних машин, зернозбиральних комбайнів, тому аналіз травмування матеріалу є необхідним. Обробка експериментальних даних показала, що травмування зерна при використанні запропонованого гвинтового конвеєра змінюється в широких межах і залежить від зазору між витками робочого органу та кожухом. При збільшенні зазору від 2 до 7 мм і постійній швидкості переміщення матеріалу травмування зерен зростає, досягаючи максимуму при зазорах, близьких до товщини зернини, а потім поступово зменшується.

Результати фото та відеозйомки підтвердили, що при зазорі, меншому мінімальних розмірів зерен, защемлення їх в процесі переміщення по кожуху практично не спостерігається. При зазорі, більшому трьох середніх розмірів зернин (12 мм і більше), на дні кожуха утворюється пасивний ледь рухомий шар матеріалу.

Як показав аналіз, збільшення частоти обертання гвинтового робочого органу призводить до зростання травмування за рахунок інтенсивнішого тертя зерен об поверхні, що контактують та повторних взаємодій з витком (рис. 5).



Рисунок 5 – Рух зернового матеріалу в гвинтовому конвеєрі

Кут нахилу гвинтового конвеєра також значно впливає на травмування. Аналіз показав, що при збільшенні кута нахилу конвеєра (до 20 град.) травмування зерен підвищується на 20...25 %, це обумовлено зростанням тиску матеріалу на робочі поверхні кожуха та витки, особливо в нижній завантажувальній частині шнека. Отже, найбільш раціональним кутом, при якому якісно виконується технологічний процес та пошкодження зернового матеріалу лежить в межах допустимого травмування є кут  $\alpha=0$  град.

Таким чином, оптимальними параметрами гвинтового конвеєра з точки зору травмування, як основного фактора, що обмежується вимогами на пошкодження матеріалу є частота обертання робочого органу  $n=100...150$  обертів за хвилину при зазорі між витками та кожухом  $H=1...2$  мм та куті нахилу шнека  $\alpha=0...5$  град. Подальше збільшення кута нахилу конвеєра призводить до зменшення продуктивності та підвищення витрати потужності на привід гвинтового робочого органу.

**Висновки.** 1. Найбільший вплив на травмування зернового матеріалу здійснює зазор між витками та кожухом конвеєра. Наближення його до середніх розмірів зернових частинок призводить до підвищеного руйнування окремих зерен. При зазорі, меншому мінімальних розмірів зерен, зацмлення їх в процесі переміщення по кожуху практично не спостерігається, а при зазорі, більшому трьох середніх розмірів частин, на дні кожуха утворюється пасивний ледь рухомий шар матеріалу.

2. Використання конвеєра зі встановленим мінімальним зазором між витками і кожухом дозволяє зменшити пошкодження зерна гвинтовим робочим органом до 0,3 % (у серійного шнекового живильника – 0,48%), при збереженні максимальної продуктивності процесу.

3. Зміна кута нахилу гвинтового конвеєра не лише підвищує питому енергоємність процесу, але й впливає на зростання травмування зернового матеріалу, що переміщується.

Подальші дослідження слід зосередити на вивченні питання удосконалення та пошуку нових більш ефективних конструкцій гвинтових конвеєрів і шнекових живильників для переміщення зерна.

## Список літератури

1. Гевко Б.М. Винтовые подающие механизмы сельскохозяйственных машин [Текст] / Б.М. Гевко, Р.М. Рогатынский. – Львов: Выща школа. Изд-во при Львов. ун-те, 1989. – 176 с.
2. Гевко І.Б. Гвинтові транспортно-технологічні механізми: розрахунок і конструювання [Текст] / І.Б. Гевко. – Тернопіль: ТДГУ імені Івана Пулюя, 2008. – 307 с.
3. Кузнецов В.В. Методы уменьшения износа поверхностей трения зерноочистительных агрегатов [Текст] / В.В. Кузнецов. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1984. – 132 с.
4. Пугачев А.Н. Повреждение зерна машинами [Текст] / А.Н. Пугачев. – М.: Машиностроение, 1976. – 320 с.
5. Тарасенко А.П. Снижение травмирования семян при уборке и послеуборочной обработке [Текст] / А.П. Тарасенко. – Воронеж: ФГОУ ВПО ВГАУ, 2003. – 331 с.
6. Бойко А.І. Дослідження контактної взаємодії зерна в зазорі «виток-кожух» шнекових живильників зерноочисних машин [Текст] / А.І. Бойко, В.Л. Куликівський // Науковий вісник НУБіПУ. – К.: Ред-вид. відділ НУБіПУ, 2011. – Вип. 166: Техніка та енергетика АПК, ч. 1. – С. 267-274.
7. Татуревич М.А. Особливості умов експлуатації шнекових живильників зерноочисних машин [Текст] / М.А. Татуревич, В.Л. Куликівський, С.М. Хоменко // Збірник тез доповідей VII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та аспірантів «Підвищення надійності машин і обладнання». – Кіровоград: КНТУ, 2013. – С. 37-39.
8. Пат. 68860 Україна, МПК В65G 33/16. Стенд для дослідження характеристик гвинтових транспортерів та шнекових живильників / А.І. Бойко, С.В. Міненко, В.Л. Куликівський; заявник В.Л. Куликівський. – №u201112449; заявл. 24.10.2011; опублік. 10.04.2012, Бюл. № 7, 2012 р.
9. Куликівський В.Л. Результати експериментальних досліджень гвинтових транспортерів та живильників [Текст] / В.Л. Куликівський // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2013. – Вип. №132: Технічні системи і технології тваринництва. – С. 427-434.
10. Куликівський В.Л. Експериментальні дослідження ефективності роботи гвинтових транспортерів зерноочисних машин [Текст] / В.Л. Куликівський // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2013. – Вип. 134: Технічні сервіс машин для рослинництва. – С. 95-101.

**Vladimir Kulykivskiy, PhD tech. sci., Vladimir Paliychuk, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Victor Borovskiy, Sr. Lect.**

*Zhytomyr National Agroecological University, Zhitomir, Ukraine*

### **Investigation of injuries grain screw conveyor**

The greatest influence on grain material injury makes the gap between the coils and body assembly line, bringing it closer to the average grain size of particles leads to increased destruction of individual grains. At minimum gap smaller grains, jamming them in the process of moving to the body practically not observed, and if the gap more than three medium size pieces at the bottom of the shell is formed passive barely moving layer of material.

Using a belt with a threshold gap between the turns and the body can reduce grain damage screw working body by almost half, while maintaining maximum process performance.

Tilting the screw conveyor not only increases the specific energy process, but also affects the growth of material injury to grain that moved.

**process, conveyor, grain material, parameters, screw working body, injury**

Одержано 28.10.16

УДК 633. 521: 631. 172

**А. С. Лімонт, доц., канд. техн. наук, О. С. Поліщук, викл.**  
*Житомирський агротехнічний коледж, м. Житомир, Україна*  
*E-mail: lajla2412@ukr.net*

**О. Б. Плужніков, асист.**  
*Житомирський національний агроекологічний університет, м. Житомир, Україна*

## Абсолютна маса насіння і збирання льону-довгунця

Узагальнені експериментальні дані про абсолютну масу насіння льону-довгунця з урахуванням фаз його стиглості і їх тривалість. З'ясовані кількісні зміни абсолютної і відносної вологості залежно від фаз стиглості за числом днів їх настання від зеленої.

**льон-довгунець, насіння, абсолютна маса, фази стиглості, збирання, дні, закономірність**

**А.С. Лимонт, доц., канд. техн. наук, А.С. Полищук, препод.**  
*Житомирский агротехнический колледж, г.Житомир, Украина*

**О.Б. Плужников, ассист.**  
*Житомирский национальный агроэкологический университет, г.Житомир, Украина*

**Абсолютная масса семян и уборка льна-долгунца**

Обобщены экспериментальные данные об абсолютной массе семян льна-долгунца с учетом фаз его спелости и их продолжительность. Определены количественные изменения абсолютной массы семян, а также их абсолютной и относительной влажности в зависимости от фаз спелости по числу дней их наступления от зеленой.

**лен-долгунец, семена, абсолютная масса, фазы спелости, уборка, дни, закономерность**

**Постановка проблеми.** Найбільш технологічними і економічно доцільними, з урахуванням погодних умов льонозбирального періоду, вважають роздільне і комбайнове збирання льону-довгунця або ж технологію і організацію збирання цієї культури за так званою комбінованою технологією, що являє собою поєднання роздільного і комбайнового збирання [1,2]. З метою енергозбереження при виробництві льону-довгунця пропонується використовувати на збиранні культури зернозбиральні комбайни [1,3]. Доцільність організації льонозбиральних робіт за вказаними технологічними схемами зумовлена біологічними особливостями льону-довгунця, які полягають в тому, що технічна стиглість волокна в стеблах не збігається з біологічною стиглістю насіння в коробочках [4]. За технічної стиглості в стеблах міститься найбільше волокна високої якості. Технічна стиглість збігається з ранньою жовтою стиглістю, а біологічна – із жовтою стиглістю, при збиранні в яку льону-довгунця одержують високоякісне насіння, що придатне для сівби і технічної переробки [5]. Посівну якість насіння, крім інших показників, оцінюють абсолютною масою насіння (масою 1000 шт. насінин). В проблемі механізованого виробництва льону-довгунця залишилася поки ще нез'ясованою ціла низка питань, в тому числі і питання щодо абсолютної маси насіння з урахуванням фаз стиглості культури. В пропонуваному повідомленні і передбачено з'ясувати це питання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** За даними П. П. Валатка [6], В. Гур'єва [7], А. Дьомкіна [8], І. П. Карпця і В. М. Склянчука [9], І. П. Карпця [4], Л. М. Кукреш [10], В. І. Макаєва [11], С. М. Малакотіної [12], В. Соколова [13],

А. Строгова [14] та ін. найбільша маса 1000 шт. насіння льону-довгунця була зафіксована за збирання культури у фазі повної стиглості. Щодо даних Л. М. Кукреш, то такий стан з абсолютною масою насіння був відмічений в окремі роки досліджень і стосовно відповідного сорту льону-довгунця. За даними цього ж дослідника в окремі роки і стосовно різних сортів льону-довгунця, максимальна маса 1000 шт. насіння спостерігалася і в фазі жовтої стиглості. В окремих результатах досліджень Л. М. Кукреш спостерігалася однакова абсолютна маса насіння льону-довгунця зібраного у фазах повної і жовтої стиглості.

С. А. Леонов [15,16] вказував, що збирання селекційного насінницького льону з ділянок розмноження має здійснюватися в період пізньої жовтої стиглості, щоб отримати найбільш вагомі, цілком життєздатне високоякісне насіння зі всіх коробочок суцвіття. Щодо збирання льону-довгунця у фазі ранньої жовтої стиглості С. А. Леонов писав, що за дослідженнями насіння як посівний матеріал після деякого періоду спокою є за схожістю нормальним і не поступається насінню, що зібране в більш пізні строки збирання, хоча воно і трохи меншої абсолютної маси.

М. Ф. Федоров [17] писав, що збирання насінницьких посівів селекційного льону слід здійснювати в жовтій стиглості, не допускаючи настання повної стиглості. Збирання насінницьких посівів у фазі жовтої стиглості рекомендує і С. М. Малакотіна [12].

Як вказувалося, в дослідженнях В. І. Макаєва [11] найбільша маса 1000 шт. насіння була зафіксована за збирання льону-довгунця у фазі повної стиглості. Проте В. І. Макаєв вказує, що найбільш оптимальним строком розстилення льону, за якого можливо одержати якісне насіння зі схожістю понад 95 % та масою 1000 шт. насіння 4,44 г, є розстилення у фазі ранньої жовтої стиглості.

За дослідженнями М. І. Афоніна і Л. М. Кукреш [18] та Л. М. Кукреш і І. А. Кієня [19], Ф. В. Бистрікова [20], М. Г. Городнього [5], М. Є. Єгорова та Н. С. Кузнєцової і Н. П. Новожилова [21], Л. Д. Фоменка [22], Е. П. Шут [23] та ін. найбільша маса 1000 шт. насіння була одержана при збиранні льону-довгунця у фазі жовтої стиглості.

Л. С. Атрашкевич [24] зі Смоленської сільськогосподарської дослідної станції в досліді одержала, що маса 1000 шт. насіння льону-довгунця була однаковою за його збирання у фазах жовтої і повної стиглості. Н. А. Лазаркевич [25], посилаючись на дослідження німецьких вчених, вказував, що маса 1000 шт. насіння льону-довгунця, зібраного у фазі жовтої стиглості, майже не відрізняється від абсолютної маси насіння культури, що зібрана у фазі повної стиглості. Енергія проростання насіння льону-довгунця, що зібраний у фазі жовтої стиглості, перевищує енергію проростання насіння льону-довгунця, який зібраний у фазі повної стиглості.

Різниця між вологістю насінневих коробочок і насінням льону-довгунця в початковий період дозрівання (зеленець) досягає 20 %, а в стадії повної стиглості – 2...3 %. При цьому середня швидкість висихання насіння становить 0,8...0,9 % в день, а коробочок – 1,5 % [26].

За даними Л. М. Кукреш [10] абсолютна вологість насінневих коробочок за роки досліджень з урахуванням сорту льону-довгунця становила: у фазі зеленої стиглості – 66,8...79,2 %, ранньої жовтої – 39,45...67,80 %, жовтої – 17,2...46,9 %, а у фазі повної стиглості – 11,20...33,5 %.

Вологість насінневих коробочок при збиранні льону-довгунця в різні фази стиглості вивчали і інші дослідники, наприклад, І. П. Карпець і В. М. Склянчук [9], І. П. Карпець [4] і В. М. Макаєв [11], В. Макаєв та Р. Гілязетдінов і В. Шейченко [27].

Що стосується збирання полеглого льону, то за інформацією Б. А. Доспехова [28] більш раннє збирання дозволяє зберегти посівні якості насіння. Навіть при збиранні в зеленій стиглості насіння льону має більшу господарську придатність у порівнянні з насінням, що одержане від льону, зібраного наприкінці жовтої стиглості. Е. М. Сухановський [29] пише, що при збиранні в ранній жовтій стиглості одержують високу якість насіння льону-довгунця.

А. Дьомкін [8] вказує, що насіння з абсолютною масою нижче 3,5 г не може вважатися насінневим матеріалом, а Л. Д. Фоменко [22] пише, що на думку низки дослідників висівати можна насіння виповненістю, яка забезпечує масу 1000 шт. насінин не менше 4,2 г.

З'ясування фази стиглості льону-довгунця, за якої збирання культури забезпечує одержання насіння з належними посівними якостями, пов'язане із післязбиральним його дозріванням. Це питання, крім інших дослідників, вивчав і Н. Коренський [30]. Збирання льону-довгунця було здійснено у фазі ранньої жовтої стиглості з вивченням дозрівання насіння в стеблах, що сформовані в снопи, в очісаних коробочках при бранні льону-довгунця та в рослинах невибраного льону-довгунця на пні. Оцінювали тривалість дозрівання впродовж 5, 10 і 15 днів. При дозріванні насіння в снопах впродовж 15 днів енергія проростання і схожість були однаковими і становили 98,2 % за абсолютної маси насіння 4,80 г. Насіння з очісаних при бранні стебел мало найбільші якісні показники, які становили: енергія проростання – 97,6 %, схожість – 98,1 % за абсолютної маси 4,77 г. Насіння з рослин на пні найкращі енергію проростання (97,6 %) і схожість (98,5 %) мали за 10-денної тривалості дозрівання, коли абсолютна маса насіння становила 4,89 г. Н. Коренський вказує, що одержання високоякісного насіння можливе при збиранні льону-довгунця в ранній жовтій стиглості з одночасним при бранні очісуванням коробочок.

Календарні дати або ж час (кількість днів чи тижнів) від сівби чи цвітіння льону-довгунця до настання відповідних фаз стиглості культури або проміжок (в днях) між цими фазами знаходимо в працях В. Гур'єва [7], В. Соколова [13], С. А. Леонова [15, 16], Ф. В. Бистрікова [20], книзі [31], монографії [32], довіднику [33], публікаціях І. П. Карпця [34], Л. М. Кукреш [10], М. І. Афоніна і Л. М. Кукреш [18], В. І. Макаєва і його співавторів [27]. Інформацією щодо тривалості різних фаз стиглості зустрічаємо в працях Л. Д. Фоменка [35], Л. Д. Фоменка і А. В. Струкова [36], А. Я. Соловійова [37], В. Г. Дідори і його співавторів [38]. За даними Псковської лляної дослідної станції [31] тривалість фаз стиглості становить: зелена стиглість – 11 днів, рання жовта – 13, жовта – 10, повна стиглість – 11 днів. В дослідженні В. І. Макаєва [27] перше брання льону здійснювали в зеленій фазі стиглості 13 липня, з 22 по 29 липня стеблостій відповідав ранній жовтій стиглості, з 26 липня по 2 серпня – жовтій, а з 5 серпня – повній фазі стиглості. За даними Л. Д. Фоменка [35] тривалість зеленої фази стиглості становила 11 днів, ранньої жовтої – 9, а пізньої жовтої – 15 днів. В книзі Л. Д. Фоменка і А. В. Струкова [36] вказано, що тривалість ранньої жовтої фази становить 7–9, а жовтої – 8–10 днів. В монографії [32] вказано, що повна стиглість настає через три тижні після ранньої жовтої фази стиглості, а за даними І. П. Карпця [4] тривалість жовтої фази стиглості становить 5–7 днів.

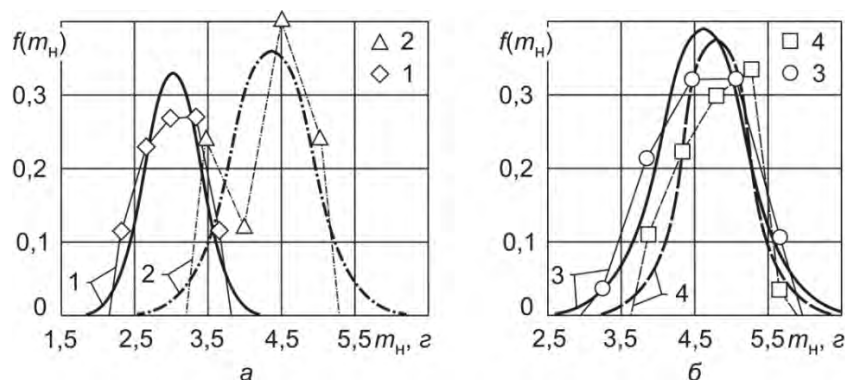
**Постановка завдання.** Мета дослідження полягала в поліпшенні технології і організації льонозбирального процесу шляхом з'ясування посівної якості насіння, одержуваного при збиранні льону-довгунця в різні фази стиглості. Завдання дослідження: 1) дослідити статистичні розподіли абсолютної маси насіння, що зібране в різні фази стиглості льону-довгунця; 2) узагальнити настання відповідних фаз стиглості льону-довгунця за числом днів від зеленої фази; 3) з'ясувати кількісний

зв'язок між абсолютною масою насіння і фазами стиглості льону-довгунця за кількістю днів їх настання від зеленої фази; 4) проаналізувати вологість насінневих коробочок льону-довгунця, що вибраний в різні фази стиглості і характер та інтенсивність зміни цієї вологості залежно від тривалості брання льону-довгунця за фазами стиглості; 5) охарактеризувати можливі схеми організації льонозбирального процесу з урахуванням витрати палива і електроенергії на сушіння льоновороху, що уможливорює екологічно спрямоване виробництво льонопродукції.

**Об'єкт та методика дослідження.** Об'єкт дослідження – процеси настання фаз стиглості та зміни вологості насінневих коробочок і абсолютної маси насіння з урахуванням тривалості збирання льону-довгунця. Предмет дослідження – закономірності зміни абсолютної маси насіння і вологості насінневих коробочок льону-довгунця з урахуванням настання відповідних фаз стиглості за числом днів від завершення зеленої фази. Методика одержання вихідної інформації полягала у використанні експериментальних даних інших дослідників, які розглядали як випадкові величини, що формували відповідні статистичні вибірки ознаки, прийнятої за факторіальну, та визначених в якості результативних. Обробка зібраних і опрацьованих даних здійснена з використанням основних засад математичної статистики [39,40,41] та стандартних комп'ютерних програм.

**Результати дослідження.** Емпіричні розподіли абсолютної маси насіння льону-довгунця, вибраного в різні фази стиглості, мали незначні скошеність і пологість. За дослідженнями відношення середніх квадратичних відхилень коефіцієнта асиметрії, тобто його помилки, до чисельного значення коефіцієнтів асиметрії коливалися від 0,156 до 0,73, а відношення середніх квадратичних відхилень коефіцієнта ексцесу до чисельних значень цього коефіцієнта були в межах 0,718...1,20. Оскільки наведені значення значно менші потроєних середніх квадратичних відхилень, то слід вважати про незначущість асиметрії і ексцесу емпіричних кривих розподілів абсолютної маси насіння льону-довгунця, вибраного в різні фази стиглості, що свідчить про нормальність досліджуваних розподілів. Таке підтверджується і розрахунком  $\chi$ -квадрат критерію Пірсона. Виявилось, що з урахуванням числа ступенів вільності розрахункові (спостережувані)  $\chi$ -квадрат критерії менші табличних значень на рівні ймовірності 0,95 для розподілів абсолютної маси насіння льону-довгунця, що вибраний у фазах стиглості зеленої, жовтій і повній та на рівні ймовірності 0,999 стосовно розподілу абсолютної маси насіння культури, що вибрана у ранню жовту фазу стиглості. На вказаних рівнях ймовірності відсутні підстави вважати, що досліджувані емпіричні розподіли значущо відмінні від нормального.

На рис. 1 наведені полігони емпіричних і криві нормального розподілів маси 1000 шт. насінин льону-довгунця, що вибраний в різні фази стиглості. Враховуючи властивості нормального розподілу, визначено ймовірність одержання насіння з абсолютною масою від 4,2 до 6,0 г, що забезпечує належні посівні якості з урахуванням брання льону-довгунця в різні фази стиглості. Виявилось, що за брання льону-довгунця в зелену фазу стиглості ймовірність одержання насіння з бажаною абсолютною масою становить тільки 0,001, за брання в ранній жовтій стиглості – 0,60, в жовтій – 0,73, а в повній – 0,87.



1, 2, 3 і 4 – фази стиглості льону-довгунця відповідно зелена, рання жовта, жовта і повна

Рисунок 1 – Полігони і криві нормального розподілу маси 1000 шт. насінин  $m_n$  льону-довгунця, що вибрані в різні фази стиглості

В табл. 1 наведені основні статистичні показники, що характеризують досліджувані розподіли абсолютної маси насіння льону-довгунця.

Таблиця 1 – Статистичне оцінювання розподілів абсолютної маси насіння (маси 1000 шт. насінин) льону-довгунця залежно від фази стиглості

Фази стиглості	Розмах варіювання, г	Середнє		Коефіцієнт варіації, %	Відношення помилки коефіцієнта		$\chi^2$ -квдрат критерій Пірсона		
		арифметичне значення $m_n$ , г	квадратичне відхилення, г		асиметрії до його значення	ексцесу до його значення	розрахунковий (спостережуваний) $\chi^2_p$	табличний	
								значення $\chi^2_t$	рівень ймовірності
Зелена	2,18–3,90	3,02	0,39	12,9	0,156	0,885	1,74	6,0	0,95
Рання жовта	3,22–5,30	4,35	0,57	13,1	0,730	1,200	7,10	10,8	0,999
Жовта	2,94–6,03	4,61	0,62	13,4	0,240	0,718	0,52	3,8	0,95
Повна	3,64–6,03	4,78	0,50	10,5	0,620	0,810	1,25	3,8	0,95

В табл. 2 наведена інформація щодо визначення прогнозованого і усередненого числа днів настання відповідної фази стиглості льону-довгунця від зеленої фази.

Таблиця 2 – Статистичні показники настання відповідної фази стиглості льону-довгунця через скільки днів від зеленої

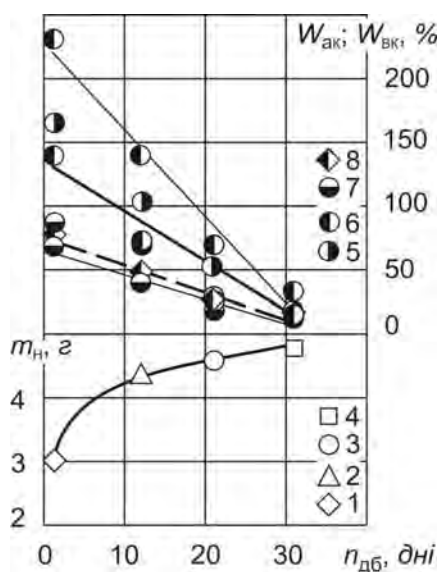
Фаза стиглості	Розмах варіювання, дні	Середнє		Коефіцієнт варіації, %	Помилка середнього арифметичного, дні	Показник точності досліджу, %
		арифметичне значення, дні	квадратичне відхилення, дні			
Рання жовта	10–15	12	1,73	14,4	0,45	3,75
Жовта	17–27	21	2,82	13,4	0,75	3,57
Повна	22–38	31	4,99	16,1	1,33	4,29

Узагальнені усереднені число днів  $n_{дб}$  настання відповідної фази стиглості льону-довгунця, рахуючи від зеленої фази, і абсолютна маса насіння  $m_n$  культури при її збиранні в ці фази наведені на рис. 2. Найкраще вирівнювання експериментальних значень абсолютної маси насіння забезпечила їх апроксимація логарифмічною функцією вигляду

$$m_n = 3,029 + 0,517 \ln n_{дб} \text{ при } R^2=0,999, \quad (1)$$

де  $m_n$  – абсолютна маса насіння льону-довгунця (маса 1000 шт. насінин), г;  
 $n_{дб}$  – число днів настання відповідної фази стиглості льону-довгунця від його зеленої фази, коли здійснювали брання рослин;

$R^2$  – коефіцієнт, що визначає вірогідність апроксимації експериментальних значень  $m_n$  рівнянням (1).



1, 2, 3 і 4 – фази стиглості льону-довгунця відповідно зелена, рання жовта, жовта і повна та 5 – дані І. П. Карпця і В. М. Склянчука [9]; 6 – І. П. Карпця [4] і В. І. Макаєва [11]; 7 – Л. М. Кукреш [10]; 8 – В. Макаєва, Р. Гілязетдінова і В. Шейченка [27]

Рисунок 2 – Зміна абсолютної маси насіння  $m_n$  та абсолютної (суцільні лінії)  $W_{ак}$  (5; 6; 7) і відносної (пунктирна)  $W_{вк}$  (8) вологості насінневих коробочок льону-довгунця, що зібраний у різні фази стиглості (через днів від зеленої фази)

З рівняння (1) видно, що при бранні льону-довгунця в зелену фазу стиглості ( $n_{дб}=1$ ) другий його член дорівнює 0 (нулю), а  $m_n$  становить 3,029 г, що майже збігається з експериментальними даними. На рис. 2, в нижній його частині наведена крива, що побудована за рівнянням (1). Якщо зміну  $m_n$  залежно від  $n_{дб}$  подати рівнянням прямої ( $R^2=0,824$ ), то за її кутовим коефіцієнтом зі збільшенням тривалості брання від зеленої фази стиглості на кожні 10 днів абсолютна маса насіння зростає на 0,57 г. Якщо ж зміну  $m_n$  від  $n_{дб}$  подати рівнянням сповільнено зростаючої гіперболи ( $R^2=0,969$ ), то за вільним членом такого рівняння можна констатувати, що із збільшенням тривалості брання льону від зеленої до повної фази стиглості абсолютна маса насіння зростає до асимптотичного значення, яке становить 4,67 г.

З використанням даних Л. М. Кукреш [10], І. П. Карпця і В. М. Склянчука [9], І. П. Карпця [4] та В. І. Макаєва [11] розраховали усереднену абсолютну вологість  $W_{ак}$  (%) насінневих коробочок в різні фази стиглості льону-довгунця. За цими усередненими даними знайшли рівняння прямої з від'ємним кутовим коефіцієнтом вигляду

$$W_{BK} = 134,87 - 3,95n_{дБ} \text{ при } R^2=0,977. \quad (2)$$

За рівнянням (2) побудований графік зміни  $W_{ак}$  залежно від  $n_{дБ}$ , що наведений на рис. 2 товстою суцільною лінією. З рівняння і наведеного графіка простежується, що із зміною настання відповідної фази стиглості на один день від зеленої абсолютна вологість насінневих коробочок зменшується майже на 4 % і при збиранні у фазі жовтої стиглості може становити 51,9 %, а у фазі повної – 12,3 %. За найбільшими і найменшими граничними значеннями абсолютної вологості насінневих коробочок, які апроксимовані на рис. 2 тонкими суцільними лініями видно, що при бранні льону у фазі жовтої стиглості абсолютна вологість становить відповідно 84,4 і 24,6 %, а у фазі повної – 16,3 і 5,5 %.

Зміна відносної вологості насінневих коробочок  $W_{BK}$  (%) за даними В. М. Макаєва, Р. Гілязетдінова і В. Шейченка [27] описується рівнянням прямої

$$W_{BK} = 75,02 - 2,14n_{дБ} \text{ при } R^2=0,980. \quad (3)$$

За рівнянням (3) побудований графік зміни  $W_{BK}$  залежно від числа днів брання льону після зеленої фази стиглості, що наведений на рис. 2 пунктирною лінією. З аналізу рівняння (3) випливає, що із збільшенням числа днів брання льону на один день від зеленої фази стиглості відносна вологість насінневих коробочок зменшується дещо більше, ніж на 2 %. З рівняння (3) видно, що відносна вологість насінневих коробочок у жовтій фазі стиглості становить 30,1 %, а в повній – 8,7 %.

За [42] льон-довгунець на волокно збирають в ранній жовтій – жовтій стиглості. Збирання комбайнами розпочинають на четвертий – шостий день від початку ранньої жовтої фази стиглості і завершують впродовж 10-12 днів в жовтій стиглості. У разі впровадження комбінованої технології виконання збиральних робіт збирання льону розпочинають роздільним способом у фазі ранньої жовтої стиглості і з урахуванням погодних умов практикують дозрівання насіння в коробочках вибраних і розстелених стебел з наступним їх обмолотом шляхом використання льонопідбирача-молотарки ПМЛ-1 [3]. Із настанням жовтої фази стиглості збирання здійснюють комбайновим способом [27], але для його реалізації з урахуванням вологості насінневих коробочок виникає необхідність сушіння льоновороху, яке пов'язано з додатковими витратами палива і електроенергії, що погіршує екологоспрямований розвиток виробництва льонопродукції. За повної стиглості льону-довгунця з урахуванням вологості насінневих коробочок відпадає потреба в сушінні льоновороху та насіння і збирання культури може бути здійснено зернозбиральним комбайном [27]. Проте, у фазі повної стиглості спостерігається розтріскування насінневих коробочок в рослинах льону-довгунця, що стоять на пні, і осипання кращого, найбільш ваговитого і життєздатного насіння [12, 18]. За даними Л. М. Кукреш і І. А. Кієня [19] при збиранні льону-довгунця в повній стиглості втрачають до 22 % урожаю насіння та зростає його захворюваність. Крім того, як вказує М. Г. Городній [5], при збиранні льону-довгунця у фазі повної стиглості якість волокна, порівняно з ранньою жовтою стиглістю, знижується майже вдвоє. За даними [43] коротке волокно з трести льону-довгунця, що отримана після збирання насіння зернозбиральним комбайном, порівняно з традиційним способом її готування має нижчий номер.

**Висновки.** Розподіл абсолютної маси насіння льону-довгунця, що зібраний в різні фази стиглості, незначуще відхиляється від нормального. За збирання льону-довгунця у фазі стиглості зелену, ранню жовту, жовту і повну ймовірність одержання насіння з належною посівною якістю за абсолютною масою в межах 4,2–6,0 г становить відповідно 0,001; 0,60; 0,73 і 0,87.

З'ясоване усереднене число днів настання відповідної фази стиглості від завершення зеленої стиглості з показником відносної точності, що не перевищує 5,0 %. Характер зміни абсолютної маси насіння льону-довгунця і вологості насінневих коробочок залежно від числа днів настання відповідних фаз стиглості, які відлічуються від завершення зеленої стиглості, описується відповідно рівняннями сповільнено зростаючої логарифмічної функції та прямих з від'ємними кутовими коефіцієнтами. Рекомендована організація льонозбирального процесу, що сприяє зменшенню втрат енергоносіїв на сушінні льоновороху і уможливорює екологоспрямоване виробництво льонопродукції.

Напрямок подальших досліджень на нашу думку має бути спрямований на пошук і з'ясування зв'язків між абсолютною масою насіння льону-довгунця і енергією проростання та схожістю, що визначають умови механізованого виробництва рошенцевої льонотрести.

## Список літератури

1. Ковалев М. Обоснование и разработка технологии комбинированной уборки льна-долгунца [Текст] / М. Ковалев // Международный с.-х. журнал. – 2004. – № 6. – С. 55–58.
2. The technologies of fiber flax harvesting, their production efficiency and the prerequisites of their technological substantiation (Технологии уборки льна-долгунца, их производственная эффективность и предпосылки технологического обоснования) / A. Limont, V. Sheichenko, M. Tolstushko, N. Tolstushko // American Journal of Science and Technologies. – “Princeton University Press”, 2016. – № 1 (21). – Vol. III. – January – June. – P. 878–895.
3. Макаев В. Технологические аспекты производства льняного волокна [Текст] / В. Макаев, В. Василюк // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – 2013. – Vol. 15. – № 4. – P. 23–28.
4. Карпець І. П. Інтенсивна технологія вирощування льону-довгунця [Текст] / Карпець І. П. – К.: Урожай, 1990. – 112 с.
5. Льон-довгунець [Текст] / [Колектив авторів]; за ред. М. Г. Городнього. – К.: Урожай, 1971. – 364 с.
6. Валатка П. П. Сроки теребления и некоторые вопросы расстила льна в условиях Литовской ССР: автореф. дис. на соискание учен. степени канд. с.-х. наук: спец. 538 «Растениеводство» / П. П. Валатка. – Каунас, 1969. – 22 с.
7. Гурьев В. Время и способы уборки льна (Из результатов работ Волоколамского опытного поля) [Текст] / В. Гурьев // Лен и пенька. – 1926. – № 6. – С. 28–36.
8. Демкин А. Абсолютный вес как основной показатель качества семян льна (В порядке обсуждения) [Текст] / А. Демкин // Лен и конопля. – 1935. – № 5. – С. 23–26.
9. Карпець І. П. Як підвищити якість і схоронність льонопродукції [Текст] / І. П. Карпець, В. М. Скляничук. – К.: Урожай, 1986. – 128 с.
10. Кукреш Л. М. Изменение хозяйственно ценных признаков и свойств при созревании льна-долгунца в условиях Белоруссии: автореф. дис. на соискание учен. степени канд. с.-х. наук: спец. 538 «Растениеводство» / Л. М. Кукреш. – Жодино, 1968. – 26 с.
11. Макаев В. І. Вплив технологій збирання та фаз розвитку рослин льону на якість насіння [Текст] / В. І. Макаев // Механізація та електрифікація сільського господарства: міжвідомчий тематичний наук. зб. – Глеваха: ННЦ «Інститут механізації та електрифікації с. г.» УААН, 2006. – Вип. 90. – С. 291–296.
12. Малакотина С. М. О сроках уборки льна [Текст] / С. М. Малакотина // Материалы научных конференций: Агрономия. – Ижевск: Ижевский с.-х. ин-т, 1961. – Вып. 9. – С. 75–81.
13. Соколов В. Опыты с влиянием сроков уборки на урожай льна [Текст] / В. Соколов // Записки Ленинградского с.-х. ин-та. – Л.: Издание с.-х. ин-та, 1927. – Т. 4. – С. 349–374.
14. Строгов А. О сроках теребления льна [Текст] / А. Строгов // Лен и конопля. – 1930. – № 13. – С. 2.
15. Леонов С. А. Сроки уборки и предшественники льна в восьмипольи [Текст] / С. А. Леонов // Труды льняной опытной станции академии крупного социалистического сельского хозяйства им. К. А. Тимирязева. – М.: Новый агроном, 1930. – Вып. 6. – С. 307–319.
16. Леонов С. А. Вовремя убрать убрать лен-долгунец [Текст] / С. А. Леонов // Лен и конопля. – 1935. – № 7. – С. 13–16.
17. Федоров М. Ф. Влияние сроков уборки льна на качество семян (Опыт Опочецкой льносебазы) [Текст] / М. Ф. Федоров // Лен и конопля. – 1935. – № 6. – С. 31–34.

18. Афонин М. И. Изменение хозяйственно ценных признаков и свойств в процессе роста и развития льна-долгунца [Текст] / М. И. Афонин, Л. М. Кукреш // Пути повышения урожайности полевых культур. – Минск: Ураджай, 1971. – Вып. 2. – С. 81–84.
19. Кукреш Л. М. Влияние сроков уборки льна-долгунца на урожай и качество семян [Текст] / Л. М. Кукреш, И. Я. Киеня // Тезисы докладов 1-й республиканской конференции молодых ученых Белоруссии по вопросам повышения эффективности земледелия. – Жодино: Белорусский НИИ земледелия, 1970. – С. 195–197.
20. Быстриков Ф. В. Испытание семян льна, получаемых при различных сроках уборки в качестве посевного материала [Текст] / Ф. В. Быстриков // Труды льняной опытной станции академии крупного социалистического сельского хозяйства им. К. А. Тимирязева. – М.: Новый агроном, 1930. – Вып. 6. – С. 189–197.
21. Егоров М. Е. Сроки уборки льна и качество продукции [Текст] / М. Е. Егоров, Н. С. Кузнецова, Н. П. Новожилов // Лен и конопля. – 1974. – № 6. – С. 33–34.
22. Фоменко Л. Д. Вирівняний льон [Текст] / Л. Д. Фоменко. – К.: Урожай, 1967. – 128 с.
23. Шут Е. П. Разнокачественность семян льна-долгунца и ее влияние на урожай и качество продукции [Текст] / Е. П. Шут // Повышение урожайности и качества льна: науч. труды / Житомир. с.-х. ин-т; под ред Б. В. Лесика. – К., 1969. – Т. 19. – С. 60–63.
24. Льноводство: монографія / [Кручинин М. И., Петрова Л. И., Рогаш А. Р. и др.]; отв. ред. А. Р. Рогаш. – М.: Колос, 1967. – 583 с.
25. Лазаркевич Н. А. Льняное дело в Западной Европе [Текст] / Лазаркевич Н. А. – М.: Книгосоюз, 1930. – 514 с.
26. Перов И. А. Исследование процесса сушки семян льна в коробочках: автореф. дис. на соискание учен. степени канд. техн. наук: спец. 05.20.01 «Механизация сельскохозяйственного производства» [Текст] / И. А. Перов. – М., 1973. – 27 с.
27. Макаев В. Технології одержання льнопродукції [Текст] / В. Макаев, Р. Гілязетдінов, В. Шейченко // Техніка АПК. – 2006. – № 1–2. – С. 30–31.
28. Доспехов Б. А. О времени уборки полегшего льна [Текст] / Б. А. Доспехов // Лен и конопля. – 1957. – № 7. – С. 19–20.
29. Сухановский Е. М. Преимущества ранних сроков уборки льна [Текст] / Е. М. Сухановский // Лен и конопля. – 1958. – № 6. – С. 35–39.
30. Коренский Н. О послеуборочном дозревании семян льна-долгунца [Текст] / Н. Коренский // Удобрения, обработка почв, селекция, севообороты и защита растений в Белоруссии: тезисы докладов 1-й профсоюзной конференции по вопросам земледелия. – Жодино: Белорусский НИИ земледелия, 1971. – 332 с.
31. Льноводство [Текст] / [Абрамов Н. Г., Афанасьев А. А., Афонин М. И. и др.]; отв. ред. Н. Д. Матвеев. – М.: Гос. изд-во с.-х. литературы, 1949. – 382 с.
32. Лен-долгунец: монография [Текст] / [Б. М. Баранов, А. Д. Костюченко, А. Р. Рогаш и др.]. – М.: Сельхозгиз, 1957. – 576 с.
33. Справочник льновода [Текст] / [Труш М. М., Сергеев И. П., Марченков А. И. и др.]; сост. М. М. Труш и Ф. М. Карпунин. – Л.: Агропромиздат. Ленингр. отд-ие, 1985. – 240 с.
34. Карпец И. П. К вопросу определения степени спелости льна на корню [Текст] / И. П. Карпец // Сб. трудов аспирантов и молодых научных сотрудников: Всесоюз. НИИ льна. – М.: Москов. рабочий, 1970. – Вып. 2. – С. 176–190.
35. Фоменко Л. Д. Льонарство на осушених і низинних землях [Текст] / Л. Д. Фоменко. – Урожай, 1974. – 160 с.
36. Фоменко Л. Д. Индустриальная технология производства льносырья [Текст] / Л. Д. Фоменко, А. В. Струков. – Л.: Агропромиздат. Ленингр. отд-ие, 1987. – 104 с.
37. Соловьев А. Я. Льноводство [Текст] / Соловьев А. Я. – М.: Агропромиздат, 1989. – 320 с.
38. Льонарство: підруч. [Текст] / [Дідора В. Г., Малиновський А. С., Дереча О. А. та ін.]; за ред. В. Г. Дідори. – Житомир: Вид-во «Житомир. нац. агроколог. ун-т», 2008. – 488 с.
39. Гмурман В. Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике: учеб. пособ. для студ. вузов [Текст] / Гмурман В. Е. – М.: Высш. шк., 1999. – 400 с.
40. Дмитриев Е. А. Математическая статистика в почвоведении: учеб. пособ. [Текст] / Е. А. Дмитриев. – М.: Изд-во Москов. ун-та, 1972. – 292 с.
41. Хикс Ч. Основные принципы планирования эксперимента [Текст] / Хикс Ч.; пер. с англ. Т. И. Голиковой, Е. Г. Коваленко, Н. Г. Микешинной; под. ред. В. В. Налимова. – М.: Мир, 1967. – 407 с.
42. Практическое руководство по освоению интенсивной технологии возделывания льна-долгунца [Текст] / [М. М. Труш, И. П. Сергеев, А. Н. Марченков и др.]. – М.: Агропромиздат, 1986. – 72 с.

43. Шейченко В. О. Якість трести льону-довгунцю, отриманої після збирання насіння зернозбиральним комбайном [Текст] / В. О. Шейченко, П. В. Лук'яненко, В. І. Василюк // Вісн. аграр. науки. – 2012. – № 6. – С. 60–62.

**Anatoliy Limont, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Oleksandr Polishchuk, Lect.**

*Zhytomyr Agrotechnical College, Zhytomyr, Ukraine*

**Oleg Pluzhnikov, Assist.**

*Zhytomyr National Agroecological University, Zhytomyr, Ukraine*

**The absolute mass of seeds and fiber flax harvesting**

The paper is aimed at enhancing the efficiency of fiber flax mechanized production through introducing promising technologies of harvesting which provide for obtaining the maximum yield, long fiber count and high-quality seeds by its absolute mass.

On the basis of the references cited the paper highlights the investigations into the empirical distribution of the absolute mass of seeds of fiber flax which is harvested under its green, early yellow, yellow and complete ripeness. Consideration is given to the range of variations in the absolute mass of seeds, its arithmetical mean, average quadratic deviation and the coefficient of variation. The authors determine the correlation of average quadratic deviations of the asymmetry coefficients, as well as the excess related to these coefficients. On the basis of the calculations and with respect to the value of  $\chi$ -square of Pearson criterion one can prove the insignificance of the differences between empirical distributions and the standard law. When applying the peculiarities of the standard distribution one can reveal the probability of obtaining seeds with appropriate absolute mass which determines its sowing quality. The paper also generalizes the information related to reaching the appropriate phases of ripeness with respect to the number of days beginning from the green phase. The authors specify the character of the quantitative changes in the absolute mass of seeds and in the absolute and relative humidity of seeds boxes depending on the phases of fiber flax ripeness with respect to the number of days beginning from the green ripeness which makes it possible to determine the corresponding method of harvesting and the organization of flax harvesting process.

Depending on the duration of fiber flax harvesting process the change in the absolute mass of fiber flax seeds is presented by the equation of moderated ascending logarithmic function, and the absolute and relative humidity of seed boxes – by the equation of lines with negative angle coefficients.

**fiber flax, absolute mass, phases of ripeness, harvesting, days, regularity**

Одержано 01.11.16

**УДК 621.798.38**

**О.В. Оришака, доц., канд. техн. наук, В.І. Гуцул, доц., канд. ф.-м. наук,**

**А.М. Артюхов, доц., канд. техн. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет, м.Кропивницький, Україна*

*E-mail: vvv96@yandex.ua*

## Теоретичне дослідження конусного стабілізатора потоку сипкого матеріалу установки безперервної дії для завантаження сипких матеріалів

Отримані залежності швидкості руху сипкого матеріалу по конусному стабілізатору залежно від величини кута конуса, відстані від конусного стабілізатора до заслінки клапана і коефіцієнта тертя сипкого матеріалу, зазору між торцем матеріалопровода і конусним стабілізатором, товщини шару сипкого матеріалу, що сходить з поверхні конуса.

**конусний стабілізатор, установка, сипкий матеріал**

© О.В. Оришака, В.І. Гуцул, А.М. Артюхов, 2016

О.В. Орышака, доц., канд. техн. наук, В.И. Гуцул, доц., канд. ф.-м. наук, А.Н. Артюхов, доц., канд. техн. наук

Кировоградский национальный технический университет, г. Кропивницкий, Украина

### Теоретическое исследование конусного стабилизатора потока сыпучего материала установки непрерывного действия для загрузки сыпучих материалов

Получены зависимости скорости сыпучего материала по конусному стабилизатору в зависимости от величины угла конуса, расстояния до заслонки клапана и коэффициента трения сыпучего материала, зазора между торцом материалопровода и конусным стабилизатором, толщины слоя сыпучего материала, что сходит по поверхности конуса.

**конусный стабилизатор, установка, сыпучий материал**

**Постановка проблеми.** Установки безперервної дії мають ряд переваг перед установками з циклічною подачею (низькі енергетичні витрати, висока продуктивність, менша матеріалоемність тощо) [1], тому вдосконалення установок безперервної дії є актуальною задачею. Конусний стабілізатор повинен стабілізувати потік сипкого матеріалу по масі перед надходженням до подільчих патрубків

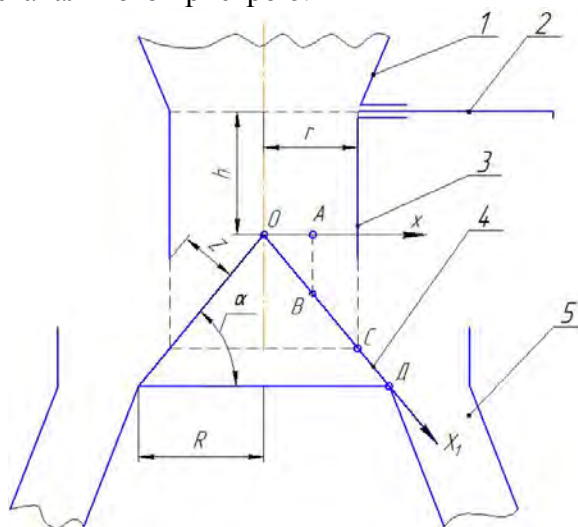
**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Авторами проведено дослідження стабілізатора, виконаного у вигляді воронки, обґрунтовано постачальний пристрій і обґрунтовано продуктивності установок безперервної дії [1,2,3]. Розв'язком схожих задач також займалися інші дослідники [4,5,6].

**Постановка завдання.** Враховуючи те, що конусний стабілізатор є складовою частиною конструкції перспективної установки безперервної дії, виникла необхідність у дослідженні взаємодії потоку сипкого матеріалу і конусного стабілізатора.

Таким чином необхідно було провести теоретичне дослідження впливу параметрів конусного стабілізатора на швидкість сходження сипкого матеріалу з конуса і товщини шару потоку сипкого матеріалу, що надходить до подільчих (вивантажувальних) патрубків.

**Виклад основного матеріалу.** Конусний стабілізатор забезпечує стабілізацію потоку сипкого матеріалу по масі.

Потік сипкого матеріалу після виходу з отвору бункера здійснює вільне падіння до взаємодії з поверхнею конуса і в подальшому проходить через кільцевий зазор між торцем материалопровода і конусом (рис.1) і після сходження з конуса надходить до подільчих патрубків постачального пристрою.



1 – бункер; 2 – заслінка, 3 – материалопровід; 4 – конусний скат; 5 – подільчий патрубок

Рисунок 1 – Розрахункова схема конусного стабілізатора при вільному падінні сипкого матеріалу з вихідного отвору бункера

Визначимо швидкість і товщину шару сипкого матеріалу, що сходить з конуса. Розрахункова схема приведена на рис.1. Вісь координат  $OX$  проводимо через вершину конуса, яка знаходиться на відстані  $h$  від вихідного отвору бункера. Вісь  $OX_1$  направляємо по твірній конуса. Вибираємо довільну матеріальну точку  $A$  на вході в матеріалопровід і прослідкуємо за її рухом по поверхні конуса.

Спочатку матеріальна точка здійснює вільне падіння (ланка  $AB$ ). Потім відбувається удар по поверхні конусного стабілізатора в точці  $B$ , далі – рух по поверхні конуса (ланка  $BC$ ).

$$I \text{ В початковий момент} \quad V_A = V_0 = \sqrt{V_B^2 + 2gh},$$

де  $V_B$  – швидкість виходу частинки сипкого матеріалу з вихідного отвору бункера;

$h$  – відстань від вихідного отвору бункера до вершини конуса.

II Рух по ланці  $AB$

З закону збереження енергії

$$V_B = \sqrt{V_0^2 + 2g \cdot AB} = \sqrt{V_0^2 + 2gx \operatorname{tg} \alpha}, \quad (1)$$

де  $OA = x$ .

III Удар в точці  $B$

Швидкість після удару

$$V_1 = V_B \sin \alpha \quad (2)$$

IV Рух по ланці  $BC$  описується диференціальним рівнянням

$$V \frac{dV}{dx_1} = g(\sin \alpha - f \cos \alpha), \quad (3)$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя матеріалу по поверхні конуса.

Рівняння (3) розв'язується при початковій умові  $V(x_{1B}) = V_1$  (тут  $x_{1B}$  – координата  $x_1$  в точці  $B$ ). Визначаємо швидкість в точці  $C$ :

$$V_C = \sqrt{V_1^2 + 2g(\sin \alpha - f \cos \alpha)(x_{1C} - x_{1B})}. \quad (4)$$

Враховуючи, що  $x_{1B} = x/\cos \alpha$ ,  $x_{1C} = r/\cos \alpha$ , можемо записати

$$V_C = \sqrt{V_1^2 + 2g(r-x)(\operatorname{tg} \alpha - f)}. \quad (5)$$

Використовуючи залежності (1) і (2), одержуємо:

$$V_C = \sqrt{\sin^2 \alpha (V_0^2 + 2gx \operatorname{tg} \alpha) + 2g \cdot (r-x)(\operatorname{tg} \alpha - f)}$$

або

$$V_C = \sqrt{2g(f - 0,5 \sin 2\alpha)x + 2g(\operatorname{tg} \alpha - f)r + V_0^2 \sin^2 \alpha}. \quad (6)$$

Усереднена швидкість по усіх точках, що попадають на поверхню конуса (ланка ОС):

$$V_{Cy} = \frac{2}{r^2} \int_0^r x V_C(x) dx = \frac{2}{r^2} \int_0^r x \sqrt{2g(f - 0,5 \sin 2\alpha)x + 2g(\operatorname{tg} \alpha - f)r + V_0^2 \sin^2 \alpha} dx . \quad (7)$$

Проінтегрувавши, отримуємо

$$V_{Cy} = \frac{4}{15r^2 a^2} \left[ 3(ar + b)^{5/2} - 5b(ar + b)^{3/2} + 2b^{5/2} \right], \quad (8)$$

де

$$a = 2g(f - 0,5 \sin 2\alpha), b = 2g(\operatorname{tg} \alpha - f)r + V_0^2 \sin^2 \alpha . \quad (9)$$

На рис.2 наведені розрахунки, які зроблені за формулами (6) і (8). Як і слід було очікувати, знайдене усереднене значення зміщене в сторону швидкості для  $x$ , близьких до  $r$ .

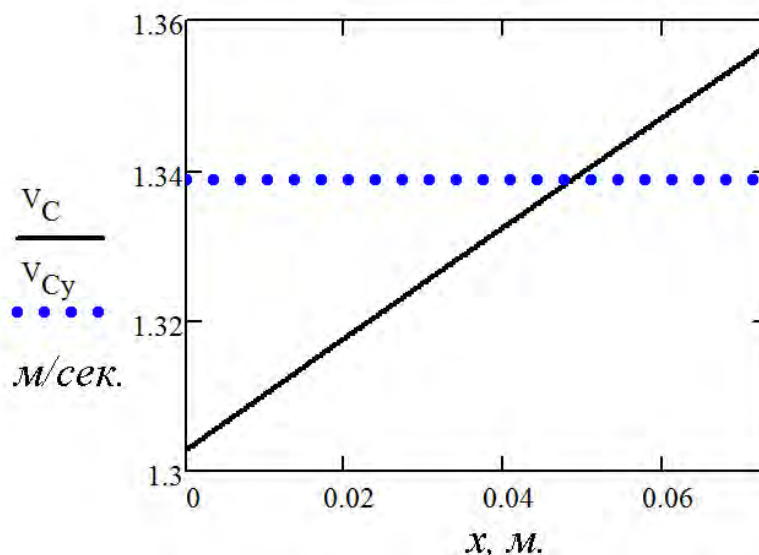


Рисунок 2 – Залежність швидкості  $V_C$  від величини  $x$  та усереднене значення швидкості  $V_{Cy}$  при  $f = 0,6$ ;  $\alpha = \pi/4$ ;  $V_0 = 1,5$  м/с;  $r = 0,073$  м

Визначаємо швидкість сходження сипкого матеріалу з конуса  $V_D$ . Розв'язавши диференціальне рівняння (3) з початковою умовою  $V(x_{1C}) = V_{Cy}$ , аналогічно попередньому отримуємо

$$V_D = \sqrt{V_{Cy}^2 + 2g(R - r)(\operatorname{tg} \alpha - f)} . \quad (10)$$

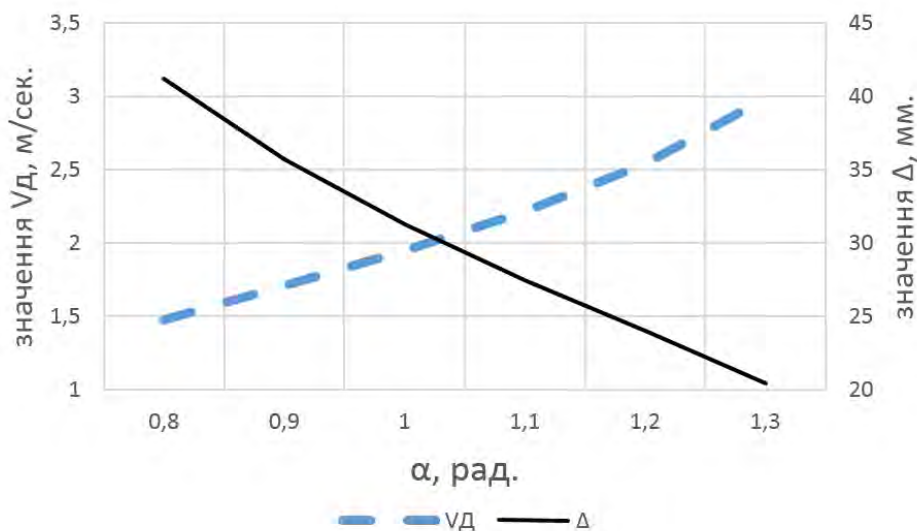


Рисунок 3 – Залежність швидкості сходження сипкого матеріалу з конуса  $V_D$  і товщини шару  $\Delta$  потоку сипкого матеріалу, що сходять з конуса, від  $\alpha$

На рис.3-5 наведено графіки впливу параметрів стабілізатора ( $\alpha$ ,  $V_0$ ,  $f$  – див. рис.1) на швидкість сходження сипкого матеріалу з конуса і товщину шару потоку сипкого матеріалу, що надходить до подільчих (вивантажувальних) патрубків.

Товщину шару сипкого матеріалу, що надходить до подільчих патрубків, визначаємо із співвідношення:

$$S_B V_B = S_{\varnothing} V_D, \quad (11)$$

де  $S_B$  – площа вихідного отвору бункера;

$S_{\varnothing}$  – площа шару сипкого матеріалу, що сходять с конуса.

$$S_{\varnothing} = 2\pi R \cdot \Delta,$$

де  $\Delta$  – товщина шару сипкого матеріалу.

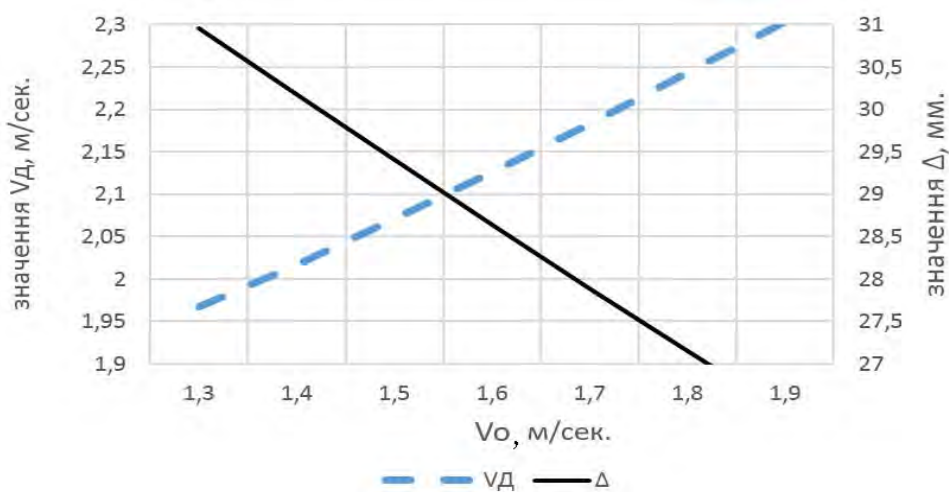


Рисунок 4 – Залежність швидкості сипкого матеріалу  $V_D$  і товщини шару  $\Delta$  потоку сипкого матеріалу, що сходять з конуса, від  $V_0$

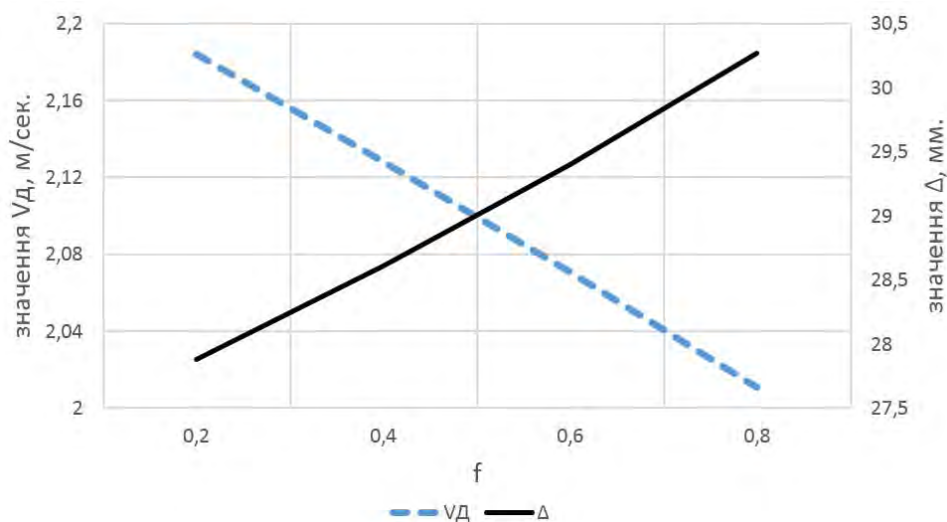


Рисунок 5 – Залежність швидкості сипкого матеріалу  $V_d$  і товщини шару потоку  $\Delta$  сипкого матеріалу, що сходить з конуса, від коефіцієнта тертя сипкого матеріалу по поверхні конуса  $f$

$$\pi r^2 \cdot V_B = 2\pi R \cdot \Delta \cdot V_d, \quad (12)$$

$$\Delta = \frac{\pi r^2 \cdot V_B}{2R \cdot V_d}. \quad (13)$$

Швидкість сходження сипкого матеріалу з конуса установки безперервної дії є головним параметром технологічного процесу завантаження сипких матеріалів т.я. забезпечує процес руху і впливає на продуктивність та, в залежності від конструкції установки, на заповненість об'єма тари, в яку фасується сипкий матеріал. Більш висока швидкість забезпечує кращі параметри технологічного процесу завантаження і заповнення об'єма тари.

Максимальна товщина шару потоку сипкого матеріалу з конуса установки безперервної дії обмежується розмірами завантажувального патрубку які, в свою чергу, залежать від розміру клапана тари, в яку фасується сипкий матеріал.

#### Висновки.

1. При збільшенні кута нахилу поверхні конуса до горизонталі  $\alpha$  та початкової швидкості  $V_0$ , швидкість сходження сипкого матеріалу з конуса збільшується, а товщина шару потоку сипкого матеріалу, що сходить з конуса зменшується.

2. Значний вплив на швидкість сходження сипкого матеріалу з конуса і товщину шару потоку сипкого матеріалу, що сходить з конуса, чинить  $f$ . Тому при великих значеннях коефіцієнта тертя сипкого матеріалу по поверхні конуса, необхідно поверхню конуса покривати матеріалами з малими значеннями коефіцієнта тертя.

3. Швидкість сходження сипкого матеріалу з конуса установки безперервної дії є головним параметром технологічного процесу завантаження сипких матеріалів т.я. забезпечує процес руху і впливає на продуктивність та, в залежності від конструкції установки, на заповненість об'єма тари, в яку фасується сипкий матеріал.

4. Відповідно розрахунків, рекордованими параметрами установки безперервної дії є:  $V_d > 2$  м/сек.,  $V_0 > 1,4$  м/сек.,  $\alpha > 1$  рад.,  $\Delta < 50$  мм.,  $f < 0,6$ .

## Список літератури

1. Пат. (11) 109488 Україна, МПК B65B 1/04, B65B 1/06, B65B 1/18 (Україна). Установка безперервної дії для завантаження сипких матеріалів у клапанні мішки / Оришака О. В., Кравцов А. О., Артюхов А. М., Оришака В. О.; заявник і патентотримач Оришака Олег Володимирович. – № а201315037; заявл. 23.12.2013; опубл. 25.08.2015, Бюл. № 16.
2. Оришака О.В. Обґрунтування постачального пристрою установки безперервної дії для завантаження сипких матеріалів / О.В. Оришака, В.І. Гуцул, А.М. Артюхов // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник «Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин». – Кіровоград: КНТУ, 2014. – Вип. 44. – С. 41-48.
3. Оришака О.В. Теоретичне дослідження установки безперервної дії для завантаження сипких матеріалів / О.В. Оришака, В.В. Гончаров, В.О. Оришака, А.О. Кравцов // Збірник наукових праць КНТУ «Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація». – Кіровоград: КНТУ, – 2012. – Вип. 25, ч. 1. – С. 54-60.
4. Оришака О.В. Аналіз продуктивності установки безперервної дії для завантаження сипких матеріалів [Текст] / О.В. Оришака, В.О. Оришака, А.М. Артюхов, А.О. Кравцов // Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти. – Вип. 1. – Запоріжжя: НВК Інтер-М, 2013. – 220 с. – С. 169-175.
5. Васильев Н.Ф. Совершенствование технологии фракционной обработки зернового материала в условиях Забайкалья [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.20.01 / Н.Ф. Васильев. – Улан-Удэ, 2006. – 24 с.
6. Васильковський О.М. Розробка конструкції та обґрунтування параметрів відцентрового решіткового сепаратора зерна [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / О.М. Васильковський. – Кіровоград, 2001. – 164 с.
7. Нестеренко О.В. Обґрунтування параметрів живильного пристрою для багаторівневого введення зернового матеріалу у вертикальний пневмосепаруючий канал [Текст] / О.В. Нестеренко, Д.І. Петренко, С.М. Лешенко, О.М. Васильковський, С.Я. Гончарова // Збірник наукових статей "Сільсько-господарські машини". – Вип. 34. – Луцьк: ЛНТУ, 2016. – С. 92-103.

**Oleh Oryshaka, Assos. Prof., PhD tech. sci., Vasily Gutsul, Assos. Prof., PhD phys.&math. sci., Anatoly Artiuhov, Assos. Prof., PhD tech. sci.**

*Kirovograd National Technical University, Kropyvnickiy, Ukraine*

### **Theoretical investigation of the cone of free-flowing material flow regulator installation of continuous action for loading free-flowing materials**

The resulting dependence of the speed of the free-flowing material in the feed device from the height of the free flight, the coefficient of friction, angle of inclination of the side walls of the receiving receiving hopper, as for the case of fixed position receiving hopper, and for the case of circular motion of the funnel for different values of the angular velocity.

When you increase the angle of the surface of the cone to the horizontal  $\alpha$  and  $V_0$  the speed of descent of granular material from the cone increases, and the thickness of the layer of bulk material flow that is coming off the cone decreases.

A significant impact on the speed of descent of granular material from the cone and the thickness of the layer of bulk material flow that is coming off the cone  $f$  has.

For large values of the coefficient of friction of the granular material on the surface of the cone, the surface of the cone to cover the materials with small values of the coefficient of friction.

**conical stabilizer, units, free-flowing material**

Одержано 13.10.16

## УДК 6.31

**В.І. Рубльов, проф., д-р техн. наук, В.Д. Войтюк, проф., д-р техн. наук, В.Є. Рубльов, асп.**

*Національний університет біоресурсів і природокористування, м. Київ, Україна  
E-mail: virken@yandex.ru*

## Діагностика як складова оцінки технічного стану машин

Викладено загальні принципи діагностики технічного стану машин, в яких діагностика розглядається як складова оцінки технічного стану машин. Основні положення діагностики наведені з урахуванням загальноприйнятих і стандартизованих понять. Описаний статистичний підхід щодо накопичення результатів спостережень технічного стану органолептичними методами і їх обробки. Сформульована класифікація методів і засобів контролю технічного стану машин, їх випробування, видів діагностування і засобів його виконання. Пропонується використання діагностики для прогнозування технічного стану машин.

**діагностика, принципи діагностування, технічний стан машин, оцінка, органолептичні та інструментальні методи, засоби діагностування, прогнозування**

**В.И. Рублёв, проф., д-р техн. наук, В.Д.Войтюк, проф., д-р техн. наук, В.Е. Рублёв, асп.**

*Национальный университет биоресурсов и природоиспользования, г. Киев, Украина*

### Диагностика как составная оценки технического состояния машин

Изложены общие принципы диагностики технического состояния машин, в которых диагностика рассматривается как составная оценки технического состояния машин. Основные положения представлены с учётом общепринятых и стандартизованных понятий. Описан статистический подход по накоплению результатов наблюдений за техническим состоянием машин органолептическими методами и их обработка. Сформулирована классификация методов и средств контроля технического состояния машин, их испытания, видов диагностики и средств их исполнения. Предлагается использование диагностики для прогнозирования технического состояния машин.

**диагностика, принципы диагностирования, техническое состояние машин, оценка, органолептические и инструментальные методы, средства диагностирования, прогнозирование**

**Постановка проблеми.** Діагностика розглядається як галузь знань, яка охоплює теорію, методи і засоби визначення технічного стану об'єктів. Діагностування – визначення технічного стану машин і обладнання, яке здійснюють з метою виявлення їх прихованих дефектів і оцінки придатності їх до експлуатації.

Задачі технічного діагностування зводяться до контролю технічного стану об'єктів та пошуку місця і визначення причини їх відмови (несправності).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** вказує, що більшість робіт, в яких започатковане розв'язання проблеми діагностики, присвячені оцінці технічного стану техніки [1,2]. В них розглядаються номенклатура показників якості техніки і методи їх оцінки. При цьому, експлуатаційні показники, які пов'язані з надійністю техніки [3] вимагають діагностування технічного стану машин і обладнання. Якщо діагностиці присвячено багато публікацій [4–8], то публікацій, в яких освітлюються методи контролю при діагностиці значно менше [9,10]. Однак, треба враховувати, що при діагностиці, відповідно вимог нормативних документів, спочатку проводиться контроль технічного стану машин і установок [11].

**Постановка завдання.** Відповідно вищевказаному необхідно вирішити наступне:

- обґрунтувати методи контролю технічного стану техніки (машин і установок);
- обґрунтувати методи її діагностування;
- обґрунтувати і здійснити підбір органолептичних методів, інструментальних засобів контролю та діагностування технічного стану.

Методика досліджень. Для вирішення поставлених завдань були використані методи патентно-інформаційного пошуку, фактографічні, експертні методи та в їх складі статистичні методи і метод морфологічного аналізу [12].

**Виклад основного матеріалу.** Аналіз задач, нормованих стандартом ГОСТ 20911-89 [13] і сформованих виробничою і науково-технічною практикою, дозволив визначити групи задач технічного діагностування, що вказані у таблиці 1. Головна задача і ціль діагностування – визначення ресурсу працездатності машин і установок. Наступна задача – можливість формувати дані, які необхідні для прийняття рішень щодо відновлення ресурсу працездатності техніки, якщо є доцільність, а визначення шляхів для відновлення працездатності – це вже задача ремонту техніки.

Таблиця 1 – Задачі технічного діагностування

Задачі технічного діагностування	Альтернативне представлення задач діагностики (від нижчого до вищого)
Контроль технічного стану	Визначення дефектів і місця їх надходження
Пошук міста і визначення причини відмови	Визначення причин проявлення і розвитку дефектів
Прогнозування технічного стану	Створення моделі процесу розвитку дефектів. Керування розвитком визначених дефектів. Визначення ресурсу працездатності. Визначення складу дефектів, усунення яких необхідно для відновлення потрібного ресурсу працездатності.

На відміну від робіт, в яких розглядалися методи діагностування і контролю технічного стану для окремих машин і вузлів, в даній роботі вони розглядаються для 9 груп машин, зокрема: плугів, культиваторів, сівалок, кормозбиральних машин, зернозбиральних комбайнів, тракторів, автомобілів, причепів, доільних установок. При цьому була встановлена наступна нормована кількість показників, підлеглих контролю, для кожної групи машин, в саме: плугів – 141; культиваторів – 508; посівних машин – 195; зернозбиральних комбайнів – 313; кормозбиральних і силосозбиральних машин – 531; тракторів – 382, автомобілів – 389; причепів – 117; доільних установок – 163.

Статистичними методами і методом морфологічного аналізу були встановлені види контролю технічного стану техніки, які наведені у таблиці 2. Найбільш розповсюджені – органолептичні методи контролю, які складають 59–95 % від загальної кількості показників, що підлягають контролю, при цьому вимірвальні методи використовуються для контролю 5–41 % показників від їх загальної кількості. Для загального охоплення контролю такої великої кількості показників з використанням методу аналогій за видами показників, які контролюються та їх параметрів були складені наступні класифікації:

- класифікація показників за видами контролю;
- класифікація показників за видами випробувань;
- класифікація показників альтернативного контролю і діагностики (рис. 1);

- класифікація методів оцінки зовнішніх видових показників, які контролюються за альтернативними ознаками (рис. 2);
- класифікація видів перевірки геометричних показників при альтернативному контролі (рис. 3);
- класифікація засобів вимірювання геометричних показників при альтернативному контролі (рис. 4);
- класифікація видів і методів діагностування функціонально-технологічних показників (рис. 5).

Таблиця 2 – Питомий обсяг видів вхідного контролю сільськогосподарської техніки, %

Види контролю	Вид техніки								
	плуги	культиватори	сівалки	кормозбиральні	зернозбиральні	трактори	автомобілі	Причепи	доїльні установки
1. Органолептичний	70,0	95,0	83,2	85,5	87,0	95,0	93,0	86,3	58,9
2. Вимірювальний за показниками:									
геометричними	20,0	1,5	10,6	8,0	8,2	3,5	3,0	7,4	6
товщиною покриття	1,0	0,75	1,7	0,5	0,6	0,5	0,5	2,1	
твердістю	4,5			0,3	0,3				
зусиллям затягування	1,0	0,5	0,8	2,85	1,2		1,25	4,2	
биттям	1,0	1,0	1,7	0,9	1,2				
монтаж	2,0	0,25			0,3		0,75		29,1
геометричність									4
інші	0,5	1,0	2,0	1,25	1,2	1,0	1,5		2

Примітка. До інших показників вхідного контролю для конкретних машин належать: дисбаланс, тиск у колесах і пневмосистемі, люфт, неспіввісність, маса, стан електроустаткування, шум, швидкість обертання, вміст газів, диму і пилу, робото здатність та температура технологічної рідини

За видами оцінки контроль класифікується з урахуванням його застосування на етапах виробництва, повноти охоплення, об'єктів та номенклатури властивостей, які контролюються, СЖЦ виробів, збереження виробів при контролі, засобів контролю, інструментальної оснащеності, способу вираження результатів, ступеня вірогідності та джерела інформації.

Види випробувань повнокомплектних машин класифікуються з урахуванням організації, місця проведення та технічних засобів. За принципами організації вони поділяються на експлуатаційні та прискорені. Прискорені іспити можуть проводитися в процесі експлуатації, на стенді та полігоні.

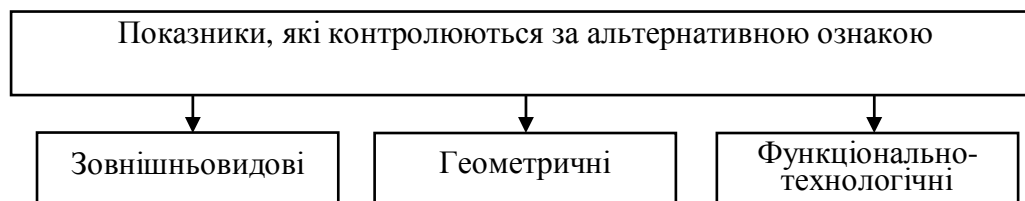


Рисунок 1 – Класифікація показників альтернативного контролю і діагностики

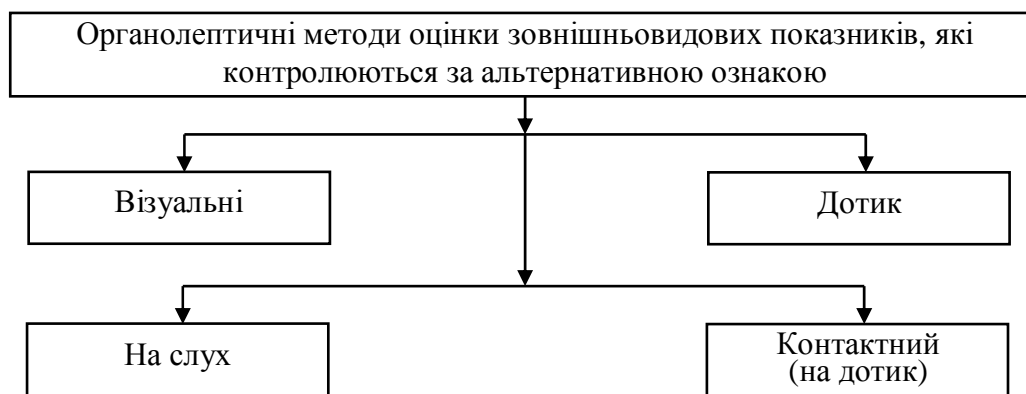


Рисунок 2 – Класифікація методів оцінки зовнішніх видових показників, які контролюються за альтернативними ознаками

Діагностування геометричних показників, які контролюються здійснюється односторонніми та двосторонніми видами перевірки (рис. 3). У обох випадках здійснюється елементна і комплексна перевірка.

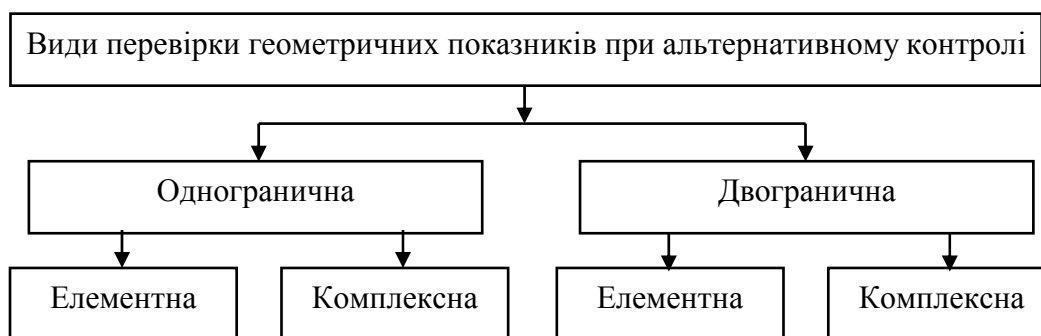


Рисунок 3 – Класифікація видів перевірки геометричних показників при альтернативному контролі

Діагностування здійснюється з використанням технічних засобів. Схема класифікації засобів вимірювань геометричних показників, які контролюються при альтернативному контролі наведена на рис. 4. Засоби вимірювань цих показників, у відповідності із запропонованою класифікацією розподіляються на міри (1) і вимірювальні пристрої (20).

Міри розподіляються на три підгрупи: калібри (1.1), з постійним значенням показника, який контролюється (1.2) та зі змінним значенням показника, який контролюється (1.3). Калібри, відповідно, розподіляються на нормальні (1.1.1), граничні (1.1.2), контрольні (1.1.3), установочні (1.1.4) і спеціальні (1.1.5). Засоби з постійним значенням показника, який контролюється розподіляються на плоскопаралельні кінцеві засоби (1.2.1), кутові засоби (1.2.2) і набори приналежностей (1.2.3). Засоби зі змінним значенням показника, який контролюється розподіляються на штрихові метри ((1.3.1), рулетки (1.3.2), масштабні лінійки (1.3.3) і лімби (1.3.4).

Вимірювальні прилади (2) розподіляються на універсальні (2.1), простіші (2.2) і спеціальні (2.3). Універсальні прилади, відповідно, розподіляються на вимірювальні прилади шкальні (2.1.1), активного контролю (2.1.2), перетворювачі (2.1.3) і датчики (2.1.4).

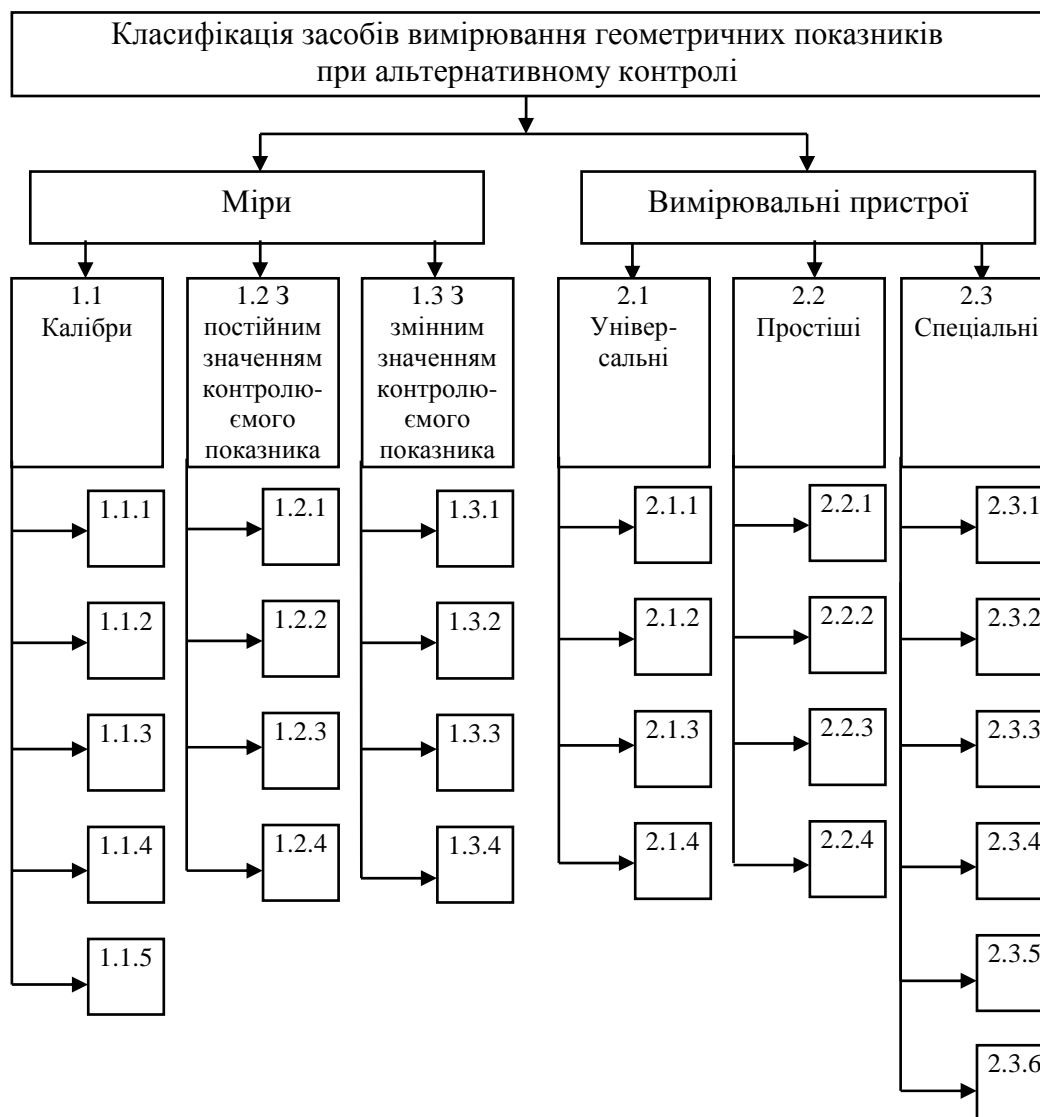


Рисунок 4 – Класифікація засобів вимірювання геометричних показників при альтернативному контролі

Вимірювальні прилади простіші розподіляються на щупи (2.2.1), лінійки лекальні (2.2.2), кутники лекальні (2.2.3) і штангени (2.2.4). Спеціальні вимірювальні прилади представлені вимірювальними приладами (2.3.1), вимірювальними пристосуваннями (2.3.2), вимірювальними установками (2.3.3), вимірювальними системами (2.3.4), напівавтоматами (2.3.5) і автоматами (2.3.6).

При альтернативній перевірці геометричних показників технічного стану техніки найбільш широко використовують калібри. Методи використання вимірювальних засобів для альтернативного контролю незначно відрізняються від методів використання їх при діагностуванні. У даний час набувають поширення універсальні методи діагностики, зокрема: віброакустичний метод, метод визначення зносу деталей двигунів за вмістом в змащувальній оліві різних компонентів (міді, заліза, цинку і ін.), метод визначення ефективних показників роботи двигуна за часом розгону.

До іншого виду діагностики відноситься режим тестової діагностики, який здійснюється подачею тестових дій на непрацюючому двигуні. Розглянуті режими

дозволяють визначити діагностичний параметр за безліччю його випадкових значень з відповідним усереднюванням, що є їх позитивною стороною.

Сучасні вимоги до технічного сервісу роблять неможливим ефективне проведення обслуговування без знання технічного стану об'єктів. З даних позицій діагностичний прилад, який застосовується фахівцями групи діагностики, повинен:

- бути багатофункціональним, портативним, простим у використанні;
- мати спеціалізовані вбудовані програми та програми експертно-інформаційного характеру – вбудовані і зовнішні (комп'ютерні), інформативність індикаторного екрану;
- дозволяти виконувати реєстрацію декількох параметрів та накопичення даних результатів вимірювань,

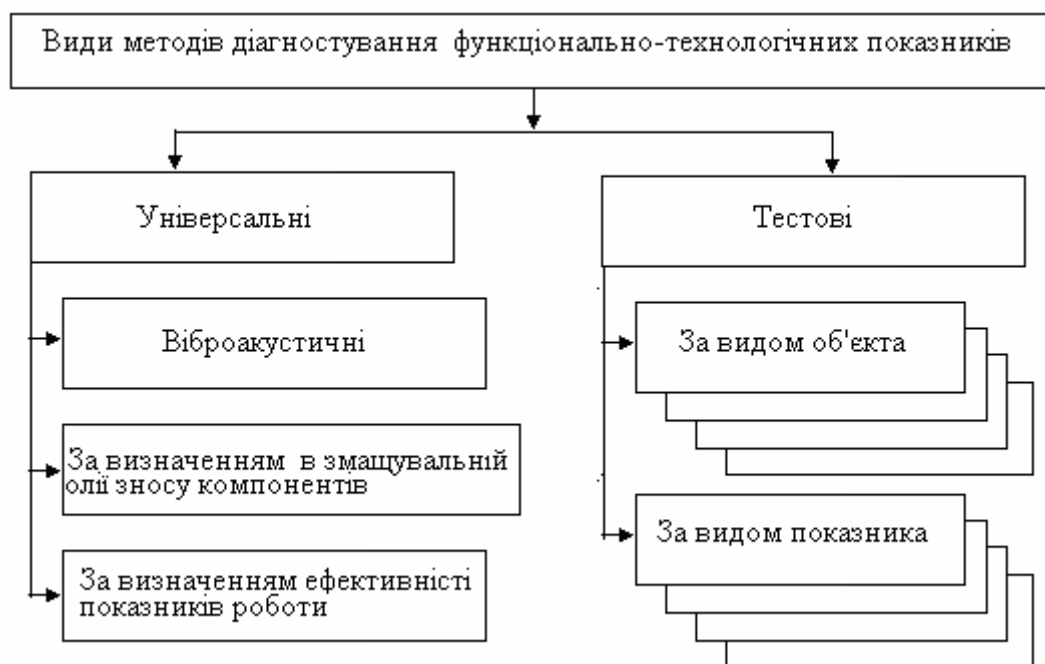


Рисунок 5 – Класифікація видів і методів діагностування функціонально-технологічних показників об'єктів

При виконанні і аналізі діагностування машин використовується наступна документація:

- карта діагностики складових частин машини за ресурсними параметрами;
- накопичувальна карта діагностики.

Карта діагностики складових частин машини за ресурсними параметрами має наступні розділи:

- загальні відомості;
- відомості тракториста-машиніста;
- результати зовнішнього огляду і прослуховування;
- результати діагностики;
- інші несправності;
- висновок про результати діагностики.

Накопичувальна карта діагностики містить інформацію стосовно послідовних діагностичних робіт за весь період експлуатації машини.

Для проведення контролю і діагностики сільськогосподарських машин та їх деталей розроблена і виготовлена на кафедрі технічної експертизи та інженерного менеджменту НУБіП пересувна лабораторія діагностування мобільної сільськогосподарської техніки [14].

**Висновки.** В статті викладено загальні принципи діагностики технічного стану машин на основі аналізу номенклатури нормованих показників 9 груп сільськогосподарських машин і установок, зокрема: плугів, культиваторів, сівалок, кормозбиральних машин, зернозбиральних комбайнів, тракторів, автомобілів, причепів і доїльних установок та встановлена нормована кількість показників, **підлеглих** контролю, для кожної із цих груп машин.

Статистичними методами і методом морфологічного аналізу були встановлені види методів контролю, з яких найбільш розповсюджені органолептичні методи контролю (59-95 %). Вимірювальні методи використовуються для контролю від 5% до 41 % показників від їх загальної кількості.

Для загального охоплення контролем необхідної кількості показників з використанням метода аналогій за видами показників, які контролюються та їх параметрів були складені класифікації показників за видами контролю і випробувань, показників альтернативного контролю і діагностики, методів оцінки зовнішніх видових показників, контрольованих за альтернативною ознакою, засобів вимірювання геометричних показників при альтернативному контролі, видів і методів діагностування функціонально-технологічних показників.

Для проведення контролю і діагностики сільськогосподарських машин та їх деталей на кафедрі технічної експертизи та інженерного менеджменту НУБіП діє пересувна лабораторія діагностування мобільної сільськогосподарської техніки.

## Список літератури

1. Каталог національних та міждержавних стандартів на технічні вимоги та методи випробувань сільськогосподарської техніки і вимоги та методи визначення показників якості ґрунту, кормів та рідких продуктів нафтопереробки. Міністерство аграрної політики України. УкрНДІПВТ ім. Л.Погорілого. Дослідницьке, 2008. – 174 с.
2. Каталог галузевих нормативних документів на технічні вимоги та методи випробувань сільськогосподарської техніки і вимоги та методи визначення показників якості ґрунту, кормів та рідких продуктів нафтопереробки. Міністерство аграрної політики України. УкрНДІПВТ ім. Л.Погорілого. Дослідницьке, 2008.– 50 с.
3. Черновол М. І. Надійність сільськогосподарської техніки : підруч. [Текст] / [Черновол М. І., Черкун В. Ю., Аулін В. В. та ін. ]; за заг. ред. М. І. Черновола. – 2-ге вид., перероб. і доповн. – Кіровоград: КОД, 2009. – 320 с.
4. Техническая диагностика транспортных средств [Текст] / [А. И. Коновалов, О. Н. Лукьяненко, В. Д. Войтюк и др.]. – К. –Нежин: Аспект-полиграфия, 2010. – 120 с.
5. Смашнюк О. В. Аналітичні дослідження зміни технічного стану сільськогосподарської техніки для прогнозування її експлуатаційної надійності [Текст] / О. В. Смашнюк // Вісн. ХНТУСГ ім. П. Василенка. – Х., 2010. – Вип. 100: Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва. – С. 174–178.
6. Сенчук М.М. Технічна експлуатація та діагностика енергетичних засобів [Текст] : метод. вказівки / М.М. Сенчук; Білоцерківський аграрний університет. – Сектор оперативної поліграфії РВІКВ БДАУ. Біла Церква. – 2006. – 50 с.
7. Сиромятніков П.С. Діагностування індивідуальної паливної апаратури з електронним керуванням (методичні положення) [Текст] / П.С.Сиромятніков, М.А. Морозов // Вісник ХНТУСГ ім. П.Василенка. – 2015.– Вип. 158. – С. 150-162.
8. Войтюк В. Д. Перспективні напрями розвитку методів і засобів технічної діагностики сільськогосподарських машин [Текст] / В. Д. Войтюк, П. Б. Щербатий // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. – Х., 2010. – Вип. 93: Механізація сільськогосподарського виробництва, т. 2. – С. 201–208.

9. Якість, стандартизація, метрологія та сертифікація сільськогосподарської техніки [Текст]: навч. посібник / [В.І. Рубльов, В.Д. Войтюк, Я.М. Михайлович та ін.]; за ред. проф. В.І Рубльова. – К. – Полтава: ФОП Крюков Ю.С., 2014.– 288 с.
10. Технічні умови на виготовлення сільськогосподарської техніки (плугів, культиваторів, сівалок, кормозбиральних машин, зернозбиральних комбайнів, тракторів, автомобілів, причепів, доїльних установок).
11. СОУ 74.3 – 037 275: 2005. Техніка сільськогосподарська. Надійність. Технічна експертиза. К.: Мінагрополітики України, 2005.
12. Рублёв В.И. Основы научных исследований в области экономики и управления на транспорте [Текст]: учебное пособие / В.И. Рублёв, Т.В. Судакова, Е.В. Саклакова. – Сев.Кав.ГТУ, Ставрополь, 2003. – 200 с.
13. Техническая диагностика. Термины и определения [Текст]: ГОСТ 20911-89. – М.: Государственный стандарт СССР, 1989. – 10с.
14. Рубльов В. І. Пересувна лабораторія діагностування мобільної сільсько-господарської техніки [Текст] / В. І. Рубльов, В. Д. Войтюк, І. М. Ничай // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2011. – Вип. 166, ч. 1. – С. 261–267.

**Vladislav Rublov, Prof., DSc., Valeriy Voytuk, Prof., DSc., Victor Rublov, post-graduate**

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine*

#### **Diagnostic evaluation as part of the technical state of machines**

Objective: to justify the methods of condition monitoring machinery and equipment; to justify the methods of diagnosis; to justify and implement selection of organoleptic methods and tools for monitoring and diagnosing their technical condition.

It is described general principles of diagnostics of the technical condition of machines. Diagnosis is considered as integral assessment of the technical condition of machines. Main provisions are presented in view of the generally accepted and standardized concepts. It is described a statistical approach for collection of machines technical state observations and their methods of sensory processing. It is formulated classification methods and tools for monitoring technical condition of machines, their testing, diagnostic species and their execution. It is proposed to use diagnostics to predict technical condition of machines.

Conclusions. Unlike existing works, which dealt with methods for diagnosing and controlling particular machines and units, in this work are shown general principles of diagnosis technical condition of machines by analyzing the range of standardized indicators 9 groups of farm machinery and installations, including plows, cultivators, seeders, forage machines, combine harvesters, tractors, cars, trailers and milking machines.

**diagnostics, principles of diagnosing the technical condition of machines, evaluation, sensory and instrumental methods diagnosing tools, forecasting**

Одержано 17.11.16

УДК 631.437; 631.31

**М.О. Свірень, проф., д-р техн. наук, В.В. Амосов, доц., канд. техн. наук, Шмат С.І., проф., канд. техн. наук, Іванько І.П., канд. техн. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет, м.Кропивницький, Україна  
E-mail: vol\_a@list.ru*

## Вплив енергії геоелектромагнітного поля на підвищення врожайності сільськогосподарських культур

Експериментально підтверджено вплив раціонального використання енергії електромагнітного поля Землі на врожайність сільськогосподарських культур. Запропоновано нові агротехнічні прийоми обробітку ґрунту та сівби і вдосконалені робочі органи для їх реалізації. У результаті впровадження нової технології отримано підвищення врожайності сільськогосподарських культур на 12–15%.

**енергія електромагнітного поля Землі, щілиноріз, сівалка, моніторинг енергетичного стану ґрунту та посівів**

**Н.А. Свирень, проф., д-р техн. наук, В.В. Амосов, доц., канд. техн. наук, Шмат С.І., проф., канд. техн. наук, Іванько І.П., канд. техн. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет, м.Кропивницький, Україна*

**Влияние энергии геоэлектromагнитного поля на повышение урожайности сельскохозяйственных культур**

Экспериментально подтверждено влияние рационального использования энергии электромагнитного поля Земли на урожайность сельскохозяйственных культур. Предложены новые агротехнические приёмы обработки почвы и посева и усовершенствованные рабочие органы для их реализации. В результате внедрения новой технологии получено повышение урожайности сельскохозяйственных культур на 12–15%.

**енергія геоелектромагнітного поля, щелерез, сеялка, моніторинг енергетичного стану ґрунту та посевів**

**Постановка проблеми.** Інтенсивна та нераціональна експлуатація ґрунтів різко знижує їх родючість [1]. Також в останні роки загострилась проблема економії енергоресурсів при вирощуванні сільськогосподарських культур. Тому прискорився пошук нових технологій, які дозволять зменшити витрати енергії на виробництво сільськогосподарської продукції, зекономити інші матеріальні ресурси, знизити шкідливий антропогенний вплив на ґрунтове середовище.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Живі організми постійно перебувають під дією електромагнітного, гравітаційного та інших полів. У залежності від характеру, тривалості та інтенсивності ця дія може мати як позитивний, так і негативний вплив на розвиток рослин та інших живих істот.

Дослідженням впливу електромагнітних полів на біологічні об'єкти були присвячені роботи ряду українських та зарубіжних вчених [2;3;4;5].

Так, докторська дисертація Черенкова О. Д. [2] спрямована на розробку теоретичних основ ресурсозберігаючих електротехнологій при впливі низькоенергетичних електромагнітних полів на біологічні об'єкти і використання отриманих результатів у електротехнологічних процесах сільськогосподарського

виробництва для передпосівної обробки насіння, лікування тварин, керування динамікою популяції шкідливих комах.

Метою докторської дисертації Косуліної Н.Г. [3] є отримання біофізичної експрес-інформації для оцінки дії електромагнітних полів на життєдіяльність біооб'єктів на основі газорозрядної візуалізації.

Розроблено мікропроцесорний пристрій для експрес-діагностування стану рослинних організмів [4].

Запропоновано також пригнічувати бур'яни постійним електричним струмом низької напруги [5].

В якості діючого фактора стимуляції ґрунту або біооб'єкту ґрунт-рослини всіма дослідниками прийнято джерело електромагнітної енергії антропогенного походження.

**Постановка завдання.** Метою досліджень є виявлення впливу електромагнітного поля Землі на врожайність сільськогосподарських культур.

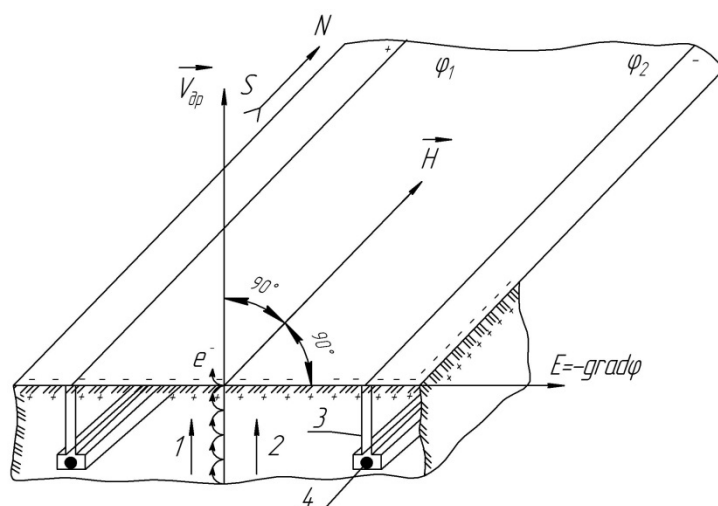
**Виклад основного матеріалу.** Систему ґрунт-рослини прийнято вважати живим організмом, де проходить цілий ряд важливих агрофізичних, агробіологічних процесів та агроелектрохімічних реакцій. Ці процеси відбуваються як на молекулярному, так і на клітинному рівні під дією геоелектромагнітного поля. Нами здійснена спроба виявити результати цієї дії у формі електричних явищ.

Ґрунтова волога з розчиненими у ній солями є своєрідним електролітом. При розміщенні в ґрунті сталевого провідника, на його поверхні в результаті окисно-відновних реакцій утворюються катодні й анодні зони, відбувається поступове розчинення металу. У підсумку, на міжфазних границях виникає різниця потенціалів, що досягає 40–50 мВ. Утворюється вона й між двома дротами, покладеними в ґрунті. Якщо провідники перебувають, наприклад, на відстані 4 м, то різниця потенціалів становить 20–40 мВ, але відчутно змінюється залежно від вологості й температури ґрунту, його механічного складу, кількості добрив і інших факторів. Як правило, при зміні фаз Місяця й погоди велична електрорушійної сили природного походження (агроЕРС) змінюється не тільки за величиною, але і за полярністю.

На першому етапі досліджень, під час польового досліду, спеціальний тракторний агрегат щілювачем-дротоукладачем укладав сталевий дріт діаметром 2,5 мм, що змотувався з барабана, по дну щілини на глибину 37 см [6]. Пройшовши гони, тракторист вмикав гідросистему на підйом, робочий орган виглиблювався з ґрунту, а дріт обрубували на висоті 25 см від поверхні ґрунту. Через 12 м по ширині поля операція повторювалась. Зауважимо, що розміщений в такий спосіб дріт не заважає проведенню звичайних агротехнічних робіт. За потреби, сталеві дроти легко вилучити із ґрунту за допомогою вузла намотування дроту.

Оскільки електроди мають різну полярність, між ними через вологий ґрунт виникає замкнене електричне коло, по якому тече постійний струм щільністю від 4 до 6 мкА/см<sup>2</sup> анода (рис.1). Проходячи через ґрунтовий розчин як через електроліт, цей струм підтримує в родючому шарі процеси електрофорезу й електролізу, завдяки чому необхідні рослинам хімічні речовини ґрунту переходять із важкозасвоюваних у легкозасвоювані форми. Крім того, під впливом електричного струму всі рослинні залишки, насіння бур'янів, що відмерли, тваринні організми швидше гумифікуються, що веде до росту родючості ґрунту.

На полях господарства "Росія" Новоукраїнського району на підошву щілини-дрени були закладені феромагнітні сталеві дроти діаметром 2,85 мм на відстані 12...12,5 м до повного їх розкладання, тобто на 10...12 років. На експериментальних ділянках була отримана прибавка врожаю зернових від 3 до 8 ц/га в порівнянні з контрольними ділянками (полицевий і плоскорізний обробіток).



1 – електрони; 2 – іони; 3 – щілина; 4 – провід, прокладений на підшву щілини

Рисунок 1 – Схема переміщення заряджених часток речовини у ґрунтовому розчині

На другому етапі досліджень був використаний культиватор-плоскоріз, доукомплектований робочим органом – щілинорізом (рис.2).

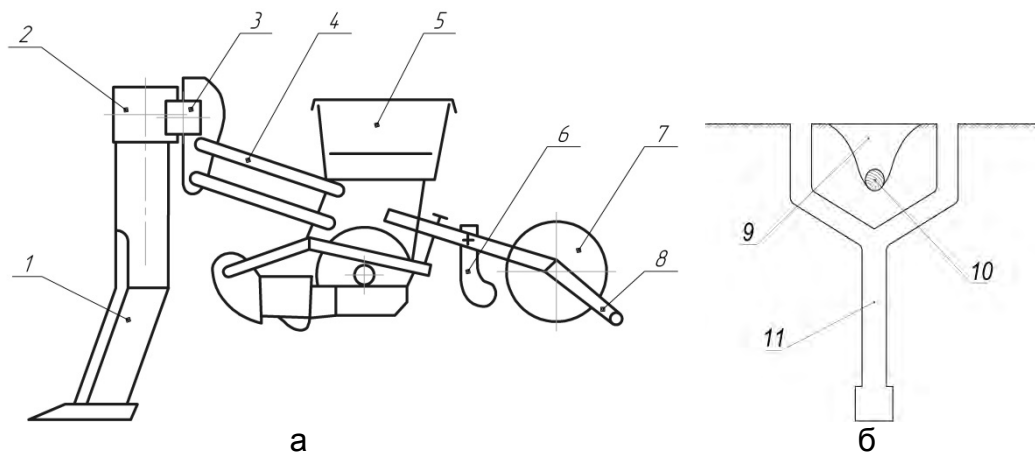


Рисунок 2 – Щілиноріз ЦРП-3-70

У ґрунті прокладали системи щілин-дрен напіввідкритого типу в підорному прошарку ґрунту (на глибині 40 см), у напрямку північ-південь на відстані 3 м одна від одної, котрі відіграють роль електролітичних каналів природної гальваноелектричної ванни [7]. Для вимірювання агроЕРС був розроблений пристрій "Агро-01", який дозволяє кількісно оцінити енергетичний стан ґрунту та посівів, та методика моніторингу біооб'єктів у польових виробничих умовах.

Протягом чотирьох років на полях ТОВ «Саторі-С» на площі 3000 га було проведено щілювання ґрунту під посів пшениці, кукурудзи, сої. У результаті впровадження нової технології отримано підвищення родючості ґрунту та, як результат, зростання врожайності на 12–15%.

Для реалізації нової технології при сівбі просапних культур запропоновано використати комбіновану щілювальну-посівну секцію, яка складається з пристрою для нарізання щілин з V-подібною стійкою та серійної посівної секції (рис.3,а) [8]. Стійка розпушує ґрунт з боків та по центру рядка, а посівна секція утворює борозну та висіває в неї насіння.



а – схема; б – переріз борозни; 1 – щілиноріз; 2 – кронштейн; 3 – рама; 4 – підвіска; 5 – висівний апарат; 6 – загортачі; 7 – прикочуюче колесо; 8 – шлейф; 9 – борозна; 10 – насіння; 11 – щілина

Рисунок 3 – Комбінована щілювальна-посівна секція

Таким чином, виключається необхідність передпосівного обробітку ґрунту, що зменшує енерговитрати; покращується накопичення вологи у зоні рядка, що сприяє кращому розвитку кореневої системи рослин та підвищенню врожайності.

**Висновки.** Вивчення електрохімічних процесів, які відбуваються у ґрунті при безперервній дії геоелектромагнітного поля дозволяє впливати на ці процеси за допомогою агротехнічних прийомів обробітку ґрунту. Укладання феромагнітних сталевих дротів на дно щілин-дренів у напрямку північ-південь дало прибавку врожаю зернових від 3 до 8 ц/га. Поєднання плоскорізного обробітку ґрунту з одночасним щілюванням ґрунту на глибину 40 см під посів пшениці, кукурудзи, сої підвищило врожайність на 12–15%. Використання комбінованої щілювальна-посівної секції зменшує сумарні енерговитрати на вирощування просапних культур та підвищує їх врожайність.

## Список літератури

1. Свирень Н. А. Преобразование энергии геоэлектromагнитного поля Земли и ее рациональное использование в сельском хозяйстве [Текст] : монография / Н. А. Свирень [и др.] ; Кировоградский национальный технический университет – Кировоград: КОД, 2012. – 192 с.
2. Черенков О. Д. Теоретичні основи ресурсозберігаючих електротехнологій та системи контролю біооб'єктів при обробці їх низькоенергетичними електромагнітними полями у сільськогосподарському виробництві [Текст] : автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.20.02 / Черенков Олександр Данилович ; Національний аграрний університет. – К., 2000. – 38 с.
3. Косуліна Н.Г. Научно-технические основы построения информационных электромагнитных технологий повышения продуктивности биобъектов растениеводства [Текст] : автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.09.16 / Н.Г. Косуліна ; Харк. нац. техн. ун-т сільськ. госп-ва ім. П.Василенка. – Х., 2007. – 39 с.
4. Павленко С.В. Исследование биоэлектрических явлений в растительных организмах [Текст] / С.В. Павленко, Г.П. Селезнев, Ю.Н. Куценко, Г.И. Олейник // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Международной научно-практ. конференции. – Минск, 2010. – Т.1 – С.62–66.

5. Куценко Ю. Н. Применение электрических токов низкого напряжения для борьбы с многолетними карантинными сорняками на Юге Украины [Текст] : дис... канд. техн. наук: 05.20.02 / Куценко Юрий Николаевич ; Национальный аграрный ун-т. – К., 1997. – 159 с.
6. Іванько І. П. Енергія геоелектромагнітного поля і її раціональне використання у землеробстві [Текст] : автореф. дис... канд. техн. наук: 01.09.16 / Іванько Іван Павлович ; Національний аграрний ун-т. – К., 2001. – 19 с.
7. Пат. 20258А Україна, МПК А01В 79/00. Спосіб обробітку ґрунту [Текст] / Іванько І.П., Шмат С.І., Радзівський Л.Л., Черячукін М.І., Гершкул І.П., Рогатинський В.І.; заявник і патентотримач Кіровоградський інститут сільськогосподарського машинобудування. – №95083620; заявл. 01.08.1995; опубл. 27.02.1998, Бюл. № 1.
8. Пат. 24422А Україна, МПК(2006.01) А01В 49/04. Спосіб обробітку ґрунту і посіву насіння просапних культур [Текст] / Шмат С.І., Іванько І.П., Сало Л.В., Шило В.С., Дунаєвський О.В. ; заявник і патентотримач Кіровоградський інститут сільськогосподарського машинобудування. – №97041852; заявл. 17.07.1998; опубл. 30.10.1998, Бюл. № 5.

**Mykola Sviren, Prof., DSc., Vladymyr Amosov, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Serhiy Shmat, Prof., PhD tech. sci., Ivan Ivanko, PhD tech. sci.**

*Kirovohrad National Technical University, Kropyvnickiy, Ukraine*

### **The impact of energy of the geoelectromagnetic field is on the increase of the productivity of agricultural crops**

Field experiments for research of the influence of energy of the electromagnetic field of Earth on the productivity of agricultural crops were conducted.

Placement of steel wires on the bottom of the ditch in the direction north-south allowed getting increase in productivity of grain-crops from 3 to 8% comparing to the mouldboard and subsurface methods of soil cultivation. Four years of experience showed that for the increase of productivity of wheat, corn, soy on 12–15% it is necessary to conduct subsurface tillage of soil with simultaneous ditching at the depth of 40 cm in direction north-south.

In order to decrease energy losses it is recommended to combine sowing of the cultivated cultures with ditching.

**the energy of the electromagnetic field, ditching, drill, monitoring energy status of soil and crops**

Одержано 07.11.16

**УДК 629.3.025**

**О.А. Сущенко, доц., д-р техн. наук**

*Національний авіаційний університет, м.Київ, Україна, E-mail: sushoa@ukr.net*

## **Структурно-параметричний синтез дискретної робастної системи стабілізації інформаційно-вимірювальних пристроїв на рухомій основі**

Запропоновано алгоритм структурно-параметричного синтезу дискретної робастної системи стабілізації та керування орієнтацією вимірювальних осей пристроїв, що функціонують на рухомій основі в складних умовах реальної експлуатації. Проаналізовано особливості процедури структурно-параметричного синтезу системи досліджуваного типу. Виконано моделювання та представлено його результати.

**робастна система стабілізації, структурно-параметричний синтез, інформаційно-вимірювальні пристрої, дискретний регулятор**

О.А. Сущенко, 2016

О.А. Сущенко, доц., д-р техн. наук

Национальный авиационный университет, г.Киев, Украина

### Структурно-параметрический синтез дискретной робастной системы стабилизации информационно-измерительных устройств на подвижном основании

Предложен алгоритм структурно-параметрического синтеза дискретной системы стабилизации и управления ориентацией измерительных осей устройств, функционирующих на подвижном основании в сложных условиях реальной эксплуатации. Проанализированы особенности процедуры структурно-параметрического синтеза системы исследуемого типа. Выполнено моделирование и представлены его результаты.

**робастная система стабилизации, структурно-параметрический синтез, информационно-измерительные устройства, дискретный регулятор**

**Постановка проблеми.** Успішна експлуатація інформаційно-вимірювальних пристроїв на рухомих об'єктах неможлива без автоматизації процесів їх стабілізації. Конкурентоздатність систем автоматичного керування кутовим рухом платформ з корисним навантаженням визначається можливістю функціонувати в складних умовах реальної експлуатації, що супроводжується дією інтенсивних параметричних і різноманітних координатних збурень. Дія цих збурень може призвести не лише до погіршення точності, а і до втрати стійкості. Застосування робастного керування дозволяє перевести системи досліджуваного типу до класу систем з постійними параметрами. Важливою перевагою робастних систем є здатність задовольняти технічним вимогам під час змінювання параметрів системи у певних межах і дії зовнішніх збурень без застосування засобів адаптації. Такий підхід забезпечує простоту керування, зменшення вартості, підвищення надійності та своєчасну реакцію на змінювання параметрів систем, що підвищує їх конкурентоздатність.

Одним із поширених напрямів створення сучасних систем керування є структурно-параметричний синтез робастних систем, малочутливих як до варіацій параметрів реальної системи, так і до можливих відхилень параметрів моделі системи від її реальних значень. Синтез таких систем ґрунтується на мінімізації  $H_\infty$ -норми матричної функції комплементарної чутливості замкненої системи. Відомий також підхід до синтезу систем, який ґрунтується на мінімізації  $H_2$ -норми матричної функції чутливості замкненої системи, яка характеризує її точність. З точки зору організації обчислювальних алгоритмів  $H_\infty$ -оптимізація значно складніша за  $H_2$ -оптимізацію. Методи синтезу на підставі мінімізації  $H_2$ -норми забезпечують високу точність синтезованої системи, але при цьому вона залишається чутливою як до зовнішніх збурень, так і до параметричних збурень об'єкта керування. Застосування  $H_\infty$ -норми дає змогу забезпечити стійкість системи до зовнішніх збурень за умови її параметричної невизначеності. Оптимізація за змішаним  $H_2/H_\infty$  критерієм дає можливість поєднувати ці переваги. Тоді синтезована система може характеризуватись оптимальною якістю за умови можливості її функціонування за наявності збурень.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Процедури параметричної оптимізації робастних систем керування літальних апаратів широкого класу на підставі змішаного  $H_2/H_\infty$ -підходу представлено у працях [1,2]. Розроблення відповідних процедур для систем стабілізації інформаційно-вимірювальних пристроїв залишається актуальною проблемою. Особливості вдосконаленої процедури робастної  $H_2/H_\infty$ -оптимізації системи стабілізації інформаційно-вимірювальних пристроїв на рухомій основі на підставі векторного критерію якості та двох груп обмежень, зумовлених технічними вимогами та умовами стійкості, надано у праці [3]. Використання параметричної оптимізації найбільш доцільно в задачах модернізації існуючих систем.

Розробка процедур структурно-параметричного синтезу дозволить вдосконалити обчислювальні процедури розв'язання цих задач.

**Постановка завдання.** Таким чином, метою дослідження є розробка алгоритму структурно-параметричного синтезу дискретної робастної системи стабілізації інформаційно-вимірювальних пристроїв на рухомій основі.

**Виклад основного матеріалу.** Для системи досліджуваного класу об'єкт керування, включаючи виконавчий механізм та вимірювальну систему, описується рівняннями [4]:

$$\begin{aligned}\dot{\mathbf{x}} &= \mathbf{Ax} + \mathbf{Bu} + \mathbf{Gw}; \\ \mathbf{y} &= \mathbf{Cx} + \mathbf{Du} + \mathbf{Hw} + \mathbf{v},\end{aligned}\quad (1)$$

де  $\mathbf{x}$  – змінні стану;

$\mathbf{u}$  – вхідні впливи;

$\mathbf{y}$  – сигнали спостережень;

$\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{G}, \mathbf{C}, \mathbf{D}, \mathbf{H}$  – матриці стану, керування, збурення стану системи, спостереження, прямої передачі керування, збурення сигналів спостереження відповідно;

$\mathbf{w}$  – збурення за входом;

$\mathbf{v}$  – похибки вимірювань, при цьому збурення та похибки вимірювань є випадкові процеси, які являють собою білі шуми із такими математичними сподіваннями та коваріаційними матрицями:

$$\begin{aligned}M[\mathbf{w}] = M[\mathbf{v}] = 0; \quad M[\mathbf{w}(t)\mathbf{w}(t)^T] &= \mathbf{Q}\delta(t - \tau); \\ M[\mathbf{v}(t)\mathbf{v}(t)^T] &= \mathbf{R}\delta(t - \tau); \quad M[\mathbf{v}(t)\mathbf{w}(t)^T] = \mathbf{N}\delta(t - \tau),\end{aligned}\quad (2)$$

де  $M$  – символ математичного сподівання;

$\mathbf{Q}, \mathbf{N}, \mathbf{R}$  – вагові матриці, що визначають кількісну міру якості регулювання для критерію оптимізації [4]

$$J(\mathbf{u}) = \int_0^{\infty} (\mathbf{x}^T \mathbf{Q} \mathbf{y} + \mathbf{u}^T \mathbf{R} \mathbf{u} + 2\mathbf{x}^T \mathbf{N} \mathbf{u}) dt. \quad (3)$$

Для розв'язання поставленої задачі необхідно також визначити модель збуреної (розширеної системи), тобто включити до її складу формувальний фільтр, на вхід якого поступає білий шум, а на виході формується кольоровий шум із спектральною щільністю, яка описує збурення, типові для динамічного об'єкту досліджуваного типу, наприклад збурення, зумовлені нерівностями доріг, для систем стабілізації інформаційно-вимірювальних пристроїв, що функціонують на наземних рухомих об'єктах. Тому для синтезу досліджуваної системи необхідно використовувати розширену модель у просторі станів, яка містить у своєму складі формувальний фільтр та характеризується матрицями  $\mathbf{A}_p, \mathbf{B}_p, \mathbf{C}_p, \mathbf{D}_p$ .

**Алгоритм структурно-параметричного синтезу.** Підходи до організації процедур структурно-параметричного синтезу систем керування літальними апаратами викладено у праці [5]. Основні положення організації складних зворотних зв'язків наведено у праці [6]. Запропонований алгоритм структурно-параметричного синтезу систем стабілізації інформаційно-вимірювальних пристроїв на рухомій основі складається з декількох етапів.

На першому етапі здійснюється робастна параметрична оптимізація системи на підставі комплексного критерію якості, що містить  $H_2, H_\infty$ -норми номінальної та

збуреної систем з ваговими коефіцієнтами і має за мету забезпечення компромісу між якістю та робастністю керування, а також штрафну функцію [3].

На другому етапі здійснюється аналіз синтезованої системи, у тому числі  $H_2$ -норм,  $H_\infty$ -норм номінальної та збуреної системи; запасів стійкості на підставі аналізу логарифмічних амплітудно-частотних характеристик, показників якості перехідних процесів та перевірка деяких специфічних характеристик досліджуваної системи, наприклад, кутової жорсткості системи за моментом, якщо йдеться про проектування систем стабілізації, експлуатованих на наземних рухомих об'єктах. На підставі отриманих результатів вноситься висновок о прийнятності отриманих результатів або прийняття рішення про поновлення процедури оптимізації після заміни початкових умов або вагових коефіцієнтів комплексного критерію якості.

На третьому етапі на підставі теореми розділення здійснюється синтез оптимальної структури регулятора системи, який складається з оптимального детермінованого регулятора та спостерігача стану системи. Показник якості цього етапу визначається виразом (3). Синтез спостерігача та регулятора відбувається за допомогою розв'язання класичних рівнянь Ріккати у стандартній лінійно-квадратично-гауссовій формі [4].

На четвертому етапі здійснюється аналіз синтезованої системи. На підставі отриманих результатів вноситься висновок о прийнятності отриманих результатів або прийняття рішення про поновлення процедури оптимізації після заміни початкових умов або матриць вагових коефіцієнтів.

На п'ятому етапі здійснюється параметрична робастна оптимізація основних параметрів синтезованого регулятора, включаючи параметри стохастичного спостерігача та коефіцієнти відповідних зворотних зв'язків.

В свою чергу третій етап складається з кількох кроків.

На першому кроці виконується синтез стохастичного спостерігача, тобто фільтру Калмана, який дозволяє визначити оцінки усіх змінних стану системи.

На другому кроці виконується розрахунок коефіцієнтів зворотних зв'язків за спостережуваними змінними стану з метою мінімізації критерію якості та формування оптимального детермінованого регулятора.

На третьому кроці здійснюється об'єднання фільтру Калмана та оптимального детермінованого регулятора в єдиний регулятор.

Під час структурно-параметричного синтезу системи досліджуваного типу необхідно визначити мінімальну та збалансовану реалізацію моделей. Після побудування збалансованої реалізації діагональ результуючого граміана може бути використана для зниження порядку моделі. Цей вектор характеризує ступінь керованості та спостережуваності мод збалансованої моделі. Якщо знехтувати малими модами, динамічні властивості моделі можуть бути збережені. Зниження порядку моделі може бути виконано шляхом дорівнювання похідних видаляємих змінних нулю та рішення системи рівнянь для визначення їх усталених значень [7]. Зниження порядку моделі можливе за умови збереження коефіцієнта передачі або за умови прийнятної точності апроксимації перехідних процесів.

Під час синтезу дискретної системи здійснюється перетворення неперервної моделі об'єкта керування (1) з характеристиками (2) у дискретну із заданим періодом дискретності та з використанням білінійного перетворення Тастина [4]

$$\begin{aligned} \mathbf{x}[n+1] &= \mathbf{A}\mathbf{x}[n] + \mathbf{B}\mathbf{u}[n] + \mathbf{G}\mathbf{w}[n]; \\ \mathbf{y}[n] &= \mathbf{C}\mathbf{x}[n] + \mathbf{D}\mathbf{u}[n] + \mathbf{H}\mathbf{w}[n] + \mathbf{v}[n]. \end{aligned} \quad (4)$$

Вибір методу дискретизації зумовлений вимогами за точністю, надаваними до системи.

Дискретний регулятор системи являє собою поєднання фільтру Калмана та оптимального детермінованого регулятора. Дискретний фільтр Калмана описується рівняннями [4]

$$\mathbf{x}[n+1|n] = \mathbf{A}\mathbf{x}[n|n-1] + \mathbf{B}\mathbf{u}[n] + \mathbf{L}(\mathbf{y} - \mathbf{C}\mathbf{x}[n|n-1] - \mathbf{D}\mathbf{u}[n]);$$

$$\begin{bmatrix} \mathbf{y}[n|n] \\ \hat{\mathbf{x}}[n|n] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{C}(\mathbf{I} - \mathbf{M}\mathbf{C}) \\ \mathbf{I} - \mathbf{M}\mathbf{C} \end{bmatrix} \hat{\mathbf{x}}[n|n-1] + \begin{bmatrix} (\mathbf{I} - \mathbf{C}\mathbf{M})\mathbf{D} & \mathbf{C}\mathbf{M} \\ -\mathbf{M}\mathbf{D} & \mathbf{M} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{u}[n] \\ \mathbf{y}_n[n] \end{bmatrix},$$

де  $\mathbf{L}$ ,  $\mathbf{M}$  – вихідна та обчислена матриці коефіцієнтів зворотних зв'язків, при цьому остання визначається на підставі рішення рівняння Ріккати.

Матриця коефіцієнтів зворотних зв'язків  $\mathbf{M}$  використовується для уточнення прогнозу  $\mathbf{x}[n|n-1]$  на підставі вимірювання  $\mathbf{y}[n]$  [4]

$$\hat{\mathbf{x}}[n|n] = \hat{\mathbf{x}}[n|n-1] + \mathbf{M}(\mathbf{y}_v[n] - \mathbf{C}\hat{\mathbf{x}}[n|n-1] - \mathbf{D}\mathbf{u}[n]).$$

Для подальшого формування об'єданого регулятора можна використовувати два підходи [4, 7]. При першому підході оцінка вектора стану  $\hat{\mathbf{x}}[n|n-1]$  формується на основі попереднього вимірювання  $\mathbf{y}[n-1]$ . При другому підході оцінка вектора стану  $\hat{\mathbf{x}}[n|n]$  формується на підставі поточного вимірювання  $\mathbf{y}[n]$ . Перший підхід є більш прийнятним, оскільки регулятор на підставі попереднього вимірювання  $\mathbf{u} = -\mathbf{K}\hat{\mathbf{x}}[n|n-1]$  може бути реалізований у реальному масштабі часу.

В результаті синтезу оптимального дискретного детермінованого регулятора визначається матриця коефіцієнтів  $\mathbf{K}$  така, що закон керування  $\mathbf{u} = -\mathbf{K}\mathbf{x}$  мінімізує квадратичний критерій якості [4, 7]:

$$J(\mathbf{u}) = \sum_{n=1}^{\infty} \mathbf{x}[n]^T \mathbf{Q}\mathbf{x}[n] + \mathbf{u}[n]^T \mathbf{R}\mathbf{u}[n] + 2\mathbf{x}[n]^T \mathbf{N}\mathbf{u}[n]$$

для дискретної моделі (4).

Матриця  $\mathbf{K}$  визначається виразом  $\mathbf{K} = (\mathbf{B}^T \mathbf{S}\mathbf{B} + \mathbf{R})^{-1} (\mathbf{B}^T \mathbf{S}\mathbf{A} + \mathbf{N}^T)$ , де  $\mathbf{S}$  являє собою рішення дискретного рівняння Ріккати [4]

$$\mathbf{A}^T \mathbf{S}\mathbf{A} - \mathbf{S} - (\mathbf{A}^T \mathbf{S}\mathbf{B} + \mathbf{N}((\mathbf{B}^T \mathbf{S}\mathbf{B} + \mathbf{R})(\mathbf{B}^T \mathbf{S}\mathbf{B} + \mathbf{R})^{-1} (\mathbf{B}^T \mathbf{S}\mathbf{A} + \mathbf{N}^T) + \mathbf{Q} = \mathbf{0}.$$

Особливістю синтезу дискретного регулятора є те, що процедуру збалансованої реалізації, яка у системі MATLAB реалізована лише для неперервної системи, слід замінити масштабуванням [5]. Процедура мінімальної реалізації не викликає додаткових труднощів у разі її застосування для дискретної системи. Масштабування моделі у просторі станів виконується із використанням перетворення подібності з діагональною матрицею  $\mathbf{T}$  і скалярним коефіцієнтом  $\alpha$  такими, що матриця

$$\begin{bmatrix} \mathbf{T}\mathbf{A}\mathbf{T}^{-1} & \mathbf{T}\mathbf{B}/\alpha \\ \alpha\mathbf{C}\mathbf{T}^{-1} & 0 \end{bmatrix}$$

має малі числа зумовленості [7].

Блок-схема відповідної процедури представлена на рис. 1. Результати моделювання синтезованої системи стабілізації за допомогою моделі реальної системи, створеної засобами системи Simulink [8, 9], представлені на рис. 2.

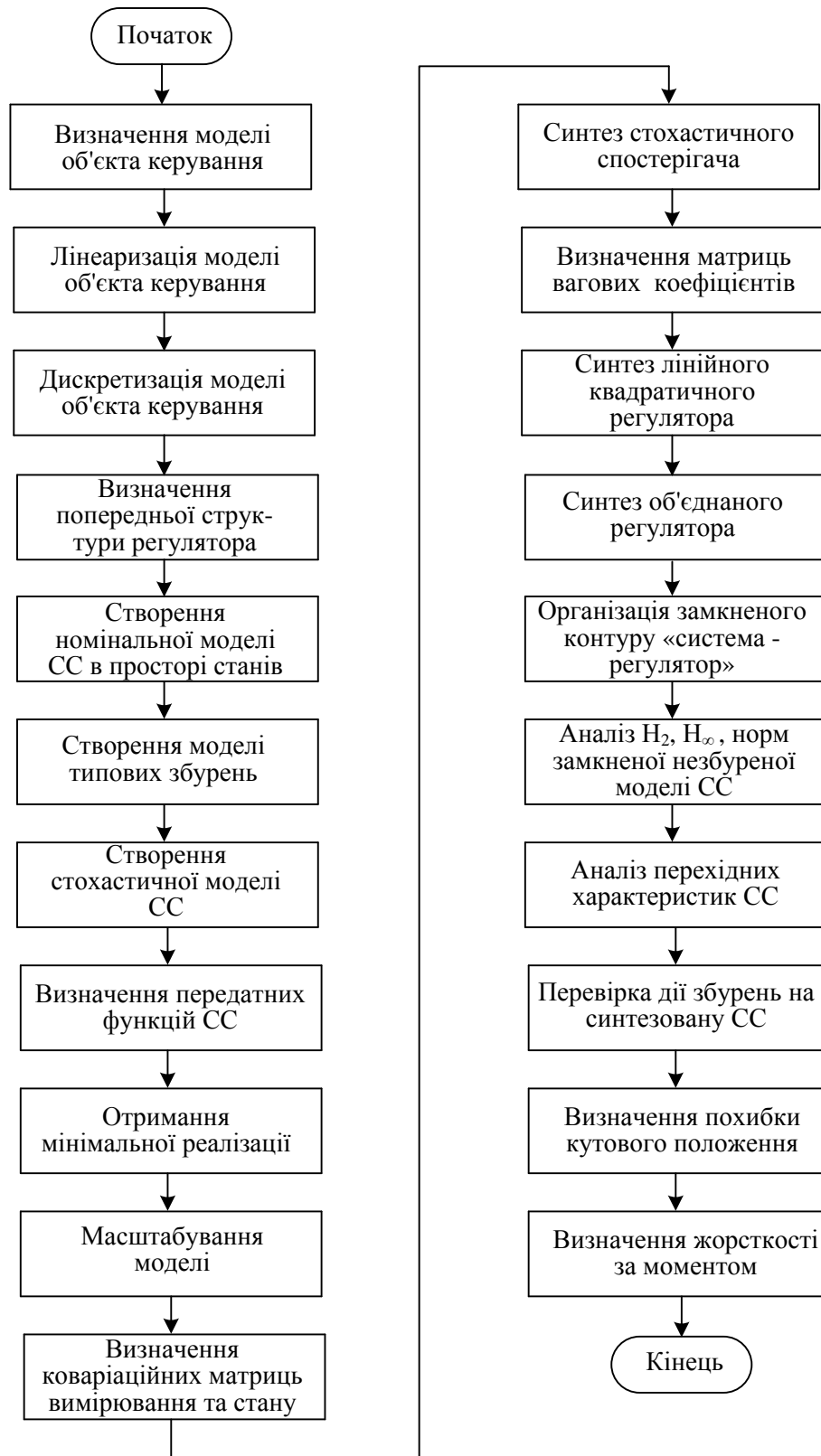
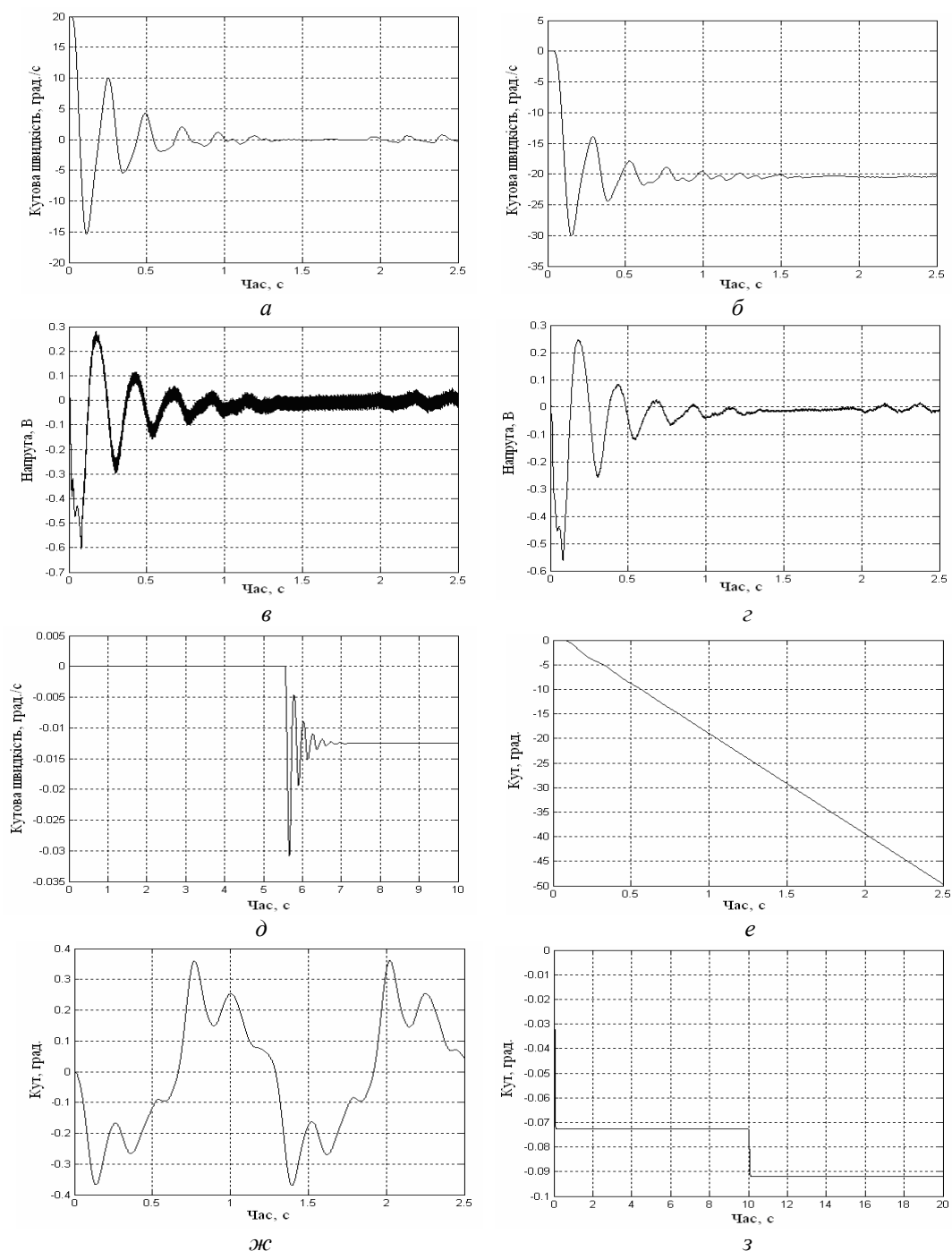


Рисунок 1 – Блок-схема процедури структурно-параметричного синтезу дискретної системи стабілізації: СС – система стабілізації



а, б – перехідні процеси абсолютної швидкості в режимах стабілізації та наведення; в, г – вихідні сигнали місцевих зворотних зв'язків; д, е – мала швидкість наведення та відповідний кут положення платформи; ж – реакція на випробувальний синусоїдальний сигнал; з – визначення жорсткості системи за моментом

Рисунок 2 – Результати моделювання процесів стабілізації

Забезпечення точності процесів стабілізації та наведення підтверджується рис. 2а та 2б. Аналіз рис. 2в, 2г вказує на можливість використання АЦП з дискретністю перетворення сигналів 2,5 мс, що є оптимальним з точки зору досягнення компромісу між точністю та зручністю апаратної реалізації. Синтезована система забезпечує досить малу швидкість наведення на рівні 0,01 град/с та лінійний характер змінювання абсолютного кута повороту стабілізованої платформи (рис. 2д, 2е). Реакцію системи на

тестовий синусоїдальний сигнал показано на рис. 2ж. Рис. 2з підтверджує, що жорсткість системи за моментом забезпечується у межах заданих вимог: після дії основного та додаткового збурень кутове прирощення складає  $|\Delta\varphi|=0,02$  град.

**Висновки.** Запропоновано алгоритм структурно-параметричного синтезу системи стабілізації інформаційно-вимірювальних пристроїв на рухомій основі. Ефективність алгоритму підтверджено результатами моделювання на прикладі системи стабілізації інформаційно-вимірювальних пристроїв, призначених для експлуатації на наземних рухомих об'єктах.

## Список літератури

1. Tunik, A. A. Parametric Optimization Procedure for Robust Flight Control System Design [Text] / A. A. Tunik, H. Rye, H. C. Lee // KSAS International Journal. – 2001. – Vol.2. – No.2. – P. 95 – 107.
2. Tunik A.A. Parametric Optimization Procedure for Robust Flight Control System Design [Text]/ A.A. Tunik, R. Hуu, I.K. Ahn, C.H. Lim // Proceedings of KSAS Fall Annual Meeting, Daejeon, Korea. – 2000. – P. 293-300.
3. Tunik, A.A. Usage of vector parametric optimization for robust stabilization of ground vehicles information-measuring devices [Text]/ A. A. Tunik, O. A. Sushchenko // Proceedings of the National Aviation University. – 2013. – № 4. – P. 23–32.
4. Квакернаак. Х. Линейные оптимальные системы управления [Текст]/ Х. Квакернаак, Р. Сиван. – М.: Мир, 1977. – 464 с.
5. Азарсков, В.М. Структурно-параметричний синтез робастної системи керування при стохастичних збуреннях і неповних вимірюваннях вектору стану системи [Текст]/ В.М.Азарсков, Т.А.Галагуз, А.А.Тунік //Проблеми інформатизації та керування. – 2004. – №10. – С.83-91.
6. Skogestad, S. Multivariable Feedback Control [Text]/S. Skogestad, I. Postlethwaite – New York.: Jonh Wiley, 1997. – 559 p.
7. Медведев, М.С. Control System Toolbox [Текст]/ М.С. Медведев, В.Г. Потемкин. – М.: Диалог-МИФИ, 1999. – 287 с.
8. Сущенко, О.А. Математична модель системи стабілізації рухомого наземного об'єкта [Текст]/ О.А. Сущенко, Р.А. Сайфетдінов // Електроніка та системи керування. – К.: 2007. – №3(13). – С.146-151.
9. Сущенко, О.А. Засоби моделювання стабілізатора наземного неперервного об'єкта із неперервним та дискретним регуляторами [Текст]/ О.А.Сущенко, С.П. Маляров, Г.С. Янкелевич, Р.А. Сайфетдінов // Вісник Північного наукового центру ТАУ. – 2008. – № 11. – С. 131–134.

**Olha Sushchenko, Assoc. Prof., DSc.**

*National Aviation University, Kyiv, Ukraine*

### **Structural-parametric synthesis of discrete robust system for stabilization of information-measuring devices on moving base**

The goal of the paper is creation of the algorithm for the structural-parametric synthesis of the system ensuring stabilization of the information-measuring devices functioned at vehicles in difficult conditions of real operation, accompanied by action of the parametrical and coordinate disturbances.

The paper includes description of the algorithm basic stages such as parametric optimization, synthesis of the deterministic controller and stochastic observer and integration of the controller and observer. The most important stage of the algorithm is represented in the form of a block scheme. The features of the synthesis procedure for the studied system are considered including the necessity to carry out minimal realization and scaling. The suggested approach is convenient for modernization of the operated systems.

The algorithm of the structural-parametric synthesis of the discrete robust system for stabilization of information-measuring devices operated at the vehicles was suggested. The developed procedure was checked by means of Simulink-model including non-linearities inherent to the real systems. The results obtained on the example of the stabilization system for ground vehicles prove efficiency of the suggested algorithm.

**robust stabilization system, structural-parametric synthesis, information-measuring devices, discrete controller**

Одержано 17.05.16

УДК 62-356

**І.А. Швець, викл.**

*Первомайський політехнічний інститут національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Первомайськ, Україна  
E-mail: sheva\_pt@ukr.net*

## Застосування безперервного інжекційного способу подачі циклової порції газового палива для двигуна мобільної малопотужної електростанції

В статті описано проблеми, що призводять до динамічних навантажень складових елементів електрокерованого пристрою дозування системи подачі газового палива під час роботи на номінальному режимі роботи. Запропоновано шляхи вирішення зазначеної проблеми, та представлено аналітичні вирази для визначення вихідних параметрів інжекційного витікання газового палива.

**газове паливо, дозуючий пристрій, інжектор, надкритичне витікання**

**И.А. Швец, препод.**

*Первомайский политехнический институт национального университета имени адмирала Макарова, г.Первомайск, Украина*

**Применение непрерывного инжекционного способа подачи цикловой порции газового топлива для двигателя мобильной маломощной электростанции**

В статье описаны проблемы, приводящие к динамическим нагрузкам составляющих элементов электроуправляемого устройства дозирования системы подачи газового топлива при работе на номинальном режиме работы. Предложены пути решения данной проблемы, и представлены аналитические выражения для определения исходных параметров инжекционного истечения газового топлива.

**газовое топливо, дозирующее устройство, инжектор, надкритическое истечение**

**Постановка проблеми.** З метою вирішення проблем локального електрозабезпечення в приватному секторі міст та в сільській місцевості, а також для задоволення потреб малого та середнього бізнесу, набуває розповсюдження застосування мобільних малопотужних електростанцій. Така ситуація склалася внаслідок того, що зазначені бензоелектричні установки здатні забезпечити потреби споживача електроенергією в діапазоні робочих режимів від 15 до 100% від номінальної потужності та в широкому діапазоні температур навколишнього середовища.

На ринку локального електрозабезпечення сьогодні представлено значний вибір бензоелектричних установок як вітчизняного, так і закордонного виробництва, що випускаються в діапазоні потужності від 0,5 до 15,0 кВт і мають вигідне співвідношення вартість/якість.

Зазвичай це одно- або двоциліндрові високофорсовані агрегати, двотактної або чотиритактної дії з невеликими масо-габаритними параметрами, значним рівнем теплової та механічної напруженості, що пристосовані працювати на рідкому паливі, як правило на бензині. Причому, для ефективної та надійної роботи виробник рекомендує застосовувати бензинове паливо з октановим числом не нижче 92-95 одиниць.

Необхідно відмітити, що вартість такого палива станом на сьогодні залишається доволі високою. Так, згідно даних, наведених в [1,2] на кінець вересня – початок жовтня 2016 року, середня вартість бензину в Україні сягає 0,82-0,9\$ за літр, при тому, що в державах Європейського союзу вартість дещо більша, і коливається в діапазоні від 1.1 до 1.5\$ за літр, а в США ця величина складає 0,64-0,66\$ за літр.

Вищезгадані бензоагрегати мають на сьогодні питому ефективну витрату палива на рівні 300-450 г/(кВт·год) та ефективний ККД 18-24% і, відповідно, матеріальні витрати на паливо зростають пропорційно із збільшенням вартості палива та в залежності від тривалості їх експлуатації. Саме тому переведення (конвертація) таких агрегатів з рідкого палива на більш дешеве газове набуло широкого розповсюдження

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Значна кількість сучасних конструкторських рішень систем подачі газового палива, з якими можна ознайомитись в [3,4], спрямована на підвищення ефективності процесів дозування та отримання якісної паливо-повітряної суміші за рахунок застосування елементів з механічним або електромеханічним принципом керування.

Тенденція останнього часу – це поступове витіснення систем ежекційної подачі газового палива, що відносяться до перших поколінь, системами, що використовують інжекційний принцип подачі газового палива. Це обумовлено такими перевагами інжекційного способу подачі як:

- висока точність поданої циклової порції;
- керування тривалістю процесу вприскування;
- забезпечення синхронізації подачі газового палива з процесами робочого циклу двигуна;
- зменшення вірогідності появи зворотних хлопків;
- покращення екологічних показників, тощо.

Але разом із перевагами, зазначені системи мають і недоліки серед яких особливо відчутним є динамічне навантаження елементів дозуючого пристрою (інжектора). Це пов'язано із тим, що на здійснення процесу (відкриття-закриття) дозування газового палива через інжектор швидкохідного поршневого двигуна виділяється дуже малий проміжок часу. Так, наприклад, для чотиритактного поршневого двигуна, що працює в складі мобільної малопотужної електростанції, на номінальних обертах колінчастого валу двигуна в діапазоні 3000 – 3500 хв<sup>-1</sup> на весь робочий цикл відводиться приблизно 0,03 – 0,04 с. Враховуючи, що на весь процес подачі газового палива відводиться час, що не може перевищувати часову довжину процесу наповнення, то величина тривалості вприскування в даному випадку не може перевищувати 0,01 с.

**Постановка завдання.** В зв'язку з цим виникає проблема динамічних навантажень на рухомі елементи дозуючого пристрою системи подачі палива. За умови дотримання точного дозування циклової порції газового палива на номінальних обертах колінчастого валу чотиритактного швидкохідного поршневого двигуна, зниження такого навантаження на складові елементи пристрою дозування є на сьогодні актуальним завданням.

Один з варіантів вирішення проблеми динамічного навантаження рухомих елементів інжектора запропоновано в роботі [5], де в якості основного методу розв'язання зазначеної проблеми є перехід від перервно-циклічного вприскування газового палива до безперервного. Цей метод має певні проблеми, пов'язані з відсутністю синхронізації процесу подачі газового палива з процесом впуску, та можливістю появи зворотних хлопків. Але завдяки цьому методу подачі відпадає необхідність швидкого відкриття-закриття запірною органу дозуючого пристрою, що

значно спрощує його конструкцію, і при цьому відсутні динамічні навантаження елементів системи.

Альтернативою до системи подачі газового палива, що запропонована в [5], є система подачі газового палива, запропонована в [3], яка складається з трьох електромеханічних актуаторів, кожен з яких виконує певну закріплену за ним функцію. Так, за точність дозування відповідає електромеханічний актуатор подачі газового палива (ЕМАПП), який має для цього спеціальні калібровані отвори різного діаметру, що дають можливість забезпечення дискретного дозування циклової порції газового палива. Для ефективного і якісного згоряння палива потрібно забезпечувати пропорцію повітря/паливо на заданому рівні, що здійснюється за рахунок синхронізації роботи ЕМАПП та електромеханічного актуатора керування дросельною заслінкою (ЕМКДЗ). Підтримка потрібного рівня тиску газового палива здійснюється завдяки роботі електромеханічного актуатора формування амплітуди (ЕМАФА).

**Виклад основного матеріалу.** Представлена на рис.1 схема дає загальну уяву про будову та роботу ЕМАПП. Головним елементом вказаного пристрою є ротор з каліброваними отворами для точного дозування газового палива. Поворот ротору забезпечує привід від крокового двигуна, для керування якого використовується мікроконтролер. Команду на обертання та позиціонування мікроконтролер отримує з персонального комп'ютеру, керування яким реалізує або оператор, або спеціальна програма, що забезпечує автономність роботи всієї системи.

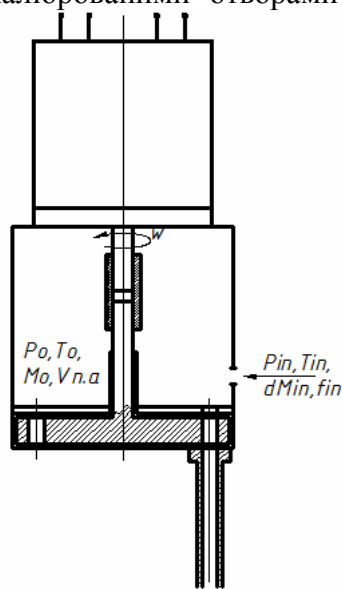


Рисунок 1 – Розрахункова схема ЕМАПП

Робоча порожнина актуатора є накопичувальною ємністю, яка під час роботи заповнюється газовим паливом. Заповнення порожнини газом дає можливість не тільки накопичити певний необхідний об'єм, але й стабілізувати тиск в ній.

Застосування крокових двигунів в якості приводних елементів дозволяє точно позиціонувати потрібний калібрований витратний отвір відносно отвору подачі, що дозволяє обійтись без використання зворотного зв'язку.

Для контролю послідовності відкриття каліброваних дозувальних отворів в представленій системі подачі газового палива було введено оптопару (на схемі не показано) та диск з прорізами, що синхронно відповідають положенню отворів дозування.

Згідно представленої розрахункової схеми ЕМАПП, робоча порожнина актуатору містить в собі початкову кількість робочого тіла масою  $M_0$ , що має температуру  $T_0$  та тиск  $p_0$ . Робоча порожнина актуатора заповнюється газовим паливом, що займає об'єм вказаної порожнини і позначений на схемі як  $V_{na}$ . Зазначені вище параметри залишаються сталими до моменту, поки дозуючий отвір залишається в закритому положенні.

Потрапляння газового палива в ЕМАПП відбувається через бічний канал. Параметри газового потоку на вході в ЕМАПП задає ЕМАФА, завдяки вбудованому механізму регулювання. При цьому в порожнину ЕМАПП заходить газ заданого рівня тиску  $p_{in}$  та температури  $T_{in}$ .

Рух потоку газового палива через боковий канал ЕМАПП призводить до збільшення маси газового палива на величину  $dM_{in}$ . Кількість газового палива, що

потрапляє до накопичувальної порожнини через впускний канал, залежить від ряду чинників, серед яких основним є площа прохідного перерізу вхідного отвору  $f_{in}$ .

Відкриття отвору забезпечує вихід газового потоку з робочої порожнини з параметрами  $\rho_{out}$  та  $T_{out}$  в імпульсний канал з високою швидкістю. В результаті маса в робочій порожнині актуатора зменшується на величину  $dM_{out}$ , що в свою чергу дає можливість заходження в робочу порожнину ЕМАПП нової порції газового палива.

Головне рівняння матеріального балансу при цьому має вигляд:

$$M_{n.a} = M_0 + dM_{in} - dM_{out}, \quad (1)$$

де  $M_0$  – початкова маса газу в робочій порожнині актуатора;

$dM_{in}$  – кількість газового палива, що потрапила до робочої порожнини актуатора внаслідок наповнення;

$dM_{out}$  – кількість газового палива, що покинула робочу порожнину актуатора внаслідок витрати у впускний канал двигуна;

Масова витрата газового палива, що заходить через впускний канал, для процесу наповнення актуатора може бути визначена за допомогою залежності:

$$dM_{in} = \mu_{in} \cdot \rho_{in} \cdot f_{in} \cdot w_{in} \cdot \Delta\tau, \quad (2)$$

де  $\mu_{in}$  – коефіцієнт витрати впускного отвору актуатора;

$\rho_{in}$  – густина газового потоку на вході в актуатор;

$f_{in}$  – площа прохідного отвору впускного отвору ЕМАПП;

$w_{in}$  – швидкість руху газового потоку при заповненні робочої порожнини актуатора через впускний отвір;

$\Delta\tau$  – проміжок часу, що відводиться на процес впуску;

Відповідно для процесу витрати газового палива через імпульсний канал:

$$dM_{out} = \mu_{out} \cdot \rho_{out} \cdot f_{out} \cdot w_{out} \cdot \Delta\tau, \quad (3)$$

де  $\mu_{out}$  – коефіцієнт витрати випускного отвору актуатора;

$\rho_{out}$  – густина газового потоку на виході з актуатора;

$f_{out}$  – площа прохідного отвору випускного отвору ЕМАПП;

$w_{out}$  – швидкість руху газового потоку при виході з робочої порожнини актуатора у імпульсний канал;

$\Delta\tau$  – проміжок часу що відводиться на процес випуску;

Забезпечення потрібної витратної характеристики пристроєм, з метою отримання заданої циклової порції газового палива, забезпечується за умови надкритичного витікання газового потоку. В цьому випадку швидкість руху газового потоку під час дроселювання через малий калібрований отвір може бути визначена за допомогою залежності:

$$w_{out.max} = \sqrt{k_2 \cdot R_2 \cdot T_2}, \quad (4)$$

де  $k_2$  – показник адіабати;

$R_2$  – універсальна газова стала для газового палива;

$T_2$  – температура газового потоку.

Таким чином, пристрій в даному режимі роботи створює витікання газового потоку з максимальною швидкістю, чим забезпечує сталу максимальну витрату газу, величина якої коректується шляхом зміни прохідного отвору каліброваного дозуючого отвору при повороті ротору ЕМАПП.

На кафедрі ДВЗ Первомайського політехнічного інститут національного університету кораблебудування удосконалюється узагальнена методика, в яку увійшли математичні залежності, що описують роботу складових системи подачі газового

палива, описану в [3]. В цю методику увійшли і залежності, описані вище. Це дасть змогу визначити вихідні параметри системи подачі газу на різних режимах роботи.

**Висновки.** Заміна періодично-циклічної подачі газового палива через інжектор на безперервну, при малій цикловій подачі палива, дає змогу відмовитись від конструкції інжектора з циклічно швидко рухомими елементами, що значно зменшує динамічне їх навантаження під час роботи, але при цьому залишити точність дозування газового палива на прийнятному рівні.

## Список літератури

1. Ukr.net [Електронний ресурс]:[Інтернет-портал]. – Електронні дані. – [Київ : Український Інтернет холдинг ТОВ "Укрнет", 1998-2016]. – Режим доступу: [www.ukr.net](http://www.ukr.net) (дата звернення 28.10.2016). – Валюта.
2. <http://ru.globalpetrolprices.com> [Електронний ресурс]:[Інтернет-портал] - [http://ru.globalpetrolprices.com/USA/gasoline\\_prices/](http://ru.globalpetrolprices.com/USA/gasoline_prices/) - (дата звернення 28.10.2016). – Цена бензина, литр.
3. Спосіб отримання та дозування паливо-повітряної суміші та система для його реалізації [Текст] : матеріали V-ої всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю [«Сучасні проблеми двигунобудування: стан. ідеї, рішення»]. – ДВЗ. – Первомайськ: ППІ НУК, 2013 р. – 320 с.
4. Ерохов В.И. Легковые газобаллонные автомобили: Устройство, переоборудование, эксплуатация, ремонт [Текст] / В.И. Ерохов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. – 238 с.
5. Тихомирова О.Б. Разработка системы непрерывной подачи газа для ДВС с искровым зажиганием: дисс. ... канд. техн. наук: 05.04.02 [Текст] / Тихомирова Ольга Борисовна. – НГТУ, 2009г. – 168 с.
6. Круглов М.Г. Газовая динамика комбинированных двигателей внутреннего сгорания: Учеб. пособие для студентов, обучающихся по спец. «Двигатели внутреннего сгорания» [Текст] / М.Г. Круглов, А. А. Меднов. – М.: Машиностроение, 1988. – 360 с.
7. Чугаев Р.Р. Ч-83 Гидравлика: Учебник для вузов [Текст] / Р.Р. Чугаев. – 4-е изд., доп. и перераб. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982. – 672 с.

### Igor Shvets, lect.

*Pervomajsk Polytechnic Institute National University of Shipbuilding named after admiral Makarov, Pervomajsk, Ukraine*

#### **The use of continuous injection method of feeding the cycle portion of gas fuel for the engine low-power mobile power**

The features of the work and the reasons leading to the occurrence of dynamic loads moving parts dosing device.

The solution to this problem, which involves changing the principle of the gaseous fuel dosing with a continuous periodic with supercritical expiration through a small diameter nozzle, which occurs during high-speed operation of the engine at nominal operation. The analytical expressions for determining the initial parameters of the injection of continuous supply of gaseous fuel.

It is proved that the cyclic exchange of periodically supplying the gaseous fuel at a regulated constant flow area of the nozzle, reduces the dynamic load elements movable dosing device while leaving the gaseous fuel metering accuracy at an acceptable level.

#### **gas fuel metering device, an injector, supercritical expiration**

Отримано 07.11.16

УДК 621.9.06

**Д.В. Вахніченко, канд техн. наук, Ю.І. Верхогляд, магістр***Кіровоградський національний технічний університет, м.Кропивницький, Україна**E-mail: dmitriy-kntu@yandex.ru***М.В. Брайко, викл.***Кіровоградський машинобудівний коледж КНТУ, м.Кропивницький, Україна*

## Розмірна та параметрична градація верстата з МПС

В статті виконано дослідження розмірів і параметрів верстатів з механізмом паралельної структури та їх градація. Розглянуто відповідність між технічними характеристиками верстата і величиною необхідних координатних рухів виконавчого органа та умови досягнення узгодженості між цими характеристиками та вимогами, що ставляться до виконання операцій. Наведено модульну будову конструкцій верстата з МПС та запропоновано визначення основних параметрів кожного модуля та їх градацію на основі стандарту. В роботі запропоновано поділ верстатів з механізмами паралельної структури по максимальним координатним рухам, опираючись на переважні ряди чисел, основний та додатковий. Запропоновано градація верстатів за величиною кута обертання ланок в опорах платформ та по максимальному куту, під яким можлива обробка. Також представлено регламентовані параметри для лінійних розмірів, діаметрів рухомої та нерухомої платформ, відстані між їх опорами, розміру виконавчого органа та габаритних розміри несучої системи верстата.

**верстат, гексапод, МПС, верстат з МПС, верстат з механізмом паралельної структури****Д.В. Вахніченко, канд. техн. наук, Ю.І. Верхогляд, магістр***Кіровоградський національний технічний університет, г. Кропивницький, Україна***М.В. Брайко, препод.***Кіровоградський машиностроительний коледж КНТУ, г. Кіровоград, Україна***Размерная и параметрическая градация станка с МПС**

В статье выполнено исследование размеров и параметров станков с механизмом параллельной структуры и их градация. Рассмотрено соответствие между техническими характеристиками станка и величиной необходимых координатных движений исполнительного органа и условия достижения согласованности между этими характеристиками и требованиями, предъявляемыми к выполнению операций. Приведено модульное строение конструкции станка с МПС и предложено определение основных параметров каждого модуля и их градацию на основе стандарта. В работе предложено разделение станков с механизмами параллельной структуры по максимальным координатным движениям, опираясь на преобладающие ряды чисел, основной и дополнительный. Предложено градация станков по величине угла вращения звеньев в опорах платформ и по максимальному углу, под которым возможна обработка. Также представлены регламентированные параметры линейных размеров, диаметров подвижной и неподвижной платформ, расстояния между их опорами, размера исполнительного органа и габаритных размеров несущей системы станка.

**станок, гексапод, МПС, станок с МПС, станок с механизмами параллельной структуры**

**Постановка проблеми.** Розвиток та вдосконалення створених конструкцій верстатів з механізмом паралельної структури (МПС) вимагає обґрунтування вибору їх конструктивних параметрів за їхніми технічними характеристиками.

Основними критеріями до вибору конструктивних параметрів верстата з МПС є конструкторсько-геометричні параметрами номенклатури оброблюваних деталей, методи обробки, схеми формоутворення поверхонь, величина і напрямки координатних рухів виконавчого органа, компоновка і конструктивне виконання основних елементів верстатної системи, більшість із них застосовуються і в робототехніці [1].

© Д.В. Вахніченко, Ю.І. Верхогляд, М.В. Брайко, 2016

Необхідно покласти ці критерії в основу вибору градації верстатів з паралельною кінематикою за конструкторсько-геометричними параметрами оброблюваних деталей і величиною координатних рухів виконавчого органа [2]:

1. Встановити відповідність між технічними характеристиками верстата з МПС і величиною необхідних координатних рухів виконавчого органа.

2. Досягти узгодженості між технічними характеристиками верстата та вимогами, що ставляться до виконання операцій.

3. Забезпечити відповідності між технічними характеристиками верстата та параметрами оброблюваної деталі.

4. Прийнята градація повинна відповідати вимогам «ГОСТ 8032-84 (СТ СЭВ 3961-83) Предпочтительные числа и ряды предпочтительных чисел» та інших сталих стандартизованих параметрів.

Слід відмітити, що незалежно від конформувальної схеми та функціональних можливостей усі верстати-гексаподи повинні мати три обов'язкових модулі: головного руху (МГР); кінематичних ланок із двома опорними шарнірами та відповідними механізмами зміни довжини кінематичних ланок; несучої системи (МНС) для монтажу визначених модулів.

Достатній та обов'язковий комплект модулів необхідно доповнити відповідними системами, що забезпечуватимуть сервісні умови функціонування верстатів (системи управління координатними переміщеннями виконавчого органу; системи контролю та діагностики процесу функціонування; системи автоматичної зміни інструмента, а також системи видалення стружки та змащування).

Система координат верстата з МПС є основною, відносно якої визначається положення його компонентів та здійснюється програмування процесу формоутворення поверхонь.

Найбільш прогресивним є модульне виконання конструкцій верстатів з механізмом паралельної структури. Таке виконання дозволяє створювати верстати з МПС за найбільш короткий час при мінімальній їх вартості. Це, в першу чергу, визначається малою кількістю складових частин (модулів), які формують різноманітні конструкції. Основними модулями верстата-гексапода, що підлягають проектуванню є:

- кінематичні ланки (штанги) з приводами (мехатронні вузли);
- опорні вузли;
- платформи (рухомі та нерухомі);
- виконуючий (робочий) вузол;
- несуча система (каркас).

При встановленні градації координатних рухів верстата з МПС, в основному використані перші дві умови, а саме встановити відповідність між технічними характеристиками верстата і величиною необхідних координатних рухів виконавчого органа та досягнення узгодженості між цими характеристиками та вимогами, що ставляться до виконання операцій.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Найбільш доцільно це вирішити на основі використання базового стандарту «ГОСТ 6636-69 (СТ СЭВ 514-77). Нормальные линейные размеры». Даний стандарт широко використовується для регламентації основних параметрів різного обладнання, в тому числі і металорізальних верстатів, їх технологічного оснащення тощо. За цим стандартом визначаються розміри довжин, діаметрів, висот тощо по переважним геометричним рядам R5, R10, R20, R40. При цьому першість повинна надаватися рядам з більшою градацією.

Таким чином, модульну будову конструкцій верстата з МПС також доцільно виконувати на основі зазначеного стандарту. Для цього потрібно визначити основні

параметри кожного модуля та їх градацію. Зокрема, рухомі ланки, що оцінюються такими розмірами, було розглянуто в деяких роботах.

У даних роботах розглянуто кінематичні ланки з основними розмірами. Вибрані геометричні параметри кінематичної ланки, враховувати величини їх переміщення, що визначається технологічним призначенням та діаметром рухомих частини та визначає особливості конструктивного виконання кінематичних ланок. Також розглянуто градацію кінематичних ланок ріznego виконання [2,3].

**Постановка завдання.** При аналізі максимальної величини координатних рухів верстатів-гексаподів було використано показники координатних переміщень в координатно-вимірювальних машинах (КВМ) фірми АО "ЛАПИК", побудованих на базі МПС типу гексапод. Було розглянуто створений даною фірмою весь модельний ряд: КИМ-500, КИМ-750, КИМ-1000, КИМ-1200, КИМ-1400, КИМ-1200/2100, КИМ-1400/3000, де цифри – максимальне переміщення по осям X та Y відповідно, при умові, що друга цифра більша за першу.

Оскільки верстати-гексаподи використовуються для свердління та фрезерування складних корпусних деталей, тому необхідно включити в порівняння верстати звичайної компоновки даного цільового призначення по ГОСТ 24491-87 (СТ СЭВ 6204-88) «Модули гибкие производственные и станки многоцелевые сверлильно-фрезерно-расточные».

Визначаючи максимальні координати переміщення виконавчого органа, розглянемо існуючі конструкції верстатів гексаподів відомих фірм виробників, які зазвичай представлені стислою характеристикою (рис. 1) [4].



<b>Hexel: Tornado</b>	
Manufacturer:	Hexel Corporation
Application:	5-axis machining
Architecture:	a standard Gough-Stewart platform
Workspace:	400×400×400 mm ±45° about A-axis
Accuracy:	25 μm (positioning) 10 μm (repeatability)
Max. Feed Rate:	300 mm/s
Spindle:	20 kW, up to 18,000 rpm
Electrical:	45 KVA 3 phase 480 V
Net Weight:	8,000 kg
Footprint:	2.4×3.0 m
Height:	3.8 m

Рисунок 1 – Приклад стислої характеристики верстата з МПС, що надана фірмою-виробником

Всі їх можна поділити на умовні групи – в дужках вказані максимальні переміщення по координатам X, Y, Z відповідно (іноді ці показники називають робочим простором):

- великі верстати – Ingersoll: Octahedral: Hexapod VON-1000 (1000x1000x1200);
- середні – Octahedral: Hexapod HON-600(600x600x800), Tekniker: SEYANKA (500x500x500), Okuma: Cosmo Center PM-600 (420x420x400), Krause & Mauser: Quickstep(630x630x500), ITIA-CNR and CE.S.I: CELERIUS (600x600x300), Shenyang Institute of Automation: SIA/CAS (800x500x600);

– невеликі – Hexel Tornado (400x400x400), Toyoda Machine Works: HexaM (400x400x350).

Аналіз максимальних координатних рухів показує, що основна їх частина збігається з переважним рядом чисел R20 зі знаменником 1,12 (згідно табл. 1). Розходження між рядом R20 та максимальними координатними рухами існуючих верстатів-гексаподів збігається з наступним рядом переважних чисел R40 зі знаменником 1,06.

Таблиця 1 – Максимальні координатні рухи верстатів

КВМ	Верстати (ГОСТ 24491-87)		Існуючі верстати-гексаподи	ГОСТ 6636-69		
	Основні	Додаткові		R20	R40	Додатковий розмір
	200			200		
				220		
	250			250		
				280		
			300		300	
	320			320		
350			350			350
		360		360		
400	400		400	400		
			420		420	
450		450		450		
500	500		500	500		
550						545
		560		560		
600			600		600	
	630		630	630		
		710		710		
750					750	
800	800		800	800		
900				900		
1000	1000		1000	1000		
				1120		
1200		1220	1200			1220
	1250			1250		
1400				1400		
	1600			1600		
				1800		
	2000			2000		
2100						2120
	2500			2500		
3000					3000	

Та незначна частина максимальних координатних рухів, яка не входить в наведені вище ряди, близька за своїми значеннями або збігається з додатковими розмірами, які вказані в ГОСТ 6636-69.

**Виклад основного матеріалу.** Так, параметрична градація максимальних координатних рухів повинна відповідати геометричній прогресії зі знаменником – 1,12: 200, 220, 250, 280, 320, 360, 400, 450, 500, 560, 630, 710, 800, 900, 1000, 1120, 1250, 1400, 1600, 1800, 2000, 2500, 3150, 4000.

Цей ряд максимальних координатних рухів слід вважати основним, у відповідності до якого повинні створюватись універсальні, спеціалізовані та модульні верстати з МПС. При проектуванні спеціальних верстатів або у зв'язку із складністю математичного узгодження всіх кінематичних ланок запропонована градація може бути недостатньо дрібною. Тому, для таких та інших умов, доцільно мати додатковий ряд із більш тонкою градацією, яка відповідно до ГОСТ 8032-56 повинна відповідати ряду R40 зі знаменником 1,06: 200, 210, 220, 240, 250, 260, 280, 300, 320, 340, 360, 380, 400, 420, 450, 480, 500, 530, 560, 600, 630, 670, 710, 750, 800, 850, 900, 950, 1000, 1060, 1120, 1180, 1250, 1320, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000, 2120, 2240, 2360, 2500, 2650, 2800, 3000, 3150, 3350, 3550, 3750, 4000.

Наведена градація базується на встановленні відповідності між технічними характеристиками верстата з МПС і величиною необхідних координатних рухів виконавчого органа, а також досягненні узгодженості між технічними характеристиками та вимогами, що ставляться до виконання операцій [5].

Величина переміщення кінематичних ланок залежить від конструкторсько-геометричних параметрів оброблюваних деталей, методів обробки, схем формоутворення поверхонь, величини і напрямків координатних рухів виконавчого органа, компоновки і конструктивного виконання основних елементів верстатної системи. Відсутність обґрунтованої закономірності між взаємним розташуванням виконавчого органа і оброблюваної деталі на різних етапах обробки вказують на те, що величину швидкості переміщення і прискореного руху кінематичних ланок слід вибирати по ГОСТ 6636-69 (СТ СЭВ 514-77). На основі даного стандарту значення даних параметрів слід вибирати з основного ряду R5 та додаткового R10:

– основний ряд: 10; 16; 25; 40; 63; 160; 250; 400; 630; 1000...;

– додатковий ряд: 10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 320; 400; 500; 630; 800; 1000...

При встановленні градації за величиною кута обертання ланок в опорах рухомої та нерухомої платформ доцільно використати рекомендації ГОСТ 8908-81(СТ СЭВ 513-77) «Нормальные углы и допуски углов». З цього стандарту, а також з вже існуючих верстатів-гексаподів, величину кута слід обирати за арифметичними рядами:

– основний ряд: 30; 60; 90; 120; 150; 180;

– додатковий ряд: 15; 30; 45; 60; 75; 90; 105; 120; 135; 150; 165; 180...

Перевагу слід віддавати основним рядам. Додаткові ряди необхідно використовувати при проектуванні спеціальних верстатів з МПС.

Подібно розглядається градація верстата з МПС по максимальному куту, під яким можлива обробка (максимальний кут нахилу нерухомої платформи). Оскільки він має не велику максимальну величину (до 30°...45°), то градація повинна бути [3]:

– основний ряд (крок - 10°): 10°; 20°; 30°; 40°;

– додатковий ряд (крок - 5°): 5°; 10°; 15°; 20°; 25°; 30°; 35°; 40°; 45°.

Лінійні розміри: діаметри рухомої та нерухомої платформ; відстані між їх опорами; розмір виконавчого органа та габаритні розміри несучої системи повинні регламентуватися за геометричними рядами:

– основний (знаменник – 1,6): 10; 16; 25; 40; 63; 100; 160; 250; 400 мм і т.д.;

– 1-й додатковий (знаменник – 1,25): 10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160 мм і т.д.;

– 2-й додатковий (знаменник – 1,12): 10; 11,2; 12,5; 14; 16; 18; 20; 22,4; 25; 28; 31,5; 36; 40 мм і т.д.

**Висновки.** В роботі запропоновано поділ верстатів з механізмами паралельної структури за максимальними координатними рухами. Так, визначено, що основна їх частина збігається з переважним рядом чисел R20 зі знаменником 1,12. Для даних та інших умов доцільно мати додатковий ряд із більш тонкою градацією, яка відповідно до ГОСТ повинна відповідати ряду R40 зі знаменником 1,06.

Так, в подальших рекомендаціях при виборі тих чи інших параметрів перевагу необхідно віддавати основному або першому додатковому ряду. Виконане обґрунтування основних конструктивних параметрів МПС верстатів може бути покладене в основу відповідного стандарту.

## Список літератури

1. Павленко І.І. Промислові роботи: основи розрахунку та проектування: навч. пос. [Текст] / І.І. Павленко. – Кіровоград: КНТУ, 2007. – 420с.
2. Вахніченко Д.В. Обґрунтування параметрів конструкцій верстатів з МПС для обробки деталей осьовим інструментом [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / Д.В. Вахніченко. – Кіровоград: КНТУ, 2014. –157 с.
3. Валявський І.А. Розширення функціональних можливостей верстатів-гексаподів шляхом визначення їх раціональних параметрів [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / І.А. Валявський. – Кіровоград: КНТУ, 2010.–213 с.
4. Gallery of Existing Parallel Mechanisms [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.parallemic.org/WhosWho/Gallery.html>
5. Павленко І.І. Аналіз робочого простору верстата з паралельною кінематикою [Текст] / Павленко І.І., Вахніченко Д.В. // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград: КНТУ, 2012. – Вип.25, ч.1. – С.117-124.

**Dmitriy Vakhnichenko, PhD tech. sci., Yuriy Verkhoglyad, Msc.**

*Kirovograd National Technical University, Kropyvnickiy, Ukraine*

**Margarita Brajko, Lect.**

*Kirovograd Engineering college KNTU, Kropyvnickiy, Ukraine*

### **Dimensional and parametric grading machine with MPS**

The paper used to study the size and parameters of machines with the mechanism of parallel structure and grading. We consider the correspondence between the technical characteristics of the machine and the size of the necessary co-ordinate the movements of the executive body and achieving coherence between these characteristics and the requirements of the procedures. Powered by a modular structure of the machine design with the MPS and the suggested definition of the basic parameters of each module and their graduation on the basis of the standard.

The paper suggested the division of machines with parallel structure mechanisms with the maximum coordinate movements. And it is determined that most of them are the same as the next primary R20 numbers with ratio of 1.12. For these and other conditions, it is advisable to have an extra row with finer gradations, which, in accordance with GOST R40 must meet a number with a denominator 1,06. Tak for further recommendations when selecting certain parameters, preference should be given to the main or first additional row. Achieved a justification of key design parameters of MPS machines can be used as the basis of the standard.

As a result, it is proposed grading machines largest units in the rotation angle of platforms and supports the maximum angle at which can be processed. Also presented regulated parameters of the linear sizes, diameters mobile and fixed platforms, the distance between their legs, the size of the executive body and the overall dimensions of the machine carrier system.

**machine, hexapod, PKM, machinetool MPS, machine of parallel structure**

Одержано 07.11.16

УДК 621.891

**В.І. Дворук, проф., д-р техн. наук**

*Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна*

**К.В. Борак, канд. техн. наук, С.С. Добранський, асп.**

*Житомирський агротехнічний коледж, м. Житомир, Україна*

*E-mail: koss1983@meta.ua*

## Дослідження зносостійкості сталі 65Г з різними фізико-механічними властивостями при зношуванні в абразивній масі

Досліджено вплив природи, твердості абразивного матеріалу та тиску абразивної маси на зносостійкість сталі 65Г з різними фізико-механічними властивостями при зношуванні в абразивній масі, що імітує ґрунт.

**сталь 65Г, зносостійкість, абразивна маса, зношування, твердість**

**В.И. Дворук, проф., д-р техн. наук**

*Национальный авиационный университет, г. Киев, Украина*

**К.В. Борак, канд. техн. наук, С.С. Добранський, асп.**

*Житомирский агротехнический колледж, г. Житомир, Украина*

**Исследование износостойкости стали 65Г с различными физико-механическими свойствами при износе в абразивной массе**

Исследовано влияние природы, твердости абразивного материала, а также давления абразивной массы на износостойкость стали 65Г с различными физико-механическими свойствами при износе в абразивной массе.

**сталь 65Г, износостойкость, абразивная масса, износ, твердость**

**Постановка проблеми.** Підвищення зносостійкості деталей, які працюють в умовах абразивного зношування – одна з найважливіших задач сучасного машинобудування.

У сільськогосподарському виробництві абразивному впливу найбільше піддаються робочі органи (РО) ґрунтообробних знарядь, які працюють в складному технологічному середовищі – ґрунті. Для обробітку ґрунту застосовують лемішно-лапові та дискові РО. В структурі парку сільськогосподарських машин України на машини з дисковими РО припадає близько 40% загальної кількості ґрунтообробних знарядь. Вітчизняні РО дискових ґрунтообробних знарядь в переважній більшості виготовленні зі сталі 65Г, саме тому дослідження впливу природи, твердості абразивного матеріалу та тиску абразивної маси на зносостійкість сталі 65Г з різними фізико-механічними властивостями при зношуванні в абразивній масі є беззаперечно актуальною задачею [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Великий вклад у вивчення явищ, які відбуваються при абразивному зношуванні, внесли М.М. Хрущов [2], І.В. Крагельский [3], Б.І. Костецький [4], М.М. Тененбаум [5] та інші.

На даний час різні дослідники по різному пояснюють механізм абразивного зношування. Найбільш розповсюджене пояснення зводиться до представлення абразивного процесу зношування, як результату царапання металу абразивними

частинками, виключаючого мікрорізання поверхні металу. Подібної тракторки притримуються В.Ф. Лоренц [6], В.Д. Кузнецов [7], А.К. Зайцев [8], В.Н. Кашеев [9], В.М Глазков та інші.

Під абразивним зношуванням М.М. Хрущов і М.А. Бабічев розуміють руйнування поверхні металу абразивними частинками мінерального походження [2].

Б.І. Костецький запевняв, що руйнування при абразивному зношуванні проходить внаслідок зім'яття і зрізання мікрооб'ємів металу і утворення стружки сколювання і зміцнення поверхневих шарів. Науковою школою Б.І.Костецького теоретично обгрунтовано загальна закономірність тертя і зношування, в якому механохімічний фактор зношування металів в абразивному середовищі займає одне з основних місць [4].

В реальних умовах роботи обладнання та інструментів при абразивному зношуванні можливі різні схеми зовнішньої силової дії абразиву. Авторами [10] запропоновано систематизувати абразивний вид зношування за характером дії абразивної частинки на контактні поверхні зношування. Так були виділені наступні види абразивного зношування: ковзання по монолітному абразиву; удар по абразиву; кочення по абразиву; дія абразивного потоку; рух в масі незакріплених абразивних частинок.

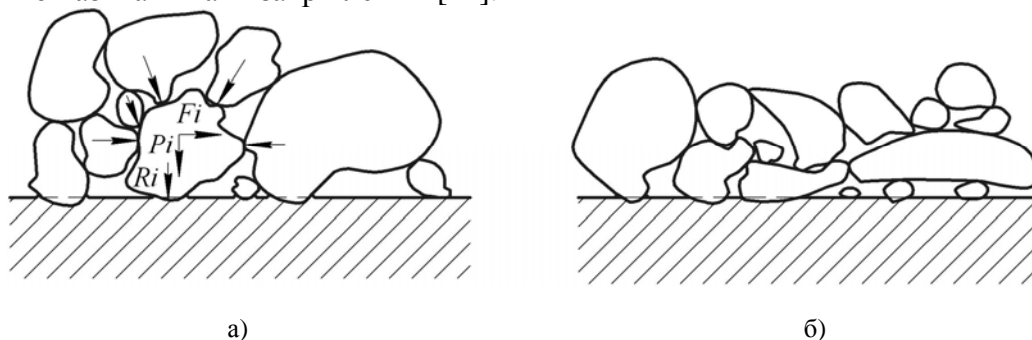
Зношування в незакріпленій абразивній масі найбільш характерно для сільськогосподарської техніки [10].

Проф. М.М. Тененбаумом [5] було відмічено, що для сільськогосподарських машин абразивний знос при русі в масі абразивних частинок можливо розділити на два підвиди: при переміщенні в ґрунтовій масі і мінеральних добривах; при переміщенні в органічній масі, яка вміщує абразивні частинки.

В сільському господарстві найбільше абразивному зношуванню піддаються деталі машин, що працюють в ґрунтовій масі (ґрунті).

Розглянемо схему фрикційного контакту (рис. 1) при переміщенні деталі в ґрунтовій масі [5].

Відповідно до схеми (рис 1), з поверхнею деталі стикаються порівняно слабо зв'язані між собою тверді частинки з різноманітними механічними властивостями, різною формою і розмірами; на кожен частинку діє визначена для даної абразивної маси нормальна сила  $P_i$  і кожна з контактуючих частинок здатна витримувати до суттєвої зміни свого положення (по відношенню до сусідніх частинок) деяку силу  $F_i$ , направлену паралельно поверхні деталі. Абразивне середовище з такими зв'язками прийнято називати напівзакріпленим [11].



а – при взаємодії з відносно великими частинками абразиву, б) при взаємодії з відносно невеликими частинку абразиву.  $R_i$  – радіус контактної поверхні абразивної частинки,  $P_i$  – нормальне навантаження, що припадає на дану частинку,  $F_i$  – сумарна дотична сила, яка втримує дану частинку від зміщення по відношенню до сусідніх частинок (дана сила визначається ступенем закріпленості абразиву)

Рисунок 1 – Схема контакту абразивних частин з поверхнею деталі

Контакт твердої частинки з поверхнею деталі здійснюється на площі малої величини, яку в першому приближенні можна рахувати сферичною. Радіус цієї сфери  $R_i$  в загальному випадку не має прямого зв'язку з розміром абразивного зерна (рис. 1).

На ділянці, де відбувається взаємодія абразивної маси з поверхнею деталі, виникає контактне напруження:

$$\sigma_M = f(R_i; \Pi_i; P_i; F_i), \quad (1)$$

де  $R_i$  – радіус контактної поверхні абразивної частинки;

$\Pi_i$  – показник механічних властивостей абразивної частинки (міцність, модуль пружності, коефіцієнт Пуассона);

$P_i$  – нормальне навантаження, що припадає на дану абразивну частинку;

$F_i$  – сумарна дотична сила, яка втримує дану частинку від зміщення по відношенню до сусідніх абразивних частинок (дана сила визначається ступенем закріпленості абразиву).

В залежності від величини виникаючих напружень  $\sigma_M$  механічні процеси, що протікають в поверхневому шарі, який контактує з масою абразивних частинок можуть бути наступними :

- пружне деформування мікрооб'ємів матеріалу; зменшення міцності поверхневого шару при одночасній дії середовища; втомлювальне руйнування об'ємів;

- пластичне деформування мікрооб'ємів матеріалу; зменшення міцності поверхневого шару при одночасній дії середовища; полідеформаційне руйнування мікрооб'ємів матеріалу;

- руйнування мікрооб'ємів матеріалу шляхом зрізу або відриву.

Питання переходу від пружного деформування до пластичного деформування і переходу до зрізу займався І.В. Крагельский [3]. Закономірності, встановлені для металічних тіл, не враховують факторів (міцність абразивних зерен, ступеню закріпленості, форма абразиву), характерних для зношування в абразивній масі.

Так, для якісної оцінки форми абразивного зерна (однієї фракції) в роботі [5] запропоновано критерій, названий коефіцієнтом форми:

$$K_\phi = \frac{M(n_i)M(D_i - d_i)}{M(R_i)}, \quad (2)$$

де  $M(n_i)$ ,  $M(R_i)$  і  $M(D_i - d_i)$  – математичне очікування, відповідно для числа вершин, їх радіусів і різниці діаметрів кіл, описаної навколо контура і вписаної в контур зерна.

Перехід до прямого руйнування (зрізу) здійснюється при збільшенні  $K_\phi$ , тобто коли достатньо велика ймовірність контакту частинки по виступу з малим радіусом кривини, а форма частинки далека від сферичної.

Проф. М.М. Северньовим [12] встановлено, що більшість абразивних частинок в ґрунті мають округлу форму, що виключають можливість процесу зрізу металу абразивами. Дослідженнями В.М. Ткачова [13] встановлено, що в процесі абразивного зношування РО ґрунтообробних знарядь процес мікрорізання поверхні практично неможливий, а процес зношування відбувається за рахунок пластичного деформування поверхні.

Експериментально встановлено, що механізм зношування в ґрунтовій масі визначається головним чином співвідношенням твердості металу і твердості абразивних частинок [5,13]. Здатність абразивних частинок руйнувати поверхню деталей оцінюється співвідношенням мікротвердості матеріалу  $H_m$  і абразиву  $H_a$ :

$$K_m = \frac{H_m}{H_a} . \quad (3)$$

Дослідним шляхом встановлено [5,13], що критичним значенням коефіцієнта є  $K_m=0,5 \dots 0,7$ . При  $K_m < 0,5$  можливе пряме руйнування матеріалу (при відповідній формі частинки і достатньому навантаженні), при  $K_m > 0,7$ , пряме руйнування малоімовірне.

Аналітична перевірка положень теорії абразивного зношування показала, що найбільш ймовірним механізмом такого зношування, при взаємодії з частинками ґрунту, представляється багатократне пластичне деформування одних і тих же мікрооб'ємів металу, в результаті якого спостерігається деформаційне руйнування поверхневого шару металу.

Дослідники И.Ш. Белиничер, В.М. Гутерман, В.Г. Колесов, Н.М. Серпик, М.М. Кантон та інші вчені на основі експериментальних досліджень встановили, що твердість, як механічна властивість металу, не являється надійним критерієм для оцінки зносостійкості. На інтенсивність зношування в абразивній масі суттєво впливає хімічний склад, внутрішні напруження та структура металу.

Дослідженнями [13] встановлено, що залежність зносостійкості від твердості матеріалу має прямолінійний характер тільки при мікрорізанні і пластичній деформації.

При збільшенні твердості матеріалу більш ніж  $0,8H_a$  спостерігається нелінійна залежність:

$$\varepsilon = b_n H_i^n , \quad (4)$$

де  $\varepsilon$  – відносна зносостійкість матеріалу;

$b_n$  – коефіцієнт пропорційності, що залежить від умов зношування;

$H_m$  – твердість матеріалу;

$n$  – показник ступеня при  $H_m < 0,6H_a$  рівний одиниці і збільшується зі збільшенням твердості матеріалу.

Автором [5] відзначалося, що при зношуванні в реальній ґрунтовій масі можливе виникнення змішаних (хімічних та механічних) процесів зношування зі значною часткою полідеформаційного руйнування. Дослідженнями [5] встановлено, що кисень, який знаходиться в повітрі, сприяє інтенсифікації полідеформаційного процесу зношування в результаті утворення крихких з'єднань.

В роботі [13] виділені основні фактори, що впливають на інтенсивність зношування в абразивній масі:

- природа і форма структурних складових сплаву;
- природа і твердість абразивного матеріалу;
- ступінь зв'язаності абразивних частинок;
- тиск на абразивну частинку.

**Постановка завдання.** Мета досліджень – дослідити вплив природи і твердості абразивного матеріалу та тиску абразивної маси на зносостійкість сталі 65Г з різними фізико-механічними властивостями при зношуванні в абразивній масі.

**Методика досліджень.** Для врахування абразивних властивостей ґрунтів, при прогнозуванні зносостійкості ґрунтообробних РО, зміцнених методом ЕО, були проведені дослідження відносної і абсолютної зношувальної здатності ґрунтів з різним фракційним складом.

В табл. 1 приведені фізико-механічний склад ґрунтів, які використовувались під час випробовування на зносостійкість.

Таблиця 1 – Фізико механічний склад ґрунтів

Тип ґрунту	Середній вміст, %	
	піску	глини
Кварцовий пісок	100 (Розмір абразиву 80-100 мкм, $K_{\phi}=1,93$ )	0
Піщаний	95	5
Супіщаний	80	20
Суглинковий	50	50
Глинистий	10	90

Для дослідження зношувальної здатності ґрунтів були прийняті еталонні зразки, виготовлені зі сталі 65Г, сталі 65Г з об'ємним загартуванням 810...830°C і середнім відпуском з дуже точною витримкою при температурі 460...480 °C і зміцнені ЕО (сила струму 450 А, напруга 45 В, температура охолоджуючої рідини 35 °C) твердість поверхні після обробки складала 58-64 НРС.

Для випробовування також використовували кварцовий пісок різного фракційного складу (табл. 2) для виявлення закономірності зношування в залежності від розміру абразивного зерна та впливу на інтенсивність зношування коефіцієнта форми абразивної частинки  $K_{\phi}$ .

Таблиця 2 – Розмір та форма фракцій кварцового піску

№ фракції	Розмір фракції, мкм	Коефіцієнт форми, $K_{\phi}$
Фракція 1	40-50	13,87
Фракція 2	50-60	7,93
Фракція 3	60-80	6,43
Фракція 4	80-100	1,93
Фракція 5	100-125	1,87
Фракція 6	125-150	1,91
Фракція 7	150-180	1,9

Твердість кварцових частин складає 1000-1300 кг/мм<sup>2</sup>.

При плануванні експерименту для виявлення закономірності зношування в залежності від розміру абразивного зерна проводили планування однофакторного експерименту. В якості критерію оптимізації прийняли:  $\sigma_w$  – зносостійкість, км/г, в якості фактора: розмір фракцій кварцового піску, мкм.

Для врахування впливу швидкості руху і тиску ґрунту на поверхню був проведений двофакторний експеримент.

В якості критерію оптимізації при проведенні дослідження було запропоновано:  $\sigma_w$  – зносостійкість, км/г.

В якості факторів вибрано: швидкість руху; тиск ґрунту на поверхню дослідного зразка.

При математичній обробці результатів було описано процес, що вивчається, за допомогою математичної моделі, що має вигляд:

$$\gamma = b_0x_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2, \quad (5)$$

де  $y$  – критерій оптимізації дослідження;

$b_0, b_1, b_2, b_{12}$ , – коефіцієнти регресії, по величині яких можна з'ясувати ступінь впливу відповідних факторів;

$x_1, x_2$  – змінні фактори.

Вибір експериментальної області факторного простору проводили, враховуючи апіорну інформацію, щодо умов роботи дискових ґрунтообробних знарядь.

Для підтвердження вірності проведеного експерименту фактори змінювались на 2-х рівнях (табл. 3 )

Таблиця 3 – Інтервал та рівні варіювання факторів

Показники	Кодове позначення	Фактори та їх позначення	
		Тиск ґрунту, кПа	Швидкість руху зразка м/хв (км/год)
Умове позначення	$x_i$	$x_1$	$x_2$
Верхній рівень	1	122,6	256,58 (15,36)
Нижній рівень	-1	9,807	125,28 (7,5)

Для опису математичної моделі було здійснено план проведення експерименту з ефектом взаємодії, представлено в табл. 4.

Таблиця 4 – Матриця планування експериментів

Номер досліду	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_1x_2$
1	1	1	1	1
2	1	-1	1	-1
3	1	-1	-1	1
4	1	1	-1	-1

Дослідження проводили на установці типу «крильчатка».

**Результати досліджень.** Одним з основним факторів, що впливає на зносостійкість робочих органів, які працюють в ґрунті, є його фракційний склад. Для врахування впливу фракційного складу ґрунту на зносостійкість робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь (ДГЗ) були проведені лабораторні дослідження за методикою, представленою вище..

За результатами дослідження отримано регресійні моделі залежності:

$$I_m = f(i), \quad (6)$$

де  $i$  – вміст фізичного піску в ґрунті;

$I_m$  – інтенсивність масового зносу.

Для зразків сталі 65Г після ЕО:

$$I_m = 3E - 0,6i^2 - 0,0002i + 0,0031, \quad (7)$$

при  $R^2=0,9773$ .

при  $R^2=0,9741$ .

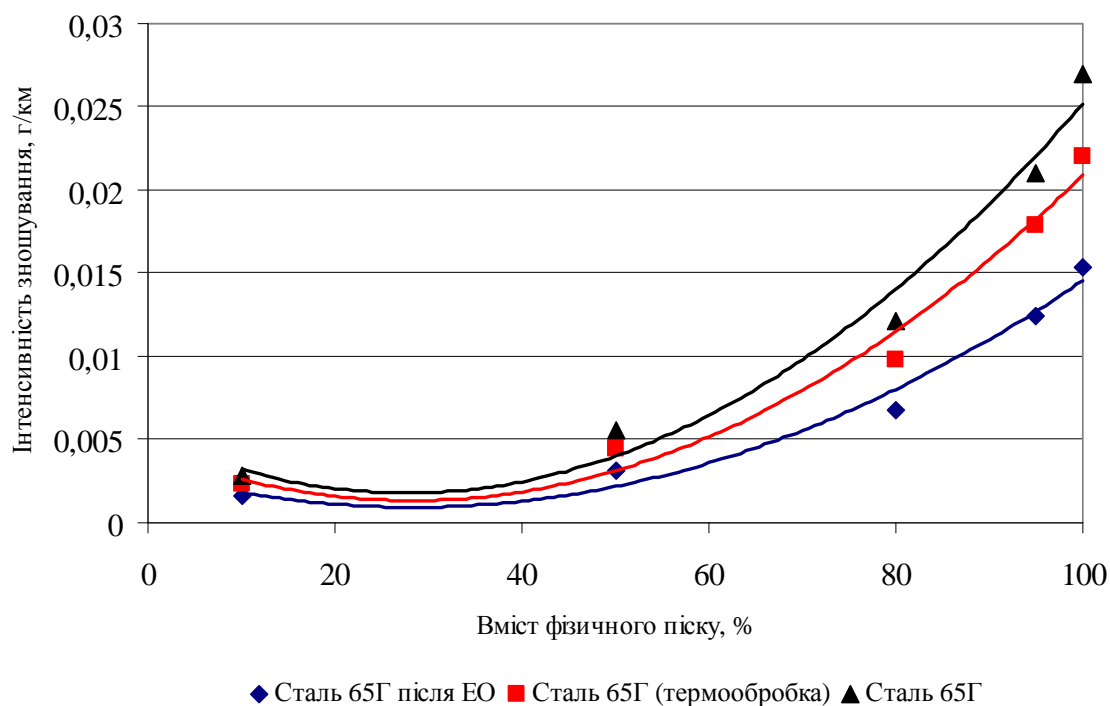


Рисунок 2 – Залежність інтенсивності зношування від вмісту фізичного піску в ґрунті

Для зразків сталі 65Г з об'ємним загартуванням 810...830°C і середнім відпуском з дуже точною витримкою при температурі 460...480 °C:

$$I_m = 4E - 0,6i^2 - 0,0002i + 0,0044, \quad (8)$$

при  $R^2=0,9793$ .

Для зразків сталі 65Г:

$$I_m = 4E - 0,6i^2 - 0,0002i + 0,0052. \quad (9)$$

Як видно з отриманих залежностей (рис .2), інтенсивність зношування сталі 65Г після термообробки зменшується на 20...30 %, а після ЕО – на 70...80%.

Аналіз представленої залежності дозволяє зробити висновок: чим більше в ґрунті фізичного піску (кварцових частинок) тим більш інтенсивно відбувається процес зношування.

Як видно з рис. 2, інтенсивність зношування суттєво підвищується при вмісті піску більше 50%, а залежність після цієї точки носить майже прямолінійний характер. Такі типи ґрунтів характерні для ґрунтово-кліматичної зони Полісся, тому при прогнозуванні ресурсу ДГЗ та ремонтного фонду цей фактор необхідно враховувати.

Важливим показником для прогнозування зносостійкості робочих органів, що працюють в абразивному середовищі, є розмір та форма абразивного зерна.

За результатами дослідження отримано регресійну модель залежності:

$$I_m=f(\chi), \quad (10)$$

де  $\chi$  – величини зерна абразиву, мкм;

$I_m$  – інтенсивність масового зношування, г/км.

Для зразків сталі 65Г після ЕО:

$$I_m = -1E - 0,6\chi^2 + 0,0004\chi - 0,0065, \quad (11)$$

при  $R^2=0,9817$ .

Для зразків сталі 65Г з об'ємним загартуванням 810...830°C і середнім відпуском з дуже точною витримкою при температурі 460...480 °C:

$$I_m = -2E - 0,6\chi^2 + 0,0005\chi - 0,0093, \quad (12)$$

при  $R^2=0,9798$ .

Для зразків сталі 65Г:

$$I_m = -1E - 0,7\chi^2 + 0,0001\chi - 0,00164, \quad (13)$$

при  $R^2=0,6102$ .

За результатами досліджень побудовано графічну залежність (рис. 3).

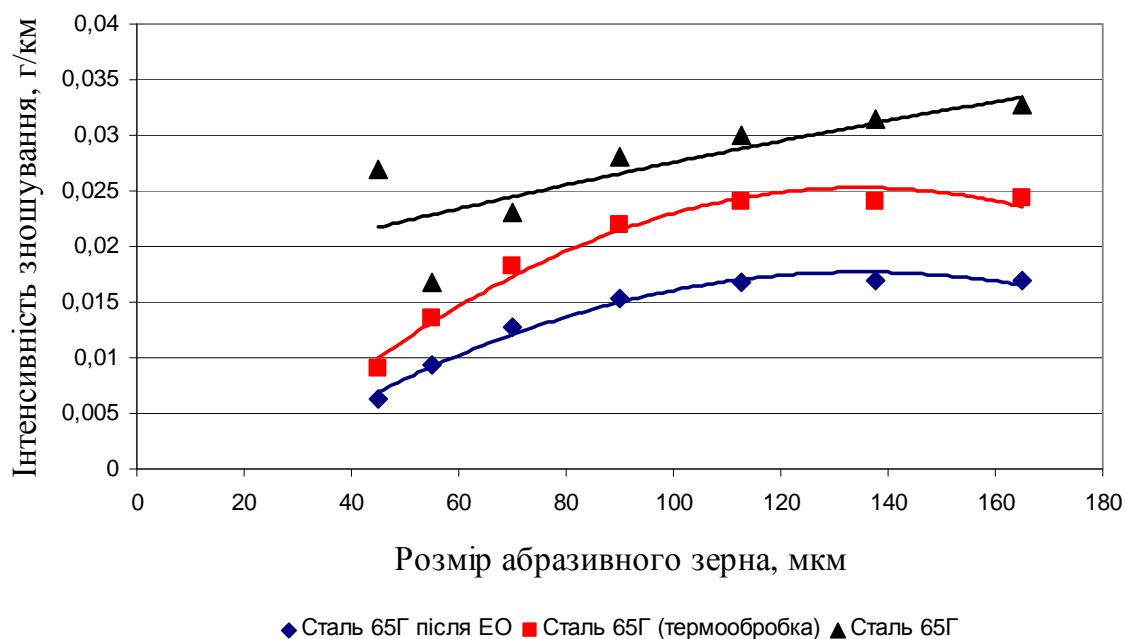


Рисунок 3 – Залежність інтенсивності зношування від розміру абразивного зерна

Для інтенсивності зношування спостерігається закономірність: при досягненні розміру абразивного зерна близько 100 мкм інтенсивність зношування майже не змінюється. Збільшення інтенсивності зношування пояснюється зростанням ступеню закріпленості абразиву зі збільшенням розміру абразивного зерна. Дана залежність дозволяє прогнозувати інтенсивність зношування РО ДГЗ, зміцнених методом ЕО в залежності від розмірів абразиву, наявного в ґрунті. Класифікація ґрунтів в залежності від розміру абразиву запропонована в роботі [12].

Інтенсивність зношування при збільшенні коефіцієнта  $K_f$  повинна зростати. Зменшення інтенсивності зношування зі збільшенням коефіцієнта форми пов'язано з

тим, що зі збільшенням  $K_f$  відбувається зменшення розміру абразиву (зменшується ступінь закріпленості абразиву), а питомий тиск на зразок не знаходився вище критичних значень, що б призвести до процесів мікрорізання.

Винятком із закономірності є зношування зразків сталі 65Г абразивом розміром 40-45 мкм. Висока інтенсивність зношування пояснюється процесами мікрорізання поверхні. Значення  $K_t$  для сталі 65Г, при зношуванні кварцовими частинками набуває критичних значень, а коефіцієнт форми абразиву  $K_f=13,87$  сприяє зняттю стружки з поверхні металу. Автором [5] відзначалося, що процес мікрорізання можливий при  $K_f \geq 11,25$  та відповідних значеннях  $K_t$  і питомого тиску.

Після проведення досліджень був визначений коефіцієнт форми  $K_f$  для відпрацьованої маси. В середньому коефіцієнт форми зменшився на 20...40%, що пояснює наявність у верхньому (оброблюваному) шарі ґрунту переважної більшості округлених абразивних частинок.

Для визначення впливу швидкості руху і питомого тиску на інтенсивність зношування були проведені лабораторні дослідження за методикою, представленою в роботі [1]. При визначенні впливу тиску та швидкості на зносостійкість всі інші фактори були постійними для всіх дослідів.

Рівняння регресії для сталі 65Г буде мати вигляд:

$$\sigma_w = 1246,237 - 13,378p - 1,918v + 0,01pv. \quad (14)$$

Графік згідно рівняння (14) представлений на рис. 4.

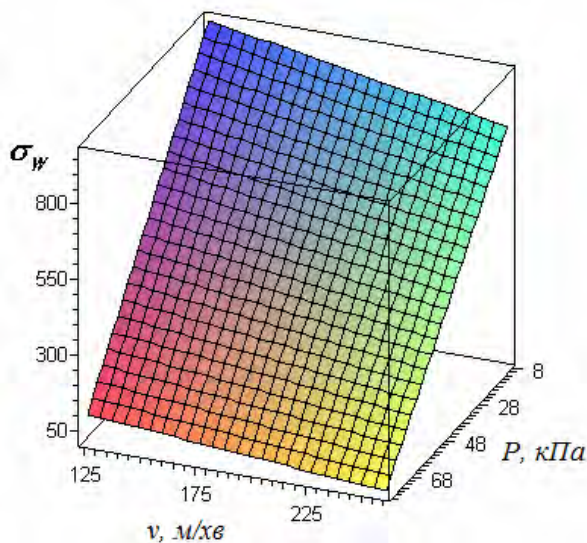


Рисунок 4 – Залежність зносостійкості  $\sigma_w$  від тиску ґрунту  $p$  та швидкості руху зразка  $v$  для сталі 65Г EO

Для сталі 65Г з об'ємним загартуванням 810...830°C і середнім відпуском з дуже точною витримкою при температурі 460...480 °C рівняння регресії має вигляд:

$$\sigma_w = 456,516 - 3,223p - 0,911v + 0,0066pv. \quad (15)$$

Графік згідно рівняння (15) представлений на рис. 5.

Для сталі 65Г рівняння регресії має вигляд:

$$\sigma_w = 386,321 - 2,744p - 0,807v + 0,0059pv. \quad (16)$$

Графік згідно рівняння (16) представлений на рис. 6.

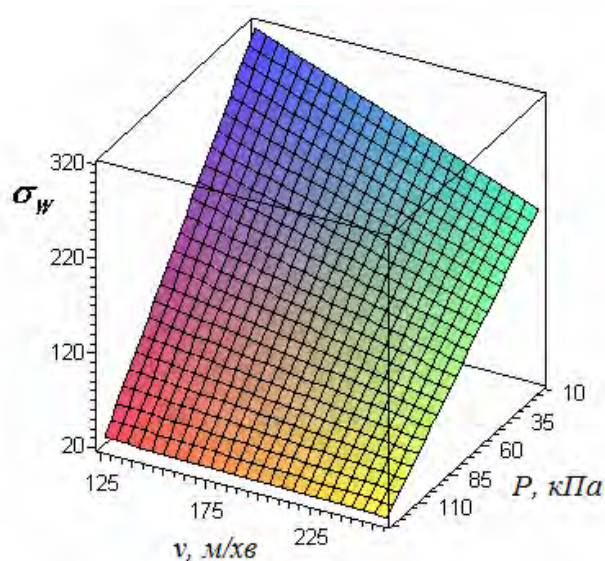


Рисунок 5 – Залежність зносостійкості  $\sigma_w$  від тиску ґрунту  $p$  та швидкості руху зразка  $v$  для сталі 65 з об'ємним загартуванням

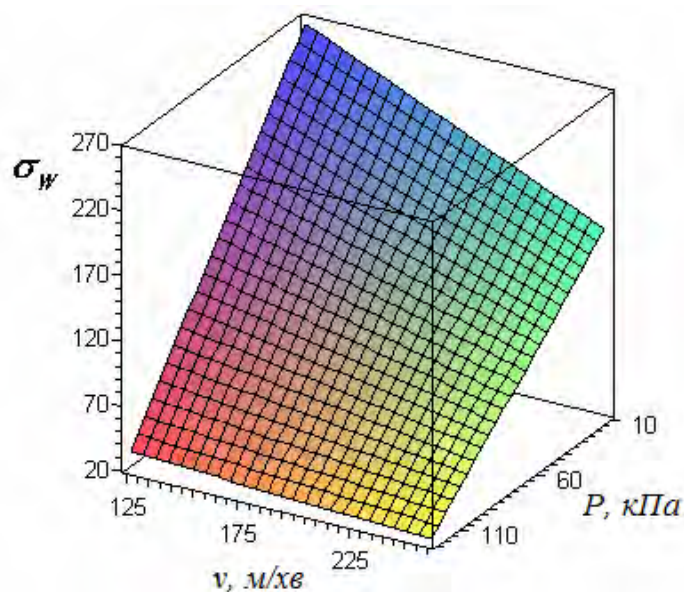


Рисунок 6 – Залежність зносостійкості  $\sigma_w$  від тиску ґрунту  $p$  та швидкості руху зразка  $v$  для поверхні сталі 65Г

Зносостійкість поверхні суттєво зменшується при збільшенні питомого тиску на зразок. Це пояснюється тим, що при збільшенні тиску можливе виникнення таких негативних процесів, як мікрорізання поверхні металу абразивними зернами.

**Висновки.** Як видно з представлених результатів, зносостійкість зразків при збільшенні швидкості зменшується, що пов'язано зі збільшенням динамічних навантажень на поверхню тертя.

Як видно з отриманих графічних залежностей зносостійкість сталі 65Г підвищується при загартуванні із середнім відпуском на 15...30%, при ЕО обробці на 60..80%, незважаючи на зовнішні чинники (тиск та швидкість).

## Список літератури

1. Борак К.В. Підвищення зносостійкості робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь методом електроерозійної обробки [Текст] : дис. канд. тех. наук: 05.02.04 – тертя та зношування в машинах / Борак Костянтин Вікторович. – Харків, 2013. – 217 с
2. Хрущов М.М. Абразивное изнашивание [Текст] / М.М. Хрущов, М.А. Бабичев. – М.: Наука, 1970. – 252 с.
3. Крагельский И.В. Трение и износ [Текст] / И.В. Крагельский. – М.: Машиностроение, 1962. – 382 с.
4. Костецкий Б.И. Сопротивление изнашиванию деталей машин [Текст] / Б.И. Костецкий. – М.-К.: Машгиз, 1959. – 476 с.
5. Тененбаум М.М. Сопротивление абразивному изнашиванию [Текст] / М.М. Тененбаум. – М.: Машиностроение, 1976. – 271 с.
6. Лоренц В.Ф. Износ деталей сельскохозяйственных машин [Текст] / В.Ф. Лоренц. – М.: Машиздат, 1948. – 98 с.
7. Кузнецов В.Д. Избранные труды. Физика резания и трения металлов и кристаллов [Текст] / В.Д. Кузнецов – М.: Наука, 1977. – 310 с.
8. Зайцев А.К. Основы учения о трении, износе и смазке [Текст] / А.К. Зайцев. – М.; Л.: Машгиз, 1947. – 219 с.
9. Кашеев В.Н. Абразивное разрушение твердых тел. [Текст] / В.Н. Кашеев. – М.: Наука, 1970. – 247 с.
10. Виноградов В.Н. Абразивное изнашивание [Текст] / В.Н. Виноградов, Г.Н. Сорокин, М.Г. Колокольников. – М.: Машиностроение, 1990. – 224 с.
11. Бобрицький В.М. Підвищення зносостійкості різальних елементів робочих органів ґрунтообробних машин [Текст] : дис. канд. тех. наук: 05.02.04 / Бобрицький Віталій Миколайович. – Кіровоград, 2007. – 182 с.
12. Севернев М.М. Износ и коррозия сельскохозяйственных машин [Текст] / М.М. Севернев, Н.Н. Подлекарев, В.Ш. Сохадзе, В.О. Китиков; по ред. М.М. Севернева. – Минск: Беларус. навука, 2011. – 333 с.
13. Ткачев В.Н. Работоспособность деталей в условиях абразивного изнашивания [Текст] / В.Н. Ткачев – М.: Машиностроение, 1995. – 336 с.

**Volodymyr Dvoruk, Prof., PhD tech. sci**

*National Aviation University, Kyiv, Ukraine*

**Kostiantun Borak, Ph.D tech. sci., Sergii Dobranskyi, post-graduate**

*Zhytomyr Agrarian and Technical College, Zhytomyr, Ukraine*

### **Investigation of the durability of steel 65Г with different physical and mechanical properties in wear in abrasive mass**

The purpose of research – to investigate the influence of nature and abrasive hardness and pressure abrasive wear resistance to steel weight 65Г with different physical and mechanical properties in wear in abrasive mass.

The work for predicting the durability of the tillage work reinforced by electrical discharge machining, studies were conducted relative and absolute wearing ability of soils with different fractional composition, and to take account of the impact speed and pressure of the soil surface was made two-factor experiment. The criterion of optimization in the studies were offered:  $\sigma_w$  - durability km/h.

As a result of the research might draw the following conclusions:

- increased durability samples at reduced speed, due to the increase of dynamic loads on the surface friction.

- surface wear resistance is significantly reduced with increasing pressure on the specific sample is explained by the fact that the increase in pressure may cause such negative processes as mikrorizannya metal surface with abrasive grains.

- 65 G enhanced wear resistance of steel during quenching and tempering average of 15 ... 30%, the electrical treatment to 60..80% despite external factors (pressure and speed).

**steel 65G, durability, mass abrasive, wear, hardness**

Одержано 03.11.16

УДК 621.644 : 621.833.15

**Ю.В. Кулешков, проф., д-р техн. наук, Є.В. Магонець, асп., К.Ю. Кулешкова, інж., Т.В. Руденко, доц., канд. техн. наук, М.В. Красота, доц., канд. техн. наук**  
*Кіровоградський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*  
*E-mail: krasotamv@ukr.net*

## Аналіз гідродинамічних процесів, що відбуваються у відсіченій порожнині шестеренного насоса

В статті наведені результати аналізу впливу динамічних процесів, що відбуваються у відсіченій порожнині шестеренного насоса на його працездатність. Зазначені умови виникнення компресії і декомпресії робочої рідини у відсіченій порожнині шестеренного насоса. Встановлено взаємозв'язок між компресією і декомпресією робочої рідини, що виникають у відсіченій порожнині шестеренного насоса і негативним впливом цих явищ на працездатність насоса. Зазначено зниження працездатності шестеренного насоса внаслідок негативного впливу гідродинамічних явищ у відсіченій порожнині, що виявляється у підвищеному зношуванні деталей і з'єднань насоса, зниженні довговічності, коефіцієнту подачі, підвищенні пульсації тиску і подачі, збільшенні вібрацій і шуму НШ.

**шестеренний насос, зубчасте зачеплення, робоча рідина, відсічена порожнина, компресія, декомпресія, коефіцієнт перекриття, коефіцієнт подачі**

**Ю.В. Кулешков, проф., д-р техн. наук, Є.В. Магонець, асп., К.Ю. Кулешкова, інж., Т.В. Руденко, доц., канд. техн. наук, М.В. Красота, доц., канд. техн. наук**  
*Кіровоградський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

### Анализ гидродинамических процессов, происходящих в отсеченной полости шестеренного насоса

В статье приведены результаты анализа влияния динамических процессов, происходящих в отсеченной полости шестеренного насоса на его работоспособность. Определены условия возникновения компрессии и декомпрессии рабочей жидкости в отсеченной полости шестеренного насоса. Установлена взаимосвязь между компрессией и декомпрессией рабочей жидкости, возникающих в отсеченной полости шестеренного насоса и отрицательным влиянием этих явлений на работоспособность насоса. Отмечено снижение работоспособности шестеренного насоса вследствие негативного влияния гидродинамических явлений в отсеченной полости, которое проявляется в повышенном износе деталей и сопряжений насоса, снижении долговечности, коэффициента подачи, повышении пульсации давления и подачи, увеличении вибраций и шума НШ.

**шестеренный насос, зубчатое зацепление, рабочая жидкость, отсеченная полость, компрессия, декомпрессия, коэффициент перекрытия, коэффициент подачи**

**Актуальність.** Широке застосування шестеренних насосів (НШ) в гідравлічних системах машин пояснюється простотою і компактністю їх конструкції, надійністю, малою трудомісткістю виготовлення, зручністю обслуговування, а також, на відміну від інших типів об'ємних насосів, можливістю безпосереднього їх з'єднання з приводними механізмами. Однак, поряд з перевагами, НШ мають істотний недолік, пов'язаний з утворенням в процесі роботи відсіченої порожнини. У відсіченій порожнині насоса відбуваються складні гідродинамічні процеси, що проявляються на макрорівні у вигляді явищ компресії та декомпресії робочої рідини. Різке підвищення та зниження тиску робочої рідини призводить до істотного зниження працездатності НШ.

На сьогодні єдиним реальним шляхом зниження впливу компресії робочої рідини на працездатність НШ є розвантаження відсіченої порожнини через відповідні канали, що не являється кардинальним вирішенням проблеми.

© Ю.В. Кулешков, Є.В. Магонець, К.Ю. Кулешкова, Т.В. Руденко, М.В. Красота, 2016

Дана робота присвячена аналітичному огляду наукової інформації про останні досягнення в напрямку усунення негативних наслідків гідродинамічних явищ, а отже є актуальною.

**Постановка проблеми.** Відомо, що гідродинамічні процеси, які відбуваються у відсіченій порожнині, зокрема компресія і декомпресія робочої рідини призводять до виникнення додаткових силових навантажень на деталі НШ, не пов'язаних з виконанням його функціонального призначення. Підвищення силового навантаження веде до суттєвого підвищення зношування деталей НШ, а отже до зниження його надійності. Крім того, запирання робочої рідини у відсіченій порожнині приводить до підвищення пульсації і шуму НШ. Декомпресія робочої рідини у відсіченій порожнині безпосередньо є причиною виникнення кавітації.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Історія розвитку НШ налічує понад сто років, проте до цих пір не була запропонована модель, що встановлює причинно-наслідковий взаємозв'язок між зміною геометрії відсіченої порожнини, наслідком чого є компресія та декомпресія робочої рідини, і тими негативними наслідками, що виникають при цьому. Зазначена проблема вирішується в даній роботі.

**Постановка завдання.** Метою досліджень є проведення аналізу науково-технічної інформації та визначення подальшого напрямку досліджень щодо процесів, які відбуваються у відсіченій порожнині та формулювання наукової гіпотези досліджень.

**Викладення основного матеріалу.** Однією з особливостей функціонування НШ є утворення відсіченої порожнини між неробочими сторонами евольвентного профілю зубів шестерень НШ.

Утворення відсіченої порожнини приводить до ряду негативних явищ. По-перше, утворення відсіченої порожнини знижує робочий об'єм насоса. Але основний недолік утворення відсіченої порожнини полягає в тому, що в процесі провертання шестерень відбувається зменшення об'єму відсіченої порожнини, що супроводжується зростанням тиску за рахунок компресії у відсіченій порожнині, що приводить до значного перевищення номінального тиску.

З компресією робочої рідини пов'язано ряд негативних наслідків в роботі НШ, що приводять до неконтрольованого стрибкоподібного зростання тиску, що, в свою чергу, тягне за собою:

- виникнення додаткових динамічних навантажень, які носять ударний характер, що сприяє підвищеному зношуванню деталей і з'єднань насоса, наслідком чого є зниження надійності НШ;
- періодичне розкриття торцевого зазору в з'єднанні «торець шестерні - торець втулки» і збільшення зазору в стику між втулками, що знижує коефіцієнт подачі НШ;
- підвищення пульсації тиску і подачі НШ;
- підвищення вібрацій і шуму НШ.

У роботах [1-4] утворення відсіченої порожнини вважається одним з головних недоліків НШ, що призводить до збільшення пульсації подачі і підвищенню рівня звукового тиску при роботі НШ.

У роботах авторів [5,6] показано, що насосні агрегати не лише генерують в гідравлічних системах інтенсивні пульсації тиску робочого середовища, але також є причиною виникнення підвищених вібрацій і шуму. Причому, в ряді досліджень показано, що збільшення амплітуд коливань тиску робочої рідини призводить до збільшення віброакустичної активності насоса. Значний вплив на вібрацію насоса і приєднаних до нього елементів гідравлічної системи має явище компресії робочої рідини.

Загальні поняття про відсічену порожнину, що утворюється в процесі роботи НШ, а також результати вивчення явищ компресії та декомпресії робочої рідини у відсіченій порожнині висвітлюються у ряді робіт вітчизняних і зарубіжних авторів [7-30, 33].

Розвантажити відсічену порожнину можливо вивівши надлишок робочої рідини у всмоктувальну або в нагнітальну порожнину. При відведенні надлишків робочої рідини у всмоктувальну порожнину суттєво знижується коефіцієнт подачі НШ. Відведення ж надлишків робочої рідини у нагнітальну порожнину не призводить до зниження коефіцієнту подачі насоса. Так, наприклад, розрахунки і випробування показують, що коефіцієнт подачі насоса з шестернями, що мають шість зубів і розвантажувальною канавкою, яка з'єднана з всмоктувальною порожниною, зменшується на відносно невеликий відсоток. Однак, вже при дванадцяти зубах коефіцієнт подачі насоса зменшується суттєво, приблизно на 7% [10].

При подальшому обертанні шестерень за умови двопарного зачеплення існує період, в якому відбувається збільшення відсіченої порожнини, що призводить до різкого падіння тиску у відсіченій порожнині. При цьому може відбутися кавітація робочої рідини, що знаходиться у відсіченій порожнині [8,10]. На роботі насоса негативно позначаються, як компресія робочої рідини у западині при вході зубів у зачеплення, так і розрідження при виході зубів із зачеплення. Ці явища супроводжуються виділенням з робочої рідини пари і повітря [10], що створює умови для кавітаційної ерозії зубів шестерень і ударного навантаження на підшипники НШ.

Якщо позначити через  $n$  частоту обертання шестерень, а через  $z$  – число зубів шестерень, то частота утворення відсіченої порожнини буде дорівнювати:

– для беззазорного зачеплення

$$v_{\text{вз}} = 2 \cdot n \cdot z; \quad (1)$$

– для зачеплення з боковим зазором

$$v_z = n \cdot z. \quad (2)$$

З огляду на те, що номінальна частота обертання шестерень насоса становить не менше  $n = 25 \dots 50 \text{ c}^{-1}$ , а число зубів  $z = 8 \dots 16$ , то частота утворення відсіченої порожнини для беззазорного зачеплення лежить в межах  $v_{\text{вз}} = 400 \dots 1600 \text{ Гц}$ , а для зачеплення з боковим зазором, відповідно  $v_z = 200 \dots 800 \text{ Гц}$ . При цьому, з такою ж частотою відбувається пульсація тиску і подачі насоса, що призводить до ряду негативних наслідків, як в роботі НШ, так і гідросистеми в цілому.

У літературних джерелах [7-30, 33] неодноразово згадується про те, що тиск у відсіченій порожнині в процесі компресії робочої рідини зростає і може істотно перевершити номінальний тиск.

Дійсно, у зв'язку з тим, що модуль пружності робочої рідини має порівняно велике значення ( $E > 1,3 \cdot 10^9 \text{ Па}$ ), то навіть незначне зменшення об'єму затиснутої робочої рідини призводить до виникнення значних навантажень на деталі і з'єднання НШ [15, 20, 31]. Збільшення тиску у відсіченій порожнині може бути описане наступною залежністю [15, 20, 31]:

$$\Delta p = \frac{\Delta V}{V} E, \quad (3)$$

де  $\Delta p$  – зміна (збільшення) тиску у відсіченій порожнині, Па;

$\Delta V$  – зміна (зменшення) об'єму відсіченої порожнини,  $\text{м}^3$ ;

$\frac{\Delta V}{V}$  – відносне зменшення об'єму відсіченої порожнини;

$E$  – об'ємний модуль пружності робочої рідини,  $E = 1,3 \cdot 10^9$  Па.

Зменшення об'єму відсіченої порожнини визначається за формулою:

$$\Delta V = V_{OII \max} - V_{OII \min} \quad (4)$$

Максимальний об'єм відсіченої порожнини утворюється в момент замикання робочої рідини, а мінімальний, коли точки зачеплення обох пар зубів розташовані симетрично відносно полюса зачеплення. Результат цього процесу представлений залежностями (3) і (4) та графічно відображений на рис. 1.

З графічної залежності, представленої на рис. 1 бачимо, що тиск у відсіченій порожнині лінійно зростає від збільшення різниці об'ємів  $\Delta V$  між вихідним (максимальним) значенням відсіченої порожнини  $V_{OII \max}$  і його мінімальним значенням  $V_{OII \min}$  (див. залежності (3) і (4)) і може досягти, в залежності від типорозміру насоса, 10...15 МПа і більше.

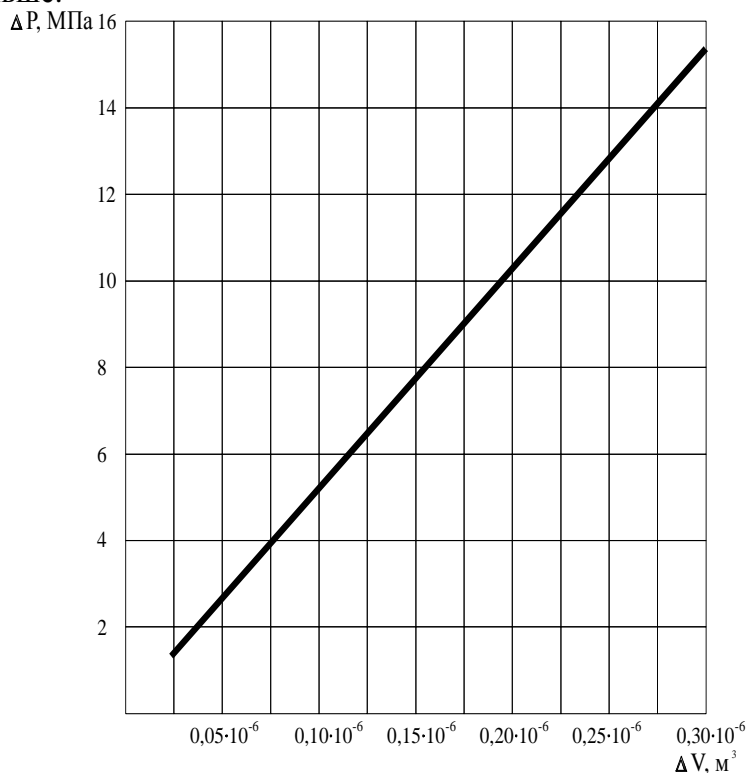


Рисунок 1 – Залежність тиску у відсіченій порожнині від різниці між максимальним і мінімальним значенням об'єму відсіченої порожнини

Різка зростання тиску у відсіченій порожнині було зафіксоване і експериментально. На рис. 2 представлена циклограма залежності тиску від кута повороту шестерень. З рис. 2 бачимо, що, починаючи з кута повороту шестерень від  $270^0$  до  $283^0$ , тобто з моменту утворення відсіченої порожнини і до моменту відкриття її у всмоктувальну порожнину спостерігається швидке наростання тиску з 5,2 МПа до 9,0 МПа. При компресії робочої рідини у відсіченій порожнині відбувається різке збільшення тиску, яке істотно перевершує номінальний тиск. Так для випадку, приведену на рис. 2, в результаті компресії робочої рідини відбувається підвищення тиску у відсіченій порожнині в 1,7 рази в порівнянні з номінальним тиском в НШ.

Підвищення тиску в результаті компресії підвищує внутрішні втрати робочої рідини через торцевий зазор, сприяє зростанню навантаження на зуби шестерень і її цапфи, а також на опорні поверхні підшипників [8]. Крім цього, величина загального ККД є функцією коефіцієнта перекриття зубчастого зачеплення, і з його зростанням ККД НШ зменшується через компресію робочої рідини у відсіченій порожнині НШ.

Підвищення тиску у міжзубовій западині вище розрахункового рівня призводить до розкриття торцевих з'єднань і різкого збільшення внутрішніх втрат робочої рідини через торцевий зазор.

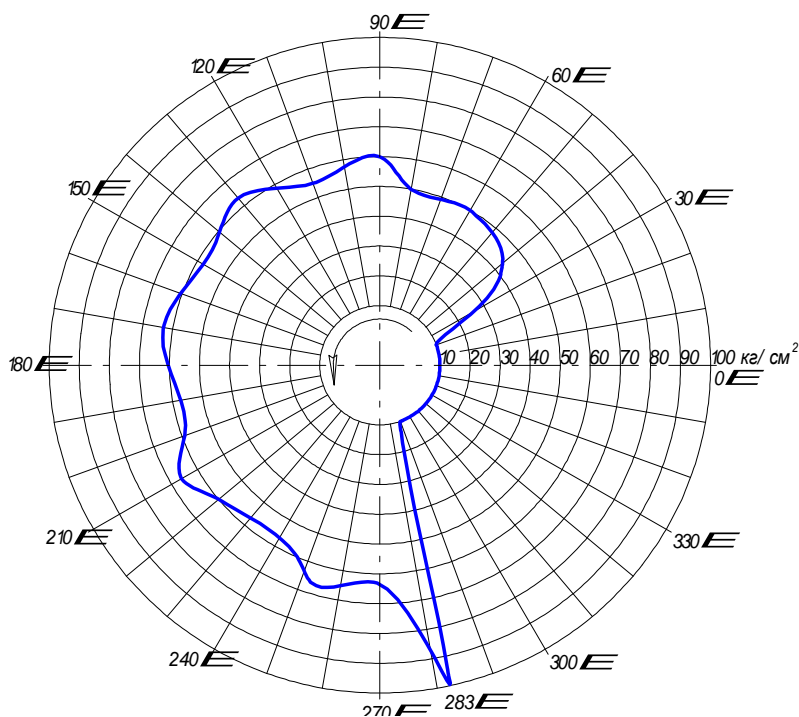


Рисунок 2 – Залежність тиску в НШ від кута повороту шестерень на прикладі НШ -32 УК

Явище компресії робочої рідини у відсіченій порожнині призводить до збільшення крутного моменту, миттєві значення якого можуть набагато перевищувати величину моменту, розрахованого для номінального робочого тиску.

Крім того, дроселювання робочої рідини через торцевий зазор призводить до нагрівання робочої рідини. Явище нагрівання робочої рідини свідчить про те, що частина енергії приводу насоса йде не на підвищення потенційної енергії робочої рідини, а на підвищення її внутрішньої енергії, що знижує загальний ККД НШ.

Вивчаючи принципи роботи шестеренних гідромоторів, автори роботи [28] стверджують, що утворення відсіченої порожнини і компресії робочої рідини в ній негативно позначається на працездатності гідромоторів, зокрема, призводить до зниження його пускових характеристик. При цьому, положення шестерень, що відповідає виникненню відсіченої порожнини, найбільш несприятливе для пуску шестеренного гідромотора [28].

Замикання робочої рідини призводить до компресії на першій стадії зміни об'єму відсіченої порожнини, що викликає шум в насосі, посилення пульсації подачі, тиску та крутного моменту на приводному валу, а також до ударних навантажень на підшипники і торцеві ущільнення. На другій стадії відбувається збільшення об'єму відсіченої порожнини, що є причиною зменшення тиску в ній і зумовлює можливість

виникнення кавітації та сприяє кавітаційному зношуванню деталей НШ [7]. Все це в цілому сприяє зменшенню надійності НШ.

Крім цього, різке пульсуюче підвищення тиску викликає підвищення віброакустичного навантаження на деталі НШ [22]. Як відомо, одним з показників досконалості будь-якої машини і НШ, зокрема, є рівень звукового випромінювання, що виникає в процесі роботи. Шум НШ обумовлюється пульсацією тиску і подачі, яка виникає в результаті компресії робочої рідини при її замиканні у відсіченій прожнині [22].

А.Ф. Осипов стверджує, що значні перевантаження, що виникають при компресії робочої рідини у відсіченій порожнині, можуть стати причиною поломок деталей насоса [15]. Крім того, після проходження точки утворення мінімального об'єму відсіченої порожнини починається фаза його збільшення, що призводить до падіння абсолютного тиску у відсіченій порожнині до величини, що відповідає пружності насичених парів робочої рідини. В останньому випадку виникає явище локального кипіння, виділення розчинених газів і збільшення об'єму газових бульбашок, які з розчиненого стану переходять в стан механічної суміші [15], тобто виникають умови для кавітації робочої рідини у відсіченій порожнині.

Різке коливання тиску, що перевершує в два і більше разів розрахункове, приводить до підвищеного зносу зубів і цапф шестерень, опорної поверхні підшипників, торцевої поверхні втулок, зниження втомної міцності деталей насоса через виникнення значних навантажень динамічного характеру.

Якщо в конструкції насоса не передбачене розвантаження відсіченої порожнини, то велика частина робочої рідини в процесі зменшення об'єму відсіченої порожнини витискатиметься у всмоктувальну камеру, так як тиск в ній менший ніж в нагнітальній. В результаті буде втрачатися частина енергії приводу насоса, що знизить коефіцієнт подачі і загальний ККД насоса. Це можна пояснити наступним. Оскільки відсічена порожнина робочої рідини з підвищеною потенційною енергією повертається знову в камеру всмоктування, то разом з цим втрачається енергія, яку можна визначити за формулою:

$$E_{оп} = \Delta V_{ВП} \cdot \Delta p, \quad (5)$$

де  $E_{оп}$  – енергія, що втрачається з об'ємом робочої рідини у відсіченій порожнині, Вт;

$\Delta V_{ВП}$  – об'єм витисненої з відсіченої порожнини робочої рідини, м<sup>3</sup>;

$\Delta p$  – перепад тиску робочої рідини між відсіченою порожниною і камерою всмоктування, Па.

Козерод Ю.В. з посиланням на першоджерела [11,14,25] зазначає, що замикання робочої рідини у відсіченій порожнині підвищує втрати робочої рідини через торцеві зазори і сприяє зростанню навантаження на опорну поверхню підшипників. При цьому зростає зношення зубів і рівень шуму [8]. Тому, при конструюванні НШ прагнуть отримати коефіцієнт перекриття зубчастого зачеплення максимально близьким до одиниці. Це пояснюється тим, що максимальна подача робочої рідини, що витісняється з відсіченої порожнини, пропорційна різниці  $(\varepsilon - 1)$ :

$$q_{max} = \omega \cdot b \cdot t_0^2 \cdot (\varepsilon - 1), \quad (6)$$

де  $q_{max}$  – максимальна подача робочої рідини, що витісняється з відсіченої порожнини;

$\omega$  – кутова швидкість приводу НШ, рад/с;

$b$  – ширина шестерні, м;

$t_0$  – крок зачеплення, м;

$\varepsilon$  – коефіцієнт перекриття зубчастого зачеплення.

Частина об'єму робочої рідини, що витісняється з відсіченої порожнини пропорційна величині  $(\varepsilon - 1)^2$  і становить [14]

$$q_{\text{ввт}} = \frac{\pi b}{2z} t_0^2 \cdot (\varepsilon - 1)^2. \quad (7)$$

При цьому наголошується, що зменшення коефіцієнту перекриття зубчастого зачеплення бажано навіть при наявності спеціальних розвантажувальних пристроїв, так як ці пристрої не завжди дозволяють нівелювати поштовх тиску і подачі при компресії робочої рідини у відсіченій порожнині [8].

Аналогічне судження зустрічається і у авторів публікації [32], які стверджують, що ефективність зниження коефіцієнту перекриття зубчастого зачеплення і ступінь компресії робочої рідини, що залежить від нього, невелика. Це пояснюється тим, що навіть при невеликих значеннях коефіцієнту перекриття зубчастого зачеплення спостерігається замикання робочої рідини у відсіченій порожнині НШ. Крім того, мале число зубів шестерень з позитивним зміщенням, які використовуються в НШ приводить до загострення вершини зубів (при малих числах зубів і великих кутах зачеплення). Дієвим методом протидії цьому є зменшення діаметра шестерень, що призводить до зменшення коефіцієнту перекриття зубчастого зачеплення і зниження шкідливого впливу компресії і декомпресії робочої рідини. Однак, зменшення висоти зубів знижує геометричну продуктивність насоса [32].

За проведеним літературним оглядом можливо стверджувати, що на теперішній час немає фізичної моделі, що встановлювала б причинно-наслідковий взаємозв'язок між зміною геометрії відсіченої порожнини, наслідком якої є компресія і декомпресія робочої рідини в ній, і тими негативними наслідками, що виникають при цьому. Отже, існує необхідність в подальшому вивченні цього феномену в роботі НШ.

**Робоча гіпотеза досліджень.** Аналіз літературних джерел [1-33], а також пошукові експерименти дозволили сформулювати наступну робочу гіпотезу досліджень.

1. В якості робочої гіпотези висувається припущення про те, що змінюючи параметри зубчастого зачеплення шестерень насоса, можливо створити умови, при яких зменшення об'єму відсіченої порожнини відбуватися не буде, в результаті чого буде виключено явище компресії робочої рідини у відсіченій порожнині НШ.

Результати попередніх пошукових експериментальних і теоретичних досліджень зміни об'єму відсіченої порожнини від положення точки зачеплення на лінії зачеплення дозволили з'ясувати, що компресію можливо усунути в тому разі, коли момент утворення відсіченої порожнини збігається з її мінімальним значенням або коли відсічена порожнина утворюється після проходження точки, що відповідає мініимальному значенню об'єму відсіченої порожнини. Це можливо забезпечити за умови використання зубчастого зачеплення з шестернями різного діаметра. Зазвичай діаметр веденої шестерні повинен бути менше діаметра ведучої.

2. Такі умови можливо реалізувати, використовуючи зубчате зачеплення з асиметричною лінією зачеплення [31] декількома шляхами, коли:

- число зубів веденої шестерні менше ніж ведучої  $z_2 < z_1$ , однак при цьому суттєво знижується об'єм робочої камери НШ;
- при однаковому числі зубів:
- коли коефіцієнт профільного зміщення веденої шестерні буде меншим

коефіцієнта профільного зміщення ведучої шестерні  $\xi_2 < \xi_1$ ;

– коли коефіцієнти висоти головки зуба веденої шестерні будуть менші коефіцієнта висоти головки зуба ведучої шестерні  $\chi_2 < \chi_1$ ;

– використанням у насосі рівнозміщеної передачі. Для цього нарізування ведучої шестерні проводять при зміщенні зубонарізного інструменту на величину  $+\xi \cdot m$ , а для веденої шестерні на величину  $-\xi \cdot m$ . В цьому випадку міжосьова відстань відповідає теоретичній міжосьовій відстані  $A_0 = m z$ , як у випадку використання не корегованого зубчатого зачеплення (тут  $\xi$  - коефіцієнт профільного зміщення,  $m$  - модуль зубчатого зачеплення, а  $z$  - число зубів шестерень).

3. Теорія розвитку технічних систем стверджує, що технічний рівень технічної системи зростає, якщо перейти від використання однакових елементів з однаковими характеристиками до подібних елементів зі зміщеними характеристиками. Це положення дає нам право очікувати появи нової системної якості від насоса, в якому замість однакових шестерень із симетричною лінією зачеплення використовують шестерні з асиметричною лінією зачеплення. З цього випливає, що запропонований напрямок вдосконалення конструкції НШ – перехід від конструкцій з шестернями з симетричною лінією зачеплення до конструкцій з асиметричною лінією зачеплення, лежить в руслі загальних закономірностей розвитку технічних систем.

4. Прояв нової системної якості має виразитися в підвищенні технічних характеристик шестеренного насоса. Запропонований напрямок досліджень по усуненню негативних явищ, що виникають у відсіченій порожнині на технічні характеристик НШ повинен:

- виключити компресію і декомпресію робочої рідини у відсіченій порожнині при мінімальних змінах в конструкції шестеренного насоса.
- підвищити коефіцієнт подачі шестеренного насоса;
- підвищити загальний ККД шестеренного насоса;
- знизити шум, випромінюваний насосом;
- поліпшити умови роботи зубчатого зачеплення;
- усунути причини появи кавітації;
- підвищити надійність шестеренного насоса.

**Висновки.** З вищенаведеного бачимо, що гідродинамічні процеси, які відбуваються у відсіченій порожнині суттєво знижують технічний рівень шестеренного насоса.

При аналізі науково-технічних джерел інформації не було виявлено всеосяжних фізичних або математичних моделей опису гідродинамічні процесів, які відбуваються у відсіченій порожнині.

На основі аналізу науково-технічних джерел інформації була запропонована робоча гіпотеза досліджень, результатом яких передбачається усунення зазначених прогалин в теорії і практиці шестеренного насоса.

## Список літератури

1. Гаспаров М.С. Гидродинамика и виброакустика комбинированных насосных агрегатов [Текст] / М.С. Гаспаров, А.Н. Крючков, Е.В. Шахматов, В.П. Шорин. – Самара, СГАУ, 2006. – 85с.
2. Гимадиев А.Г. Снижение виброакустических нагрузок в гидромеханических системах [Текст] / [А.Г. Гимадиев, А.Н. Крючков, В.В. Ленин, А.Б. Прокофьев и др.]. – Самара: СГАУ, 1998. – 270 с.
3. Иголкин А.А. Снижение колебаний и шума в пневмогидромеханических системах [Текст] / [А.А.Иголкин, А.Н. Крючков, Г.М. Макарянц, А.Б. Прокофьев и др.]. – Самара: СГАУ, 2005. – 314 с.

4. Радионов Л.В. Разработка метода расчета и улучшение динамических характеристик шестеренных насосов: дисс. ... канд. техн. наук [Текст] / Л.В. Радионов. – Самара, 2009. – 154 с.
5. Влияние рабочих параметров на пульсацию и уровень шума шестеренных гидронасосов: /ДНИИТЭСТРОЙМАШ, № БП-82-14895, 1979. – 12 с.
6. Загузов И.С. О снижении уровней пульсаций, вибраций и шума в гидравлических и топливных системах [Текст] / И.С. Загузов // Динамические процессы в силовых и энергетических установках летательных аппаратов. – Самара, 1994. – С. 69-74.
7. Гидравлика, гидравлические машины и гидравлические приводы [Текст] / [Башта Т.М. , Руднев С.С., Некрасов Б.Б и др.]. – М.: Машиностроение, 1970. – 593 с.
8. Козерод Ю.В. Исследование влияния геометрических параметров зацепления на качественные показатели шестеренного насоса: дисс. ... канд. техн. наук [Текст] / Ю.В. Козерог. – М.: Московский институт инженеров железнодорожного транспорта, 1977. – 150 с.
9. Основы теории и конструирования объемных гидропередат [Текст] / [Л.В. Кулагин, Ю.С. Демидов, В.Н. Прокофьев, А.А. Кондаков]; под ред. д.т.н., проф. В.Н Прокофьева. – М.: Высшая школа, 1968. – 399 с.
10. Башта Т.М. Расчеты и конструкция самолетных гидравлических устройств [Текст] / Башта Т.М. – [3-е изд. перераб. и доп.]. – М.: Гос. научно-технич. издат. Оборонгиз, 1961. – 475 с.
11. Рыбкин Е.А. Шестеренные насосы для металлорежущих станков [Текст] / Е.А. Рыбкин , А.А. Усов. – Г.: Машгиз, 1960. – 189 с.
12. Лурье З.Я. Математическая модель качающего узла шестеренного насоса, как объекта многокритериальной оптимизации [Текст] / З.Я. Лурье, И.В. Коваленко // Вибрации в технике и технологиях. – 2003. – № 3 (29). – С. 9-13.
13. Башта Т.М. Машиностроительная гидравлика: [справочное пособие] [Текст] / Башта Т.М. – М.: Машиностроение, 1977. – 672 с.
14. Юдин Е.М. Шестеренные насосы. Основные параметры и их расчет [Текст] / Юдин Е.М. – [2-е изд. перераб. и доп.]. – М.: Машиностроение, 1964. – 236 с.
15. Осипов А.Ф. Объемные гидравлические машины коловратного типа [Текст] / А.Ф. Осипов //Теория, конструкция, проектирование. – М.: Машиностроение, 1971. – 207 с.
16. Башта Т.М. Объемные насосы и гидравлические двигатели гидросистем: [учебник для вузов] [Текст] / Т.М. Башта. – М.: Машиностроение, 1974.– 606 с.
17. Леонов А.Е. Насосы гидравлических систем и машин [Текст] / А.Е. Леонов. – М.-К.: Машгиз, 1960 – 226 с.
18. Осипов А.Ф. Исследование вопросов устойчивой работы шестеренных насосов и моторов на высоких давлениях рабочей жидкости: дисс. ...канд. техн. наук [Текст] / А.Ф. Осипов. – М., МАИ, 1953. – 103 с.
19. В.Н. Желтобрюх. Повышение надежности шестеренчатых насосов с подшипниками скольжения [Текст] / В.А Петренко, В.М. Карленко // Технология и организация производства. – 1969. – №6. – С.7-9.
20. Осипов А.Ф. Объемные гидравлические машины [Текст] /А.Ф. Осипов. – М.: Машиностроение, 196.–159 с.
21. Прокофьев В.Н. Основы функциональной взаимозаменяемости гидропередат [Текст] / Прокофьев В.Н. // Сборник «Взаимозаменяемость и технические измерения в машиностроении», № 4. – М.: Машиностроение, 1964.
22. Башта Т.М. Снижение шума в гидросистемах машин [Текст] / Башта Т.М. // Вестник машиностроения. –1971. – № 6. – С 33-38.
23. Деклараційний патент України № 59521 F 04 C2/08 Шестеренна гідромашина зовнішнього зацеплення. / Ю.В. Кулешков, М.І. Черновол, О.О. Матвієнко, О.В. Бевз, Г.В. Москаленко / Опубл. 15.09.2003., Бюл. № 9.
24. Кулешков Ю.В. Технология ремонта шестеренных насосов путем восстановления его шестерен пластическим деформированием: дисс. ... канд. техн. наук [Текст] / Ю.В. Кулешков. – Саратов СИМСХ, 1990. – 372 с.
25. Вышевский И.И. Экспериментальное исследование работы шестеренных гидравлических насосов. [Текст] / Вышевский И.И. // В сб. «Силовые судовые установки и механизмы».– Новосибирск, 1970. – Вып. 46. – С. 45 – 64.
26. А. с. № 1413274 МКИ<sup>4</sup>F 04 C 2/08 И.П. Иванов, С.Л. Иванов Шестеренная гидромашина внешнего зацепления. Опубл. БИ 1988 №28.

27. А. с. № 1211457, Шестеренная гидромашина F 04 С 2/08 Р. К. Жулинский, Г.В.Рябошапка и А.Г.Гаркуша Кировоградський завод гидравлических силових машин им. XXV съезда КПСС «Гидросила», БИ № 6 1986 г.
28. Савуляк В.І. Аналіз впливу затиснутого об'єму на пускові характеристики шестеренних гідромоторів [Текст] / Савуляк В.І. // Вибрації в техніці і технологіях, № 3 (29). – С. 55 -57.
29. Бевз О.В. Підвищення технічних характеристик шестеренних насосів типу НШ шляхом усунення компресії робочої рідини в затиснутому об'ємі: дис. ... канд. техн. наук [Текст] : 05.05.17 / Бевз Олег Вікторович. – Сум. держ. ун-т. – Суми, 2004. – 230 с.
30. Кулешков Ю.В. наліз існуючих способів усунення негативного впливу затиснутого об'єму на працездатність шестеренних насосів [Текст] / Кулешков Ю.В., О.В Бевз // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. Випуск № 8 «Підвищення надійності відновлюємих деталей машин». – Харків, 2001. – Т.2. – С.13 – 17.
31. Кулешков Ю.В. Шестеренные насосы с асимметричной линией зацепления шестерен [Текст] / [Кулешков Ю.В., Черновол М.И., Без О.В., Титов Ю.А.] //Теория, конструкция и расчет – Кировоград: «КОД», 2009. – 243 с.
32. Раздолин М.В. Агрегаты воздушно-реактивных двигателей [Текст]: учеб. пособие / М.В. Раздолин, Д.Н. Сурнов . – М.: Машиностроение, 1973. – 352 с.
33. W.M. Schlosser, I.A. Hilmrads “La cylindree the origue de pompa a deplACEMENT”, Hudraulik pneumat et asserv. 1965. – № 24. – P.33-39.

**Yuriy Kuleshkov, Prof., DSc., E. Mahonets, post-graduate, Ksenia Kuleshkova, eng., Timofey Rudenko, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Mikhail Krasota, Assoc. Prof., PhD tech. sci.**

*Kirovohrad National Technical University, Kropyvnickiy, Ukraine*

#### **Analysis of Hydrodynamic Processes Taking Place in the Isolated Section of a Gear Pump**

The objective of the work is to analyse scientific and technical information and to determine further directions of research of processes taking place in the isolated section of a gear pump and to formulate scientific hypothesis of the research.

The article presents the analysis results of the influence of dynamic processes taking place in the isolated section of a gear pump on its operational performance. The conditions of the occurrence of compression and decompression of hydraulic oil in the isolated section of a gear pump were determined. The interrelationship between the compression and decompression of the hydraulic oil which occurs in the isolated section of a gear pump and the negative influence of these effects on the operational performance of a pump was established. The decrease of operational performance of a gear pump is resulted by the negative influence of hydrodynamic effects in the isolated section. This results the excessive wear of the pump parts and interferences, decrease of service life, pump delivery rate and increase of pressure and delivery pulsation, vibration and noise of the gear pump.

It was determined that scientific and technical information does not have physical and mathematic models with the description of hydrodynamic processes taking place in the isolated section of a gear pump.

On the basis of the analysis of scientific and technical information we suggested a working hypothesis of the research with the result to exclude the gaps in theory and practice of a gear pump concerning hydrodynamic processes taking place in the isolated section of a gear pump.

**Gear pump, toothing, hydraulic oil, isolated section, compression, decompression, contact gear ration, delivery rate**

Одержано 02.06.16

УДК 631.354:633.1

**С.М. Кухарець, доц., д-р техн. наук, А.А. Пінкін, доц., канд. техн. наук, Я.Д. Ярош, доц., канд. техн. наук**

*Житомирський національний агроекологічний університет, м.Житомир, Україна,  
E-mail: Kotov\_Kalinichenko*

## Рух сільськогосподарських матеріалів нахиленою робочою поверхнею

В статті знайдено рівняння руху частинки сільськогосподарського матеріалу нахиленою робочою поверхнею із врахуванням коефіцієнтів опору, що відчуває частинка при русі. Подальші дослідження необхідно спрямувати на встановлення коефіцієнту опору для різних видів сільськогосподарських матеріалів та обґрунтування динаміки зміни коефіцієнту тертя експериментальним чи теоретичним шляхом.

**частинка, сировина, рух, тертя, опір, поверхня**

**С.Н. Кухарец, доц., д-р техн. наук, А.А. Пинкин, доц., канд. техн. наук, Я.Д. Ярош, доц., канд. техн. наук**

*Житомирский национальный агроэкологический университет, г. Житомир, Украина*

**Движение сельскохозяйственных материалов по наклонной рабочей поверхности**

В статье найдено уравнение движения частицы сельскохозяйственного материала по наклоненной рабочей поверхности с учетом коэффициентов сопротивления частице при движении. Дальнейшие исследования необходимо направить на установку коэффициента сопротивления для различных видов сельскохозяйственных материалов и обоснование динамики изменения коэффициента трения экспериментальным или теоретическим путем.

**частица, сырье, движение, трение, сопротивление, поверхность**

**Постановка проблеми.** Ефективність функціонування аграрного виробництва в сучасних умовах залежить від якісного та енергоефективного функціонування відповідних машин, ліній та іншого обладнання. А математичні моделі руху частинок сільськогосподарської сировини (наприклад зернівок) робочими поверхнями відіграють важливу роль у проектуванні та визначенні параметрів робочого процесу багатьох сільськогосподарських машин [1,2,3,4,5].

Тому, формалізація процесів механічного руху сільськогосподарських матеріалів робочими поверхнями є важливим фактором, як при експлуатації існуючих машин, так і при проектуванні нових.

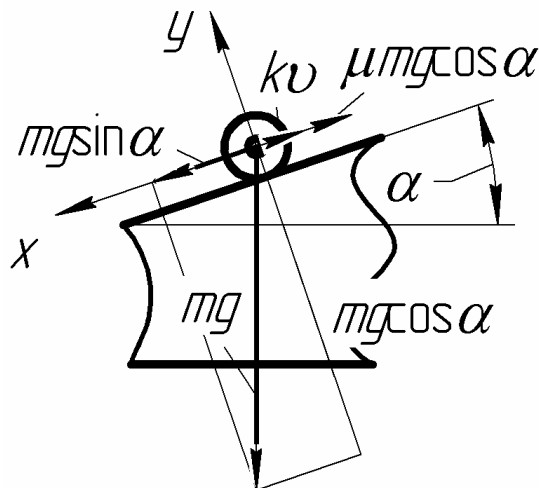
**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відомі дослідження, що обґрунтовують ефективність внесення туків [6,7] де обґрунтовується характер розсіювання гранульованих добрив робочими органами відповідних машин. Важливу роль на характер розсіювання має взаємодія частинок добрив із тукопроводами та іншими робочими поверхнями. Відомі, також результати досліджень процесів дозування і живлення пневмовідцентрових і вібровідцентрових решітних робочих органів сепараторів зерна з вертикальним розміщенням осей обертання [8] де обґрунтовано процес ефективного живлення і конструкційну схему дозуючо-живильного пристрою. В дослідження [9] вказано що опір при зачерпуванні зерна ківшами приводить до виникнення випадкових навантажень при роботі норій. В роботі [10] зазначено, що важливу роль в травмуванні насіння зернових культур грає характер його руху робочими поверхнями.

© С.М. Кухарець, А.А. Пінкін, Я.Д. Ярош, 2016

Проаналізовані дослідження [1-10] свідчать про складність встановлення характеру адекватної взаємодії між частинками сільськогосподарської сировини при русі робочими поверхнями сільськогосподарських машин через неоднорідність самого матеріалу та постійну зміну фізико-технологічних параметрів сировини.

**Постановка завдання.** З огляду на аналіз попередніх досліджень, необхідно знайти рівняння руху частинки сільськогосподарської сировини нахиленою робочою поверхнею із врахуванням коефіцієнтів опору, що відчуває частинка при русі.

**Виклад основного матеріалу.** З урахуванням сили тяжіння та сил опору, які діють на частинку сільськогосподарської сировини, що рухається похилою поверхнею (рис. 1) рівняння руху можна записати так:



$m$  – маса частинки, кг;  $\alpha$  – кут нахилу поверхні, град;  $g$  – прискорення земного тяжіння,  $\text{м/с}^2$ ;  
 $\mu$  – коефіцієнт тертя між частинкою та поверхнею, відн. од.;  $k$  – коефіцієнт опору, що відчуває частинка,  $\text{Н}\cdot\text{с/м}$ ;  $v$  – швидкість руху частинки похилою поверхнею,  $\text{м/с}$

Рисунок 1 – Схема сил, які діють на частинку сільськогосподарської сировини що рухається похилою поверхнею

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha - kv; \quad (1)$$

$$m \frac{dv}{dt} = mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha - kv, \quad (2)$$

де  $m$  – маса частинки, кг;  
 $\alpha$  – кут нахилу поверхні сушіння, град;  
 $g$  – прискорення земного тяжіння,  $\text{м/с}^2$ ;  
 $t$  – час руху частинки похилою поверхнею, с;  
 $v$  – швидкість руху частинки похилою поверхнею,  $\text{м/с}$ ;  
 $x$  – відстань, що проходить частинка похилою поверхнею, м;  
 $\mu$  – коефіцієнт тертя між частинкою та поверхнею, відн. од.;  
 $k$  – коефіцієнт опору, що відчуває частинка,  $\text{Н}\cdot\text{с/м}$ .

Приймемо, що  $\beta = \frac{k}{m}$ , тоді рівняння (2) набуде вигляду:

$$\frac{dv}{dt} + \beta v + g(\mu \cos \alpha - \sin \alpha) = 0. \quad (3)$$

Представимо  $\mu^* = (\sin \alpha - \mu \cos \alpha)$ , тоді рівняння (3) буде таким:

$$\frac{dv}{dt} = g\mu^* - \beta v; \quad (4)$$

$$\frac{dv}{dt} = \beta \left( \frac{g\mu^*}{\beta} - v \right). \quad (5)$$

Розмірність величини  $\frac{g\mu^*}{\beta}$  – м/с, тому  $v_1 = \frac{g\mu^*}{\beta}$ , тоді рівняння (5) матиме вигляд:

$$\frac{dv}{dt} = \beta(v_1 - v). \quad (6)$$

Розв'язок рівняння (6) такий:

$$v(t) = v_1 + (v_0 - v_1)e^{-\beta t}, \quad (7)$$

або

$$\frac{dx}{dt} = v_1 + (v_0 - v_1)e^{-\beta t}. \quad (8)$$

Інтегруючи рівняння (8), отримаємо шлях частинки сільськогосподарської сировини в залежності від часу:

$$x = v_1 t + \frac{v_0 - v_1}{\beta} (1 - e^{-\beta t}). \quad (9)$$

Представимо  $v_1 = \frac{mg(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}{k}$ , та отримаємо:

$$v = \frac{dx}{dt} = \frac{mg(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}{k} + \left( v_0 - \frac{mg(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}{k} \right) e^{-\frac{kt}{m}}; \quad (10)$$

$$x = \frac{mg(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}{k} t + \left( \frac{mv_0}{k} - m^2 g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) \right) \left( 1 - e^{-\frac{kt}{m}} \right). \quad (11)$$

Слід зазначити, наприклад, що при сушінні сільськогосподарської сировини коефіцієнт тертя між частинкою та поверхнею сушіння  $\mu$  залежить від вологості

сировини і в процесі сушіння змінюється. Коефіцієнт опору  $k$ , обумовлений взаємодією між частинками може бути знайдений експериментально.

Виконаємо графічну інтерпретацію рівнянь (10) та (11) для зерна пшениці масою зернини  $m=40 \cdot 10^{-6}$  кг та значенні коефіцієнту опору  $k=2 \cdot 10^{-4}$  Н·с/м (рис. 2).

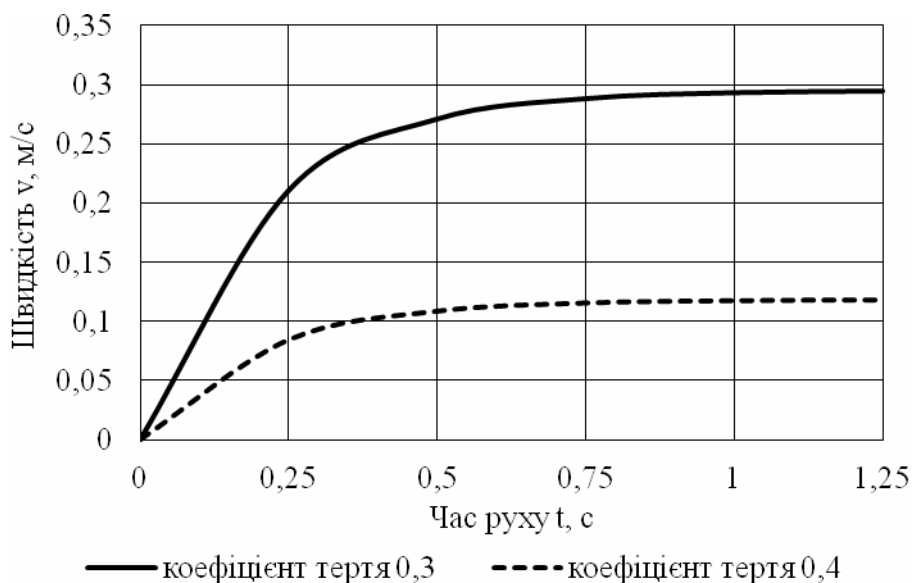


Рисунок 2 – Динаміка швидкості при різних значення коефіцієнту тертя  $\mu$

Та для зерна пшениці масою зернини  $m=40 \cdot 10^{-6}$  кг та значенні коефіцієнту тертя  $\mu=0,03$  відн. од. (рис. 3).

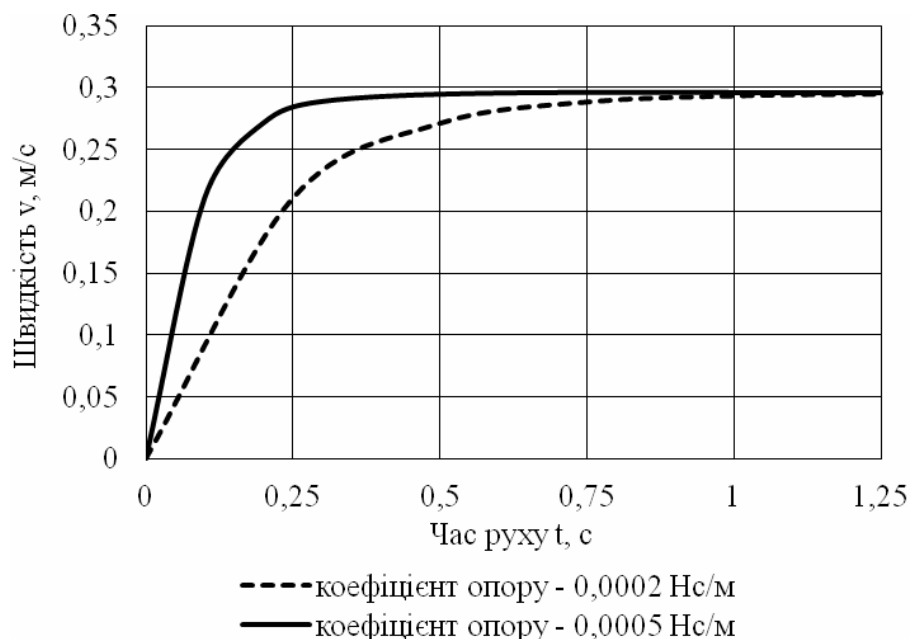


Рисунок 3 – Динаміка швидкості при різних значення коефіцієнту опору  $k$

Очевидним є вплив коефіцієнту тертя на зміну швидкості руху зернівок, та вплив коефіцієнту опору на швидкість набуття усталеного руху зернівок.

**Висновки.** Значний вплив на характер руху сільськогосподарських матеріалів робочими поверхнями має коефіцієнт опору, коефіцієнт тертя між поверхнею та частинкою, який може динамічно змінюватись, наприклад при русі поверхнями сушіння та форма самої поверхні. Тому, подальші дослідження необхідно спрямувати на встановлення коефіцієнту опору для різних видів сільськогосподарських матеріалів та обґрунтування динаміки зміни коефіцієнту тертя експериментальним чи теоретичним шляхом.

## Список літератури

1. Голуб Г.А. Управління технологічними процесами у тваринництві: навч. посіб. [Текст] / Г.А. Голуб – К., НУБіП України, 2016. – 148 с.
2. Голуб Г.А. Агропромислове виробництво істівних грибів. Механіко-технологічні основи [Текст] / Г.А. Голуб. – К.: Аграрна наука, 2007. – 332 с.
3. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник [Текст] / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін.; За ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2004. – 544 с.; іл.
4. Сисолін П.В. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. Книга 3: Машини та обладнання для переробки зерна та насіння [Текст] / П.В. Сисолін, М.М. Петренко, М.О. Свірень. – К.: Фенікс, 2007. – 384 с.
5. Кухарець С.М. Підвищення енергетичної автономності агроєкосистем. Механіко-технологічні основи : монографія [Текст] / С.М. Кухарець. – Житомир : ЖНАЕУ, 2016. – 192 с.
6. Оцінка ефективності внесення туків підґрунтовим способом під ярий ячмінь [Текст] / В.А. Дейкун, В.М. Сало, О.М. Васильковський [та ін.] // Конструювання виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – КНТУ, 2014. – Вип. 44. – С. 224-229.
7. Дейкун В.А. Експериментальні дослідження процесу розсіювання туків конічним робочим органом [Текст] / В.А. Дейкун, В.М. Сало, О.М. Васильковський // Конструювання виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – КДТУ, 2004. – Вип. 34 (1). – С. 96-101.
8. Прилуцький А.Н. Обґрунтування процесу ефективного живлення і конструкційної схеми дозуючо-живильного пристрою зерноочисного модуля універсальних пневмовібровідцентрових сепараторів зерна [Текст] / А.Н. Прилуцький // Конструювання виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – КНТУ, 2014. – Вип. 44. – С. 48-54.
9. Минайленко Р.М. Причини виникнення випадкових навантажень в процесі переміщення зерна стрічковою ковшовою зерновою норією [Текст] / Р.М. Минайленко, С.В. Михайлов // Конструювання виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – КНТУ, 2014. – Вип. 44. – С. 243-247.
10. Дерев'янку В.А. Вплив травмування на міцність насіння зернових культур [Текст] / В.А. Дерев'янку // Конструювання виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – КНТУ, 2014. – Вип. 44. – С. 7-12.

**Savelii Kukharets, Assoc. Prof., DSc., Anatolii Pinkin, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Yaroslav Yarosh, Assoc. Prof., PhD tech. sci.**

*Zhytomyr National Agroecological University, Zhytomyr, Ukraine*

### **The movement of agricultural materials on an inclined working surface**

The paper found the equation of motion of agricultural material particles on the inclined working surface, taking into account the resistance coefficient of the particle raw material in motion.

Mathematical models of the movement of agricultural raw materials particles play an important role in the design and specific parameters of the working process of many agricultural machines. The equations of motion of agricultural materials worktops are needed as in the operation of the existing machines as well as in the design of new ones. Equations are tailored to gravity and drag forces acting on the particle.

Further research should be directed to the installation of the drag coefficient for different types of agricultural materials and study the dynamics of change in friction coefficient experimentally or theoretically.

**particle feed movement, friction resistance, surface**

Одержано 11.11.16

УДК 621.791.92

**О.Й. Мажейка, проф., канд. техн. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

*E-mail: para5511@mail.ru*

## Оцінка механічних характеристик матеріалів при лазерному термозміцненні деталей сільськогосподарської техніки

Проведені випробування сталей і чавунів на характеристики опору втомі після лазерної обробки деталей сільськогосподарської техніки. Встановлено зв'язок потужності лазерного випромінювання та швидкості обробки для досягнення якісних показників процесу лазерного термозміцнення деталей. Доказано, що лазерне термозміцнення дозволяє збільшувати значення меж витривалості. Разом з тим показано, що обробка лазером може призводити до зниження характеристик опору втомі..

**лазерне термозміцнення, властивості матеріалів, сталь, високоміцний чавун, межа витривалості**

**А.И. Мажейка, проф., канд. техн. наук**

*Кировоградский национальный технический университет, г. Кропивницкий, Украина*

**Оценка механических характеристик материалов при лазерном термоупрочнении деталей сельскохозяйственной техники**

Проведены исследования сталей и чугунов на характеристики сопротивления усталости после лазерной обработки деталей сельскохозяйственной техники. Установлена связь мощности лазерного излучения и скорости обработки для достижения качественных показателей процесса лазерного термоупрочнения деталей. Доказано, что лазерное термоупрочнение позволяет увеличивать значения пределов выносливости. Вместе с тем показано, что обработка лазером может приводить к снижению характеристик сопротивления усталости.

**лазерное термоупрочнение, свойства материалов, сталь, высокопрочный чугун, предел выносливости**

**Постановка проблеми.** Успішне вирішення задач, які пов'язані зі зниженням металоємкості конструкцій, при одночасному покращенні їх технічних характеристик призводить до необхідності використання сучасних технологій обробки і зміцнення поверхні деталей з метою створення на цих поверхнях міцних, довговічних і корозійностійких шарів. Обробка поверхневих шарів концентрованими потоками енергії лазерних променів, плазмовим струменем дозволяє змінювати фізико-механічні властивості матеріалів внаслідок модифікації структури їхніх поверхневих шарів. Крім того, вона дає можливість одержувати якісно нові властивості цих шарів, що не можна досягти іншими методами зміцнення.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** В останні роки дослідження лазерної обробки деталей автомобільної техніки, двигунів, нафтопереробного обладнання мають пріоритетні значення [1] для науковців Англії, Німеччини, США, Болгарії. Значного прогресу досягнуто при зміцненні відповідальних деталей [2] типу валів, шестерень, гільз циліндрів тощо. Основними напрямками досліджень при лазерному зміцненні деталей залишаються характеристики зношування поверхонь. Однак важливе значення при цьому має можливість регулювання та покращення таких характеристик відповідальних деталей як міцність.

**Постановка завдання.** Метою даної роботи було дослідження характеристики міцності деталей сільськогосподарської техніки після лазерного зміцнення при відновленні, що забезпечує підвищення їх ресурсу. У роботах, присвячених вивченню характеристик міцності сталей після лазерного термозміцнення, показана можливість як їх підвищення, так і зниження [1,2]. Отримані результати пов'язані, перш за все, з режимами обробки стосовно конкретних матеріалів і деталей.

**Виклад основного матеріалу .** Для проведення експериментальних досліджень був розроблений спеціальний стенд, що включає потужний електророзрядний CO<sub>2</sub>-лазер, 3-х координатний стіл з системою ЧПУ. Випробування на опір втомі проводили на зразках  $d=7$  мм і  $d=18$  мм, виготовлених згідно рекомендацій по ГОСТ 25.502-79. Зразки зі сталей 09Г2, 35, 40Х, 75Г, заліза 008ЖР та ін. високоміцного та сірого чавунів піддавалися лазерному зміцненню при наступних умовах: потужність випромінювання  $P = 1$  кВт; діаметр плями фокусування  $d_0 = 4; 5; 6,5; 8$  мм; швидкість руху зразка щодо променя  $V = 0,6 - 2,1$  м/хв. Зразки випробовували на електромагнітних машинах при згині в одній площині з частотою 100 Гц – для зразків  $d=7$  мм і 50 Гц – для зразків  $d=18$  мм. Загальний вид машини для випробувань зразків представлений на рис. 1. База випробувань у всіх випадках приймалася рівною  $10^7$  циклів.

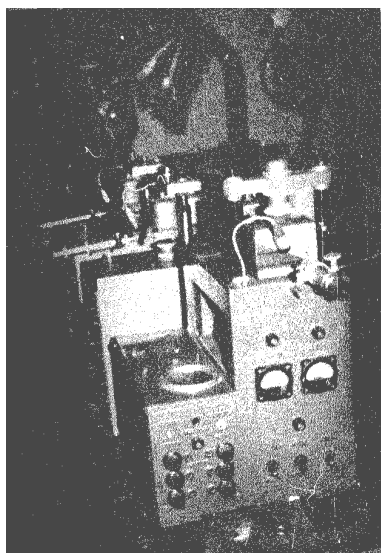
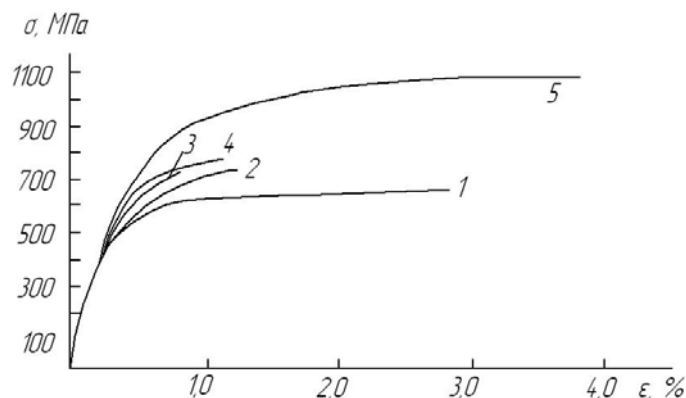


Рисунок 1 –Установка для випробування зразків на опір втомі

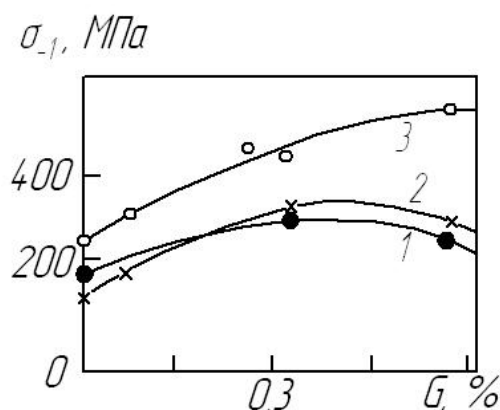
**Результати досліджень.** На рис. 2 показаний вплив режимів зміцнення на прикладі сталі 45. Зразки обробляли по гвинтовій лінії і уздовж твірної без оплавлення. Найбільший ефект досягається при зміцненні уздовж твірної зразка, при цьому зберігаються значні пластичні властивості матеріалу. Для випадків 2-4 (рис. 2) спостерігається окрихчування обробленого шару, що пов'язане з великим часом дії випромінювання на метал і, відповідно, великими нагрівом зразка і глибиною зміцнення. Найбільший ефект підвищення характеристик міцності при обробці по "гвинту" досягається при 100% зміцненій поверхні (при мінімальних пластичних властивостях), найменший ефект при 50% зміцненій поверхні (при максимальних пластичних властивостях).



1 – вихідний матеріал сталь 45; 2, 3, 4 – обробка по гвинтовій лінії, площа обробленої поверхні 50, 100 та 70% відповідно; 5 – обробка вздовж твірної

Рисунок 2 – Діаграма статичного деформування зразків після лазерного термозміцнення

Підвищення характеристик  $\sigma_b$ ,  $\sigma_{0,2}$  узгоджується з підвищенням межі витривалості при лазерному термозміцненні. Досліджений вплив лазерного термозміцнення на опір втомі різних матеріалів – сталей 09Г2, 35, 40Х, 75Г, заліза 008ЖР та ін. Зразки обробляли уздовж осі з одночасним обертанням із швидкістю 2850 об/хв. Досліджували режим без оплавлення поверхні (рис. 3, крива 3) і з оплавленням тонкого поверхневого шару (крива 2). Відмічається, що межа витривалості при обробці без оплавлення поверхні підвищується на 70-80% в порівнянні із стандартною обробкою. Обробка з оплавленням тонкого поверхневого шару дає перевагу перед стандартною обробкою тільки на сталях із вмістом вуглецю менше 0,35%; на сталях з великим вмістом вуглецю оплавлення поверхні викликає падіння значення межі витривалості, яке на сталі 75Г досягає 10%. Очевидно, це пов'язано, зокрема, з тим, що із збільшенням вмісту вуглецю в сталі збільшується і вміст аустеніту в ній після гартування, що призводить до зменшення внеску структурного стискуючого залишкового напруження у формування напруженого стану поверхневого шару після лазерної обробки.



1 – нормалізація; 2 – лазерне загартування з оплавленням поверхні; 3 – лазерне загартування без оплавлення  
Рисунок 3 – Залежність межі витривалості від вмісту вуглецю

Аналогічний результат зниження межі витривалості при обробці з оплавленням поверхні отриманий в дослідженні [3], де також робиться висновок про те, що працездатність деталей, що працюють на стирання за наявності знакозмінних

навантажень, можна підвищити лише при загартуванні без оплавлення поверхні, тоді як для деталей, що працюють на стирання без значних знакозмінних навантажень, можуть бути використані режими лазерної обробки з оплавленням поверхні. Втомним випробуванням були піддані також зразки, які оброблені з перекриттям лазерних доріжок. Коефіцієнт перекриття, тобто відношення ширини лазерної доріжки до кроку обробки, змінювався від 1 до 3, при цьому виявлено суттєве (до 5-10 разів) зменшення довговічності зразків, що, можливо, пов'язано з концентрацією напруження в зонах перекриття, відпуском матеріалу в цих місцях і іншими причинами. Слід також відзначити, що доріжка зміцнення при лазерній обробці може виявитися технологічним концентратором, що знижує міцність деталі.

При дослідженні впливу лазерного термозміцнення на характеристики опору втомі сірих і ковких чавунів виявлено зниження меж витривалості при всіх режимах обробки. При цьому, в обробленому шарі формуються стискаюча залишкова напруга, підвищена твердість. Приведені дані показують різноманіття чинників, що впливають на результати зміцнення.

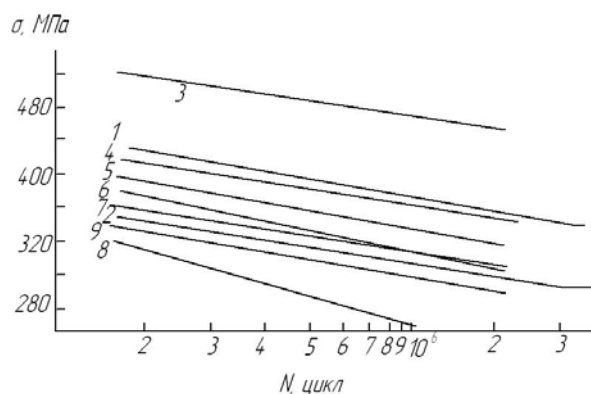
В цілому, результати втомних випробувань сталей і чавунів після лазерної обробки пов'язують з технологічними параметрами та структурами, що формуються, залишковим напруженням, твердістю і мікрорельєфом поверхні.

В ряді робіт [1,3] приведені результати дослідження залишкових напружень після лазерного термозміцнення. Так, для визначення впливу залишкових стискаючих напружень після лазерної обробки, як можливої причини підвищення опору втомі декілька зразків після неї піддавали відпуску в печі при температурі 500°C протягом 2 год з подальшим повільним охолодженням разом з піччю. Випробування цих зразків на вібростенді показали, що ефект збільшення опору втомі зберігся, проте вимірюванням залишкових напружень на рентгенівській установці ДРОН-3 виявлено зменшення залишкових напружень лише на 15%. В цілому, слід зазначити складну картину залишкових напружень, доріжок зміцнення, що формуються на поверхні і по перетину зміцненої зони.

Іншим чинником підвищення характеристик опору втомі після лазерної обробки в режимі мікрооплавлення, можливо, є зміна мікрорельєфу поверхні. Може спостерігатися ефект заплавлення мікротріщин на поверхні, які є наслідком попередньої механічної обробки, збільшення радіуса западин профілю, зменшення шорсткості і утворення хвилястої поверхні. Мікропрофілографування поверхні, обробленої лазерним випромінюванням в режимі мікрооплавлення, показало, що процес протікає з оплавленням вершин мікровиступів і заплавленням мікрозападин, так що коефіцієнт заповнення профілю збільшувався з 0,4 до 0,7. Шорсткість поверхні після лазерної обробки зменшувалася в середньому в 3-4 рази. При цьому радіус заокруглення западин і виступів збільшувався в 2 рази, а відношення кроку мікронерівностей до їх висоти складало  $t = 80 - 100$ , що відповідно до прийнятих визначень переводить клас поверхні від шорсткої до хвилястої ( $t > 40$ ).

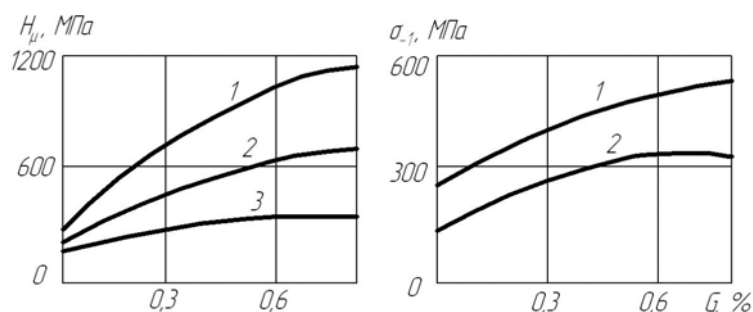
Очевидно, що суттєвий вплив на експлуатаційні характеристики матеріалів, залишкове напруження, твердість, структуру і мікрорельєф поверхні надають режими обробки. Результати випробувань сталей 20 і 45 після обробки лазером приведені на рис. 4. Вони свідчать про можливість як підвищення меж витривалості, так і її зниження. Це пов'язано з технологічними параметрами обробки, видом матеріалу. Зниження характеристик опору втомі спостерігається при обробці CO<sub>2</sub>-лазером з оплавленням поверхні і при обробці імпульсним лазером як з оплавленням, так і без оплавлення поверхні. При цьому простежується залежність меж витривалості від вмісту вуглецю в сталі (рис. 5). Збільшення енергії випромінювання у разі обробки

імпульсним лазером або зменшення швидкості руху зразка відносно променя (у разі обробки CO<sub>2</sub>-лазером) призводить до зниження характеристик опору втомі. Це спостерігається при обробці сталей 20, 35, 45. При цьому, як наголошувалося, чутливість сталей з вищим вмістом вуглецю до обробки вище.



1,2 – вихідний матеріал сталь 45 та 20 відповідно; 3, 4, 5 – обробка CO<sub>2</sub>-лазером постійної дії, сталь 45 (3 – обробка без оплавлення поверхні, 4 – з невеликим оплавленням; 5 – зі значним оплавленням); 6 – обробка імпульсним лазером з оплавом сталі 45; 7, 8 – обробка CO<sub>2</sub>-лазером, сталь 20 (7 – без оплав, 8 – зі значним оплавом); 9 – обробка імпульсним лазером без оплав поверхні сталі 20

Рисунок 4 – Криві втоми зразків з лазерним зміцненням



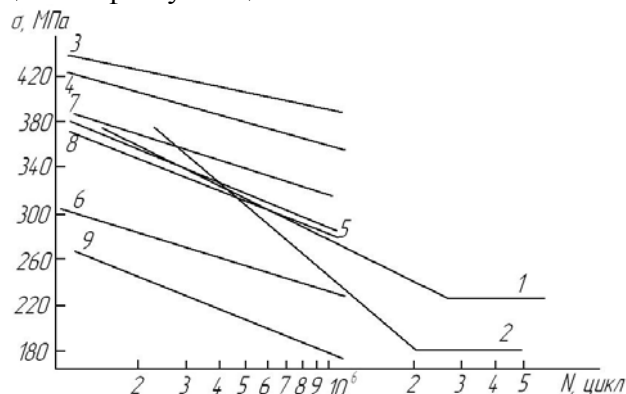
1 – лазерне термозміцнення; 2 – звичайне загартування;  
3 – незміцнений стан

Рисунок 5 – Залежність твердості та межі витривалості від вмісту вуглецю в сталі при лазерному термозміцненні

У разі зменшення енергії випромінювання, що підводиться до поверхні зразка, спостерігається підвищення характеристик опору втомі. Візуальна оцінка оброблених зразків показує, що при обробці як імпульсним, так і CO<sub>2</sub>-лазером характеристики опору втомі стають вищими, як це вже наголошувалося, при використанні режиму без оплавлення поверхні. При цьому слід зазначити збільшення кута нахилу гілки кривої втомі при випробуваннях зразків після лазерного термозміцнення, що, мабуть, пов'язано із зниженням пластичності сталей.

Локальність лазерної дії дозволяє проводити обробку труднодоступних ділянок поверхні, тому можна говорити про значні переваги цього виду зміцнення при обробці концентраторів напруги. Як видно з рис. 6, лазерне термозміцнення підвищує характеристики опору втомі зразків з концентраторами. Для коефіцієнта концентрації

напруги  $\alpha_{\sigma} = 1,75$  при одних і тих же режимах обробки величини опору втомі вище. Це можна пояснити, з одного боку, характером розподілу потужності випромінювання (при зменшенні радіусу закруглення зменшується кількість енергії, що вводиться в поверхню), з іншої – тим, що за наявності різкої концентрації напруги осередок руйнування переходить на поверхню і збільшення товщини зміцненого шару не призводить до підвищення ефекту зміцнення.



1, 2 – вихідний матеріал,  $\alpha_{\sigma} = 1,75$  та  $2,83$  відповідно;  
 3-6 – оброблені зразки,  $\alpha_{\sigma} = 1,75$ ,  $v$ , см/хв: 30 (3), 60 (4), 104 (5)  
 та 150 (6); 7 – 9 – оброблені зразки  $\alpha_{\sigma} = 2,83$ ,  $v$ , см/хв: 60 (7),  
 104 (8) та 150 (9)

Рисунок 6 – Вплив режимів лазерної обробки на характеристики опору втомі при наявності концентрації напружень (сталь 25),  $b = 3$  мм, потужність випромінювання  $N = 800$  Вт

**Висновки.** Таким чином, лазерне термозміцнення дозволяє збільшувати значення меж витривалості. Разом з тим показано, що обробка лазером може призводити до зниження характеристик опору втомі. Зміна опору втомі при лазерній обробці пов'язана із структурними змінами обробленої зони, її твердістю, залишковою напругою, що формується, мікрорельєфом поверхні. Перераховані властивості пов'язані з технологічними параметрами обробки – типом лазера, потужністю випромінювання, швидкістю обробки, геометрією нанесення доріжок зміцнення, площею обробленої поверхні, а також з орієнтацією робочого напруження по відношенню до напрямку нанесення доріжок зміцнення (внаслідок анізотропії властивостей зміцнених зон вздовж і впоперек лазерної доріжки). У зв'язку з цим, для отримання меж витривалості матеріалів і деталей вище за початкові значення необхідний аналіз режимів обробки стосовно конкретних умов експлуатації деталей машин. Для вирішення цього завдання необхідне встановлення зв'язку властивостей поверхні (залишкових напружень, твердості, шорсткості і так далі) з технологічними режимами і експлуатаційними параметрами.

## Список літератури

1. Мажейка А.И. Лазерне термодформационне зміцнення деталей сільськогосподарських машин [Текст] / А.И. Мажейка, О.Б. Чайковський, Аль-шара Мотаз Мухаммед, А.М. Лутай // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – 2006. – Вип. 36. – С. 140-146.
2. Mazheika, A.I. Application of combined laser treatment for hardening of critical parts: abstracts of papers and program of the fourth international conference [ Laser technologies in welding and materials

processing] (26-29 may, 2009), Kiev, E.O.Paton Electric Welding Institute of NAS Ukraine, 2009. – P. 24-25.

3. Мажейка О.Й. Зміцнення деталей сільськогосподарських машин сучасними методами деформуванням [Текст] / О.Й. Мажейка, О.Б. Чайковський, А.Н. Лутай // Збірник наук. праць Кіровоградського націон. техн. університету. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – 2010. – Вип. 40, ч. 1. – С. 253-256.

**Olexandr Mazheyka, prof., PhD tech. sci.**

*Kirovograd National Technical University, Kropyvnickiy, Ukraine*

### **Evaluation of mechanical properties of materials with laser thermal hardening of parts agricultural machinery**

The aim of this work was to study the strength characteristics of agricultural machinery parts after laser strengthening of the recovery, which enhances their life.

Past studies testing steels and cast irons on the characteristics of fatigue resistance after laser treatment in respect of parts of agricultural machinery. The connection laser power and processing speed to achieve yakystnyh laser process parameters thermal hardening details. Proved that laser thermal hardening allows to increase the value limits of endurance. However, it is shown that laser treatment can lead to a decrease in fatigue resistance characteristics. Significant influence on the performance characteristics of materials, residual stresses, hardness, micro-structure and surface modes provide treatment. Locality laser treatment allows processing of hard-surface areas, so we can talk about the significant benefits this type of consolidation of the processing stress concentrators.

The study found that laser thermal hardening allows to increase the value limits of endurance. However, it is shown that laser treatment can lead to a decrease in fatigue resistance characteristics. Fatigue resistance change with laser treatment is associated with structural changes in the treated area, its hardness, residual stress generated, micro surface. These properties associated with processing technological parameters - type of laser radiation power, speed processing, strengthening geometry drawing paths

**laser-strengthening, material properties, fatigue resistance, steel, ductile iron, endurance limit**

Одержано 24.11.16

**УДК 621.98.04**

**В. Я. Мірзак, ст. викл., В. М. Боков, проф., канд. техн. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет, м.Кропивницький, Україна*

*E-mail: bokov\_vm@mail.ru*

## **Принцип динамічного підстроювання як спосіб підвищення якості тонколистового розділового штампування**

Запропоновано та досліджено принцип динамічного підстроювання як спосіб підвищення якості тонколистового розділового штампування за рахунок розвантаження напрямних вузлів від радіальних зусиль та суттєвого зменшення деформації деталей штампа. Розроблено та випробувано гаму оригінальних механічних компенсаторів похибок системи «прес-штамп», які використовуються як пристрої для реалізації принципу динамічного підстроювання.

**динамічне підстроювання, механічний компенсатор, якість розділового штампування, тонколистове штампування**

© В. Я. Мірзак, В. М. Боков, 2016

**В. Я. Мирзак, ст. препод., В. М. Боков, проф., канд. техн. наук**

*Кировоградский национальный технический университет, г.Кропивницкий, Украина*

**Принцип динамического подстраивания как способ повышения качества тонколистовой разделительной штамповки**

Предложен и исследован принцип динамического подстраивания как способ повышения качества тонколистовой разделительной штамповки за счёт разгрузки направляющих узлов от радиальных усилий и существенного уменьшения деформации деталей штампа. Разработана и испытана гамма оригинальных механических компенсаторов погрешностей системы «пресс-штамп», которые используются как устройства для реализации принципа динамического подстраивания.

**динамическое подстраивание, механический компенсатор, качество разделительной штамповки, тонколистовая штамповка**

**Постановка проблеми.** Загальновідомо, що якість тонколистового розділового штампування визначається насамперед станом системи «прес-штамп», а саме залежить від ступеня деформації деталей штампа під навантаженням. Так, за даними роботи [1, С. 90], система «прес-штамп» є джерелом біля 60 % похибок, які впливають на втрату якості. Зокрема, деформація блока штампа приводить до утворення нерівномірного зазору між пуансоном та матрицею, неперпендикулярності руху пуансона відносно дзеркала матриці, внаслідок чого утворюється задирка, а точність штампування зменшується. Спроби підвищити жорсткість системи «прес-штамп» за рахунок підвищення жорсткості станини преса, підвищення кількості та діаметра напрямних вузлів в штампі, збільшення товщини плит блоку штампа показали свою неспроможність для умов сучасного виробництва.

В роботі розвивається ідея, про можливість суттєвого покращення якості тонколистового розділового штампування за рахунок застосування принципу динамічного підстроювання, який пропонується [2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Звичайно процес розділового штампування здійснюють в штампах, які встановлюють на пресах. Прес як обладнання, та штамп як інструмент утворюють систему «прес-штамп», стан якої в момент прикладання зусилля визначає якість штампування, що характеризується точністю штампування та величиною задирки. Відомо, що якість штампування погіршується, коли пуансон входить в матрицю ексцентрично, утворюючи нерівномірні діаметрально протилежні зазори [3, С. 80-83]. Для зменшення нерівномірності даних зазорів розділові штампи постачаються напрямними вузлами ковзання, які спрямовують рухому частину штампа відносно нерухомої. Однак, напрямні вузли ковзання передбачають наявність певного (звичайно 0,02...0,05 мм) гарантованого зазору між напрямною втулкою та напрямною колонкою [4, С. 84-85], в межах якого пуансон може зміщуватися. Останнє негативно впливає на якість розділового штампування. Крім того, при штампуванні заготовки товщиною менше 1 мм технологічний зазор між пуансоном та матрицею може бути меншим ніж зазор між напрямною втулкою та напрямною колонкою. При цьому пуансон зміщується в радіальному напрямку наслідком чого можливе руйнування ріжучих кромок як пуансона, так і матриці. Саме тому спосіб розділового штампування з напрямними вузлами ковзання не використовують для тонколистового матеріалу.

Відомий спосіб тонколистового розділового штампування в системі «прес-штамп» з беззазорним напрямком рухомої частини штампа відносно нерухомої [4, С. 86] Беззазорний напрямок у відомому способі забезпечують нормалізовані кулькові напрямні вузли. Після складання штампа сучасними методами гарантується точне (з рівномірним зазором) розташування розділового пуансона відносно розділової матриці. Даний штамп встановлюється на прес так, щоб вісь центра тиску штампа збігалася з

віссю хвостовика, тобто з місцем прикладання технологічного зусилля від пресу до штампу.

Однак, відомий спосіб не забезпечує точне розташування розділового пуансона відносно розділової матриці в момент штампування, що викликано деформацією преса під навантаженням, яка більшою мірою проявляється при використанні відкритих пресів, тобто пресів із С-подібною станиною. Наслідком цього є «розкриття» станини таким чином, що між робочою поверхнею повзуна, до якої кріпиться верхня частина штампа, та робочою поверхнею підштампової плити, до якої закріплюється нижня частина штампа, утворюється кут, який реально може досягати декілька градусів. Останнє приводить до деформації напрямних вузлів штампа. При цьому якість штампування знижується: точність втрачається та спостерігається утворення задирки.

Інші рішення цієї проблеми за рахунок використання спеціальних вузлів кріплення [5-8] не забезпечують високі вимоги щодо якості тонколистового розділового штампування в умовах сучасного виробництва.

В роботі пропонується та досліджується принцип динамічного підстроювання як спосіб підвищення якості тонколистового розділового штампування.

**Постановка завдання.** Метою дослідження є підвищення якості тонколистового розділового штампування за рахунок застосування принципу динамічного підстроювання.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

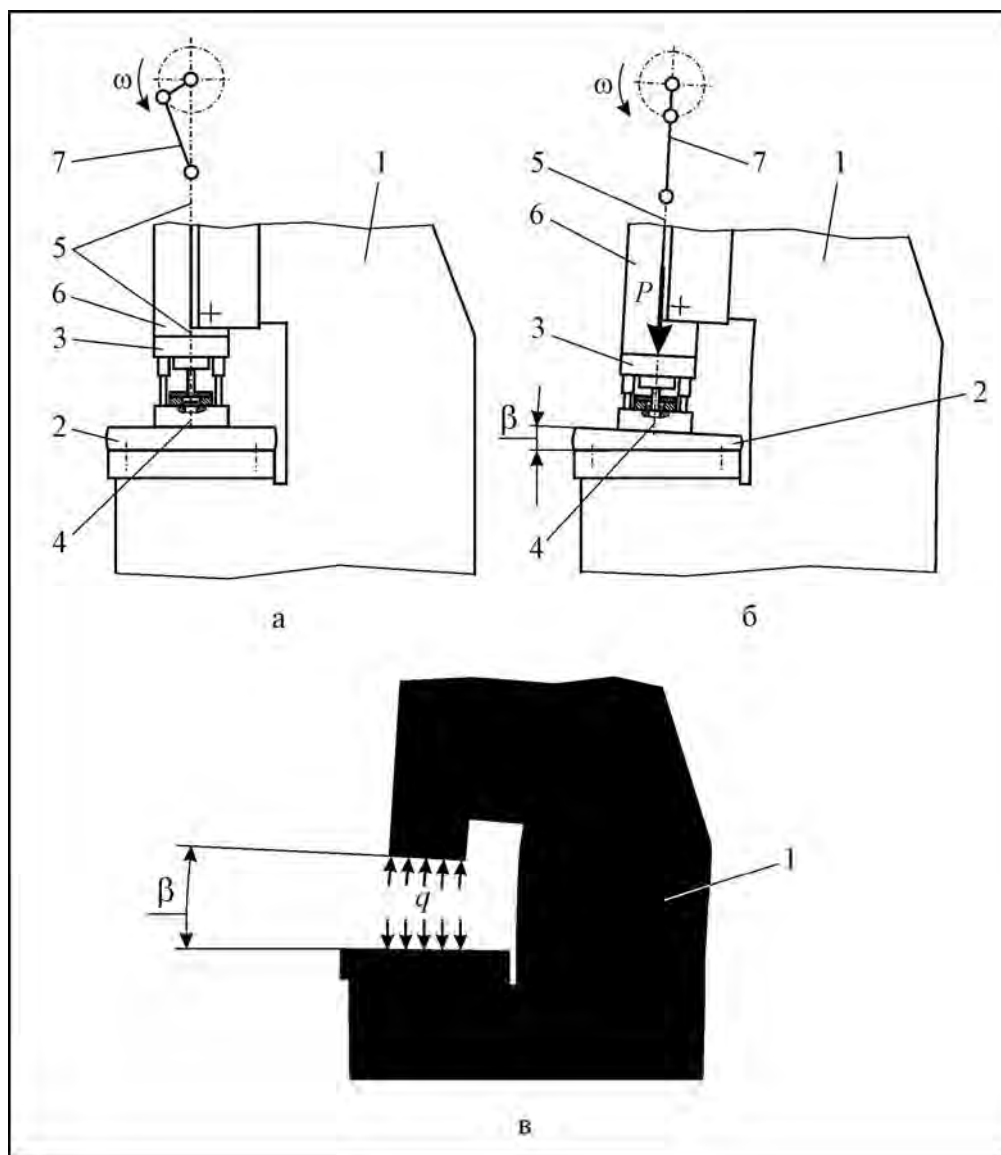
- аналіз сучасних способів підвищення якості тонколистового розділового штампування;
- пропонування та теоретичне дослідження принципу динамічного підстроювання як способу підвищення якості тонколистового розділового штампування;
- промислове випробування механічних компенсаторів похибок системи «прес-штамп», що реалізують спосіб тонколистового розділового штампування із застосуванням принципу динамічного підстроювання;
- оцінка економічної ефективності застосування механічних компенсаторів.

**Методика дослідження.** В якості метода дослідження використовувався теоретичний аналіз сучасних механічних компенсаторів похибок системи «прес-штамп», що реалізують спосіб тонколистового розділового штампування із застосуванням принципу динамічного підстроювання. Крім того, здійснювалися промислові випробування механічних компенсаторів та визначалася їх економічна ефективність.

**Виклад основного матеріалу.** Принцип динамічного підстроювання реалізується через новий спосіб тонколистового розділового штампування [2], що пропонується. Суть способу полягає в тому, що в системі «прес-штамп» з безззорним напрямком рухомої частини штампа відносно нерухомої штампування здійснюють з динамічним підстроюванням системи «прес-штамп» в напрямку збігання осі прикладання технологічного зусилля від пресу з віссю, що проходить через центр тиску штампа.

Для реалізації способу (рис. 1, а), із преса з С-подібною станиною 1 попередньо знімають підштампову плиту, а на її місце встановлюють пристрій 2 (механічний, гідравлічний або пневматичний). На рис. показано умовно, що забезпечує динамічне підстроювання системи «прес-штамп» при штампуванні. Далі на прес встановлюють розділовий штамп 3 із кульковими напрямними вузлами так, щоб вісь 4 центра тиску

штампа 3 збігалася із віссю 5 хвостовика (хвостовик на схемі не показано), тобто з місцем прикладання технологічного зусилля від пресу до штампу.



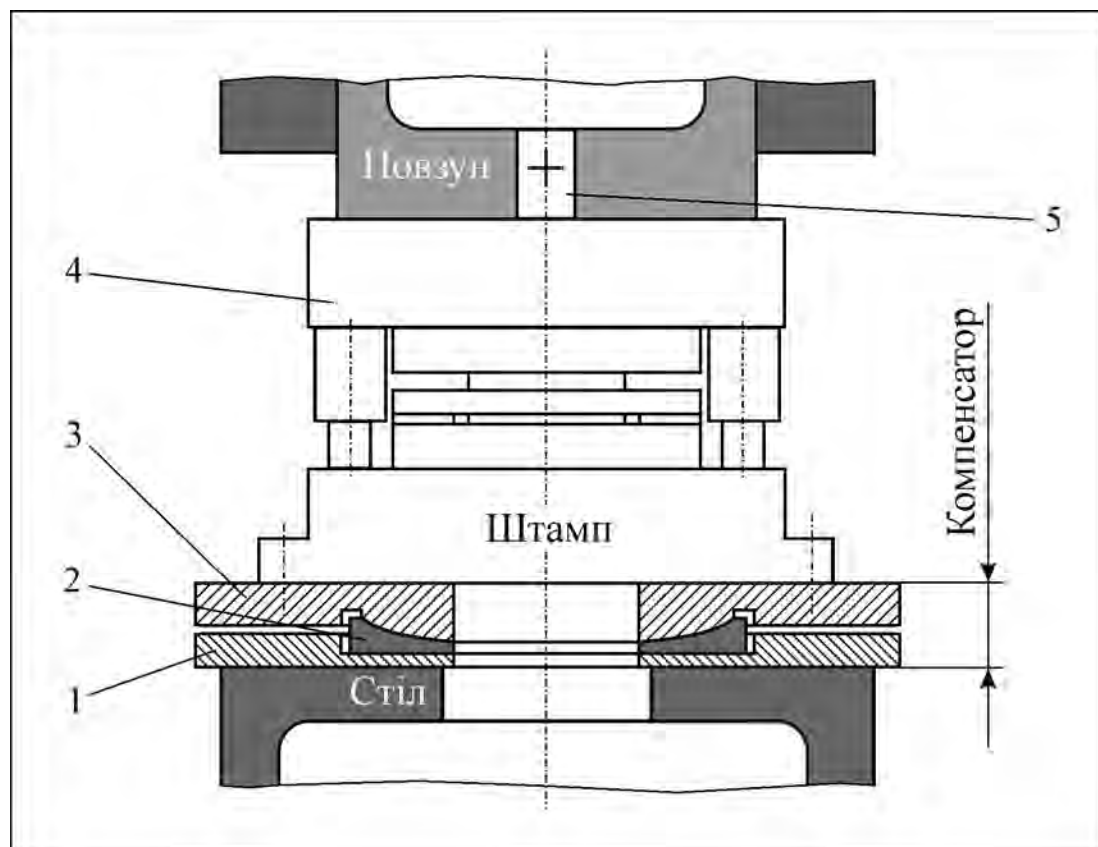
а – початкова фаза; б – кінцева фаза; в – деформація елементів преса під навантаженням

Рисунок 1 – Схема реалізації способу тонколистового розділового штампування

При робочому ході повзуна 6 кривошип 7 повертається в напрямку прийняття вертикального положення (рис. 1, б), технологічне зусилля  $P$  зростає, що викликає спрацювання механізму динамічного підстроювання системи «прес-штамп», закладеного у пристрої 2. Підстроювання системи в напрямку збігання осі прикладання технологічного зусилля від пресу з віссю, що проходить через центр тиску штампа, відбувається в умовах деформації елементів преса під навантаженням  $q$  на кут  $\beta$  (рис. 1, в), що дозволяє розвантажити напрямні вузли штампа від радіальних зусиль. Останнє позитивно впливає на точність штампування та мінімізує задирку. Крім того, суттєво підвищується стійкість розділових штамсів.

Використання способу, що пропонується, порівняно з відомим, дозволяє підвищити якість штампування за рахунок підвищення точності штампування на 1-3 квалітети та мінімізування величини задирки.

Механічний компенсатор похибок системи «прес-штамп» використовується в якості пристрою як засіб підвищення якості тонколистового розділового штампування. Він встановлюється на прес, як правило, замість підштампової плити. В загальному вигляді він складається із трьох основних деталей (рис. 2):



1 – нижня плита; 2 – під'ятник; 3 – верхня плита; 4 – штамп; 5 – хвостовик

Рисунок 2 – Принципова схема механічного компенсатора похибок системи «прес-штамп»

- нижньої плити 1, що нерухомо кріпиться до стола преса;
- під'ятника 2 із сферичною кільцевою поверхнею. Він взаємодіє з нижньою плитою 1 шляхом ковзання;
- верхньої плити 3 із сферичною кільцевою поверхнею, що взаємодіє із сферичною кільцевою поверхнею під'ятника 2.

Штамп 4 встановлюється на механічний компенсатор в центрі верхньої плити 3 компенсатора, а нижня плита штампа кріпиться до неї. Верхня рухома частина штампа приєднується до повзуна преса за допомогою хвостовика 5.

При здійсненні розділової операції деформація елементів преса компенсується за рахунок повороту верхньої плити 1 компенсатора на певний (невеликий) кут та горизонтального переміщення під'ятника 2 відносно нижньої плити 1 компенсатора. Так реалізується принцип динамічного підстроювання. Таким чином, технологічне навантаження діє на штамп завжди по центру (не ексцентрично), напрямні вузли штампа не сприймають значних радіальних зусиль, гарантується рівномірний зазор між

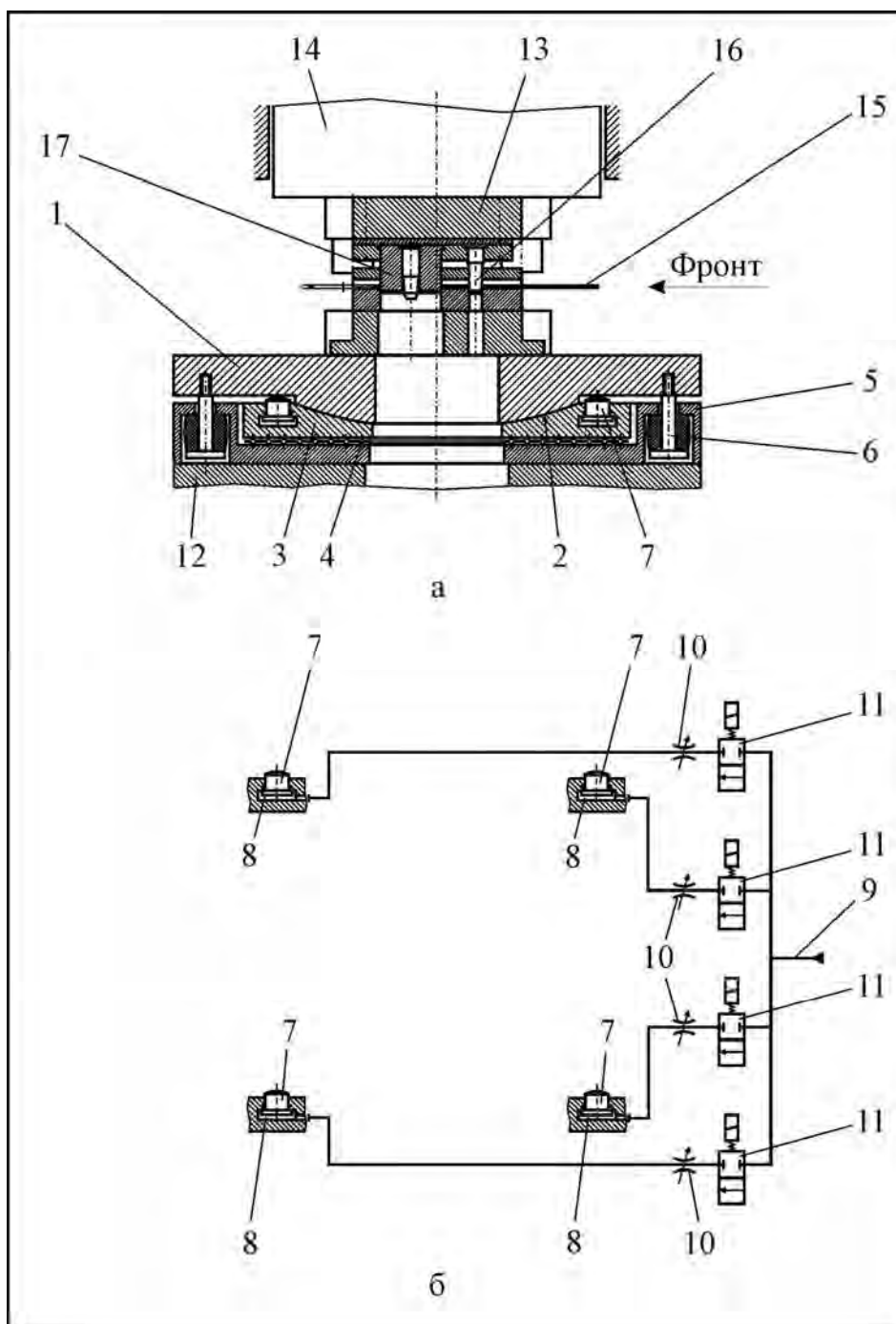
розділовим інструментом, а отже підвищується якість розділового штампування.

Механічний компенсатор для штампа послідовної дії, що показано на рис. 2, принципово може бути використаний для будь-яких штампів за розмірами та масою, і забезпечує підвищення якості розділових штампів. Однак, він має обмежені технологічні можливості. Так, він не дозволяє застосовувати штампи послідовної дії, тобто штампи, на яких деталь штампується як мінімум за два переходи. При виконанні першого переходу (асиметричне, незрівноважене штампування) виникає великий обертальний момент, який викликає поворот штампа разом з інструментальною плитою в сферичній опорі, внаслідок чого напрямні колонки штампа викривляються. Останнє інтенсифікує знос напрямних вузлів, що негативно впливає на якість і точність штампування та стійкість розділового штампового інструмента. Крім того, відомий компенсатор не демпфірує коливання інструмента відносно деталі чи відходу, що виникають при виконанні розділової операції які, як відомо, збільшують знос інструменту. З метою розширення технологічних можливостей та зменшення зносу розділового інструменту при застосуванні штампів послідовної дії, запропоновано новий механічний компенсатор [9] з гідравлічним пристроєм.

Суть нового компенсатора полягає в тому, що проміжна плита постачається гідравлічним пристроєм (системою плунжерів) для фіксації інструментальної плити в нерухомому стані від можливого повороту при асиметричному штампуванні та для демпфірування її переміщень при симетричному штампуванні.

Компенсатор нерівномірності навантаження штампа (рис. 3) складається: із інструментальної (верхньої) плити 1 зі сферичною рухомою опорою 2; проміжної плити (підп'ятника) 3 з плоскою рухомою опорою, що виконана як підшипник кочення 4; корпуса (нижньої плити) 5 з пристроєм 6 рухомого з'єднання його з інструментальною плитою 1. Проміжна плита 3, постачається гідравлічним пристроєм (системою плунжерів 7 з гідроапаратурою керування) для фіксації інструментальної плити 1 в нерухомому стані від можливого повороту при асиметричному штампуванні, та для демпфірування її переміщень при симетричному штампуванні. Робочі порожнини 8 плунжерів 7 живляться від робочої рідини, яка поступає в патрубок 9 під технологічним тиском від пневмогідро-акумулятора, або від станції робочої рідини (на рисунках не показано). Кожна лінія плунжера 7 підключена паралельно до патрубка 9 та включає в себе дросель 10 для керування швидкості переміщення плунжера 7, а також нормально відкритий золотник 11 (кран, що відсікає) з електрокеруванням для перекриття лінії.

Пристрій працює таким чином. Компенсатор встановлюється на стіл 12 пресу замість підштампової плити. На інструментальну плиту 1 компенсатора встановлюють штамп 13 і нерухомо закріплюють його відносно плити 1 та повзуна 14 преса. Штамп 13 послідовної дії призначено для автоматичного штампування (пробивання та вирубування) деталі «Шайба» від стрічки 15. Для виконання першого переходу штампування – асиметричного (відносно центру тиску штампа) пробивання отвору пуансоном 16, включають пневмо-гідро-акумулятор або станцію робочої рідини і тим самим забезпечують технологічний тиск в кожній лінії плунжерів 7. Під дією технологічного тиску плунжери 7 піднімаються в крайнє верхнє положення і упираються у інструментальну плиту 1. Далі, за допомогою золотників 11, перекривають всі чотири лінії плунжерів 7. При цьому робоча рідина в кожній лінії плунжерів 7 запирається (спрацьовує гідрозамок), але знаходиться під тиском.



а – кінематична схема; б – гідравлічна схема

Рисунок 3 – Принцип роботи механічного компенсатора похибок з гідравлічним пристроєм для штампів послідовної дії

Саме тому інструментальна плита 1 фіксується в нерухомому стані від можливого повороту при подальшому асиметричному штампуванні. Це дозволяє суттєво розвантажити напрямні колонки від радіальних зусиль. Перед виконанням другого переходу симетричного штампування (одночасного вирубання деталі за контуром пуансоном 17 та пробивання нового отвору пуансоном 16), золотники 11 відкривають. При штампуванні в таких умовах інструментальна плита 1, під дією не

зрівноважених сил від деформації елементів преса, має можливість повернутися в сферичній опорі 2 та разом з проміжною плитою 3 від'їхати на певну відстань в напрямку зрівноваження зусиль та, таким чином, компенсувати нерівномірність навантаження штампа. Крім того, компенсатор в умовах зрівноваження зусиль демпфірує коливання інструмента за рахунок перетікання з оптимальною швидкістю робочої рідини крізь певні дроселі 10, які попередньо регулюються. При цьому знос інструменту зменшується.

Використання даного механічного компенсатора суттєво розширює технологічні можливості: дозволяє підвищити якість штампування при застосуванні штампів з асиметричним штампуванням деталей на перших переходах, наприклад штампів послідовної дії, та зменшити знос інструмента за рахунок демпфірування його коливань.

Механічний компенсатор, що показано на рис. 2, принципово може бути використаний на прес-автоматах з нижнім приводом. Він встановлюється на прес-автомат під штампом, але суттєво зменшує закриту висоту преса, що в свою чергу зменшує можливу закриту висоту штампа, який може бути встановлено на ньому. Останнє суттєво обмежує технологічні можливості преса-автомата з нижнім приводом. В той же час проектувати та виготовляти спеціальні преси-автомати з нижнім приводом, які володіють більшою закритою висотою, є недоцільним, так як це приводить до підвищення маси рухомих частин прес-автомата (потужність головного електродвигуна зростає) та суттєвого капіталовкладення. З метою покращання якості штампування та підвищення стійкості штампа при збереженні закритої висоти прес-автомата з нижнім приводом, запропоновано новий механічний компенсатор [10].

Суть нового механічного компенсатора нерівномірності навантаження штампа полягає в тому, що корпус виконано у вигляді траверси прес-автомату з нижнім приводом, інструментальна плита орієнтована робочою поверхнею униз та має центральний вертикальний отвір для базування за центрошукачем штампа, а механізм повороту та лінійного переміщення інструментальної плити постачається бортами для занурення сферичних частин у масляну ванну.

Компенсатор нерівномірності навантаження штампа (рис. 4) включає в себе корпус 1 із вмонтованим в ньому механізмом 2 повороту та лінійного переміщення інструментальної плити 3 для кріплення верхньої частини штампа 4. Корпус 1 виконано у вигляді траверси прес-автомату з нижнім приводом 5. Інструментальна плита 3 орієнтована робочою поверхнею *A* униз та має центральний вертикальний отвір 6 для базування за центрошукачем 7 штампа 4. Механізм 2 повороту та лінійного переміщення інструментальної плити 3 постачається бортами 8, 9, 10 для занурення сферичних частин 11, 12, 13, 14 у масляну ванну, що суттєво зменшує силу тертя між сферичними частинами.

Компенсатор працює таким чином. Штмп 4 для автоматичного штампування деталі із стрічки 15 встановлюється на стіл 16 прес-автомату з нижнім приводом 5 з базуванням за центрошукачем 7 по центральному отвору 6. Спочатку закріплюють верхню (рухому) частину штампа болтовими з'єднаннями 17, 18, а далі – нижню частину штампа болтовими з'єднаннями 19, 20. Цим досягається встановлення штампа 4 за центром тиску. Після включення преса-автомата з нижнім приводом 5 штампують деталь із стрічки 15 в автоматичному режимі. При цьому будь-яка нерівномірність навантаження штампа 4, пов'язана з несиметричною відносно центру тиску деформацією елементів преса 5, компенсується механізмом 2 повороту та лінійного переміщення інструментальної плити 3, що приводить до розвантаження радіальних

зусиль, які діють на напрямні колонки 21, 22 штампа 4. Якість штампування покращується, а стійкість штампа зростає.

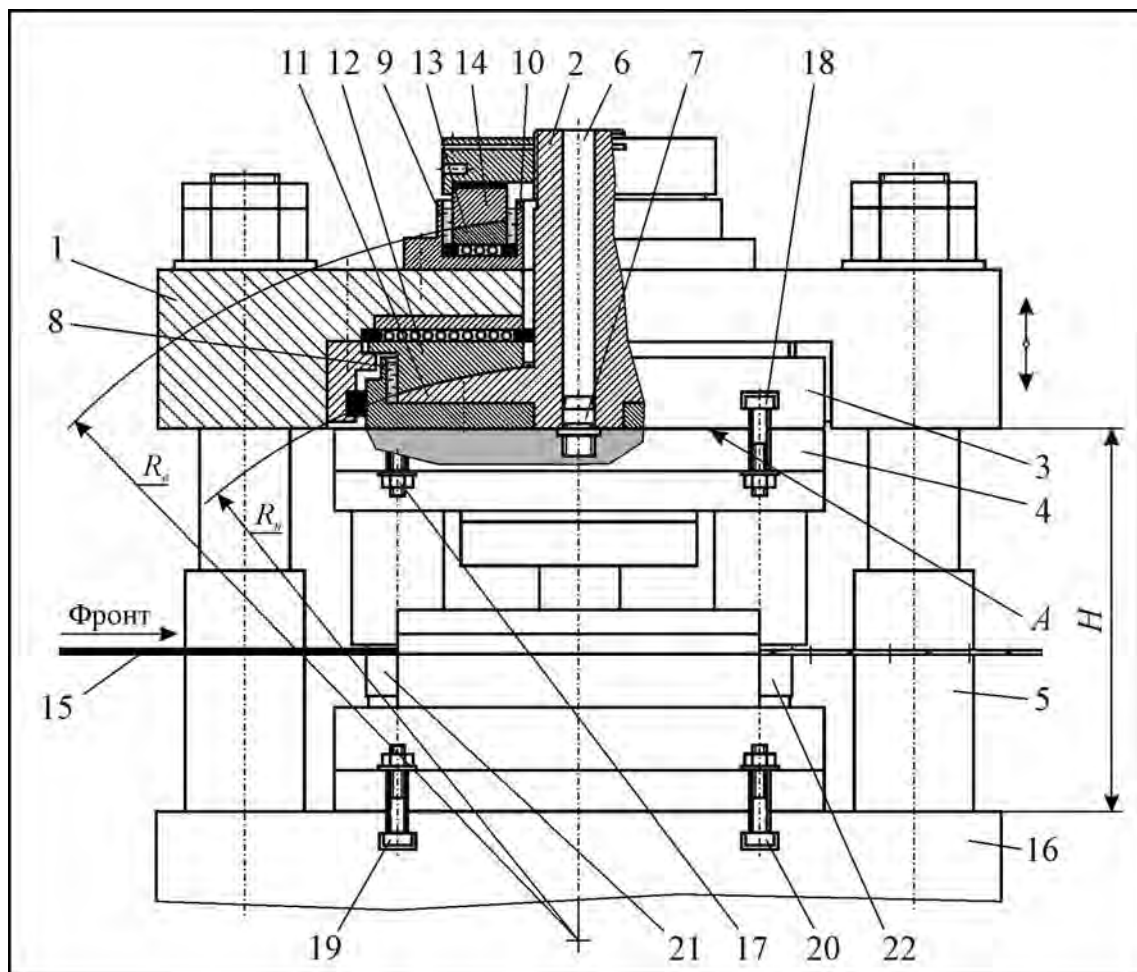


Рисунок 4 – Схема механічного компенсатора похибок для прес-автомату з нижнім приводом з змонтованим на ньому штампом

Слід відмітити, що даний компенсатор дозволяє зберегти переваги відомого, але крім того «вписується» в прес-автомат з нижнім приводом із збереженням його закритої висоти  $H$ .

Використання даного механічного компенсатора, порівняно з відомим, дозволяє покращити якість штампування та підвищити стійкість штампа при збереженні закритої висоти прес-автомата з нижнім приводом, на якому встановлено даний компенсатор.

Механічний компенсатор для пресів з номінальним зусиллям більше 1,6 МН – оригінальна розробка авторів. Останнє пояснюється наступним. У механічних компенсаторах похибок системи «прес-штамп» для зменшення сили тертя між проміжною плитою з плоскою рухомою опорою та корпусом встановлюють сепаратор з кульками (див., наприклад, рис. 3 та 4). Дані компенсатори принципово можуть бути використані для будь-яких штамів і забезпечують підвищення якості штампування. Однак, вони мають обмежені технологічні можливості. Так, вони не дозволяють експлуатувати розділові штампи на однокривошипних пресах зусиллям більше 1,6 МН. Останнє пов'язано з тим, що в даній групі пресів, які характеризуються великим зусиллям при відносно малій площі підштампової плити, спостерігається суттєве

зростання питомого зусилля на кульки сепаратора. Тому для досягання допустимої норми, при якій кульки не руйнуються, не достатньо площі для розміщення певної кількості кульок. Крім того, відомий компенсатор не демпфірує коливання інструмента відносно деталі чи відходу, що виникають при виконанні розділової операції, які, як відомо, збільшують знос інструмента. З метою розширення технологічних можливостей та зменшення зносу розділового інструмента, запропоновано новий механічний компенсатор похибок системи «прес-штамп» [11], в якому тертя кочення в елементах замінено тертям ковзання, але з рясним змазуванням рідким мастилом.

Суть нового механічного компенсатора полягає в тому, що проміжну плиту виконано у вигляді упорного підшипника ковзання з конічною зовнішньою допоміжною поверхнею; проміжна плита занурена у масляну ванну, яка утворена в корпусі так, що донна її частина лежить нижче рівня плоскої рухомої опори та служить для накопичування продуктів припрацювання поверхонь ковзання, а рівень масла в ванні вищий рівня поверхонь тертя пристрою рухомого з'єднання; між інструментальною плитою та корпусом встановлено силовий еластичний пружний елемент для демпфірування коливань інструментальної плити після зняття навантаження, який виконано навколо ванни за замкнутим контуром.

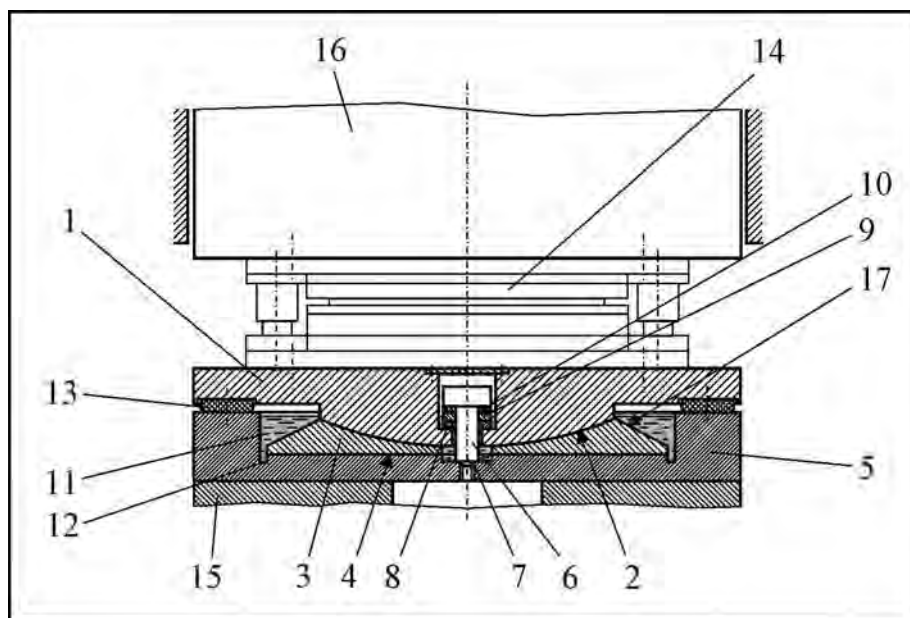


Рисунок 5 – Схема механічного компенсатора похибок для пресів номінальним зусиллям більше 1,6 МН

Компенсатор, що пропонується, (рис. 5) складається з: інструментальної плити 1 зі сферичною рухомою опорою 2; проміжної плити 3 з плоскою рухомою опорою у вигляді упорного підшипника ковзання 4, що дозволяє суттєво підвищити питоме навантаження, порівняно з опорами кочення; корпуса 5 з пристроєм рухомого з'єднання його з інструментальною плитою 1, який включає в себе: гвинт 6 з ущільненням 7, шайбу 8 з нижньою плоскою та верхньою сферичною поверхнею, шайбу 9 з нижньою сферичною та верхньою плоскою поверхнею, компенсаційну пружинисту (наприклад, поліуретанову) шайбу 10. При цьому, радіус сферичної опори 2 та радіуси сферичних поверхонь шайб 8, 9 є концентричними, тобто проведені з одного центра. В корпусі 5 утворена масляна ванна 11 так, що донна її частина 12 лежить нижче рівня плоскої рухомої опори 4 та служить для накопичування продуктів

припрацювання усіх поверхонь ковзання, а рівень масла в ванні вищий рівня поверхонь тертя пристрою рухомого з'єднання. Таким чином, у масляну ванну 11 занурені усі деталі, які мають поверхні ковзання. Між інструментальною плитою 1 та корпусом 5 встановлено силовий еластичний пружний елемент 13 для демпфірування коливань інструментальної плити після зняття навантаження, який виконано навколо ванни 11 за замкнутим контуром. Останнє дозволяє гідроізолювати масляну ванну 11 від навколишнього середовища.

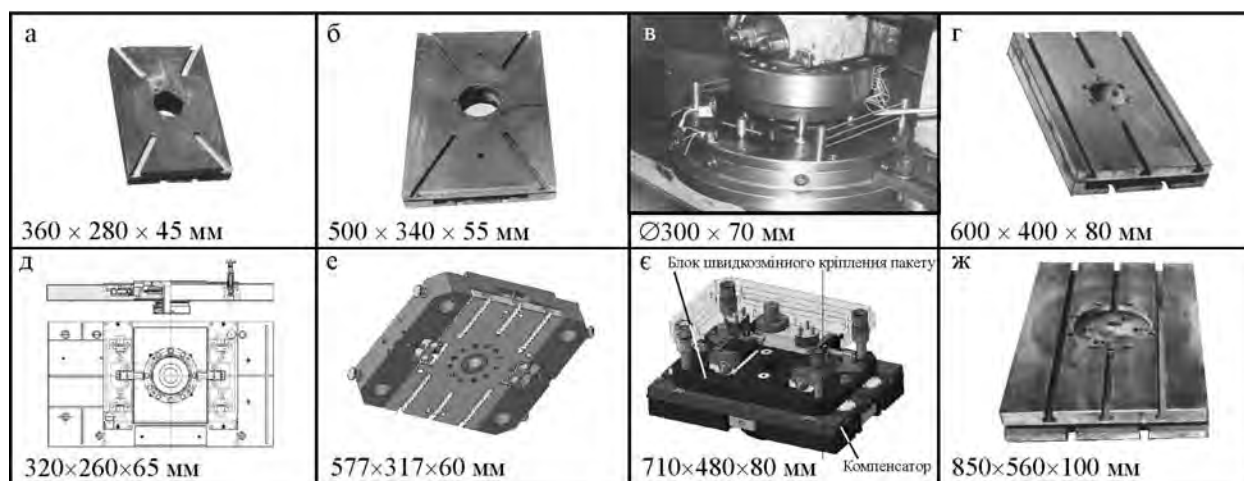
Компенсатор 14 встановлюється на стіл 15 преса замість підштампової плити. На інструментальну плиту 1 компенсатора встановлюють штамп 14 і нерухомо закріплюють його відносно плити 1 та повзуна 16 преса. При штампуванні в таких умовах інструментальна плита 1, під дією не зрівноважених сил від деформації елементів преса, має можливість повернутися в сферичній опорі 2 та разом з проміжною плитою 3 від'їхати на певну відстань в напрямку зрівноваження зусиль та, таким чином, компенсувати нерівномірність навантаження штампа 14. При цьому усі переміщення рухомих елементів компенсатора здійснюються в умовах тертя з рясним змазуванням поверхонь ковзання. Продукти припрацювання поверхонь ковзання накопичуються на дні 12 масляної ванни 11. Цьому сприяє конічна поверхня 17 на проміжній плиті 3, яка спрямовує дрібні частки металу за скосом (за рахунок використання гравітаційної сили) униз до дна 12 масляної ванни 11. Завдяки тому, що рівень усіх поверхонь ковзання вище рівня дна 12 масляної ванни 11, продукти пропрацювання не попадають повторно у зазор між поверхнями, що ковзаються, а накопичуються на дні 12 ванни 11. Останнє зменшує сили тертя та підвищує термін експлуатації компенсатора. Крім того, компенсатор в умовах зрівноваження зусиль демпфірує коливання інструмента за рахунок деформування силового еластичного пружного елемента 13. При цьому знос інструмента зменшується.

Використання даного компенсатора, порівняно з відомим, суттєво розширює технологічні можливості та дозволяє ефективно експлуатувати штампи на однокривошипних пресах зусиллям більше 1,6 МН та зменшити знос інструмента за рахунок демпфірування його коливань. При цьому підвищена якість розділового тонколистового штампування зберігається.

За результатами проведених теоретичних та експериментальних досліджень розроблено гаму механічних компенсаторів похибок системи «прес-штамп» різного технологічного призначення для кривошипних пресів номінальним зусиллям 63 кН, 250 кН, 350 кН, 400 кН, 630 кН та 1000 кН (рис. б). Промислові випробування даних компенсаторів на ряді підприємств показали підвищення якості тонколистового розділового штампування за рахунок:

- зменшення величини деформації штампового блоку в 2-4 рази;
- зменшення величини деформації нижньої плити штампа в 4-8 разів;
- зменшення величини прогину нижньої плити штампа в 1,5-2,5 рази;
- зменшення величини деформації напрямних колонок при робочому ході в 2,5-3 рази;
- зменшення середньої висоти задирки в 2-2,5 рази;
- зменшення нерівномірності розподілу задирки за контуром в 2-2,5 рази;
- зменшення розмаху відхилення розмірів деталей в 1,25-2,4 рази;
- зменшення середньоквадратичного відхилення розмірів в 2,4 рази;
- збільшення щільності розподілу розмірів в 2,4 рази.

Крім того, усі механічні компенсатори забезпечують підвищення стійкості розділових штампів в 2-2,5 рази.



- а – універсальний компенсатор для кривошипного преса номінальним зусиллям 63 кН [2];  
 б – універсальний компенсатор для кривошипного преса номінальним зусиллям 250 кН [12];  
 в – спеціальний компенсатор, що вбудований в штамп, для кривошипного преса номінальним зусиллям 350 кН (штампування пластин магнітопроводів) [13];  
 г – універсальний компенсатор для кривошипного преса номінальним зусиллям 400 кН [14];  
 д – спеціальний компенсатор для кривошипного преса Н. В. Billand номінальним зусиллям 400 кН (штампування пластин магнітопроводів на твердосплавних штампах [15];  
 е – універсальний компенсатор для кривошипного преса-автомата з нижнім приводом PAD-40 номінальним зусиллям 400 кН [10];  
 є – універсальний компенсатор для кривошипного преса номінальним зусиллям 630 кН [16];  
 ж – універсальний компенсатор для кривошипного преса номінальним зусиллям 1000 кН [17]

Рисунок 6 – Промислові випробування механічних компенсаторів похибок системи «прес-штамп»

За даними електромеханічного заводу «Етал» (м. Олександрія, Кіровоградської обл.), очікуваний річний економічний ефекту від впровадження у виробництво механічного компенсатора до кривошипного пресу номінальним зусиллям 400 кН для штампування пластин магнітопроводів на твердосплавних штампах складає 299 250 грн/рік.

**Висновки.** Внаслідок проведених досліджень:

– запропоновано та досліджено принцип динамічного підстроювання як спосіб підвищення якості тонколистового розділового штампування. В даному способі штампування здійснюють з динамічним підстроюванням системи «прес-штамп» в напрямку збігання осі прикладання технологічного зусилля від пресу з віссю, що проходить через центр тиску штампа. При цьому, підвищення якості штампування спостерігається за рахунок розвантаження напрямних вузлів від радіальних зусиль та суттєвого зменшення деформації деталей штампа;

– запропоновано та розроблено гаму оригінальних механічних компенсаторів похибок системи «прес-штамп» різного технологічного призначення для кривошипних пресів номінальним зусиллям 63 кН, 250 кН, 350 кН, 400 кН, 630 кН та 1000 кН, які використовуються як пристрої для реалізації принципу динамічного підстроювання;

– виконані промислові випробування даних компенсаторів на ряді підприємств показали підвищення якості тонколистового розділового штампування за рахунок зменшення величини деформації штампового блоку в 2-4 рази, зменшення величини деформації нижньої плити штампа в 4-8 разів, зменшення величини прогину нижньої плити штампа в 1,5-2,5 рази, зменшення величини деформації напрямних колонок при робочому ході в 2,5-3 рази, зменшення середньої висоти задирки в 2-2,5 рази,

зменшення нерівномірності розподілу задирки за контуром в 2-2,5 рази, зменшення розмаху відхилення розмірів деталей в 1,25-2,4 рази, зменшення середньоквадратичного відхилення розмірів в 2,4 рази, збільшення щільності розподілу розмірів в 2,4 рази;

– очікуваний річний економічний ефекту від впровадження у виробництво механічного компенсатора до кривошипного пресу номінальним зусиллям 400 кН для штампування пластин магнітопроводів на твердосплавних штампах складає 299 250 грн/рік.

## Список літератури

1. Мірзак В. Я., Боков В. М. Підвищення якості розділового тонколистового штампування [Текст] / Вісник національного технічного університету «ХП». / Збірник наук. праць. Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії / Вип. № 43. – Харків: НТУ «ХП», 2014. – С. 89-97.
2. Спосіб тонколистового розділового штампування в системі «прес-штамп» з безззорним напрямком рухомої частини штампа відносно нерухомої [Текст]: пат. 70346 Україна; МПК В26F 1/40 / Мірзак В. Я., Боков В. М.; власник Кіровоградський національний технічний університет. – № u201113040; заявл. 07.11.2011; опубл. 11.06.2012, Бюл. № 11.
3. Зубцов М. Е. Листовая штамповка [Текст]: учеб. / М. Е. Зубцов. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1980. – 432 с.
4. Боков В. М. Конструювання та виготовлення штампів. Штамп як об'єкт проектування: навчальний посібник [Текст] / В. М. Боков. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий центр ТОВ «Імекс-ЛТД», 2005. – 216 с.
5. Кузнецов, С. В. Влияние поперечных сил на качество деталей, получаемых методами листовой штамповки [Текст] / С. В. Кузнецов // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева. – 2014. – № 5 (107). – С. 438–442.
6. Хвостовики плавающие для штампов листовой штамповки. Конструкция и размеры : ГОСТ 16719-71 [Текст]. – Введ. 1972-01-01. – М. : Стандартиформ, 2006. – 10 с.
7. Справочник конструктора штампов. Листовая штамповка [Текст] / под общ. ред. Л. И. Рудмана. – М. : Машиностроение, 1988. – 496 с.
8. Диамантопуло, К. К. Компенсация несоосности системы «пресс-штамп» изношенного штамповочного оборудования [Текст] / К. К. Диамантопуло, В. В. Кухарь, А. И. Евтеев // Металлургические процессы и оборудование / Вип. № 2. – Мариуполь: Приазовский государственный технический университет, 2005. – С. 31–34.
9. Компенсатор нерівномірності навантаження штампа [Текст]: пат. 35305 Україна, МПК В30 В 15/28. / Мірзак В. Я., Боков В. М.; власник Кіровоградський національний технічний університет. № u200804834; заявл. 14.04.2008; опубл. 10.09.2008, Бюл. № 17.
10. Компенсатор нерівномірності навантаження штампа [Текст]: пат. 69662 Україна, МПК В30 В 15/00. / Мірзак В. Я., Боков В. М.; власник Кіровоградський національний технічний університет. № u201112251; заявл. 19.10.2011; опубл. 10.05.2012, Бюл. № 9.
11. Компенсатор нерівномірності навантаження штампа [Текст]: пат. 58333 Україна, МПК В30 В 15/20. / Мірзак В. Я., Боков В. М.; власник Кіровоградський національний технічний університет. № u201011118; заявл. 20.09.2010; опубл. 11.04.2011, Бюл. № 7.
12. А. с. 1616838 СССР, М. Кл. В 30 В 15/02. Компенсатор неравномерности нагружения штампа к прессу [Текст] / В. С. Запорожченко, А. П. Качанов, В. Я. Мирзак (СССР). - № 4662656/25-27; заявл. 16.03.89; опубл. 30.12.90, Бюл. № 48.
13. А. с. 1579624 СССР, М. Кл. В 21 J 13/02. Штамп для холодной объёмной штамповки [Текст] / А. П. Качанов, В. Я. Мирзак, В. С. Запорожченко, А. С. Ляховецкий (СССР). - № 4473482/25-27; заявл. 15.08.88; опубл. 23.07.90, Бюл. № 27.
14. А. с. 1759654 СССР, М. Кл. В 30 В 15/00, В 30 В 15/28. Компенсатор неравномерности нагружения штампов [Текст] / В. Я. Мирзак, В. С. Запорожченко, А. П. Качанов (СССР). - № 4893434/27; заявл. 25.12.90; опубл. 07.09.92, Бюл. № 33.
15. А. с. 1539079 СССР, М. Кл. В 30 В 15/00, В 30 В 15/28. Компенсатор неравномерности нагружения штампа вертикальной прессовой установки с кривошипно-шатунным исполнительным механизмом привода ползуна [Текст] / А. П. Качанов, В. Я. Мирзак, В. И. Рубан,

- В. С. Запорожченко, П. С. Щеглюк, И. Б. Яковер (СССР). - № 4416576/31-27; заявл. 28.04.88; опубл. 30.01.90, Бюл. № 4.
16. А. с. 1712031 СССР, М. Кл. В 21 D 28/14. Способ листовой штамповки и устройство для его осуществления [Текст] / А. П. Качанов, В. И. Рубан, В. Я. Мирзак, В. С. Запорожченко (СССР). - № 4708457/27; заявл. 22.06.89; опубл. 15.02.92, Бюл. № 6.
17. А. с. 1696320 СССР, М. Кл. В 30 В 15/28. Компенсатор неравномерности нагружения штампа вертикальной прессовой установки [Текст] / В. Я. Мирзак, В. С. Запорожченко, А. П. Качанов (СССР). - № 4746073/27; заявл. 06.10.89; опубл. 07.12.91, Бюл. № 45.

**Vladimir Mirzak, Sr. Lect., Viktor Bokov, Prof., PhD tech. sci.**

*Kirovohrad National Technical University, Kropivnitskiy, Ukraine*

### **The principle of dynamic adjustment as a means of thin-sheet dividing stamping quality increase**

The purpose of the research is thin-sheet dividing stamping quality increase due to the application of dynamic adjustment principle.

The quality of thin-sheet dividing stamping is determined first of all by the “press-stamp” system state, namely it depends on the loaded stamp detail deformation degree, as the given system is a source of nearly 60 per cent of errors which influence the loss of quality. The main idea of the paper is the possibility to significantly improve the quality increase of thin-sheet dividing stamping due to the application of the offered principle of dynamic adjustment. Stamping is done with dynamic adjustment of the “press-stamp” system in the direction of the coincidence of the press technological effort application axis with the axis that goes through stamp pressure centre.

The quality increase is reached due to unloading the guide units of radial efforts and significant deformation decrease of stamp parts.

The offered mechanical compensators that realize the given principle demonstrated significant improvement of stamping quality (lifting up decrease, dimension deviation scale, etc).

**dynamic adjustment, mechanical compensator, dividing stamping quality, thin-sheet stamping**

Одержано 21.04.16

**УДК 621.891.539.375.6**

**Mykhailo Chernovol, Prof., DSc., Igor Shepelenko, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Budar Mohamed R.F., post-graduate**

*Kirovohrad National Technical University, Kropivnitskiy, Ukraine*

*E-mail: ivsepelenko@mail.ru*

## Appliances for FANT of cylinder liners

Despite the successes achieved in practical application of FANT of cylinder liners there is no wide application of the technology because of low productivity and processing quality which may be increased by the use of new schemes of FANT and improved tools for finishing. The article presents the analysis of the existing appliances for FANT of cylinder liners and the ways to improve their design were specified. That will increase the productivity and quality of treatment as well as the effectiveness of FANT application.

**finishing antifriction nonabrasive treatment, appliance, cylinder liner, antifriction coating, combined treatment**

**М.И.Черновол, проф., д-р техн. наук, И.В.Шепеленко, доц., канд. техн. наук, Будар Мохамед Р.Ф., асп.**  
*Кировоградский национальный технический университет, г.Кропивницкий, Украина*  
**Устройства для ФАБО гильз цилиндров**

Несмотря на достигнутые успехи практического применения ФАБО гильз цилиндров, широкое применение технологии сдерживается низкой производительностью и качеством обработки, повысить которые возможно за счет применения новых схем осуществления ФАБО, а также совершенствования инструментов для финишной обработки. В работе представлен анализ существующих устройств для ФАБО гильз цилиндров, указаны пути по совершенствованию их конструкций, что позволит повысить производительность и качество обработки, а также эффективность применения ФАБО.

**финишная антифрикционная безабразивная обработка, устройство, гильза цилиндров, антифрикционное покрытие, комбинированная обработка**

**Problem description.** It was proved by many studies that finishing antifriction nonabrasive treatment (FANT) of cylinder liners has economic advantages compared to the traditional ways of treatment [1-8 and others]. It allows decreasing the time of engine run-in and, therefore, decreasing the consumption of fuels and lubricants and to increase engines life time and its reliability.

At the same time, the applied FANT technologies are characterized by low productivity, uneven layer of coating, high loads on tools, significant heat liberation and the necessity of further hardening of the surface layer.

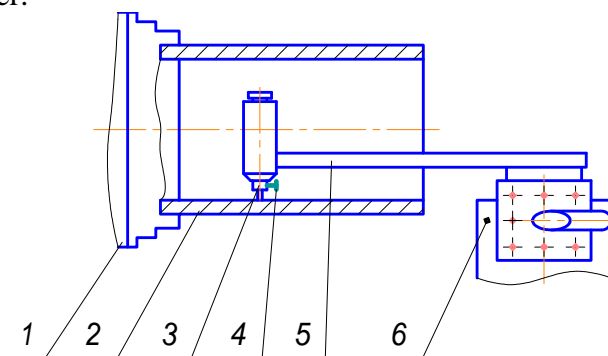
It is possible to increase the productivity and quality of the treatment by application of new technologies and schemes of implementing FANT [9], development of tools that will rectify the above-mentioned problems [10], usage of modern materials and effective technological environment for the frictional coating process [11].

**Objective of research.** The objective of the work is to analyse the existent structures of the appliances for FANT of cylinder liners with further elaboration of recommendations for their improvement.

**Research results.** Application of FANT demands the usage of positioning and rotator devices, for example turning machine, polishing or boring machine with the polishing device fixed in the tool holder [1].

The difference of sizes and configurations of the parts to be coated determines the application of various ways of FANT and appliances for implementation of the work.

The simplest scheme of FANT of the bushing is presented in Picture 1 [2]. The appliance 4 with brass rod 3 is fixed on the drilling rod 5, which is fixed in tool holder 6 of the turning machine. In the process of brassing the brass rod is pressed to the surface of bushing 2 with force corresponding to the pressure of 70 MPa, and is moved along the bushing with 0,2 mm/rev. The bushing fixed in the chuck of the turning machine rotates with peripheral velocity of 0,3 m/s. The fluid which consists of glycerin and activator is delivered to the area of brassing by a dropper.



1 – turning chuck; 2 - bushing; 3 – brass rod; 4 - appliance; 5 – drilling rod; 6 – holder of turning machine

Picture 1 – Scheme of frictional brassing of bushing

These types of appliances have significant demerits that are low productivity, uneven coating and as a result a considerable surface undulation.

The German scientific school elaborated a number of appliances for FANT of engine cylinders [3]. The appliances are designed in such a way that their polishing core (tool) revolves round its axis. That allows providing [4]:

- in-line contact of the element including its small area with the surface under polishing. This enables to have high pressure under small pressing force;
- constant change in the area of the contact in the process of FANT.

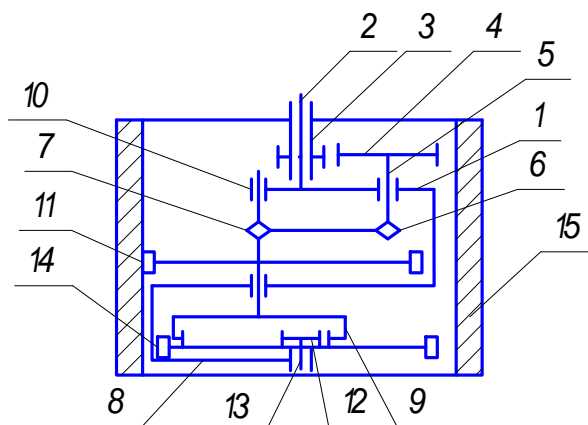
So, it was specified [3-4], that the maximum hardening of the steel and pig iron surfaces happens when there is an in-line contact between the tool and the part under treatment.

There is another example of liners treatment in metal plaque lubricant where buffing wheels are mounted on the honing head and are used as the tool [5].

The appliances on the basis of the honing machine with application of special honing head which has abrasive and antifriction sticks can be used for FANT of cylinder liners [6-8].

In work [5] the attention is drawn to the practicability of making a tool for FANT on the basis of the honing head which provides its centering relatively to the treated hole. The author recommends using brass L62 or L63 as the material for the polishing element. A higher content of brass is not desirable as it results on plastic features of the material.

The appliance for FANT of cylinder faces in metal plaque lubricants was elaborated which shown in Picture 2 [12].

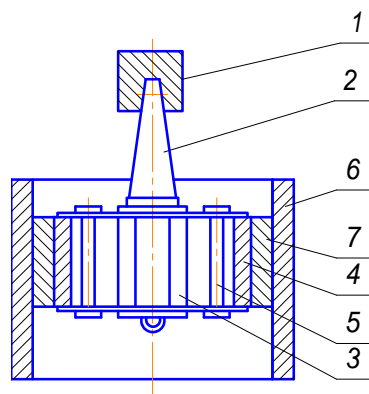


1 – housing; 2 – drive shaft; 3 – sun gear; 4, 12 – satellite; 5, 10, 13 – shaft; 6, 7 – sprocket;  
8 – adjusting housing;  
9 – crown wheel; 11, 14 – brush; 15 – part

Picture 2 – Kinematic scheme of the appliance for frictional and mechanical coating in metal plaque lubricants

The demerit of this appliance is the complexity of the design.

In Kirovohrad institute of agricultural machine building there was elaborated the appliance for frictional and chemical coating on the internal working surfaces of parts of the “bushing” type. (Picture 3) [13].

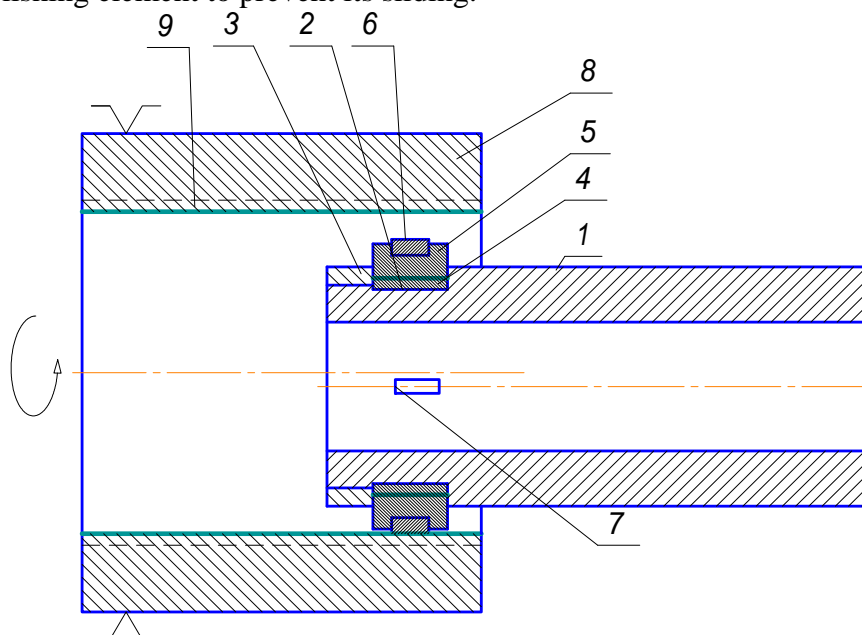


1 – rotating mechanism; 2 – drive shaft; 3 – disc; 4 – mount; 5 – axis; 6 – part; 7 – polishing unit

Picture 3 – Appliance for frictional and chemical coating with application of elastic porous elements

The authors highlight the productivity increase but the treatment accuracy remains low.

Orel State Agrarian University designed the appliance for antifriction coating of the internal cylinder surfaces of parts of aluminium alloys with oxide coating which was formed by anode-cathode micro-arc oxidation (Picture 4) [14]. The peculiar feature of the appliance is that in the housing, in the springing and in the deforming circular elements there was a through groove for fixing polishing element to prevent its sliding.



1 – housing; 2 – circular turning with thread; 3 – retainer washer; 4 – springing element; 5 – deforming element; 6 – polishing element; 7 – through groove; 8 – part; 9 – oxide coating

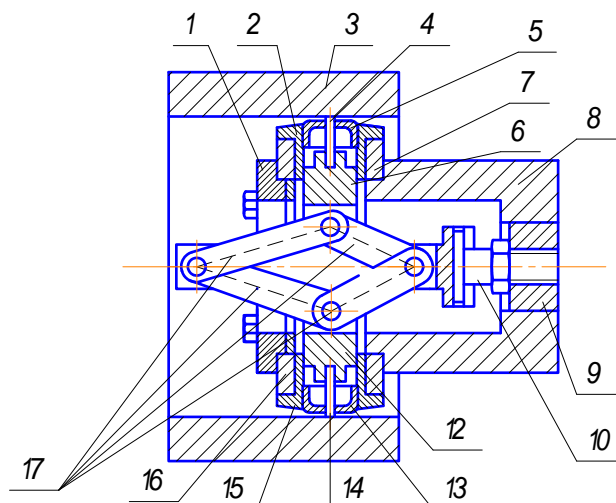
Picture 4 – Appliance for antifriction coating of internal cylinder surfaces of parts of aluminium alloys with oxide coating

The advantage of the appliance is the broadening of technological abilities of friction and mechanical laying of antifriction coating through decreasing contact pressure in the area of treatment. The disadvantage is the complexity of the design.

In order to increase the wearability of the surfaces under treatment, productivity of the process of coating and the quality of the coating the appliance for friction and mechanical coating of internal cylinder surfaces in the alloy of Ga and In was designed [15]. While treatment of a part the appliance makes simultaneous reciprocating and rotational movement, and the direct

resistance sintering through the pair “tool-part” allows keeping the material in the condition of melt.

The specific feature of the appliance (Picture 5) for FANT of cylinder liners is the presence of two polishing elements and the absence of sputtering of service liquid while treating the inner surface [16].

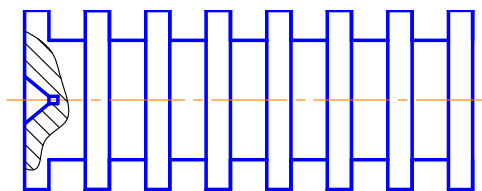


1 – cover; 2, 15 – pilot bushes; 3 – surface under treatment; 4, 14 – brass rod; 5, 13 – nuts; 6, 12 – moving stock; 7, 16 – barrel; 8 – head; 9 – drawbar; 10 – bolt; 11 – plug coupler; 17 – lever

Picture 5 – FANT scheme of cylinder liners

The application of the appliance allowed increasing the speed of treatment but the wearability of the parts was not changed.

Horlovka branch of Donetsk Polytechnic Institute designed the mounting for FANT of cylinder liners [17], based on the principle of honing. They changed ceramic bars in the honing head for the brass rollers (Picture 6) which have overhang working collars.



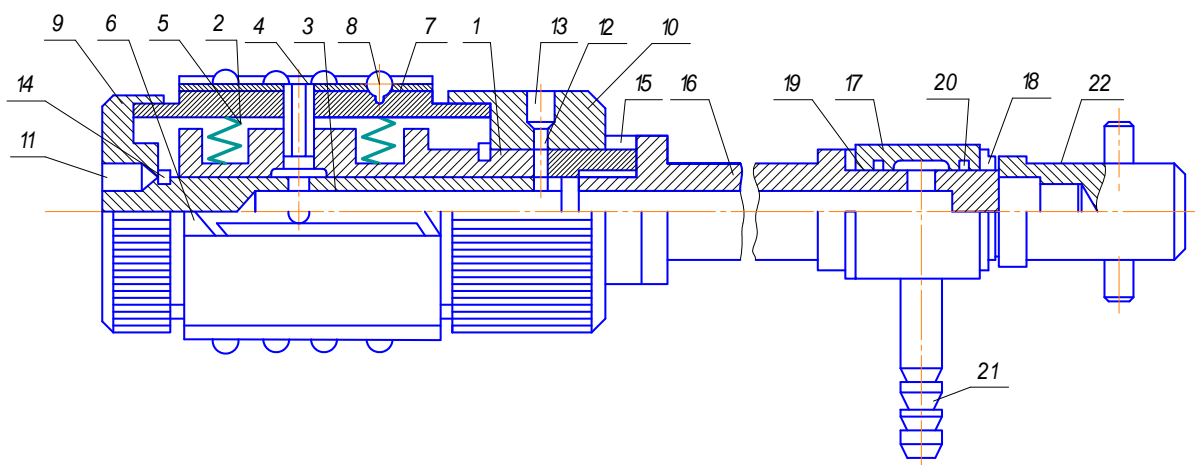
Picture 6 – Brass roller for the honing head

This design enabled increasing the pressure on the working surface of the cylinder and to create conditions for intensive carrying over of the material from the roller onto cylinder. The disadvantage of this design is the failure to adjust the pressure of the tool on the working surface and as a result the quality of treatment decreases.

The analysis of the methods of finishing treatment of holes showed that the most effective are the methods of combined treatment from the point of view of increasing wearability and durability of adherence of coatings with basis [18]. The possibility of combining FANT with the methods of the surface-plastic deformation (SPD) will allow increasing the productivity of the process and the quality of finishing treatment of holes.

So, on the basis of the vertical honing machine and the honing head we designed the appliance with vibro-oscillating circuit which provides antifriction strengthening treatment of cylinder liners with the formation of constant micro-relief on the inner cylinder surfaces of the parts [19]. The suggested design of the tool let making coating the surface under treatment with antifriction layer as a result of polishing it with polishing bars made of antifriction material

and feeding to the treatment area of the solution of surface-active agents simultaneously. This enabled harden the surface of the part with the coating (Picture 7). At the same time the treatment productivity remains low.



1 – housing; 2 – balance spring; 3 – axis; 4 – connecting tubes; 5 – mount; 6, 7 – antifriction bars; 8 – deforming element (roller); 9, 10 – bushing; 11, 13 – bolt; 12 – plunger; 14 – Grover washer; 15 – measuring ring; 16 – rod; 17 – clutch; 18 – connecting tube; 19, 20, 21 – rings; 22 – bushing

Picture 7 – Appliance for the combined antifriction and hardening treatment of holes

Despite the immense experience of treatment of cylinder liners and the presence of the equipment the author of the FANT method states [20] that the existent appliances of mounting do not provide necessary productivity in mass treatment of cylinders. It is connected with the fact that the polishing elements (tools) are only one-three brass rods with diameter 3...4 mm. which makes to accomplish several passages of the tool in order to cover with brass film all the surface of a cylinder.

It important to notice that the designed technologies of FANT of cylinder liners and appliances for their application do not give necessary hardening of working surface of cylinder and do not provide optimum wearability of the part.

Taking into consideration the peculiar features of the appliances for FANT of cylinder liners the authors [21,22] developed the appliances which help solving the above-mentioned problems.

**Conclusion.** The analysis of the existent appliances for FANT of cylinder liners enabled making the following conclusions:

1. The employed appliances have low productivity and do not provide high wearability of the part.

2. In order to increase the efficiency of the treatment it is necessary to use the combined schemes, for example, combination of FANT with SPD methods which demands the development of new mounting.

3. The application of the designed by the authors certain appliances for FANT of holes and cylinder liners, in particular, enabled increasing the productivity and the quality of treatment.

## References

1. Балабанов В.И. Нанесение трением наноразмерных антифрикционных покрытий на детали машин [Текст] / В.И. Балабанов, В.Ю. Болгов, С.А. Ищенко // Нанотехнологии, экология, производство. – 2010. – № 1(3). – С. 104-107.
2. Нанотехнологии и наноматериалы в агропромышленном комплексе: науч. изд. [Текст] / авт.: В.Ф. Федоренко, М.Н. Ерохин, В.И. Балабанов, Д.С. Буклагин, И.Г. Голубев, С.А. Ищенко. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2011. – 312 с.

3. Готтлиб Польцер Основы фрикционного нанесения покрытия в условиях селективной передачи [Текст] / Польцер Готтлиб // РВМ (Ремонт. Восстановление. Модернизация). – 2010. – № 10. – С. 23-28.
4. Гаркунов Д.Н. Финишная антифрикционная безабразивная обработка (ФАБО) поверхностей трения деталей [Текст] / Д.Н. Гаркунов // РВМ (Ремонт. Восстановление. Модернизация). – 2009. – № 5. – С. 24-29.
5. Челюбеев В.В. Разработка и оптимизация режимов фрикционного латунирования для улучшения приработки гильз цилиндров двигателей в условиях ремонтного производства: дис. ...канд. тех. наук [Текст] / В. В. Челюбеев. – М., 1998. – 108 с.
6. Носихин П.И. Антифрикционная безабразивная обработка отремонтированных гильз цилиндров дизелей [Текст] / Междун. науч.-практ. конф. Доклады и тезисы. Т.2, 1998. – С. 177-179.
7. Приходько И.Л. Повышение послеремонтного ресурса гильз цилиндров автотракторных двигателей финишной антифрикционной безабразивной обработкой (ФАБО): дис. ...канд. техн. наук [Текст] / И.Л.Приходько.– М.: МИИСП, 1993.–150 с.
8. Стрельцов В.В., Приходько И.Л., Некрасов С.С. и др. Финишная антифрикционная безабразивная обработка (ФАБО) деталей. Пушино: ОНТИПНЦРАН, 1996. – 107 с.
9. Черновол М.И. Способы формирования антифрикционных покрытий на металлические поверхности трения [Текст] / М.И. Черновол, И.В. Шепеленко // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету «Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація», 2012. – Вип.25(1). – С. 3 – 8.
10. Черновол М.І. Пристрої для фрикційно-механічного нанесення покриттів [Текст] / М.І. Черновол, І.В. Шепеленко// Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету, 2013. – Вип.26. – С. 58 – 62.
11. Mykhailo Chernovol. Selection of a processing medium for the finishing antifriction nonabrasive treatment [Text] / Mykhailo Chernovol, Igor Shepelenko, Budar Mohamed R.F. // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. 2015. – Вип.28. – С. 19 – 23.
12. А.С. 1235990 СССР. Устройство для фрикционно – механического нанесения покрытий [Текст] / О.В. Чекулаев, Г.В. Симонов, С.А. Терешкин, В.Н. Агеенко, И.А. Зимин. –1986. – Бюл. №21.
13. Соколенко И.Н. Технология поверхностного упрочнения гильз цилиндров двигателей раскатыванием с одновременным нанесением медного покрытия при их восстановлении: дис. ...канд. тех. наук [Текст] / И.Н. Соколенко. – Саратов, 1990. – 150 с.
14. Пат. 2287025 Российская Федерация, С23 С26/00. Способ фрикционно-механического нанесения антифрикционных покрытий на внутренние цилиндрические поверхности деталей и устройство для его осуществления [Текст] / В.Л. Басинюк, Е.И. Мардосевич, А. В. Коломейченко [и др.]. – № 2005117285/02; заявл. 06.06.2005; опубл. 10.11.2006. Бюл. № 31. – 9 с.
15. Пат. 2186875 Российская Федерация, С23 С26/00. Устройство для фрикционно-механического нанесения покрытий/ Колчаев А.М.; Нещадим И.Л.; Савинков И.А. [и др.]. – № 2000100155/02 ; заявл. 05.01.2000; опубл. 10.08.2002.
16. Гаркунов Д.Н. Финишная антифрикционная безабразивная обработка (ФАБО) поверхностей трения деталей [Текст] / Д.Н. Гаркунов // РВМ (Ремонт. Восстановление. Модернизация). Карамелизованные апельсины в шоколаде. – 2009. – № 5. – С. 24-29.
17. Намаконов Б.В. Повышение долговечности гильз цилиндров двигателей внутреннего сгорания способом ФАБО [Текст] / Б.В. Намаконов // Долговечность трущихся деталей машин. –М.: Машиностроение, 1990. – Вып.4. – С.139-144.
18. Черновол М.И. Повышение качества финишной обработки отверстий [Текст] / М.И. Черновол, И.В. Шепеленко, Будар Мохамед Р.Ф.// Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету «Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація», 2016. – Вип.29. – С.104-111.
19. Сорокин В.М. Комбинированный метод совмещенного натирания и упрочнения вибронакатыванием покрытий внутренних поверхностей цилиндров [Текст] / В.М. Сорокин, М.Е. Суслик, С.С. Танчук // РВМ (Ремонт. Восстановление. Модернизация). – 2008.– № 3. – С. 2-4.
20. Гаркунов Д.Н. Финишная антифрикционная безабразивная обработка (ФАБО) поверхностей трения деталей [Текст] / Д.Н. Гаркунов // РВМ (Ремонт. Восстановление. Модернизация). –2009. – № 6. – С. 38-42.
21. Черновол М.И. Комбинированный метод обработки поверхностей трения [Текст] / М.И. Черновол, И.В. Шепеленко, Варума Арифа// Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград: КНТУ, 2011. – Вип.24, Ч.ІІ. – С.13-16.
22. Mykhailo Chernovol. Effectiveness increase in application of FANT of the components of mobile agricultural machines [Text] / Mykhailo Chernovol, Igor Shepelenko, Budar Mohamed R.F.// Збірник

наукових праць Кіровоградського національного технічного університету «Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин». 2015. – Вип.45(1). – С. 10 – 13.

**М.І. Черновол, проф., д-р техн. наук, І.В. Шепеленко, доц., канд. техн. наук, Будар Мохамед Р.Ф., асп.**

*Кіровоградський національний технічний університет, м.Кропивницький, Україна*

#### **Пристрої для ФАБО гільз циліндрів**

Метою даної роботи є аналіз існуючих конструкцій пристроїв для ФАБО гільз циліндрів з подальшою розробкою загальних рекомендацій щодо їх удосконалення.

Доведено, що ФАБО гільз циліндрів має безперечні переваги у порівнянні зі традиційними способами їх обробки. Проте, існуючі технології ФАБО та обладнання для її здійснення характеризуються низькою продуктивністю, не забезпечують підвищення зносостійкості деталі. Збільшити продуктивність та якість обробки деталі можливо за рахунок застосування нових схем ФАБО, а також модернізації інструментів для фінішної обробки.

Використання розроблених авторами ряду конструкцій пристроїв для ФАБО отворів, зокрема гільз циліндрів, дозволило підвищити продуктивність і якість обробки деталей.

**фінішна антифрикційна безабразивна обробка, пристрій, гільза циліндрів, антифрикційне покриття, комбінована обробка**

Одержано 07.11.16

**УДК 631.1, 631.3**

**С.М. Мороз, доц., канд. техн. наук, І.І. Єніна, доц., канд. техн. наук, А.С. Мороз, студ.**

*Кіровоградський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

*E-mail: morozandrii@ukr.net*

## **Інформаційне забезпечення сільськогосподарського виробництва**

В статті розглянуто сучасне програмне забезпечення, призначене для використання в рослинництві та тваринництві, а також для накопичення інформації та своєчасного реагування інженерної служби. Використання сучасних технологій мобільного зв'язку – 3G та 4G, дозволить фермерам, менеджерам, агрономам, інженерам і зоотехнікам слідкувати за станом полів, рослин, техніки та приміщень в режимі реального часу.

**комп'ютерні технології, електронний офіс, програмне забезпечення, модуль програми, "хмарні" технології**

**С.Н. Мороз, доц., канд. техн. наук, І.І. Єніна, доц., канд. техн. наук, А.С. Мороз, студ.**

*Кіровоградський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

#### **Информационное обеспечение сельскохозяйственного производства**

В статье рассмотрено современное программное обеспечение, предназначенное для использования в растениеводстве и животноводстве, а также для накопления информации и своевременного реагирования инженерной службы. Использование современных технологий мобильной связи – 3G и 4G, позволит фермерам, менеджерам, агрономам, инженерам и зоотехникам следить за состоянием полей, растений, техники и помещений в режиме реального времени.

**компьютерные технологии, электронный офис, программное обеспечение, модуль программы, "облачные" технологии**

**Постановка проблеми.** В сучасних сільськогосподарських машинах та обладнанні все більш широко застосовують засоби автоматизації та комп'ютерну техніку. Особливо широко вони почали застосовуватися після розробки основних засад та впровадження в сільському господарстві систем точного землеробства. Саме вони прискорили та розширили сфери використання комп'ютерної техніки в сільськогосподарських машинах.

Однак використання інформації по виконанню технологічних процесів, яку комп'ютери збирають, обробляють та надають безпосередньо механізаторам чи операторам, доцільно накопичувати, систематизувати, обробляти та зберігати. Це дозволить в майбутньому зменшити витрати на виробництво продукції, планувати технічні огляди та профілактичні ремонти техніки до виходу з ладу деталей та вузлів.

Обмін інформації між різними службами в господарстві вимагає впровадження електронного обміну інформацією. Використання баз даних різними службами за видом своєї діяльності, як, наприклад, агрономічною, інженерною чи бухгалтерією дозволяє контролювати різні процеси та, за необхідності, оперативно вносити необхідні зміни. Крім того, значно зменшується час на документообіг між службами чи керівництвом підприємства. Тобто електронний документообіг дозволяє зменшити не тільки витрати часу на обіг документів всередині установи чи компанії та за її межі, а також раціонально використовувати трудові ресурси, що дозволяє значно скоротити фінансові витрати.

Електронний офіс – технологія обробки інформації в установі електронними засобами, що базується на обробці даних, документів, таблиць, текстів, зображень, графіків. Він дозволяє ефективно вирішувати широкий спектр завдань, що стоять перед кожним підприємством, яке прагне до оптимізації трудовитрат:

- скорочує операційні витрати на управління і прискорює прийняття рішень;
- знижує непередбачені/надмірні витрати;
- підвищує якість роботи з клієнтами, іншими підприємствами, включаючи звітні документи;
- підвищує ефективність командної роботи.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Сьогодні в Україні на ринку програмного забезпечення для сільського господарства присутні багато програм. Однак серед них слід виділити найбільш універсальну за своїм призначенням та застосуванням – інтегровану систему "AGRAR-OFFICE" – продукт німецької компанії LAND-DATA Eurosoft GmbH & Co KG [1–4].

В перших версіях програма складалася з трьох модулів: "Польовий журнал", "ГІС-Електронні карти полів", "Точне землеробство й агрохімічне дослідження ґрунтів". На сьогоднішній день програма розширена багатьма підмодулями, які входять до трьох модулів "Рослинництво", "Виробництво" та "Тваринництво". Програма має русифіковану версію для використання в Україні, Молдові, Білорусі та країнах Балтії.

Модуль "Рослинництво" складається з наступних підмодулів:

- Карта полів;
- Мобільна карта полів;
- Оренда та управління земельними ресурсами;
- ГІС;
- Мобільна ГІС;
- Управління виправленнями;
- Управління складом;
- Планування добрив;

- АЛКІС кадастровий;
- Облік паїв;
- Онлайн GPS.

Програмне забезпечення отримало сертифікат стандартів ISO та сумісне з програмним забезпеченням бортових комп'ютерів провідних виробників сільськогосподарської техніки JD Офіс LU/LW/AG (John Deer), ICAN Office Pack (KRONE), CNH (New Holland) тощо, що дає змогу використовувати обладнання за принципом "підключив і працюй" (Plug and Play).

Модуль "Виробництво" дає змогу інженерам контролювати кінематичні, енергетичні й якісні показники технологічних процесів під час роботи агрегатів у полі, а також створювати технологічні карти полів з відображенням техніко-економічних показників роботи кожного агрегату на будь якому полі.

Окрім цього, в цьому модулі можна планувати майбутні витрати на сервісне обслуговування та робити заявки на його проведення в майбутньому, спостерігати за погодними умовами, створювати бізнес-плани, контролювати витрати та прибутки тощо.

Модуль "Тваринництво" дозволяє розробляти та контролювати розпорядок дня тварин на фермі, контролювати та змінювати мікроклімат в приміщеннях, вести облік виробленої продукції. Програма дозволяє створювати картки обліку по кожній свиноматці, кнуру, корові.

Версія програмного забезпечення для мобільних телефонів, планшетів та КПК з функцією GPS навігації – АО Mobile передбачає:

- створення цифрових карт полів і контурів ГСП;
- побудову і вимірювання площ, шляхів і т. п.;
- аналіз роботи та обслуговування сільськогосподарської техніки;
- облік матеріальних та фінансових витрат;
- відображення географічних координат ділянок підприємства;
- імпорт/експорт даних в програмне забезпечення;
- польовий журнал в КПК;
- паралельне водіння.

Однак на сьогоднішній день важливо на відстані від об'єкту спостережень володіти інформацією його стану та якості виконаної ним роботи в режимі реального часу, яку можуть одночасно використовувати кілька користувачів.

Це дозволяють робити "хмарні" технології.

**Постановка завдання.** Мета роботи – розглянути сучасне програмне забезпечення електронного документообігу в сільськогосподарському виробництві та технології одночасного доступу до інформації працівників різних служб і відділів в режимі реального часу. Визначити переваги даної системи управління господарством, а також засоби для її впровадження. Обґрунтувати перспективи застосування електронного документообігу та технологій доступу до інформації у сільському господарстві України.

**Виклад основного матеріалу.** "Хмарні" технології (рис. 1) – зручне середовище для зберігання і обробки інформації, яке об'єднує в собі апаратні засоби, ліцензійне програмне забезпечення, канали зв'язку, а також технічну підтримку користувачів. Робота в "хмарах" спрямована на зниження витрат і підвищення ефективності роботи підприємств.

Виділяють наступні категорії "хмар" (рис. 2) [5]:

– «Приватна хмара (англ. Private cloud)» – інфраструктура, призначена для використання однією організацією, яка включає кілька споживачів (наприклад, підрозділів однієї організації). Приватна хмара може перебувати у власності, управлінні і експлуатації як самої організації, так і третьої сторони (або будь-якої їх комбінації), і вона може фізично існувати як всередині, так і поза юрисдикцією власника.

– «Публічна хмара (англ. Public cloud)» – інфраструктура, призначена для вільного використання широкою публікою. Публічна хмара може перебувати у власності, управлінні і експлуатації комерційних, наукових та урядових організацій (або будь-якої їх комбінації). Публічна хмара фізично існує в юрисдикції власника – постачальника послуг.

– «Гібридна хмара (англ. Hybrid cloud)» – комбінація з двох або більше різних хмарних інфраструктур (приватних, публічних), які залишаються унікальними об'єктами, але пов'язані між собою стандартизованими або приватними технологіями передачі даних і додатків (наприклад, короткочасне використання ресурсів публічних хмар для балансування навантаження між хмарами).

Що стосується послуг, що надаються хмарними системами, то на сьогоднішній день концепція хмарних обчислень передбачає надання наступних типів своїм користувачам [6]:

– «Все як послуга (Everything as a Service)». При такому виді сервісу користувачеві буде надано все: від програмно-апаратної частини і до управління бізнес процесами, включаючи взаємодію між користувачами, від користувача вимагається тільки наявність доступу в мережу Інтернет. На наш погляд, даний вид сервісу – це більш поняття по відношенню до нижченаведеними послуг, які є більш окремими випадками;



Рисунок 1 – "Хмарні" обчислення

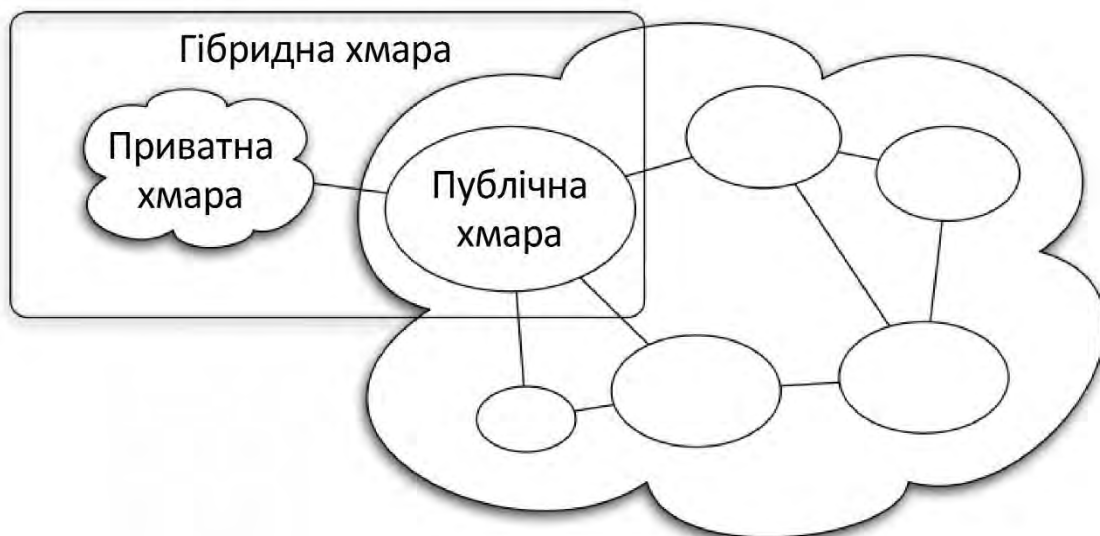


Рисунок 2 – Взаємодія категорій "хмар"

– «Інфраструктура як послуга (Infrastructure as a service)». Користувачеві надається комп'ютерна інфраструктура, зазвичай віртуальні платформи (комп'ютери), зв'язані в мережу, які він самостійно налаштовує під власні цілі;

– «Платформа як послуга (Platform as a service)». Користувачеві надається комп'ютерна платформа з встановленою операційною системою, можливо і з програмним забезпеченням;

– «Програмне забезпечення як послуга (Software as a service)». Даний вид послуги зазвичай позиціонується як "програмне забезпечення на вимогу" – це програмне забезпечення, розгорнуте на віддалених серверах і користувач може отримувати до нього доступ за допомогою Інтернету, причому всі питання оновлення та ліцензій на дане програмне забезпечення регулюється постачальником даної послуги. Оплата в даному випадку проводиться за фактичне використання програмного забезпечення;

– «Апаратне забезпечення як послуга (Hardware as a Service)». В даному випадку користувачеві послуги надається обладнання на правах оренди, яке він може використовувати для власних цілей. Даний варіант дозволяє економити на обслуговуванні даного обладнання, хоча за своєю суттю мало чим відрізняється від виду послуги "Інфраструктура як сервіс", за винятком того, що ви маєте "голе" обладнання, на основі якого розвертаєте свою власну інфраструктуру з використанням відповідного програмного забезпечення;

– «Робоче місце як послуга (Workplace as a Service)». В даному випадку компанія використовує хмарні обчислення для організації робочих місць своїх співробітників, налаштувавши і встановивши все необхідне програмне забезпечення, необхідне для роботи персоналу;

– «Дані як послуга (Data as a Service)». Основна ідея даного виду послуги полягає в тому, що користувачеві надається дисковий простір, який він може використовувати для зберігання великих обсягів інформації;

– «Безпека як сервіс (Security as a Service)». Даний вид послуги надає можливість користувачам швидко розгортати продукти, що дозволяють забезпечити безпечне використання веб-технологій, безпеку електронного листування, а також

безпеку локальної системи. Це дозволяє користувачам даного сервісу економити на розгортанні та підтримці своєї власної системи безпеки.

**Висновки.** Застосування хмарних технологій та мобільних мереж стандартів 3G і 4G дозволить, крім вище згаданих функцій, застосовувати нові [7–8]:

- передавання інформації з датчиків трактора, комбайна, сівалки, обприскувача та іншого сільськогосподарського обладнання на хмару, що дозволяє в режимі реального часу слідкувати за роботою і станом тракторів та машин, та а також створювати бази даних за результатами виконання робіт;

- віддалений нагляд за виконанням роботи одному, чи декільком користувачам;

- використання моделі хмарних обчислень «Програмне забезпечення як послуга (SaaS – Software-as-a-Service)» для миттєвого обчислення ефективності роботи та витрат при використанні мінімальної кількості апаратних на програмних засобів (інтернет, комп'ютер, планшет або мобільний телефон, браузер);

- миттєво звітувати про виконану роботу та її якість замовнику.

## Список літератури

1. Agrar Office [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.agrar-office.de>
2. Software АО Agrar-Office [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.farmfacts.de/-produkte/ao-agrar-office/>
3. АО mobile [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://agro-soft.ru/production/ao-mobile/>
4. Кислицина Е.В. Анализ функциональных возможностей программы "Аграр-Офис" [Текст] / Е.В. Кислицина, А.М. Кудабаява, Д.С. Нардин // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. – 2016. – №1(4) январь-март. – С. 27-33.
5. "Облачные" технологии в образовании [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://wiki.vspu.ru/-workroom/tehnol/index>
6. Облачные технологии: основные понятия, задачи и тенденции развития [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://swsys-web.ru/cloud-computing-basic-concepts-problems.html>
7. 3G і 4G - що це таке? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ukr.media/science/218758/>
8. Хмарні технології [Електронний ресурс]/Вікіпедія. – Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Хмарні\\_технології](https://uk.wikipedia.org/wiki/Хмарні_технології)

**Serhiy Moroz, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Iryna Yenina, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Andriy Moroz, stud.**  
*Central Ukrainian National Technical University, Kropivnitskiy, Ukraine*

### **Information support agricultural production**

The development of precision farming has prompted manufacturers of agricultural machinery for use in machines, tractors and combines computer technology, which allows you to monitor and quickly change the technological parameters and modes of their units without stopping.

Integrated "AGRAR-OFFICE" company LAND-DATA Eurosoft GmbH & Co KG designed to monitor and control the production of crops and livestock. The software is certified according to the standards of ISO, which allows you to interact with the software manufacturers of agricultural machinery on a "Plug and Play" as well as monitor the status of equipment.

The development of 3G and 4G communication and "cloud" technology allows transfer operation of this software with offline mode in real time. In addition, these technologies can work with the information received multiple users simultaneously. This reduces labor costs, save material and financial resources of agricultural products.

**computer technology, electronic office, software module applications, cloud computing**

Одержано 18.11.16

УДК 631.362.3

**О.В. Нестеренко, асист., С.М. Лещенко, доц., канд. техн. наук, Д.І. Петренко, доц., канд. техн. наук, С.Я. Гончарова, доц., канд. фіз.-мат. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна  
E-mail: petrenko.dimitriy@gmail.com*

**Ю.В. Мельник, доц., канд. техн. наук**

*Державний аграрний університет Молдови, м. Кишинів, Молдова*

## Дослідження безконтактного руху легких домішок у вертикальному пневмосепаруючому каналі

В статті розглянуто безконтактний рух легких частинок в вертикальному ПСК при їх багаторівневому одношаровому введенні. При прийнятих допущеннях отримані закономірності безконтактного руху легких частинок в ПСК, які дозволяють визначити раціональні параметри живильного пристрою. В результаті теоретичного аналізу визначено час перебування легких частинок в ПСК при їх безконтактному русі та зону їх виділення під час розділення зернової суміші повітряним потоком.

**розділення зернової суміші, сепарація, повітряний потік, зерновий матеріал, пневмосепаруючий канал (ПСК), рух легких частинок**

**А.В. Нестеренко, асист., С.Н. Лещенко, доц., канд. техн. наук, Д.І. Петренко, доц., канд. техн. наук, С.Я. Гончарова, доц., канд. фіз.-мат. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет, г. Кропивницький, Україна*

**Ю.В. Мельник, доц., канд. техн. наук**

*Государственный аграрный университет Молдовы, г. Кишинев, Молдова*

**Исследование бесконтактного движения лёгких примесей в вертикальном пневмосепарирующем канале**

В статье рассмотрено бесконтактное движение лёгких частиц в вертикальном ПСК при их многоуровневом однослойном введении. При принятых допущениях получены закономерности бесконтактного движения лёгких частиц в ПСК, которые позволяют определить рациональные параметры питающего устройства. В результате теоретического анализа определено время пребывания лёгких частиц в ПСК при их бесконтактном движении и зону их выделения при разделении зерновой смеси воздушным потоком.

**разделение зерновой смеси, сепарація, воздушный потік, зерновий матеріал, пневмосепарирующий канал (ПСК), движение зерновых частиц**

**Постановка проблеми.** Раціональне використання повітряного потоку під час розділення зернової суміші є однією з основних задач в пневмосепарації. При цьому, необхідним є забезпечення відповідної якості очищення зі збільшенням продуктивності зерноочисних машин (ЗОМ). В більшості випадків це стосується пневмосистем ЗОМ, які мають значно нижчі показники питомої продуктивності, ніж у решітної. Тому вдосконалення та розробка нових конструкцій пневмосистем є важливою і актуальною задачею.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблема вивчення закономірностей поведінки зернового матеріалу в повітряному потоці й досі залишається не повністю вивченою, оскільки цей процес носить стохастичний характер і є взаємозалежним від багатьох факторів.

Теоретичними дослідженнями пневмосепарації займалось багато вчених [1-5], але при цьому недостатньо уваги приділено умовам введення зернової суміші в пневмосепараційний канал (ПСК). Як показують дослідження [6], значна частина площі поперечного перерізу ПСК працює неефективно внаслідок нерівномірного розподілення зернового матеріалу, через що погіршується ефективність сепарації на 20% і продуктивність на 25%.

Одним із ефективних способів вирішення цієї проблеми є застосування багатоструменевого введення зернового матеріалу. Автором [7] обґрунтовано ефективність утворення зернових струменів, які формують зернові мікроканали при введенні матеріалу у похилий канал, що сприяє зменшенню аеродинамічного опору суміші та вирівнюванню швидкісного поля повітряного потоку. Але при значному підвищенні питомої продуктивності збільшується товщина зернових струменів, що негативно впливає на якісні показники процесу сепарації.

В роботі [8] розглянуто питання раціональної подачі зернової суміші в повітряний потік. Визначені умови, при яких забезпечується мінімально необхідний розподіл зернової суміші по площі перерізу ПСК. Але при цьому, відсутній аналіз руху зернових часток в означених умовах, що не дозволяє аналітично оцінити та використати його для подальших досліджень.

За результатами теоретичного аналізу в роботі [9] обґрунтовано раціональну щільність часток при введенні матеріалу в ПСК, отримано умови, при яких забезпечується максимально можлива подача без зниження ефективності процесу в залежності від показників введення в повітряний потік.

В роботі [10-11] авторами доводиться необхідність розшарування зернового матеріалу при введенні з метою збільшення площі його контакту з повітряним потоком, особливо при підвищенні питомого навантаження на ПСК.

На основі аналізу вище приведених досліджень було проведено аналітичне дослідження руху зернових часток в вертикальному ПСК при їх однорівневому одношаровому введенні [12]. Отримані теоретичні залежності дозволяють знайти раціональні конструктивно-технологічні параметри ПСК та визначити час перебування зернової частки в зоні дії повітряного потоку.

Але постає питання дослідження взаємодії легких домішок з повітряним потоком та зерною фракцією в умовах багатшарового введення матеріалу до ПСК.

**Постановка завдання.** Враховуючи недостатнє аналітичне дослідження процесу пневмосепарації зернового матеріалу при його багатшаровому русі в ПСК, є необхідним встановлення закономірностей взаємодії повітряного потоку із легкими домішками при їх безконтактному польоті в ПСК.

**Виклад основного матеріалу.** Розглянемо багаторівневий потік зернової суміші, тобто потік, в якому шари (зернові, домішок) в ПСК знаходяться один над одним з певним інтервалом і мають однакові кінематичні характеристики.

Відповідно, одна частина легких домішок під час розділення буде контактувати з зерновими частками, а інша буде рухатись без контакту з зерном. Розглянуто переміщення останніх при потраплянні до ПСК.

Для аналізу об'єкту досліджень приймаємо наступні припущення:

- шари зернового матеріалу в ПСК не перемішуються;
- усереднені зернина і домішка мають форму кулі однакового розміру;
- маса окремо взятої усередненої зернини набагато більша маси усередненої домішки;
- об'ємний вміст домішок не перевищує 10%;
- зерновий матеріал та домішки рівномірно розташовані в потоці кожного шару.

При русі домішок в повітряному потоці на них діють сила ваги  $P = m_\delta g$ , сила інерції  $m_\delta a$  і сила опору повітря  $F_{on.\delta}$ :

$$m_\delta a + P + F_{on.\delta} = 0, \quad (1)$$

де  $m_\delta$  – маса домішки;

$a$  – прискорення частки.

Сила опору повітря пропорційна квадрату швидкості:

$$F_{on.\delta} = -|V|V m_\delta k_\delta, \quad (2)$$

де  $V = (\dot{x}, \dot{y} - V_n)$  – вектор швидкості руху домішки відносно повітряного потоку;

$k_\delta$  – коефіцієнт парусності домішки.

В проекціях на осі системи ОХУ рівняння руху частки має вигляд:

$$\begin{cases} \ddot{x} = -\sqrt{\dot{x}^2 + (\dot{y} - V_n)^2} \dot{x} k_\delta, \\ \ddot{y} = -g - \sqrt{\dot{x}^2 + (\dot{y} - V_n)^2} (\dot{y} - V_n) k_\delta. \end{cases} \quad (3)$$

Горизонтальна складова швидкості домішки змінюється в межах 0,5 – 0,6 м/с, тому при великій швидкості повітряного потоку ( $V_n = 8$  м/с), маємо:

$$|V| = \sqrt{\dot{x}^2 + (\dot{y} - V_n)^2} \approx |V_n - \dot{y}| = V_n - \dot{y} \quad (4)$$

і рівняння (3) приймають вигляд:

$$\begin{cases} \ddot{x} = -(V_n - \dot{y}) \dot{x} k_\delta, \\ \ddot{y} = k_\delta [(V_n - \dot{y})^2 - V_{e.\delta}^2], \end{cases} \quad (5)$$

де  $V_{e.\delta} = \sqrt{\frac{g}{k_\delta}}$  – швидкість витання домішок.

Понизимо порядок рівнянь зробивши заміни  $\dot{x} = u, \dot{y} - V_n = v$ :

$$\begin{cases} \dot{u} = v u k_\delta, \\ \dot{v} = v^2 - V_{e.\delta}^2. \end{cases} \quad (6)$$

Розв'яжемо друге рівняння системи (6). Розділяємо змінні

$$\frac{1}{k_\delta} \frac{dv}{V_{e.\delta}^2 - v^2} = -dt \quad (7)$$

і інтегруємо:

$$\frac{1}{2k_\delta V_{e.\delta}} \ln \left| \frac{v + V_{e.\delta}}{v - V_{e.\delta}} \right| = -t + C_1^*, \quad (8)$$

де  $C_1^*$  – постійна інтегрування.

Нехай  $C_1^* = \frac{\ln C_1}{2\sqrt{gk_\delta}}$ ,  $C_1 > 0$ , тоді, згідно [12, С. 18, рівність (10)] виражаємо

змінну  $v$

$$v = \begin{cases} -\frac{(1-C_1 e^{-2\sqrt{gk_\delta}t})}{1+C_1 e^{-2\sqrt{gk_\delta}t}} V_{\delta.0} & \text{при } V_{\delta.0} - V_n + \dot{y} > 0, \\ -\frac{(1+C_1 e^{-2\sqrt{gk_\delta}t})}{1-C_1 e^{-2\sqrt{gk_\delta}t}} V_{\delta.0} & \text{при } V_{\delta.0} - V_n + \dot{y} \leq 0. \end{cases},$$

або

$$v = -\frac{1-C_1^{(q)} e^{-2\sqrt{gk_\delta}t}}{1+C_1^{(q)} e^{-2\sqrt{gk_\delta}t}} V_{\delta.0}, \quad (9)$$

де

$$C_1^{(q)} = \begin{cases} C_1 & \text{при } V_{\delta.0} - V_n + \dot{y} > 0, \\ -C_1 & \text{при } V_{\delta.0} - V_n + \dot{y} \leq 0. \end{cases} \quad (10)$$

Робимо зворотню заміну  $v = \dot{y} - V_n$ :

$$\dot{y} = -\frac{1-C_1^{(q)} e^{-2\sqrt{gk_\delta}t}}{1+C_1^{(q)} e^{-2\sqrt{gk_\delta}t}} V_{\delta.0} + V_n. \quad (11)$$

Інтегруючи останнє рівняння, отримуємо:

$$y = -V_{\delta.0} \int \frac{1-C_1^{(q)} e^{-2\sqrt{gk_\delta}t}}{1+C_1^{(q)} e^{-2\sqrt{gk_\delta}t}} dt + V_n t + C_2,$$

де  $C_1^{(q)}, C_2$  – постійні інтегрування.

Враховуючи те, що:

$$\int \frac{1-ae^x}{1+ae^x} dx = x - 2 \ln|1+ae^x|, \quad a \in R \quad (12)$$

маємо

$$y = \frac{V_{\delta.0}}{2\sqrt{gk_\delta}} \left( -2\sqrt{gk_\delta}t - 2 \ln|1+C_1^{(q)} e^{-2\sqrt{gk_\delta}t}| \right) + V_n t + C_2,$$

або

$$y = (V_n - V_{\delta.0})t - \frac{1}{k_\delta} \ln|1+C_1^{(q)} e^{-2\sqrt{gk_\delta}t}| + C_2. \quad (13)$$

Постійні інтегрування  $C_1^{(q)}, C_2$  знаходимо з граничних умов

$$y(0) = y_0, \dot{y}(0) = \dot{y}_0. \quad (14)$$

З (11), (13), (14) отримуємо:

$$y_0 = -\frac{1}{k_\delta} \ln|1+C_1^{(q)}| + C_2, \dot{y}_0 = -\frac{1-C_1^{(q)}}{1+C_1^{(q)}} V_{\delta.0} + V_n,$$

або

$$C_1^{(q)} = \frac{V_{\delta.0} - V_n + \dot{y}_0}{V_{\delta.0} + V_n - \dot{y}_0}, C_2 = y_0 + \frac{1}{k_\delta} \ln \frac{2V_{\delta.0}}{V_{\delta.0} + V_n - \dot{y}_0}. \quad (15)$$

Підставивши (15) в (11), (13), отримуємо

$$\dot{y} = -\frac{\frac{V_{\delta.0} + V_n - \dot{y}_0}{V_{\delta.0} + V_n - \dot{y}_0} - e^{-2\sqrt{gk_\delta}t}}{\frac{V_{\delta.0} - V_n + \dot{y}_0}{V_{\delta.0} + V_n - \dot{y}_0} + e^{-2\sqrt{gk_\delta}t}} V_{\delta.0} + V_n, \quad (16)$$

$$y = (V_n - V_{e,d})t - \frac{1}{k_\delta} \left( \ln \left| 1 + \frac{V_{e,d} - V_n + \dot{y}_0}{V_{e,d} + V_n - \dot{y}_0} e^{-2\sqrt{gk_\delta}t} \right| - \ln \frac{2V_{e,d}}{V_{e,d} + V_n - \dot{y}_0} \right) + y_0. \quad (17)$$

З (17) можна знайти час підйому домішки на задану висоту. Так, наприклад, на висоту  $h$  домішка підніметься за час  $T_h$ , який є розв'язком рівняння:

$$h = (V_n - V_{e,d})T_h - \frac{1}{k_\delta} \left( \ln \left| 1 + \frac{V_{e,d} - V_n + \dot{y}_0}{V_{e,d} + V_n - \dot{y}_0} e^{-2\sqrt{gk_\delta}T_h} \right| - \ln \frac{2V_{e,d}}{V_{e,d} + V_n - \dot{y}_0} \right) + y_0. \quad (18)$$

Переміщення частки по горизонталі знайдемо, розв'язавши перше рівняння системи (6). Підставимо вираз (10) в перше рівняння системи (6)

$$\dot{u} = -k_\delta \frac{1 - C_1^{(q)} e^{-2\sqrt{gk_\delta}t}}{1 + C_1^{(q)} e^{-2\sqrt{gk_\delta}t}} V_{e,d} u. \quad (19)$$

Інтегруємо

$$\ln u = -k_\delta V_{e,d} \int \frac{1 - C_1^{(q)} e^{-2\sqrt{gk_\delta}t}}{1 + C_1^{(q)} e^{-2\sqrt{gk_\delta}t}} dt + \ln C_3,$$

де  $C_3 > 0$  – постійна інтегрування. Враховуючи (12), маємо

$$\ln u = -\frac{k_\delta V_{e,d}}{-2\sqrt{gk_\delta}} \left( -2\sqrt{gk_\delta}t - 2 \ln \left| 1 + C_1^{(q)} e^{-2\sqrt{gk_\delta}t} \right| \right) + \ln C_3,$$

або

$$u = C_3 \frac{e^{-\sqrt{gk_\delta}t}}{\left| 1 + C_1^{(q)} e^{-2\sqrt{gk_\delta}t} \right|} \quad (20)$$

Робимо зворотну заміну ( $u = \dot{x}$ ) і розділяємо змінні

$$dx = C_3 \frac{e^{-\sqrt{gk_\delta}t}}{\left| 1 + C_1^{(q)} e^{-2\sqrt{gk_\delta}t} \right|} dt$$

Інтегруємо і отримуємо

$$x = \begin{cases} \frac{-C_3}{\sqrt{gk_\delta}} \frac{1}{2\sqrt{C_1}} \ln \left| \frac{1 + \sqrt{C_1} e^{-\sqrt{gk_\delta}t}}{1 - \sqrt{C_1} e^{-\sqrt{gk_\delta}t}} \right| + C_4 & \text{при } V_{e,d} - V_n + \dot{y} > 0, \\ \frac{-C_3}{\sqrt{gk_\delta}} \frac{1}{\sqrt{C_1}} \arctg \left( \sqrt{C_1} e^{-\sqrt{gk_\delta}t} \right) + C_4 & \text{при } V_{e,d} - V_n + \dot{y} \leq 0. \end{cases}, \quad (21)$$

де  $C_4$  – постійна інтегрування.

Постійні інтегрування  $C_3, C_4$  знаходимо з граничних умов:

$$x(0) = x_0, \dot{x}(0) = \dot{x}_0. \quad (22)$$

З (20)-(22) маємо:

$$\begin{cases} \dot{x}_0 = \frac{C_3}{\left| 1 + C_1^{(q)} \right|}, \\ x_0 = \begin{cases} \frac{-C_3}{\sqrt{gk_\delta}} \frac{1}{2\sqrt{C_1}} \ln \left| \frac{1 + \sqrt{C_1}}{1 - \sqrt{C_1}} \right| + C_4 & \text{при } V_{e,d} - V_n + \dot{y}_0 > 0, \\ \frac{-C_3}{\sqrt{gk_\delta}} \frac{1}{\sqrt{C_1}} \arctg \sqrt{C_1} + C_4 & \text{при } V_{e,d} - V_n + \dot{y}_0 \leq 0. \end{cases} \end{cases} \quad (23)$$

З останньої системи з врахуванням (див. (10), (16)) маємо

$$C_1 = \begin{cases} \frac{V_{e,d} - V_n + \dot{y}_0}{V_{e,d} + V_n - \dot{y}_0} & \text{при } V_{e,d} - V_n + \dot{y}_0 > 0, \\ -\frac{V_{e,d} - V_n + \dot{y}_0}{V_{e,d} + V_n - \dot{y}_0} & \text{при } V_{e,d} - V_n + \dot{y}_0 \leq 0, \end{cases} \quad (24)$$

Отримуємо

$$C_3 = \frac{2V_{e,d}\dot{x}_0}{V_{e,d} + V_n - \dot{y}_0},$$

$$C_4 = \begin{cases} x_0 + \frac{\dot{x}_0}{k_\delta \sqrt{V_{e,d}^2 - (V_n - \dot{y}_0)^2}} \ln \frac{V_{e,d} + \sqrt{V_{e,d}^2 - (V_n - \dot{y}_0)^2}}{V_n - \dot{y}_0} & \text{при } V_{e,d} - V_n + \dot{y}_0 > 0, \\ x_0 + \frac{2\dot{x}_0}{k_\delta \sqrt{(V_n - \dot{y}_0)^2 - V_{e,d}^2}} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{V_n - \dot{y}_0 - V_{e,d}}{V_n - \dot{y}_0 + V_{e,d}}} & \text{при } V_{e,d} - V_n + \dot{y}_0 \leq 0. \end{cases} \quad (25)$$

Підставивши (23), (25) в (22) маємо

$$x = \begin{cases} x_0 - \left\{ \ln \frac{\left| e^{\sqrt{gk_\delta t}} + \sqrt{\frac{V_{e,d} - V_n + \dot{y}_0}{V_{e,d} + V_n - \dot{y}_0}} \right|}{\left| e^{\sqrt{gk_\delta t}} - \sqrt{\frac{V_{e,d} - V_n + \dot{y}_0}{V_{e,d} + V_n - \dot{y}_0}} \right|} - \right. \\ \left. - \ln \frac{V_{e,d} + \sqrt{V_{e,d}^2 - (V_n - \dot{y}_0)^2}}{V_n - \dot{y}_0} \right\} \frac{\dot{x}_0}{k_\delta \sqrt{V_{e,d}^2 - (V_n - \dot{y}_0)^2}} & \text{при } V_{e,d} - V_n + \dot{y}_0 > 0, \\ x_0 - \left\{ \operatorname{arctg} \left( \sqrt{-\frac{V_{e,d} - V_n + \dot{y}_0}{V_{e,d} + V_n - \dot{y}_0}} e^{-\sqrt{gk_\delta t}} \right) - \right. \\ \left. - \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{V_n - \dot{y}_0 - V_{e,d}}{V_n - \dot{y}_0 + V_{e,d}}} \right\} \frac{2\dot{x}_0}{k_\delta \sqrt{(V_n - \dot{y}_0)^2 - V_{e,d}^2}} & \text{при } V_{e,d} - V_n + \dot{y}_0 \leq 0. \end{cases} \quad (26)$$

З рівності (26) можна знайти час  $T_{ЛПСК}$ , за який домішка пройде канал глибиною  $L_{ПСК}$ .

На рис. 1 представлені графічні залежності траєкторії безконтактного руху легких часток та попередньо встановлені траєкторії зернових фракцій [12] при розділенні зернової суміші в ПСК згідно їх коефіцієнтів парусності, які для легких домішок знаходяться в межах  $0,55 \leq k_\delta \leq 2$ , а для зернової фракції –  $k_\delta = 0,075 \dots 0,14$ .

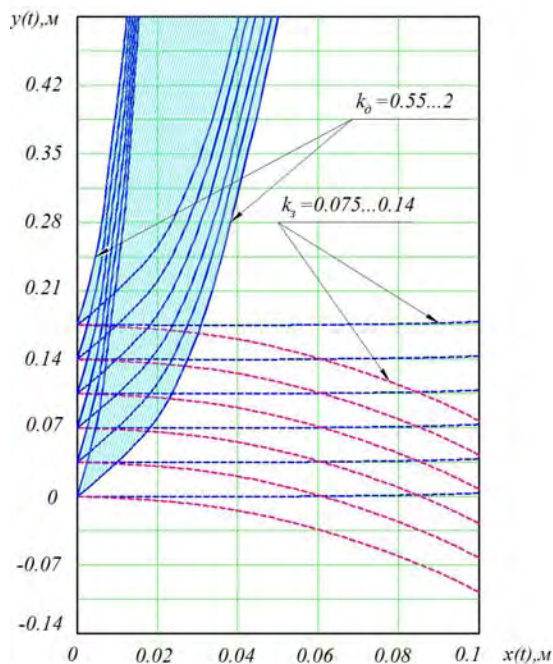


Рисунок 1 – Траєкторії польоту зернових фракцій та легких часток при безконтактному польоті через зернові шари при багаторівневому введенні матеріалу за умов: початкова швидкість введення в ПСК  $v_g = 0,5$  м/с, швидкість повітряного потоку  $V_{ном} = 8,5$  м/с, міжрівнева відстань  $h_{м.р.} = 0,035$  м, кут введення в ПСК  $\alpha_g = 0^\circ$ ; кількість рівнів  $n = 6$

Аналіз графічних залежностей показує, що легкі домішки з нижнього рівня, які не мають контакту з зерновими частками, що рухаються в вище розташованих шарах, в залежності від їх коефіцієнта парусності, виділяються вже до середини ПСК. При цьому, перетинають лінію найвищого зернового шару (при кількості рівнів  $n = 6$ ) на відстані  $L_{ПСК} = 0,03$  м.

Це говорить про те, що значна частина легких домішок, виділившись до третини глибини ПСК в осадову камеру, не впливають на зміну концентрації зернової суміші, і, відповідно, на якість процесу сепарації. При цьому, по траєкторіях польоту домішок видно, що вони, незалежно від рівня введення, виділяються практично в одній зоні. Так, для домішок з коефіцієнтом парусності  $k_\delta = 0,55$  зміщення траєкторії по осі  $x$  відбувається в межах  $0,04 \dots 0,05$  м, а для домішок з  $k_\delta = 2$  зміщення траєкторії відбувається в межах  $0,012 \dots 0,016$  м.

**Висновки.** На основі проведеного теоретичного аналізу встановлена закономірність взаємодії легких частинок зернової суміші з повітряним потоком при безконтактному польоті з багаторівневим одношаровим розміщенням зернового матеріалу в ПСК. Встановлено, що при безконтактному русі легких домішок в ПСК, незалежно від рівня введення, зона їх виділення знаходиться в інтервалі  $0,015 \dots 0,05$  м в залежності від їх коефіцієнтів парусності.

Метою подальших досліджень повинно бути встановлення контактної взаємодії легких домішок, зернової суміші та повітряного потоку при багатшаровому розміщенні матеріалу в ПСК.

## Список літератури

1. Котов Б. І. Тенденції розвитку конструкцій машин та обладнання для очищення і сортування зерноматеріалів [Текст] / Б. І. Котов, С. П. Степаненко, М. Г. Пастушенко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград. – 2003. – Вип. 33. – С. 53–59.
2. Васильковський О.М. Підвищення ефективності повітряного очищення зерна [Текст] / О.М. Васильковський, Д.І. Петренко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Вип. 35. – Кіровоград : КНТУ, 2005. – С. 286–288.
3. Интенсификация процесса аэродинамического разделения зерновых материалов : дис... д-ра техн. наук : специальность 05.20.01 [Текст] / В. Л. Злочевский ; Алт. политехн. ин-т им. И. И. Ползунова, [Всесоюз. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. Сиб. отд-ние, Сиб. науч.-исслед. ин-т механизации и электрификации сел. хоз-ва]. – Барнаул, 1985. – 496 с.
4. Бурков А.И. Зерноочистительные машины. Конструкция, исследование, расчет и испытание [Текст] / А.И. Бурков, Н.П. Сычгов. – Киров : Изд-во НИИСХ Северо-Восток, 2000. – 258 с.
5. Ямпилев С.С. Технологическое и техническое обеспечение ресурсо-энергосберегающих процессов очистки и сортирования зерна и семян [Текст] / С.С. Ямпилев. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2003. – 262 с.
6. Тищенко Л.Н. Интенсификация сепарирования зерна [Текст] /Л.Н.Тищенко. – Харьков: Основа. – 2004. – 224 с.
7. Лещенко С.М. Обґрунтування алгоритму функціонування інерційно-прямоточних зерноочисних машин [Текст] / С.М. Лещенко, О.М. Васильковський, М.І. Васильковський, Д.І. Петренко // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград: КНТУ, 2011. – Вип. 24, ч.1 — С. 176-181.
8. Тавтилов И.Ш. Совершенствование процесса работы пневмосепаратора за счет рациональной подачи зерновой смеси в воздушный поток : автореф. дисс. на соискание науч. степени канд. техн. наук : спец. 05.20.01 „Технологии и средства механизации сельского хозяйства” [Текст] / Ильфат Шайдуллович Тавтилов ; Челябинский государственный агроинженерный университет. – Челябинск, 2008. – 22 с.
9. Котов Б.І. Аналітичні дослідження раціональної подачі зернової суміші в аспіраційний канал пневмовідцентрових сепараторів [Текст] / Б.І. Котов, С.П. Степаненко, В.О. Швидя // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. – Харків, 2010. – Вип. 103. – С. 54-61.
10. Васильковський М.І. Дослідження роботи пневмосепаруючого каналу на фізичній моделі [Текст] / М.І. Васильковський, О.М. Васильковський, С.М. Лещенко, О.В.Нестеренко // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград, 2006. – Вип.17. – С. 44–48.
11. Нестеренко О.В. Дослідження якісних показників пневмосепарації при багаторівневому введенні зерна [Текст] / О.В. Нестеренко, С.М. Лещенко, Д.І. Петренко // Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст. – Вип. 32. – Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2015. – С. 143-151.
12. Nesterenko O. Analytical study of separation efficiency of grain in vertical pneumatic separating channel [Text] / O. Nesterenko, S. Leschenko, D. Petrenko, S. Honcharova // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Вип. 45, ч.1 – Кіровоград: КНТУ, 2015. – С. 14-20.

**Olexandr Nesterenko, Assis., Sergiy Leshchenko, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Dmytro Petrenko, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Svitlana Goncharova, Assoc. Prof., PhD phys. & math.**

*Kirovohrad National Technical University, Kropivnitskiy, Ukraine*

**Yuriy Melnik, Assoc. Prof., PhD tech. sci.,**

*State Agrarian University of Moldova, Chisinau, Republic of Moldova*

#### **Research contactless movement of light impurities in the vertical pneumatic separating channel**

Rational use of air flow during the separation of the grain mix is one of the main problems in pneumatic separation. Thus, it is necessary to ensure appropriate quality cleaning performance while increasing grain cleaning machines (GCM). In greater degree it concerns pneumatic GCM, who have somewhat lower rates than specific performance sieve. Therefore, improvement and development of new pneumatic structures is an important and urgent task.

Taking into account the insufficient analytical scrutiny process at pneumatic separation multilayer material in grain movement pneumatic separating channel (PSC) is necessary tasks to establish patterns of airflow interaction with light impurities during their flight in contactless PSC.

As a result of analytical study examined contactless movement of light impurities when entering multi-grain single layer material, ie flow, in which crops are layers PSC each other with a certain interval and have the same kinematic characteristics.

Based on the theoretical analysis established pattern of interaction of light particles of grain mixture with air flow during flight of contactless multi-grain placing a single layer of material in PSC.

Established that the contactless movement of light impurities in the PSC, regardless of the input area of selection is in the range 0.015 ... 0.05 m, depending on their coefficient of sails.

The goal of future research should be to establish contact interaction of light impurities from the grain mixture and air flow in the multilayer material placed in the PSC.

**separation of grain mix, separation, air flow, grain material, pneumatic separating channel (PSC), traffic light impurities**

Одержано 10.11.16

**УДК 621.923.74:621.921.34**

**В.Я. Ошовський, доц., канд. техн. наук**

*Первомайський політехнічний інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м.Первомайськ, Україна*

*E-mail: oshovskyik@mail.ru*

## Підвищення ресурсу колінчастого валу алмазно-дисульфідмолібденовою приробкою поверхонь тертя

Проаналізована дія на ресурс спряження «шийка колінчастого валу – бабітові вкладиші» недостатньої геометричної і механічної якості поверхонь та збільшення зазору при обкатуванні. Запропонована приробка поверхонь тертя алмазно-дисульфідмолібденовим шаржуванням, яке зменшує до початку нормальної експлуатації шорсткість, геометричні погрішності форми і розташування поверхонь, коефіцієнт тертя та зазор в спряженні. Така обробка попереджує появу задирок і прихватів на поверхні спряження та підвищує зносостійкість без втрати здатності до релаксаційних змін відповідно до дії сил, пов'язаних з геометричними погрішностями поверхонь.

Проведені випробування підтверджують, що цей метод значно підвищує ресурс спряження.  
**колінчастий вал, приробка, шаржування, алмазна паста, дисульфід молібдену**

**В.Я. Ошовский, доц., канд. техн. наук**

*Первомайский политехнический институт Национального университета кораблестроения имени адмирала Макарова, г.Первомайск, Украина*

**Повышение ресурса коленчатого вала алмазно-дисульфидмолибденовой приработкой поверхностей трения**

Проанализировано действие на ресурс сопряжения «шейка коленчатого вала – бабитовые вкладыши» недостаточного геометрического и механического качества поверхностей и увеличения зазора при обкатке. Предложена приработка поверхностей трения алмазно-дисульфидмолибденовым шаржированием, которая уменьшает до начала нормальной эксплуатации шероховатость, геометрические погрешности формы и расположения поверхностей, коэффициент трения и зазор в сопряжении. Такая обработка предупреждает появление задиров и прихватов на поверхности сопряжения и повышает износостойкость без утраты способности к релаксационным изменениям соответственно к действию сил связанных с геометрическими погрешности поверхностей.

Проведенные испытания подтверждают, что этот метод значительно повышает ресурс сопряжения.

**коленчатый вал, приработка, шаржирование, алмазная паста, дисульфид молибдена**

**Постановка проблеми.** Колінчасті вали двигунів внутрішнього згорання та компресорів сільськогосподарських машин є одними з самих відповідальних деталей, які мають ще і найбільшу вартість. Тому підвищення ресурсу їх роботи є актуальною проблемою.

Основними причинами виходу з ладу колінчастих валів є знос і задири шийок, які спостерігаються, наприклад, на всіх типах двигунів та компресорів незалежно від твердості шийок: 67,6% колінчастих валів, які поступають на відновлення, мають величини зносів і відхилень форми шийок менше допустимих. Однак риси і кругові царапини мають 100% колінчастих валів [1].

На ресурс колінчастих валів дуже впливає технологія їх заключної обробки. Окрім того, поверхневий «активний» шар валу неоднорідний за механічними характеристиками і має складну будову [2]. На металевих поверхнях крім забруднень утворюються тонкі плівки молекул, адсорбованих з атмосфери, а також кисневі та інші плівки, які виникають в результаті хімічних реакцій поверхонь з навколишнім середовищем. Може виникати також капілярна адгезія – притягання поверхонь.

На початку експлуатації в процесі приробки обкатуванням м'які виступи мікронерівностей зминаються, а тверді стираються або працюють в ролі оброблюючого інструменту. Утворені частинки попадають у мастило і негативно впливають на всі поверхні тертя – можуть приварюватися до поверхонь з послідуочим відривом, пошкоджуючи поверхні. При пусках і зупинках валу знос підвищується з-за утворених при обкатуванні локальних дефектів і плям контакту та невідповідності зазору умовам рідинного тертя. Отриманий безінструментальною приробкою, основою на фрикційному ефекті дефектний шар неоднорідний, що підвищує коефіцієнт тертя і зменшує зносостійкість та ресурс валу.

Підвищення геометричних і механічних характеристик поверхонь тертя та зменшення коефіцієнту тертя в процесі приробки поверхонь до експлуатації можуть значно підвищити ресурс колінчастого валу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** За принципом Шарпі мікроструктура підшипника ковзання повинна складатися з зносостійких твердих включень та м'якої основи, яка сприятиме релаксаційній зміні геометрії поверхні підшипника відповідно до погіршеностей спряженого валу [3]. М'яка основа під дією значних місцевих питомих навантажень, викликаних погіршеностями форми, розташування та іншими дефектами поверхні валу при цьому буде змінювати геометричну форму поверхні підшипника відповідно до діючих сил. В результаті релаксаційних змін геометрії поверхні підшипника питомий тиск на всіх ділянках поверхні буде вирівнюватися. Рівномірний в певних межах питомий тиск буде сприяти нормальній роботі підшипника. Класичну будову за цим принципом має бабіт Б83.

На практиці ділянки контактної взаємодії, як правило, дискретні, тобто складаються з сукупності п'ятен контакту [2]. Фактичні тиски на п'ятнах контакту залежать від макро- і мікрогеометрії поверхонь. Самою розповсюдженою причиною дискретності є шорсткість контактуючих поверхонь.

Слід також відмітити, що з-за геометричних відхилень ділянки поверхонь підшипника, на які діє високий питомий тиск швидко нагріваються. В бабіті, наприклад Б83, при температурі вище 110°C твердість зменшується [4], що може сприяти релаксації при достатньо високих місцевих питомих навантаженнях. При обкатуванні металеві частинки, які зрізаються з виступів шорсткості, попадають в мастило, втискаються і занурюються в м'яку основу вкладишів, прихвачуються при терті до поверхні валу та відділяються від неї з виливом металевих частинок з поверхні валу.

Дослідниками пропонуються різні методи підвищення геометричної якості поверхонь тертя для підвищення їх зносостійкості. Утворюють на поверхні підшипника

тонкий поверхневий шар з міцністю менше основного матеріалу [5], виконують біметалізацію робочої поверхні тертя фрикційним латунюванням під впливом сил тертя з притиранням в робочій орієнтації [6] та ін.

Механічні характеристики поверхонь підвищують, наприклад, нанесенням на поверхні твердих порошків плазмовим струменем газу високої температури. Але після цього необхідна механічна обробка твердої поверхні з неоднорідними геометрією та механічними властивостями.

Останнім часом приділяється увага створенню нових технологій зміцнення і підвищення зносостійкості поверхонь, за якими не здійснюється високий температурний вплив на відновлювану деталь і значно підвищується ресурс та довговічність двигунів і агрегатів спеціальної техніки [7].

Кожен з приведених методів не є системним, тобто не сприяє одночасному підвищенню геометричних і механічних характеристик поверхонь та зменшенню коефіцієнта тертя.

**Постановка завдання.** Метою статті є дослідження методів збільшення ресурсу колінчастих валів двигунів внутрішнього згорання, компресорів та інших машин, в яких використовуються бабітові підшипники ковзання за рахунок системного підходу до вирішення проблеми – зменшення геометричних погрешностей поверхонь спряження, підвищення зносостійкості поверхневих шарів деталей спряження та зменшення коефіцієнту тертя.

**Виклад основного матеріалу.** Олов'яні бабіти Б83, Б83С, Б88, БН та ін. використовують для заливання підшипників ковзання колінчастих валів двигунів і компресорів, а також парових турбін, турбокомпресорів та інших відповідальних машин.

На ресурс колінчастого валу, після обробки поверхонь тертя, впливають такі недоліки отриманих геометричних характеристик контактуючих поверхонь шийок валу і вкладишів: відхилення форми, відхилення розташування, хвилястість та параметри шорсткості. Окрім того, на поверхнях спряжень можуть утворюватися припали та ділянки з пониженою твердістю, а на вершинах виступів шорсткості структурні складові з малою мікротвердістю. Ці недоліки значно зменшують дійсну площу контакту поверхонь валу і вкладишів, а таким чином збільшують питомі навантаження на локальних ділянках поверхні контакту, часто більше допустимих [2].

Відомо, що найбільший знос поверхонь тертя посадок з зазором виникає в період, коли робота підшипника не відповідає умовам рідинного тертя.

Умови рідинного тертя знаходяться в інтервалі між мінімальним  $S_{min F}$  і максимальним  $S_{max F}$  функціональними зазорами і залежать від різних факторів [8,9]

$$S_{min F} = \frac{k\mu_1\omega d^2 - \sqrt{(k\mu_1\omega d^2)^2 - 16ph_{p,m}^2 m\mu_1\omega d^2}}{4ph_{p,m}} \text{ мкм}, \quad (1)$$

$$S_{max F} = \frac{k\mu_2\omega d^2 + \sqrt{(k\mu_2\omega d^2)^2 - 16ph_{p,m}^2 m\mu_2\omega d^2}}{4ph_{p,m}} \text{ мкм}, \quad (2)$$

де  $k$  і  $m$  – коефіцієнти постійні для даного значення відношення довжини підшипника  $l$  до діаметру валу  $d$ ;

$\mu_1, \mu_2$  – динамічна в'язкість мастила, в умовах роботи підшипника відповідно при мінімальному та максимальному функціональних зазорах, Па·с;

$p$  – середній тиск на одиницю площі проекції опорної поверхні підшипника, Н/м<sup>2</sup>;  
 $\omega$  – кутова швидкість валу, рад/с,

$$\omega = \pi n, \quad (3)$$

де  $n$  – частота обертання валу, с<sup>-1</sup>.

В числі цих факторів – частота обертання валу  $n$ . З приведених формул (1,2,3) слідує, що при зменшенні  $n$  зменшуються відповідно величини  $S_{min F}$  і  $S_{max F}$ , які розраховані для числа обертів валу, яке відповідає нормальній функції виробу. В процесі роботи виробу зазор  $S$  є постійною величиною, яка поступово змінюється тільки в більшу сторону в процесі зносу поверхонь тертя, в тому числі при обкатуванні. Таким чином при збільшенні числа обертів валу від нуля до мінімального функціонального значення або навпаки, при зменшенні в цьому ж інтервалі, робота підшипника не відповідає умовам рідинного тертя.

Таким чином, аналіз формул (1,2,3) показує, що зменшення числа обертів валу потребує зменшення і функціонального зазору, що в реальних умовах можливо тільки на стадії виготовлення, обробки та приробки поверхонь валу і вкладишів.

На рис. 1 приведені криві інтенсивності збільшення зазору  $S$  в спряженні протягом часу роботи  $\tau$ . Верхня крива відповідає сталому режиму роботи спряження, який включає час на обкатування [10]. Крива збільшення зазору має три явно виражені ділянки часу: початкова до  $\tau_{обк}$ , яка характеризує процес прироблення спряження в процесі обкатування; проміжна ділянка  $\tau_{обк} - \tau$ , яка найбільша по тривалості і відповідає періоду нормальної роботи з'єднання; кінцева більше  $\tau$ , яка відповідає періоду руйнування з'єднання унаслідок зношення його понад допустимої границі.

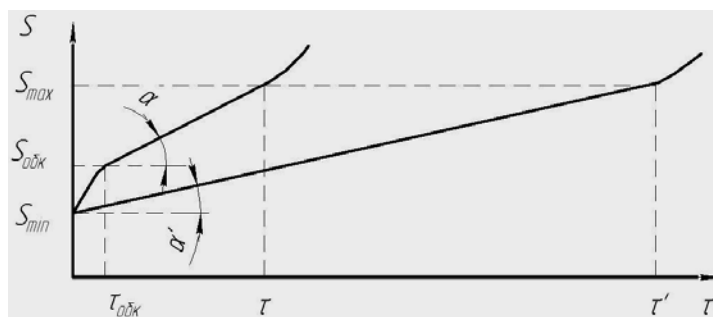


Рисунок 1 – Інтенсивність збільшення зазору ( $S$ ) в спряженні протягом часу ( $\tau$ )

Початковий період роботи спряження  $\tau_{обк}$  характеризується інтенсивним зношуванням за порівняно малий період часу – це час прироблення деталей. Зношування у цей період в основному залежить від технологій обробки поверхонь.

Зменшити знос у цей період або навіть виключити його можна притиранням поверхонь після фінішної обробки. Це сприятиме комплексному зменшенню всіх геометричних відхилень і, таким чином, збільшить ресурс валу. Ділянка періоду нормальної роботи з'єднання і тривалість роботи спряження  $\tau$  значно збільшиться, тому що при тих же механічних характеристиках поверхонь цей період почнеться не з зазору  $S_{обк}$ , а з  $S_{min}$ . В результаті ресурс підшипника значно збільшиться.

Слід відмітити, що зрізані вершини виступів шорсткості сталюого валу у вигляді включень втискуються тільки в поверхню бабітового вкладишу. Включення можуть розривати масляну плівку, в результаті тертя приварюватися до поверхні валу,

а потім відриватися від неї з мікрочастинками валу. Усунення цього явища сприятиме збереженню поверхонь спряження від пошкоджень в результаті прихвачувань.

Таким чином, підгонка геометрії поверхонь спряження притиранням, яка усуває погрішності обробки виконаної за принципом взаємозамінності, може значно збільшити термін роботи валу. Окрім того, притирання збільшує опорну довжину профілю, що дозволяє збільшити несучу здатність шийок валу [9].

Наступним етапом системного підходу до збільшення ресурсу підшипника є підвищення зносостійкості зміною властивостей матеріалу в контактуючих поверхневих шарах спряження та зменшення коефіцієнту тертя.

На рис. 1 нижня крива показує, що при підвищенні зносостійкості поверхонь та зменшенні коефіцієнту тертя зменшується інтенсивність збільшення зазору в процесі нормальної роботи спряження, що характеризується кутом  $\alpha' < \alpha$ . В результаті час роботи спряження значно збільшується, від  $\tau$  до  $\tau'$ .

Важливим фактором підвищення зносостійкості і зменшення коефіцієнту тертя є збільшення твердості контактуючих поверхонь та утворення на них тонкого шару твердого мастила, що попереджує можливість фрикційного ефекту при розриві масляного шару. Існують різні методи підвищення твердості поверхневого шару валів. Наприклад, використовують плазмове насичення поверхні валів порошковими матеріалами, що мають високу твердість. При цьому частинки порошку напилують на поверхню валу плазмовим струменем газу високої температури [11]. За результатами дослідження після механічної обробки такої поверхні у процесі взаємодії пар тертя при первинному припрацюванні спостерігається активний процес переносу зміцнюючої фази з однієї поверхні на другу, взаємне їх шаржування, роздрібнення і проникнення частинок в дефекти структури поверхні тертя, вихід на поверхню додаткової кількості зносостійкого матеріалу, що сприяє процесам саморегулювання і самоорганізації структури поверхні, збільшенню сумарної опорної поверхні і більш рівномірному перерозподілу зовнішніх навантажень при відносно менших значеннях коефіцієнту тертя. Були спроби насичення таким же методом самого твердого – алмазного порошку, але це не дало результатів [11]. Дослідження показали, що алмазні порошки не можливо наносити методами високотемпературного напилення, тому що при температурах вище  $1000^{\circ}\text{C}$  вони графітуються, а в плазмовому потоці окислювального струменя повністю вигоряють.

Відома властивість алмазного порошку насичувати поверхні металевих деталей методом шаржування. Використовують шаржування при виготовленні алмазних притирів. Запатентований метод алмазного шаржування для зменшення коефіцієнту тертя при виготовленні отворів дорнуванням у деталях з титанових сплавів [12]. Результати досліджень показують, що використання сумішей з алмазною пастою для доведення поверхонь тертя сталевих деталей паливної апаратури дизельних двигунів підвищує їх несучу здібність на 30...35%, зменшує коефіцієнт тертя на 30% та підвищує їх довговічність при роботі в середовищі дизельного палива [13].

З цього виходить, що найбільш придатним для насичення поверхонь алмазними порошками є метод шаржування. Алмазним шаржуванням можна насичувати як бабітові так і сталеві поверхні тертя, в результаті чого змінюється мікроструктура поверхневих шарів деталей в зоні тертя і відповідно підвищується зносостійкість не тільки валу, а й підшипника [9].

Пропонується метод шаржування поверхонь алмазними нано-частинками у вигляді алмазних паст в суміші з дісульфідом молібдену притиранням поверхонь полірованого сталевго валу до бабітових вкладишів. Нано-частинки алмазу мають розмір, ближчий до структурних складових, та на відміну від продуктів зносу (сталевих

частинок зносу) насичують обидві поверхні спряження. Ці частинки, порівняно зі сталевими, не мають властивості прихвачуватися приварюванням до поверхні валу, не реагують з навколишнім середовищем. Вони втискаються в поверхні, підвищуючи не тільки їх зносостійкість, а й зменшуючи коефіцієнт тертя. Поверхні виступів алмазних частинок при розриві масляної плівки в умовах сухого тертя перетворюються в графіт і таким чином також попереджують виникнення задири та зменшують коефіцієнт тертя.

Експериментально доведено, що алмазні нано-частинки між поверхнями тертя можуть діяти також, як шарики у підшипниках кочення і таким чином теж зменшувати коефіцієнт тертя [14]. Тому нано-алмазні порошки у невеликій кількості іноді навіть вводять у присадки до масел для підвищення зносостійкості.

Додавання при шаржуванні дисульфиду молібдену, що має здатність утримуватися на поверхнях тертя [15], дозволяє значно зменшити коефіцієнт тертя.

Дисульфід молібдену  $\text{MoS}_2$  відомий як тверде мастило: зменшує коефіцієнт тертя; попереджує утворення в парах тертя задири і прихватів навіть при ударних навантаженнях та температурах до  $400^\circ\text{C}$ ; має високу адгезію до металевих поверхонь, утворюючи на поверхнях тертя захисний шар; заповнює мікровпадини шорсткості, підсилюючи цим опірність до навантажень.

На рис. 2 приведена молекулярна модель будови дисульфиду молібдена у вигляді пластинчастих кристалів [16]. На гранях кристалів розташовані активні центри, які являють собою атом молібдена, розташований у вершині трьох рівнобедрених трикутників, основою кожного з яких є два атоми сірки (виділено). При цьому атоми молібдену знаходяться між двома шарами атомів сірки. Тому в умовах тертя пластинчасті кристали вільно рухаються відносно один одного, що призводить до високого змащувального ефекту.

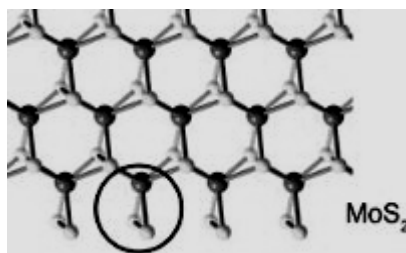


Рисунок 2 – Молекулярна модель будови дисульфиду молібдена:  
темні складові – атоми молібдену; світлі складові – атоми сірки

Запропонований метод випробовувався на автомобільному повітряному двохциліндровому компресорі ЗИЛ 431410 – (130). Приробка методом шаржування поверхонь спряжень шийок колінчастого валу і вкладишів виконувалась сумішшою алмазної пасти АСМ 7/5 ГОСТ 25593-83 і дисульфиду молібдену ДМИ-7 ТУ 48-19-133-90 з мастилом. Для шаржування вкладиші виготовлялися з припуском, який забезпечував посадку з натягом перед шаржуванням. Процес шаржування проводився при обертанні валу в компресорі без головки циліндрів і кришки піддону. Суміш алмазної пасти і мастила з дисульфідом молібдену наносилася на поверхні шийок валу і вкладишів нижньої головки шатунів. Кришки головок шатунів зтягувалися до утворення невеликого натягу, який забезпечував процес прироблення і одночасного шаржування поверхонь при обертанні валу з частотою  $1...2\text{c}^{-1}$  до зникнення натягу. Далі кришки шатунів знімалися, повторно покривалися сумішшою, підтягувалися і повторно притиралися. Процес повторювався до повного зтягування кришок, після чого деталі промивалися, змащувалися мастилом з дисульфідом молібдену і складалися. Після такої обробки вал легко обертася при мінімальному зазорі.

Випробування компресора протягом тривалого часу роботи показали практичну відсутність зносу як вкладишів, так і валу, який залишався полірованим без слідів задирок і прихватів.

**Висновки.** Таким чином, обробка спряжених поверхонь колінчастого валу і бабітових вкладишів притиранням з одночасним шаржуванням алмазно-дисульфідмолибденовою сумішшю дозволяє підвищити геометричну якість поверхонь тертя, підвищити зносостійкість поверхневих шарів деталей спряження та зменшити коефіцієнт тертя, що може значно збільшити ресурс колінчастих валів двигунів внутрішнього згоряння, компресорів та ін. машин. Окрім того, такий метод обробки не має термічного впливу на мікроструктуру і геометрію валу, а тому є перспективним і потребує подальших досліджень.

## Список літератури

1. Леонтьев Л.Б. Исследование влияния состава триботехнических материалов на эксплуатационные свойства сопряжения «вкладыш – шейка коленчатого вала» [Текст] / Л.Б. Леонтьев, Н.П. Шапкин, А.Л. Леонтьев, А.Г. Токликишвили // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 12-4. – С. 735-739.
2. Горячева И.Г. Механика фрикционного взаимодействия [Текст] / И.Г. Горячева. – М.: Наука, 2001. – 478с.
3. Металознавство [Текст] : підручник / О. М. Бялік [та ін.]. – 2-ге вид., переробл. і допов. – К. : Політехніка, 2002. – 384 с.
4. Дизели [Текст] : справочник / В.А.Ваншейдт, Н.Н.Иванченко, Л.К.Коллерова. – 3-е изд. перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1977. – 480 с.
5. Гаркунов Д.Н. Триботехника. Износ и безызносность [Текст] : учебник. – 4-е изд.– М.: МСХА, 2001. – 616 с.
6. Паніна В.В. Підвищення зносостійкості гільз циліндрів двигунів [Текст] / В.В. Паніна, Г.І. Дашивець. – // Науковий вісник ТДАТУ. – Мелітополь: ТДАТУ, 2014. – Вип. 4, т. 1. – С.115-120.
7. Розвиток методів зміцнення найбільш навантажених деталей шлях до підвищення технічних і тактико-технічних характеристик машин [Текст] / [М.А. Ткачук, С.О. Кравченко, В.В. Шпаковський та ін.] // Транспортне машинобудування; Вісник НТУ «ХП». – 2015. – №43 (1152). – С. 116-122.
8. Якушев А.И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения [Текст]: учебник. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1979. – 343 с.
9. Ошовський В.Я. Виробничі технології як альтернатива обкатування деталей ДВЗ [Текст] / В.Я. Ошовський // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загально державний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград: КНТУ, 2013. – Вип. 43, ч. 1. – С.320-325.
10. Аулін В.В. Зміна стану зон тертя деталей машин та динамічне трибоматеріалознавство їх поверхневих шарів [Текст] / В.В. Аулін, О.В. Кузик // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград: КНТУ, 2013. – Вип. 26. – С. 32-40.
11. Кобяков О.С. Исследование процессов формирования и триботехнических свойств износостойких композиционных газотермических покрытий, дисперсно-упрочнённых синтетическими алмазами и электрокорундом [Текст] / О.С. Кобяков, Н.В. Спиридонов // Вестник БНТУ. – 2011. – №2. – С. 17-23.
12. Пат. RU №2371272 С1 VGR B21D41/02 (2006.01.) Способ поверхностного дорнования титановых сплавов / Рыбинская государственная авиационная технологическая академия имени П.А. Соловьева; А.В.Колобков. – Заявл. 05.06.2008; Опубл. 27.10.2009.
13. Рыжов Ю.Э. Применение активной СОТС в доводочных пастах и финишной алмазно-абразивной обработке // Качество машин: Сб.трудов IV Междунар.науч.-техн.конф. Брянск, 2001. – 4.2. – С.118-120.
14. Барышников С.О. Нанотехнологии и работа двигателей внутреннего сгорания (постановка эксперимента) / С.О. Барышников [Текст] // Журнал университета водных коммуникаций. – 2009. – №3. – С. 33-42.
15. Цветков Ю.Н. Повышение эффективности дизелей нанесением на поршни твердого смазочного покрытия, содержащего дисульфид молибдена [Текст] / Ю.Н. Цветков, В.М. Тарасов // Вестник

государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2010. – №1 (5). – С.45-52.

16. Химия: новости науки. Молекулярная модель дисульфида молибдена [Электронный ресурс] . – Режим доступа: <http://www.chemport.ru>

**Viktor Oshovsky, Assoc. Prof., PhD tech. sci.**

*Pervomaysk Politechnic Institute of National Shipbuilding University named after admiral Makarov, Pervomaysk, Ukraine*

### **Increase of resource of crankshaft diamond-molybdenum disulfide earning additionally of surfaces of friction**

Purpose of the article - to analyse basic factors, which abbreviate the resource of work of crankshaft, responsible detail of compressor or engine of internal combustion, and present the results of research of action and test of the diamond-molybdenum disulfide earning additionally of surfaces of friction, which removes these factors and thus considerably promotes the resource of crankshaft.

In the article the analysed operating is on the resource of interface a "neck of crankshaft - bearing of babbit" of insufficient geometrical and mechanical quality of surfaces and increase of gap at a rolling-off and defects which appear here. The brought results over of research of action and test of earning additionally of surfaces of friction the diamond-molybdenum disulfide caricaturing. Such eventual earning additionally diminishes the roughness of surfaces of friction to beginning of normal exploitation of crankshaft, gap in an interface, coefficient of friction; warns appearance of nicks-and-burrs and welding on the surfaces of interface; promotes hardness and wearproofness of surfaces of friction without the loss of ability of slideway to the relaxation changes in accordance with forces operating during work of billow and surfaces related to the geometrical rejections of form and location.

Thus the eventual diamond-molybdenum disulfide earning additionally of surfaces of friction of crankshaft and liners removes the process of rolling-off and defects of friction action, which arise up at a rolling-off, improves simultaneously geometrical and mechanical descriptions of surfaces of friction and diminishes the coefficient of friction. As a result the resource of work of crankshaft rises considerably.

**crankshaft, earning additionally, sharzhrovanye, diamond paste, molybdenum disulfide**

Одержано 24.10.16

**УДК 621.941.042**

**Ю.М. Пархоменко, доц., канд. техн. наук, В.Ф. Гамалій, проф., д-р фіз.-мат. наук, В.В. Босько, доц., канд. техн. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна  
E-mail: [parhomenkoym@ukr.net](mailto:parhomenkoym@ukr.net)*

## **Розрахунок системи стабілізації температурного режиму в процесі фрикційного формоутворення**

Досліджено технологічний процес фрикційного формоутворення деталей.

Визначено параметр, який підлягає регулюванню та передаточну функцію об'єкту управління цим параметром. Запропоновано шляхи створення автоматизованої системи стабілізації температурного режиму в процесі фрикційного формоутворення. Розроблено функціональну схему такої мікропроцесорної системи автоматичного управління температурою, яка б забезпечувала підтримку заданих значень цих параметрів в певні моменти часу та на протязі всього технологічного процесу.

**автоматизована система стабілізації, формоутворення, теплогенерація, температурний режим**

© Ю.М. Пархоменко, В.Ф. Гамалій, В.В. Босько, 2016

**Ю.М. Пархоменко, доц., канд. техн. наук, В.Ф. Гамалий, проф., д-р физ-мат. наук, В.В. Босько, доц., канд. техн. наук**

*Кировоградский национальный технический университет, г. Кропивницький, Украина*

### **Расчет системы стабилизации температурного режима в процессе фрикционного формообразования**

Исследован технологический процесс фрикционного формообразования деталей.

Определён параметр, который подлежит регулированию и передаточная функция объекта управления этим параметром. Предложены пути создания автоматизированной системы стабилизации температурного режима в процессе фрикционного формообразования. Разработана функциональная схема такой микропроцессорной системы автоматического управления температурой, обеспечивающая поддержание заданных значений этих параметров в определенные моменты времени и в течение всего технологического процесса.

**автоматизированная система стабилизации, формообразование, теплогенерация, температурный режим**

**Постановка проблеми.** Дослідження енергетики та доцільності використання фрикційного формоутворення при виготовленні пустотілих деталей форми тіл обертання із кольорових металів та сплавів показало, що застосування цієї маловідходної технології на виробництві може забезпечити економічний ефект за рахунок підвищення коефіцієнту використання металу при порівняно малих енерговитратах [1,2].

Однак протікання процесу формоутворення має свої особливості. Технологія фрикційного формоутворення базується на гарячому пластичному деформуванні матеріалу заготовки [2]. Необхідну пластичність матеріалу забезпечує тепло, що виділяється на поверхні його контакту з твучим і одночасно деформуючим інструментом (ТДІ). Стійкість конструкції та стабільність технологічного процесу формоутворення забезпечується системою керування швидкістю обертання шпинделя заготовки та лінійного переміщення ТДІ.

Теплогенерація за рахунок роботи сухого тертя в технології фрикційного формоутворення є не тільки корисною, а принципово необхідною. В той же час інтенсивна, потужна теплогенерація в безпосередній близькості від передньої опори шпинделя, що несе заготовку (рис. 1), негативно впливає на надійність та працездатність опор останнього. Тому керування тепловими потоками, зокрема в безпосередній близькості від передніх опор шпинделів технологічної машини, є вельми актуальною проблемою.

При циклічному повторенні процесу, після виготовлення певної кількості деталей, виникає потреба відводу надлишкового тепла. Теплове розвантаження опор вимагає пошуку оптимальних точок тепловідводу та ефективних, керованих методів скидання тепла, які здатні забезпечити захист підшипників від надмірних теплових потоків та стабілізації температурного режиму їх роботи в межах, звичайно установлених для опор металорізальних верстатів.

Це можна забезпечити, наприклад, шляхом прокачування охолоджуючої рідини (з тими чи іншими теплофізичними характеристиками) через конструктивні елементи, безпосередньо контактуючі з підшипником, чи елементи, через які тепло передається до контрольованої опори. Слід зазначити, що штучне охолодження вимагає додаткових енерговитрат і тому завжди діє в зворотному до економічної ефективності напрямку, а його надмірна інтенсивність може утруднити процес формоутворення деталі.

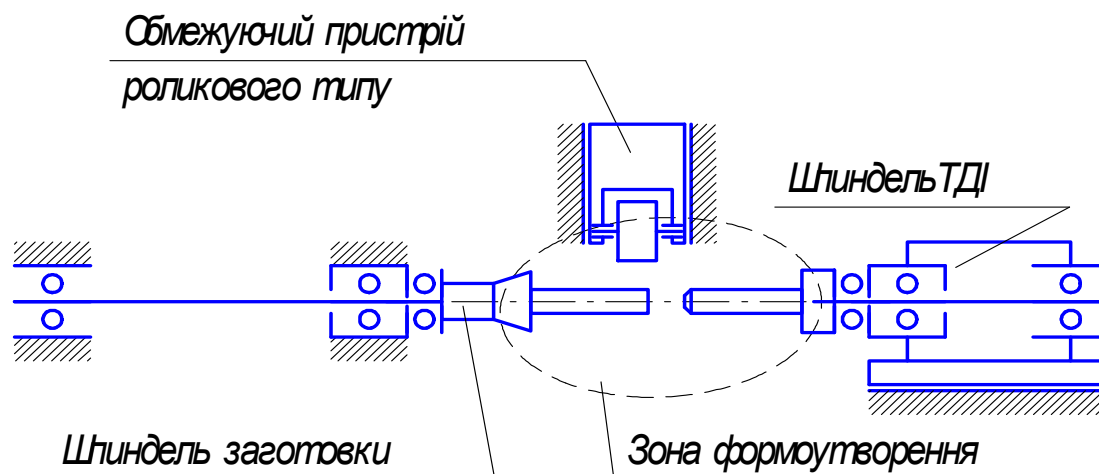


Рисунок 1 – Варіант типової компоновки технологічної системи фрикційного формоутворення

Тепловий моніторинг технологічної машини вимагає оперативного збору та обробки потоку інформації, яка є унікальною для кожної конкретної за розмірами та формою деталі і структури технологічної операції, що потребує використання мікропроцесорної техніки, яка дає можливість в реальному часі аналізувати динаміку розповсюдження тепла та вживати заходи по його відведенню.

Тобто, виникає необхідність розробки системи стабілізації теплового режиму опор шпинделів за інтегральним значенням контрольованої температури в декількох точках або в одній точці, яка характеризує загальну температуру шпинделя за певний проміжок часу з метою забезпечення тривалості опор та відсутності бракованої продукції.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Всі процеси механічної обробки супроводжуються значними тепловиділеннями. В технологічному процесі фрикційного формоутворення теплота є необхідною складовою процесу, але в деяких рамках, при цьому при виході температури за ці межі відбувається перегрівання тримача формоутворюючого елемента. Саме тому нагально постає задача відводу надлишкової теплоти від формоутворюючого елемента.

В попередніх роботах з дослідження даного технологічного процесу [2,3] було встановлено, що температура підшипника повинна знаходитись в межах  $45 \div 75^{\circ}\text{C}$  для нормального ходу процесу формоутворення та відсутності браку. У вихідній установці охолодження здійснюється вручну, тобто оператор у певні моменти часу вмикає насос прокачки охолоджувальної рідини.

**Постановка завдання.** Метою даної роботи є створення такої мікропроцесорної системи автоматичного управління температурою, яка б забезпечувала підтримку заданих значень цих параметрів в певні моменти часу та на протязі всього технологічного процесу [3,4].

**Виклад основного матеріалу.** Функціональна схема системи автоматичного управління (САУ) температурою буде мати вигляд, зображений на рис. 2.

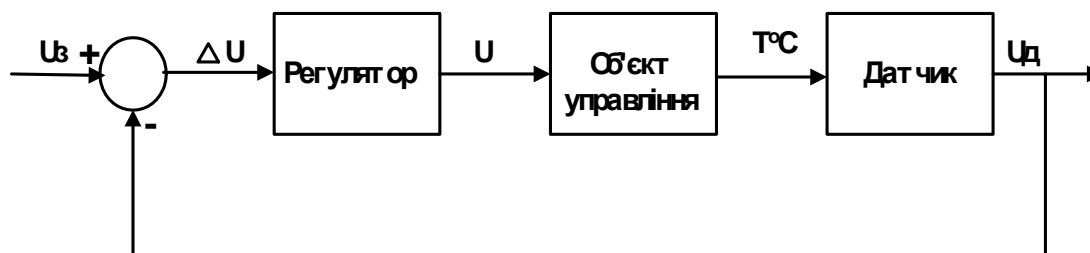


Рисунок 2 – Функціональна схема системи автоматизованого управління температурою

На основі експериментальних даних було побудовано розгінні криві об'єкту управління температурою. Апроксимація розгінної кривої об'єкта управління температурою проводилась графічно-аналітичним методом, що дозволило отримати передаточну функцію вигляду:

$$W_{об}(p) = \frac{k_{об} \cdot e^{-p \cdot \tau}}{T \cdot p + 1}, \quad (1)$$

де  $k_{об}$  – коефіцієнт передачі об'єкта;

$p$  – оператор Лапласа;

$\tau$  – час чистого запізнювання;

$T$  – постійна часу об'єкта.

Даний об'єкт управління запізнення не має –  $\tau=0$ . Постійну часу визначимо за формулою:

$$T = \left| \frac{t_1}{2.3 \cdot \lg(1 - \dot{T}_1)} \right| = \left| \frac{t_2}{2.3 \cdot \lg(1 - \dot{T}_2)} \right|, \quad (2)$$

де  $t_1$  – час який відповідає відмітці часу в точці перегину нормованої кривої розгону;

$\dot{T}_1$  – значення температури в момент часу  $t_1$ ;

$t_2$  – час який відповідає ординаті  $\dot{T}_2 \approx (0.8 \dots 0.9) \cdot \dot{T}(\infty)$ .

Максимальний приріст ординати спостерігається на ділянці  $\Delta t = 0 \dots 120$ с. Тому приймаємо точку перегину  $t_1 = 120/2 = 60$ с. Тоді  $\dot{T}_1 = 0.1$ ;  $\dot{T}_2 = 0.8$ ;  $t_2 = 840$ с. Підставивши ці значення в формулу (2) отримаємо:

$$T = \left| \frac{60}{2.3 \cdot \lg(1 - 0.1)} \right| = \left| \frac{840}{2.3 \cdot \lg(1 - 0.8)} \right| = 522 \text{ с}. \quad (3)$$

Тоді безрозмірна передаточна функція буде мати вигляд аперіодичної ланки першого порядку:

$$W_{об}^*(p) = \frac{1}{522 \cdot p + 1}. \quad (4)$$

Коефіцієнт передачі розрахуємо за формулою:

$$k_{об} = \frac{\Delta \tilde{T}(\infty)}{\Delta x} = \frac{(20 - 100) \text{ } ^\circ\text{C}}{380 \text{ В}} = 0.211 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{В}. \quad (5)$$

Тоді передаточна функція об'єкта управління температурою буде мати вигляд:

$$W_{об}(p) = \frac{0.21 \cdot k_n}{522 \cdot p + 1}, \quad (6)$$

де  $k_n$  – коефіцієнт передачі підсилювача, ( $k_n = 76$ ),  $p$  – оператор Лапласа.

Оскільки діапазон значень, які надходять на датчик  $U = 0 \div 5 \text{ В}$ , то сигнал розузгодження  $\Delta U$  на виході елемента порівняння також змінюється в цих межах. На вхід об'єкта управління подається сигнал із граничним значенням  $380 \text{ В}$ , тобто коефіцієнт передачі масштабуючого підсилювача визначимо як:

$$k_n = \frac{U_{вих}}{U_{вх}} = \frac{380 \text{ В}}{5 \text{ В}} = 76. \quad (7)$$

Тоді передаточна функція об'єкта управління буде мати вигляд:

$$W_{об}(p) = \frac{16}{522 \cdot p + 1}. \quad (8)$$

Датчик має коефіцієнт передачі  $k_d = 0.05 \text{ В}/^\circ\text{C}$ .

Так як на вхід елемента порівняння подається сигнал в діапазоні  $0 \div 5 \text{ В}$ , а вихідна величина об'єкта управління змінюється в діапазоні  $0 \div 100^\circ\text{C}$ , то коефіцієнт передачі датчика визначиться за формулою:

$$k_d = \frac{U_{вих}}{U_{вх}} = \frac{5 \text{ В}}{100^\circ\text{C}} = 0.05 \text{ В}/^\circ\text{C}. \quad (9)$$

Відповідно структурна схема САУ буде мати вигляд, зображений на рис. 3.

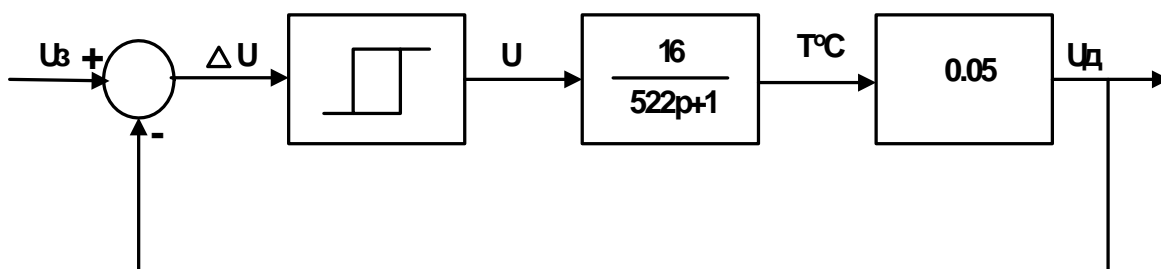


Рисунок 3 – Структурна схема САУ температурою

Оскільки нам потрібно підтримувати температуру в широких межах  $-45 \div 75^\circ\text{C}$  і передаточна функція об'єкту управління має вигляд:

$$W_{об}(p) = \frac{k}{T \cdot p + 1}, \quad (10)$$

де  $T=522 \text{ с}$ , тобто виконується умова  $\tau/T < 0.2$  ( $\tau=0$  – час чистого запізнення), то вибираємо двохпозиційний регулятор.

В результаті проведених експериментальних досліджень були отримані дві криві: нагріву формуючого елемента та його охолодження за допомогою прокачки охолоджувальної рідини. Тому, суміщаючи ці криві в заданому діапазоні температур, отримаємо криву регульованої величини, зображену на рис. 4.

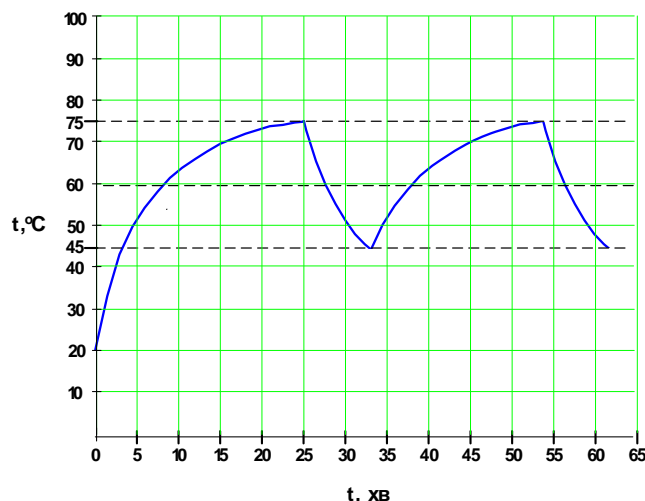


Рисунок 4 – Графік зміни регульованої величини

Динаміка зміни регульованої величини представляє собою автоколивання. Як видно з графіку, амплітуда автоколивань складає  $A=15^{\circ}\text{C}$ , а період автоколивань дорівнює  $T_{ак}=27,5$  хв.

**Висновки.** Із введенням такої мікропроцесорної системи автоматичного управління параметрами технологічного процесу підвищується рівень організованості виробничого процесу та оперативності взаємодії персоналу з технологічними об'єктами, зростають техніко-економічні показники функціонування об'єкту управління.

Проектуєма система автоматичного управління параметрами процесу фрикційного формоутворення забезпечує температурний моніторинг та підтримку температури формоутворюючого елемента в межах  $45 \div 75^{\circ}\text{C}$ , що забезпечує стабільність процесу, захист підшипників від надмірних теплових потоків та теплове розвантаження опор шпинделів теплової машини. Заданий температурний режим забезпечується шляхом прокачки масла через підшипник формоутворюючого елемента при досягненні його температури  $75^{\circ}\text{C}$  та вимкнення двигуна насоса при досягненні  $45^{\circ}\text{C}$ .

Ця система також дозволяє покращити техніко-економічні показники. Усунуто недолік діючої системи, що потребувала пильної уваги з боку оператора, який повинен був слідкувати за температурним режимом і вручну вмикати і вимикати охолоджуючий пристрій.

## Список літератури

1. Пуш В. Э. Металлорежущие станки: Учебник для машиностроительных ВТУЗов [Текст] / В. Э. Пуш. – М.: Машиностроение, 1985. – 256с.
2. Крыськов О.Д. Малоотходная технология и оснастка для изготовления полых деталей на токарно-револьверном автомате модели 1Б140. [Текст] / О.Д. Крыськов // Конструирование и технология пр-ва с.-х. машин: Респ. Меж вед. НТС, – №123. – К: Техника, 1986. – Вып. 16. – С. 79-85.
3. Ельхавад Алі Ельфакі Ахмед Энергетична ефективність процесу фрикційного формоутворення порожнистих деталей форми тіл оберту [Текст] : автореф. дис... канд. техн. наук: 05.03.01 / Ельхавад Алі Ельфакі Ахмед; Кіровоградський держ. технічний ун-т. – Кіровоград, 2001. – 20 с.
4. Наладка автоматических систем и устройств управления технологическими процессами [Текст] : справочное пособие / А. С. Клюев [и др.] ; под ред. А. С.Клюева. – М. : Энергия, 1977. – 400 с.
5. Попович М. Г. Теорія автоматичного керування: Підручник [Текст] / М. Г. Попович, О. В. Ковальчук. – К.: Либідь, 1997. – 544 с.

**Yuriy Parkhomenko, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Volodymyr Gamaliy, Prof., Dr. phys. & math. sci., Viktor Bosko, Assoc. Prof., PhD tech. sci.**

*Kirovograd National Technical University, Kropivnitsky, Ukraine*

### **The calculation of the system of stabilization of the temperature mode in the process of forming a friction**

Studied process of forming the friction parts.

Automatic control of process parameters provides friction forming temperature monitoring and support formative element temperature within  $45 \div 75^{\circ}\text{C}$ , ensuring stability of the process, protecting bearings from excessive heat flow and thermal discharge heat engine supports spindles. The specified temperature conditions provided by pumping oil through the bearing formative element in achieving its temperature  $75^{\circ}\text{C}$  and off the pump motor when reaching  $45^{\circ}\text{C}$ .

Certain parameters, which is subject to regulation and the transfer function of this parameter control object. The ways of creation of an automated system of stabilization of the temperature mode in the process of formation of friction. A functional diagram of a microprocessor-based system for automatic temperature control, ensuring the maintenance of set values of these parameters at specific points in time and throughout the process.

**automatic stabilization system, shaping, heat generation, temperature control**

Одержано 10.11.16

**УДК 321.30.06**

**М.М. Підгаєцький, доц., канд. техн. наук, К.К.Щербина, канд. техн. наук, О.М. Громко, магістр**

*Кіровоградський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

*E-mail kir2912s@yandex.ru*

**Т.В. Дяченко, викл.**

*Кіровоградський машинобудівний коледж Кіровоградського національного технічного університету, м. Кропивницький, Україна*

## **Синтез теоретичної концептуальної схеми продукційного хонінгувального верстата**

В статті розглядається синтез теоретичної концептуальної схеми продукційного хонінгувального верстата, який призначений для обробки деталей керуючої апаратури гідравлічних машин. Обґрунтовано роздільний привід для шпинделю деталі та шпинделю інструменту верстата. Висунуто вимоги до створення верстатних систем для хонінгування отворів. Розроблені функціональна та гідро-кінематична схема, а також побудований алгоритм роботи продукційного хонінгувального верстата з адаптивно-програмним керуванням. Представлені залежності між траєкторією руху зерна алмазно-абразивного інструмента та роботою, затраченою на виконання цих рухів.

**продукційний хонінгувальний верстат, верстатна система, алмазно-абразивний інструмент, система регулювання радіального розміру, пружно-гвинтовий хон, хонінгування отворів**

**М.М. Подгаецкий, доц., канд. техн. наук, К.К. Щербина, канд. техн. наук, О.М. Громко, магістр**

*Кировоградский национальный технический университет, г. Кропивницкий, Украина*

**Т.В. Дяченко, препод.**

*Кировоградский машиностроительный колледж Кировоградского национального технического университета, г. Кропивницкий, Украина*

**Синтез теоретической концептуальной схемы производственного хонинговального станка**

В статье рассматривается синтез теоретической концептуальной схемы производственного хонинговального станка, который предназначен для обработки деталей управляющей аппаратуры гидравлических машин. Обоснованно разделение привода для шпинделя детали и шпинделя инструмента станка. Выдвинуты требования к созданию станочных систем для хонингования отверстий. Разработаны функциональная и гидро-кинематическая схема, а также построен алгоритм работы производственного хонинговального станка с адаптивно-программным управлением. Представлены зависимости между траекторией движения зерна алмазно-абразивного инструмента и работой, затраченной на выполнение этих движений.

**продукционный хонинговальный станок, станочная система, алмазно-абразивный инструмент, система регулирования радиального размера, упруго-винтовой хон, хонингование отверстий**

**Постановка проблеми.** Сучасні етапи розвитку вимагають підвищеної точності розмірів та якості поверхонь деталей керуючої апаратури гідравлічних машин, які в свою чергу здобули великого розповсюдження в сільськогосподарській техніці та відповідають за швидкодію її елементів. У зв'язку з цим, особлива увага приділяється до фінішних операцій обробки деталей керуючої апаратури гідравлічних машин. Тому, доцільно на таких операціях як хонінгування отворів використовувати верстати, які оснащені системами автоматичного керування процесом різання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Одним з головних недоліків сучасних хонінгувальних верстатів є концентрація рухів на одному з виконавчих елементів верстату, а саме на інструментальному шпинделі [1,2]. Обумовленість такого рішення пов'язана з тим, що номенклатура деталей, які оброблюються на хонінгувальних верстатах, в своїй більшості перевищують масу алмазно-абразивного інструмента. Тобто, сила інерції, яка виникає в процесі надання рухів алмазно-абразивного інструменту, буде значно менша, ніж при наданні руху оброблюваній деталі [1,2]. Але в горизонтально-хонінгувальних верстатах обертання надається шпинделю виробу [1,2]. Це пов'язано з тим, що номенклатура деталей, які оброблюються на даних верстатах, зазвичай відноситься до класу тіл обертання.

Отже, при обробці деталей типу тіл обертання та невеликих корпусних деталей, які найбільш розповсюджені в керуючій апаратурі гідравлічних машин, доцільно надати шпинделю виробу обертальний рух. Ще однією вагомою причиною такого рішення є те, що оптимальною схемою отримання максимальної співвісності між алмазно-абразивним інструментом та оброблюваною деталлю є використання двохшарнірної підвіски для з'єднання обумовленого інструмента з шпинделем верстату.

Використання двохшарнірної підвіски має ряд недоліків. Так, через неї проходить шток регулювання радіального розміру алмазно-абразивного інструмента, що призводить до ускладнення конструкції. Постійне переміщення обумовленого штоку та дія осьових сил, які виникають в процесі обертання двохшарнірної підвіски, призводить до того, що вісь алмазно-абразивного інструмента буде намагатися зайняти положення, яке буде співпадати з віссю інструментального шпинделя [3], що може негативно позначитися на якості оброблюваної деталі.

**Постановка завдання.** Найбільш доцільно на операціях алмазно-абразивної обробки отворів використовувати системи автоматичного керування, які мають властивість самоприсосування або, так названі, адаптивні системи керування (АСК) [4]. Одною із головних вимог, які висуваються до процесу хонінгування отворів є усунення геометричних відхилень в повздовжньому перерізі. Це похибки, які виявляються в макрогеометрії або хвилястості оброблюваної поверхні. Отже, адаптація в процесі хонінгування отворів буде відбуватися по макрогеометрії або хвилястості оброблюваного отвору. Це призведе до розділення процесу адаптації у відповідності до

обумовленої похибки геометричного відхилення. Представлений процес характеризується таким поняттям як диференційна адаптація.

Диференційна адаптація – адаптація по переважаючому виду геометричного відхилення (виду вхідного сигналу).

Сутність диференційної адаптації полягає в попередньому визначенні переважаючого відхилення для подальшого налаштування АСК. Це дозволить оптимізувати процес адаптації та збільшити його сталість, що призведе до покращення геометричної точності оброблюваних отворів. Також слід зазначити, що диференційна адаптація передбачає можливість поетапного виправлення похибок по макрогеометрії та хвилястості.

**Виклад основного матеріалу.** На основі приведених вимог, розробимо АСК на базі пружно-гвинтового хону (ПГХ) [4]. Обумовлена система буде функціонувати в єдиному середовищі, а саме в гідравлічному. Також врахуємо той фактор, що багато рухів надається інструменту, тому передамо обертальний рух деталі, а саме столу. Далі розглянемо АСК на базі ПГХ.

Приведена АСК на систему регулювання радіального розміру (СРРР) базі ПГХ (рис. 1) складається з механізму осьової осциляції 1, який розташований на шпинделі 2, та приводиться в дію за рахунок гідромотору 24 керування яким відбувається за рахунок дроселюючого гідророзподільника 13 з гідравлічним керуванням 12,11.

До шпинделя 2 приєднано СРРР 3. ПГХ 5 знаходиться у взаємодії з оброблюваною деталлю 4, котра встановлена на столі 6. Керування СРРР на базі ПГХ відбувається за рахунок дроселюючого гідророзподільника 11 з гідравлічним керуванням 17,18 та регулюємого дроселю 14, який розташований у магістралі зливу.

Стіл 6 приводиться в дію гідромотором 7, керування яким здійснює гідророзподільник 8, а величина тиску в напірній магістралі вимірюється манометром 9.

Перехід від одного до іншого виду адаптації відбувається перемиканням електрокерованих гідророзподільників 20, 21.

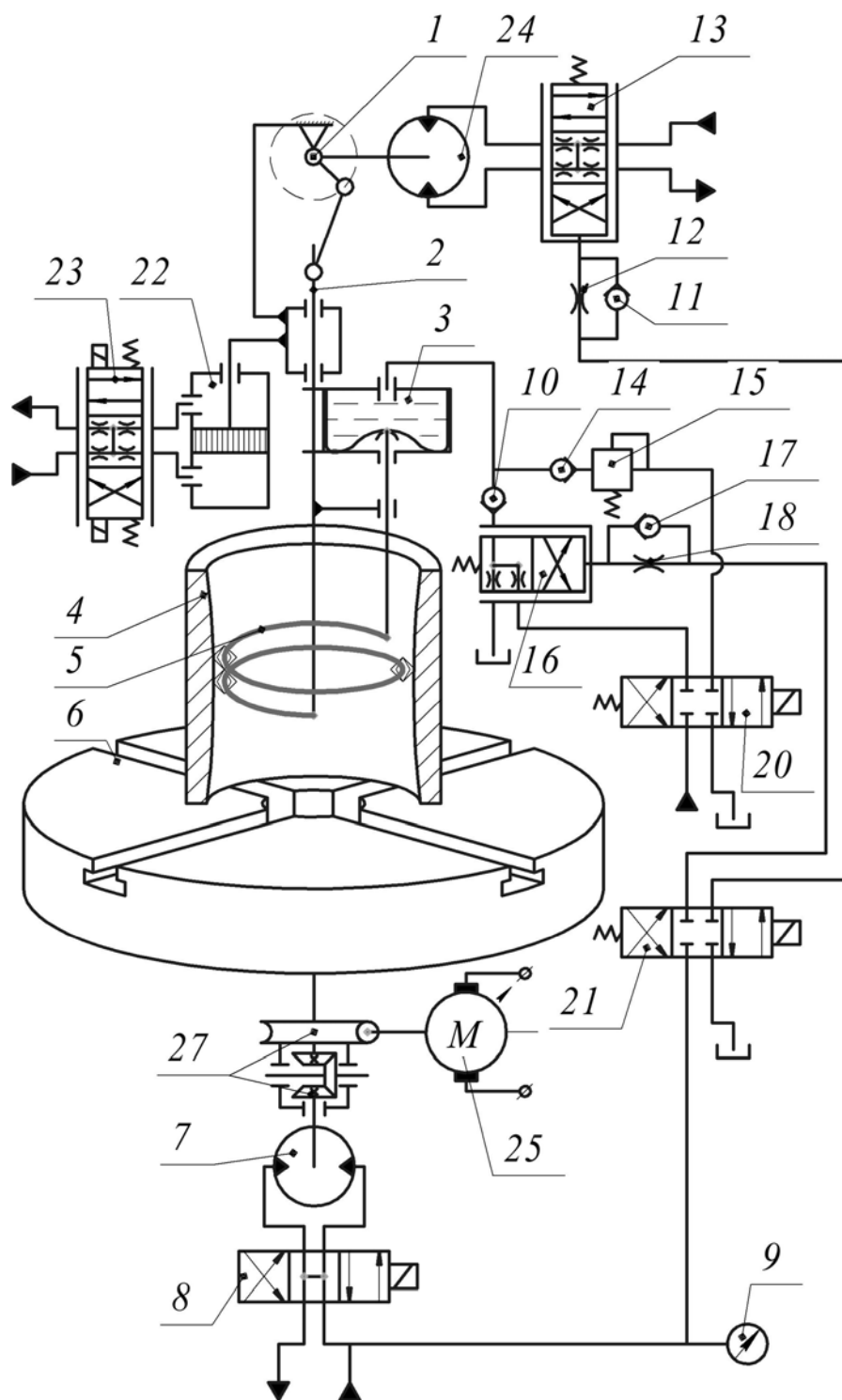
Обумовлена АСК працює наступним чином.

У відповідності до геометричного відхилення, а саме макрогеометрії чи хвилястості налаштовується робота електрокерованих гідророзподільників 20,21.

Далі при зменшенні або збільшенні величини об'ємної подачі в напірній магістралі гідромотору 7, що обумовлено зміною моменту різання, відбувається передача сигналу на один із дроселюючих гідророзподільників 13, 16.

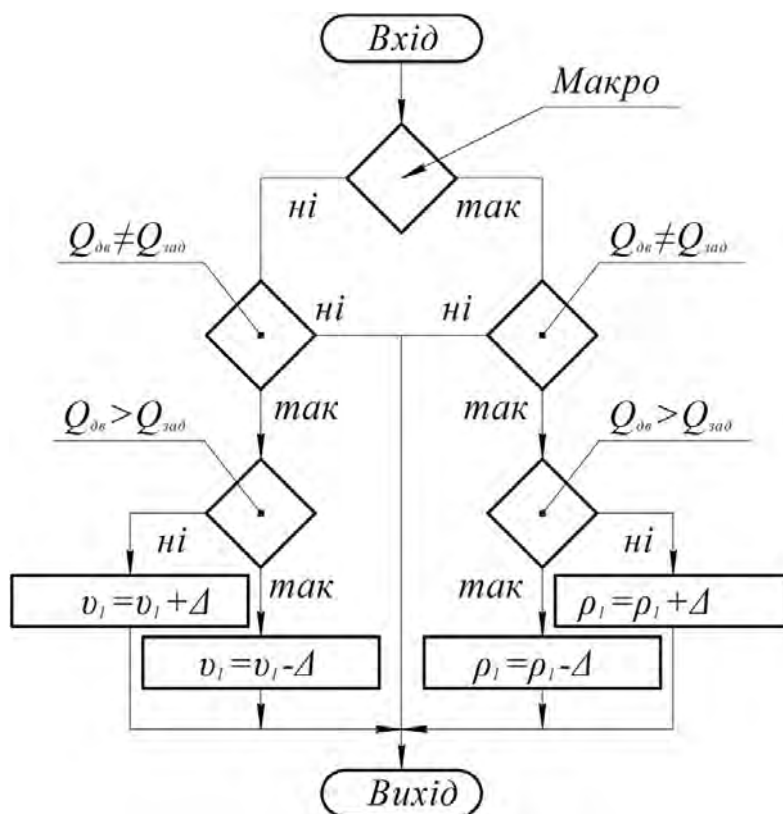
У випадку адаптації по макрогеометрії відбувається передача сигналу до дроселюючого гідророзподільника 13, що призводить до зміни величини об'ємної подачі робочої рідини до гідромотору 24. В свою чергу, змінюється частота осьової осциляції це стабілізує процес різання. При цьому, тиск у внутрішній порожнині оболонкової форми направленої дії (ОФНД) регулюється за рахунок регулюємого дроселю 14, а його постійність підтримується за допомогою гідроакумулятора 26.

При адаптації по хвилястості відбувається передача сигналу до дроселюючого гідророзподільника 16, що приводить до зміни тиску у внутрішній порожнині ОФНД 3. Тим самим збільшуються або зменшуються величини деформації ПГХ, що приводить до стабілізації процесу різання. При цьому величина частоти осцилюючих рухів залишається незмінною. Алгоритм роботи АСК наведений на рис.2.



1 – механізм осьової осциляції; 2- шпindelь; 3 – СРРР; 4 – оброблювана деталь; 5 – ПГХ; 6 - стіл;  
 7,24 – гідромотор; 8 – гідророзподільник; 9,15 – манометр; 10,11,17 – зворотній клапан; 12,18 – дросель;  
 13,16 – дроселюючий гідророзподільник з гiдравлічним керуванням; 14 – регулюємий дросель;  
 20,21 – гідророзподільник з електричним керуванням; 22 – гідроциліндр; 23 - дроселюючий  
 гідророзподільник з електричним керуванням; 25 – кроковий електродвигун; 26 – гідроаккумулятор;  
 27 – диференціал механізму кругової осциляції

Рисунок 1 – Гiдрокінематична схема продукційного хонінгувального верстата



$Q_{дв}$  – фактичне значення об’ємної подачі рідини гідромотору обертання столу;  $Q_{зад}$  – задане значення об’ємної подачі рідини гідромотору обертання столу;  $\rho_1$  – тиск у внутрішній порожнині ОФНД;  $v_1$  – частота осьової осциляції;  $\Delta$  – величина приросту

Рисунок 2 – Алгоритм роботи АСК

На підставі наведеної схеми синтезуємо продукційний хонінгувальний верстат з адаптивно-програмним керуванням (в подальшому ПХВАК) (рис. 1), який складається зі столу 6, котрий здійснює рух обертання за рахунок гідромотору 7. Також стіл 6 оснащений механізмом колової осциляції, котрий складається з диференціалу 27 та крокового двигуна 25.

На столі 6 розташована оброблювана деталь 4, у внутрішню порожнину введений ПГХ 5 з СРРР 3. Живлення СРРР 3 відбувається за рахунок гідророзподільника 20, а регулювання тиску здійснюється за рахунок дроселюючого гідророзподільника 16 з гідравлічним керуванням.

СРРР 3 з’єднаний зі шпинделем 2, якому надається зворотно-поступальний рух за допомогою гідроциліндру 22. Керування обумовленим гідроциліндром здійснюється за рахунок дроселюючого гідророзподільника 23 з електричним керуванням.

З шпинделем 2 з’єднаний механізм осьової осциляції 1, котрий складається з кривошипно-шатуного механізму, який приводиться в дію гідромотором 24. Керування останнім здійснюється дроселюючим гідророзподільником 13 з гідравлічним керуванням.

На ПХВАК втілений принцип диференційної адаптації у відповідності до АСК СРРР на базі ПГХ. Керування видом адаптації здійснюється за рахунок гідророзподільника 21.

ПХВАК працює наступним чином. Гідромотор 7 надає столу 6, на якому закріплена оброблювана деталь 4 рух обертання, разом з цим кроковий двигун 25 передає обертальний рух на диференціал 27, який сумує отриманий рух з рухом, який

надає гідромотор 7. Сукупність з цих дій приводить до виникнення колової осциляції. Частота колової осциляції регулюється зміною частоти обертів вихідного валу крокового двигуна 25. Гідроциліндр 22 надає зворотно-поступальний рух шпинделю 2 разом з механізмом осьової осциляції 1, СРРР 3 та ПГХ 5. Величина та швидкість переміщень регулюється дроселюючим гідророзподільником 23. Одночасно з цим СРРР з ПГХ надається рух осциляції в осьовому напрямку. Частота осьової осциляції визначається частотою обертання гідромотору 24, яка змінюється за рахунок дроселюючого гідророзподільника 13, а амплітуда обмеження конструктивним виконанням механізму осьової осциляції 1.

Враховуючи те, що на представленому верстаті встановлені механізми осцилятивного руху, які дозволяють підвищити продуктивність обробки та якість за рахунок утворення складної траєкторії руху зерна у вигляді фігур Ліссажу (рис.3) [5,6], для оцінки доцільності використання таких механізмів визначимо роботу, яка витрачається на різання за методикою представленого в роботі [6] для осьової та колової осциляції:

$$L_o = U_{\Sigma} \rho_k f_x \int \sqrt{\left(v_y + \frac{dy}{dt}\right)^2 + v_x^2} dt, \quad (1)$$

де  $U_{\Sigma}$  – сумарна площа контакту алмазно-абразивних брусків на оброблювану поверхню;

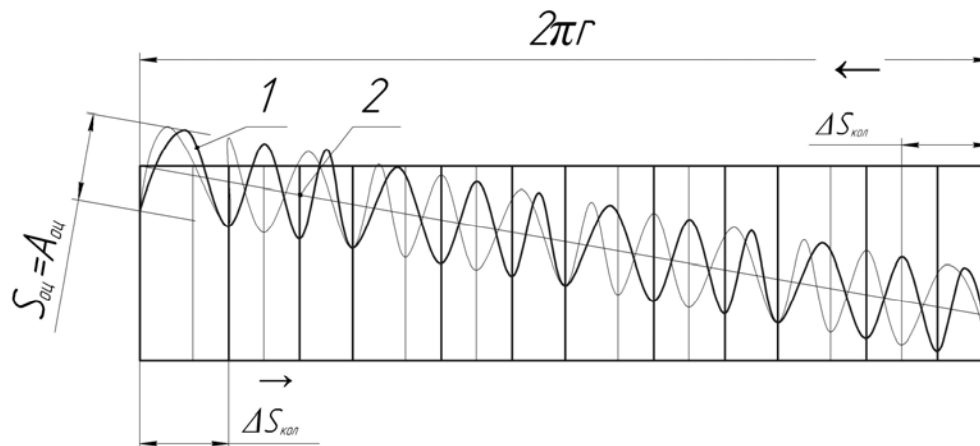
$\rho_k$  – контактний тиск пружно-гвинтового хону на оброблювану поверхню;

$f_x$  – коефіцієнт тертя шкрябання алмазно-абразивних брусків;

$v_y$  – швидкість зворотно-поступального руху;

$\frac{dy}{dt}$  – швидкість осьової осциляції ;

$v_x$  – сумарна швидкість руху алмазно-абразивного зерна;



1 – в прямому напрямку; 2 – зворотному напрямку;  $A_{osc}$  – амплітуда коливань;  $S_{кол}$  – номінальна колова подача;  $S_{osc}$  – подача осьової осциляції;  $r$  – радіус кола

Рисунок 3 – Покадрова схема траєкторія руху зерна інструменту в прямому і зворотному напрямку розгорнута, на площину

$$L_k = U_{\Sigma} \rho_k \int \sqrt{v_y^2 + \left(v_x + \frac{D}{2} \frac{d\alpha_x}{dt}\right)^2} dt, \quad (2)$$

де  $D$  – діаметр пружно-гвинтового хону;

$\frac{d\alpha_x}{dt}$  – кутова швидкість обертального руху головки;

**Висновки.** Отже, можна зробити висновок, що розглянутий продукційний верстат має диференціацію рухів між обома взаємодіючими елементами, а саме: деталі надається рух обертання, а інструменту зворотно-поступальний рух, що привело до спрощення конструкції верстату.

Використання крокового електричного двигуна в якості приводу кругової осциляції не вносить обмежень в процес регулювання частоти та амплітуди коливань і дає можливість утворення складної траєкторії руху. Визначено також, яка буде затрачена робота на надання додаткових осцилятивних рухів, що дозволить конструктору розрахувати необхідну потужність двигунів та врахувати економічну доцільність застосування осциляції.

ПХВАК втілена АСК СРРР на базі ПГХ з можливістю використання принципу диференційної адаптації.

## Список літератури

1. Куликов С.И. Хонингование. Справочное пособие [Текст] / С.И. Куликов, В.А. Романчук, Ф.Ф. Ризванов, Ю.М. Евсеев. – М.: Машиностроение, 1973. – 168 с.
2. Куликов С.И. Прогрессивные методы хонингования [Текст] / Куликов С.И., Ризванов Ф.Ф., Романчук В.А., Ковалевский С.В. – М.: Машиностроение, 1983. – 334 с.
3. Підгаєцький М.М. Продукційний хонінгувальний верстат з адаптивно-програмним керуванням [Текст] / М.М. Підгаєцький, К.К. Щербина, О.В. Лобода // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету техніка в сільськогосподарському виробництві, галузева машинобудування, автоматизація. – Кіровоград: КНТУ, 2012. – Вип. 25. – С. 151 – 155.
4. Підгаєцький М.М. Адаптивне керування системами регулювання радіального розміру алмазно-абразивного інструменту [Текст] / М.М. Підгаєцький, М.І. Черновол, К.К. Щербина // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кіровоград: КНТУ, 2012. – Вип. 42, ч. I. – С. 202 – 207.
5. Підгаєцький М.М. Утворення складної траєкторії руху зерна при хонінгуванні отворів [Текст] / М.М. Підгаєцький, К.К. Щербина // Вісник Чернігівського державного технологічного університету «Технічні науки», 2012. – №3 (59). – С.77 – 81.
6. Ризванов Ф.Ф. Проектирование механизмов осцилляции хонинговальных станков [Текст] / Ф.Ф. Ризванов // Станки и инструмент. – 1971. – №8. – С. 19 – 21.

**Mikhailo Podgaetski, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Kyryl Scherbina, PhD tech. sci., Olekhandr Hromko, Msc.**

*Kirovohrad National Technical University, Kropyvnickiy, Ukraine*

**Tetiyna Dyachenko, Lect.**

*Engineering College of Kirovograd National Technical University, Kropyvnickiy, Ukraine*

### **Synthesis of theoretical conceptual scheme of a production honing machine-tool**

Development of the theoretical conceptual scheme of the production honing machine with a possibility of adaptive control of processing of details of the operating equipment of hydraulic machine.

Division of the drive for a spindle of a detail and the tool of the machine is reasonable. Are developed the function and hydro-kinematic chart, and also the algorithm of operation of the production honing machine with adaptive program control is constructed. The principle of the differentiated adaptation depending on a type of deviations of the processed surface is embodied in the presented machine. Dependences between the trajectory of the movement of grain of the diamond and abrasive tool and work spent for performance of these movements are presented.

Considered productive machine movements must differentiate between the two interacting elements, namely: details provided by the movement of rotation, and tool reciprocating motion, leading to simplification of construction machines.

**production honing machine, machine tools, diamond grinding wheels, spring hone, adjustment of radial size, honing holes**

Одержано 26.10.16

УДК 621.9.048.4

**О. Ф. Сіса, канд. техн. наук***Кіровоградський національний технічний університет, м.Кривницький, Україна**E-mail: sisaoleg@mail.ru*

## Обробка розмірною електричною дугою шестигранних порожнин пуансонів гарячого пресування

Виконано обґрунтування технологічної схеми формоутворення поверхонь шестигранної порожнини пуансонів гарячого пресування головок болтів, способом розмірної обробки електричною дугою з урахуванням особливостей фізичних механізмів їх утворення та гідродинамічних явищ в міжелектродному проміжку. Встановлені аналітичні зв'язки технологічних характеристик процесу розмірної обробки електричною дугою сталі 5ХНМ з режимами обробки і геометричними параметрами.

**електрична дуга, матриця, пуансон, болт, гаряче пресування, технологія, технологічні характеристики, обладнання**

**О. Ф. Сіса, канд. техн. наук***Кіровоградський національний технічний університет, г. Кропивницький, Україна*

### Обработка размерной электрической дугой шестигранных полостей пуансонов горячего прессования

Выполнено обоснование технологической схемы формообразования поверхностей шестигранных полостей пуансонов горячего прессования способом размерной обработки электрической дугой с учетом особенностей физического механизма образования и гидродинамических явлений в межэлектродном промежутке. Установлены аналитические связи технологических характеристик процесса размерной обработки электрической дугой стали 5ХНМ с режимами обработки и геометрическими параметрами.

**электрическая дуга, матрица, пуансон, болт, горячее прессование, технология, технологические характеристики, оборудование**

**Постановка проблеми.** Зростаючі вимоги до конкурентноздатності вітчизняних сільськогосподарських агрегатів потребують безперервного підвищення їх надійності. Вплив на надійність машини, в цілому чинять основні елементи та різьбові з'єднання, які є ресурсовизначальними, оскільки вони витримують значні динамічні навантаження, а головним фактором підвищення несучої здатності високонавантажених болтів є підвищення пружності головки болта.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Під час роботи сільськогосподарської техніки різьбові з'єднання перебувають під впливом сумарного вібраційного навантаження, спрямованого вздовж та поперек осі різьбового стрижня. Діапазон частот коливань різьбових з'єднань сільськогосподарської техніки лежить в межах від 0,1 до 120 Гц, амплітуда – від  $1 \cdot 10^{-6}$  м до  $5 \cdot 10^{-3}$  м [1]. Причинами цього явища є невірноваженість обертальних мас, криволінійність профілю доріг, варіювання характеристик оброблюваного матеріалу тощо. Частка різьбових з'єднань, що використовуються на сучасних зернозбиральних комбайнах, складає 1 % від маси або 1,1-1,8 % від вартості комбайна. Досліджено, що 15-25 % відмов зернозбиральних комбайнів першого року експлуатації відбуваються внаслідок відмов різьбових з'єднань

[2]. Головними експлуатаційними параметрами змонтованого різьбового з'єднання є значення зусилля притискання та збережуваність його протягом заданого терміну роботи [3]. Для підвищення напрацювання різьбових з'єднань до послаблення наразі використовують конструкційні та технологічні способи. Найбільшої уваги у вітчизняному сільгоспмашинобудуванні приділяється конструкційному способу – стопорінню. Експериментально підтверджено, що жоден із способів стопоріння не забезпечує стовідсоткового збереження зусилля притискання з'єднаних деталей протягом міжремонтного строку сільськогосподарської техніки. Найбільш дешевим та досконалим способом забезпечення необхідного напрацювання різьбового з'єднання до послаблення є відтворення необхідного зусилля притискання з'єднаних деталей, тобто технологічний спосіб. Він базується на науково обґрунтованих даних для конкретних умов роботи з'єднань в конкретній машині при відповідному зусиллі притискання з'єднаних деталей.

В умовах багатосерійного та масового типу виробництва виготовлення кріпильних виробів виконують методом холодного пластичного деформування на спеціальних холодновисаджувальних прес-автоматах, а в гарячому стані – на універсальному ковальсько-пресовому обладнанні. На прес-автоматах в холодному стані виготовляють болти з повною оформленою шестигранною головкою, але при цьому недоліками є нерівномірність розподілення механічних властивостей головки і стержньової частини та підвищена ступінь деформації, яка вимагає термічної обробки для зняття внутрішніх напружень. Виготовлення болтів з шестигранными головками методом гарячого висаджування виконується у відкритому штампі з подальшою обрізкою облою, накатування або нарізання різьби. Однак, виготовлення робочих деталей штампу (матриці і пуансона), які мають складний контур робочої частини є проблемним, так-як обробку потрібно вести в деталях, які вже мали термічну обробку і мають значну твердість 45..52 HRC.

Найбільш розповсюдженими методами, які застосовуються для обробки матриць, окрім слюсарно-механічної, є: алмазне шліфування, електрохімічна і електроерозійна обробка. Однак, застосування алмазного шліфування для складнофасонної поверхні матриці не завжди можливо у силу кінетичних особливостей метода і конструкції інструмента. Слюсарно-механічний метод малопродуктивний і вимагає значних витрат висококваліфікованої ручної праці.

Електрохімічна обробка застосовується для обробки твердосплавного і сталевого матеріалу, вона характеризується високою продуктивністю знімання металу з поверхонь складної форми і малої жорсткості ( за рахунок відсутності високих тисків на заготовку), високою точністю і низькою шорсткістю.

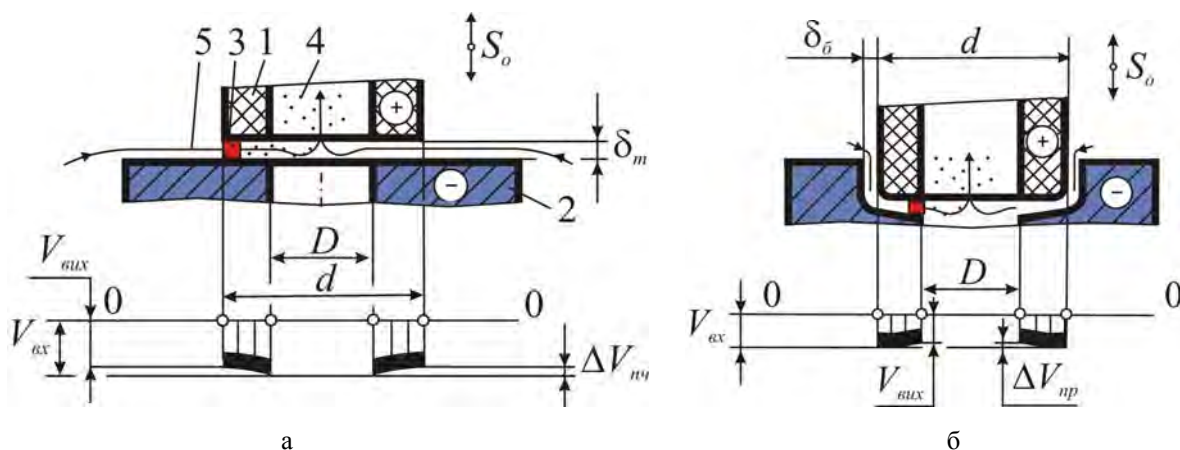
Для виготовлення отворів матриць (круглих, шестикутних, профільних) широко використовується спосіб електроімпульсного прошивання, який забезпечує потрібну якість та точність обробки. Даний спосіб застосовує для руйнування матеріалу електричну енергію у вигляді нестационарних форм електричних розрядів, зокрема імпульсних розрядів. Тому процес обробки супроводжується паузами, які негативно впливають на продуктивність обробки.

За роботами [4,5,6] відомий спосіб розмірної обробки металів електричною дугою (РОД), при якому енергія підводиться в зону обробки безперервно. Завдяки цьому, а також тому, що спосіб дозволяє вводити в зону обробки великі потужності електричного струму, даний спосіб володіє високою продуктивністю обробки. Так, за даними роботи [6] продуктивність обробки круглого отвору діаметром 30 мм (площа обробки 706 мм<sup>2</sup>) в матеріалі сталь 45 при силі струму  $I = 1000\text{A}$ , досягає 27300 мм<sup>3</sup>/хв при  $Ra = 6,3$  мкм та глибині зони термічного впливу в межах кількох сотих долей

міліметра. Однак, впровадження у виробництво процесу РОД матриць та пуансонів гарячого пресування стримується відсутністю експериментальних даних про взаємозв'язок технологічних характеристик даного процесу з електричним і електродинамічним режимами обробки та геометричними параметрами отворів, які оброблюються. Проблема ще більш загострюється при отриманні отвору з визначеною шорсткістю поверхні калібруючої частини матриці чи пуансона. Тому розробка технології і обладнання способу РОД для отримання шестигранних порожнин матриць чи пуансонів гарячого пресування болтів є актуальною.

**Постановка завдання.** Таким чином, метою досліджень є розробка технології та обладнання способу РОД матриць чи пуансонів для гарячого пресування болтів, як високоефективної альтернативи традиційним способам їх обробки.

**Виклад основного матеріалу.** В якості технологічної схеми формоутворення вибрана схема за принципом прошивання. Обробку здійснювали з використанням графітового електрода-інструмента (ЕІ, марка МПГ-7) при вибраній технологічній схемі формоутворення з прокачуванням органічного середовища в торцевому міжелектродному зазорі (МЕЗ) під технологічним тиском, за напрямком від перефірії до центру електрода-інструмента (рис.1). Предметом дослідження були такі технологічні характеристики: продуктивність обробки  $M$ , мм<sup>3</sup>/хв; питома продуктивність обробки  $M_a$ , мм<sup>3</sup>/А·хв; питома витрата електроенергії  $a$ , кВт·год/кг; бічний зовнішній МЕЗ  $\delta$ , мм; відносний лінійний знос ЕІ  $\gamma$ , %; шорсткість обробленої поверхні  $Ra$ , мкм. Будування математичних моделей технологічних характеристик процесу РОД сталі 5ХНМ здійснювалось з застосуванням математичних методів планування експериментів, зокрема плану  $2^{4-1}$ . На підставі апріорної інформації були відібрані фактори, що визначають режими обробки ( сила технологічного струму  $I$ , А; статичний тиск робочої рідини на вході в міжелектродний зазор  $P_{cm}$ , МПа) та фактори, що визначають геометричні параметри обробки ( площа обробки  $F$ , мм<sup>2</sup>; глибина обробки  $h$ , мм).



а – початкова фаза обробки; б – проміжна фаза обробки (1 – графітовий ЕІ; 2 – сталева заготовка; 3 – електрична дуга; 4 – продукти ерозії; 5 – гідродинамічний потік)

Рисунок 1 – Технологічна схема формоутворення та епюри швидкостей потоку в торцевому МЕЗ

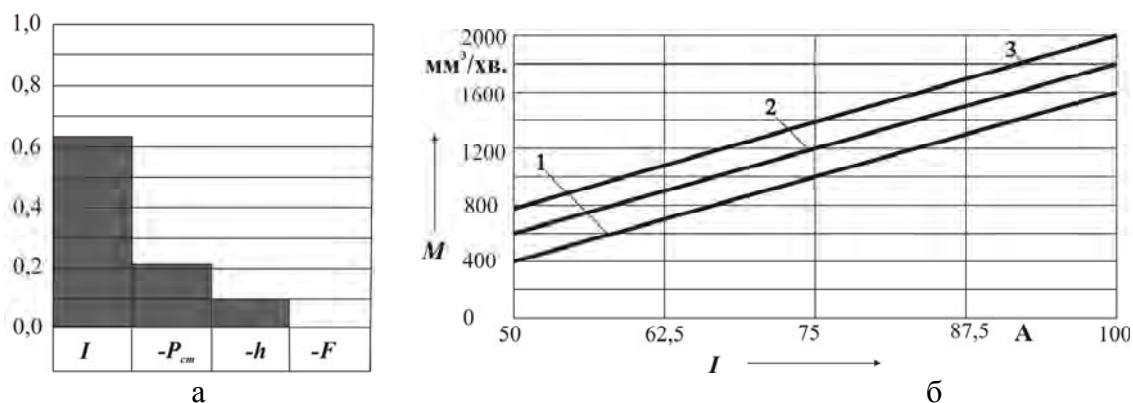
Усі фактори задовольняють умови керованості, операціональності та однозначності. Інші параметри процесу РОД були зафіксовані на постійному рівні: робоча рідина – органічне середовище; полярність обробки – зворотня; матеріал електрода-інструмента – електроерозійний графіт марки МПГ-7.

Таблиця 1 – Поліноміальні математичні моделі технологічних характеристик процесу РОД зразків із сталі 5ХНМ

Математична модель	Масштабні співвідношення факторів
Уніполярна РОД бічної поверхні зразка за формулою «графітовий ЕІ – сталь» з використанням способу зворотного прокачування	
$M = 1225 + 596x_1 - 203x_2 - 156x_4$	$x_1 = (X_1 - 75)/25$ $x_2 = (X_2 - 1)/0,2$ $x_3 = (X_3 - 560)/161$ $x_4 = (X_4 - 3,5)/1,5$
$M_a = 7,699 + 1,387x_1 - 1,7088x_2 - 0,992x_4$	
$a = 1,23 - 0,275x_1$	
$R_a = 5,124 + 2,124x_1 - 0,384x_2 + 0,205x_4$	
$\delta_a = 0,0082 - 0,00225x_2$	
$\gamma_{\bar{e}} = 0,387 - 0,136x_2 - 0,083x_4 - 0,034x_1 + 0,009x_3$	
де $X_1 \rightarrow I, \text{ А}; X_2 \rightarrow P_{cm}, \text{ МПа}; X_3 \rightarrow F, \text{ мм}^2; X_4 \rightarrow h, \text{ мм}$	

В рамках експерименту: продуктивність  $M$  процесу РОД сталі 5ХНМ змінювалась в межах від 590 до 2444 мм<sup>3</sup>/хв.; питома продуктивність обробки  $M_a$  – від 5,04 до 12,22 мм<sup>3</sup>/А·хв; питома витрата електроенергії  $a$  – 0,48 до 1,83 кВт·год/кг; бічний зовнішній МЕЗ  $\delta$  – 0,010 до 0,025мм; відносний лінійний знос ЕІ  $\gamma$  – 0,19 до 0,74 %; шорсткість обробленої поверхні  $R_a$  – 2,5 до 8 мкм.

Із аналізу моделі (рис. 2) випливає, що на продуктивність обробки  $M$  найбільш впливає сила технологічного струму, із підвищенням якої продуктивність збільшується. Отже силу струму слід визначити головним керуючим фактором, а даний факт свідчить про теплову природу процесу РОД. Вплив площі обробки  $F$  на продуктивність значно менший, а статичний тиск  $P_{cm}$  та глибина обробки суттєвого впливу не створювали. Це дозволяє застосовувати спосіб РОД для обробки порожнин пуансонів гарячого пресування.

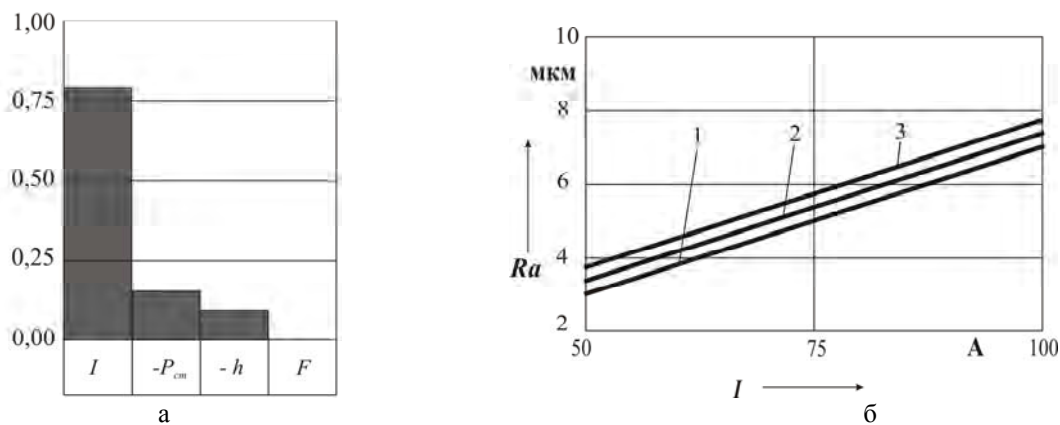


а – ступінь впливу змінних факторів; б – залежність  $M$  від  $I$ ; 1 –  $P_{cm} = 1,2 \text{ МПа}$ ;  
2 –  $P_{cm} = 1,0 \text{ МПа}$ ; 3 –  $P_{cm} = 0,8 \text{ МПа}$

Рисунок 2 – Продуктивність  $M$  чорнової РОД бічної поверхні зразка за формулою «графітовий ЕІ- сталь» з використанням способу зворотного прокачування

Із моделі та (рис. 3) виходить, що шорсткість обробленої поверхні  $R_a$  в повній мірі визначається силою технологічного струму  $I$  (ступінь впливу – 78,3 %) та

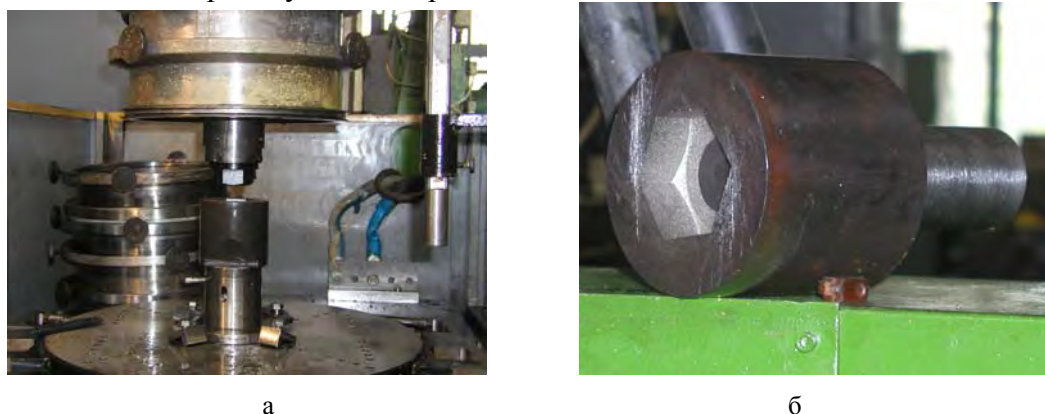
залежить від статичного тиску  $P_{cm}$ , а також глибини обробки  $h$ . Із підвищенням  $I$  шорсткість поверхні підвищується. Отже, сила технологічного струму  $I$  по відношенню до шорсткості обробленої поверхні  $Ra$  є головним керуючим фактором. Причому, чим менша сила технологічного струму, тим більша імовірність утворення лунок. При виконаних експериментальних дослідженнях шорсткість вимірювалася на периферійній частині торцевої поверхні зразка. В умовах експерименту вона змінювалася у межах від  $Ra$  – 2,5 до 8 мкм.



а – ступінь впливу змінних факторів; б – залежність  $Ra$  від  $I$ ; 1 –  $P_{cm} = 1,2$  МПа;  
2 –  $P_{cm} = 1,0$  МПа; 3 –  $P_{cm} = 0,8$  МПа

Рисунок 3 – Шорсткість обробленої поверхні  $Ra$  РОД бічної поверхні зразка за формулою “графітовий ЕІ- сталь” з використанням способу зворотного прокачування

Обробку порожнини пуансону гарячого пресування (рис. 4, б), здійснювали графітовим ЕІ марки МПГ-7 при наступному режимі обробки: сила технологічного струму  $I = 50$  А, напруга на дузі  $U = 27$  В, статичний тиск органічної робочої рідини на вході потоку в міжелектродний зазор  $P_{cm} = 1,2$  МПа, площа обробки  $F = 721$  мм<sup>2</sup>, полярність обробки зворотня (заготовка «мінус»), спосіб прокачування рідини крізь торцевий міжелектродний зазор – зворотній (від периферії до центра отвору заготовки). В результаті обробки пуансону гарячого пресування з сталі 5ХНМ, була зафіксована продуктивність обробки  $M = 610$  мм<sup>3</sup>/хв., що в 1,6...2,2 разів перевищує продуктивність електроімпульсної обробки.



а – обробка пуансона на електроерозійному верстаті моделі "АМ-1";  
б – пуансон горизонтально-кувальної машини В1136 для висаджування головок болта розмірами під ключ  $S = 54$  мм, висотою до 24 мм  
графітовим ЕІ ( $I = 50$  А,  $P_{cm} = 1,2$  МПа,  $F = 721$  мм<sup>2</sup>,  $h = 24$  мм)

Рисунок 4 – Випробування способу РОД порожнин пуансонів гарячого пресування

**Висновки.** Таким чином, експериментально доведена доцільність використання способу РОД для високопродуктивної обробки шестигранних порожнин пуансонів гарячого пресування, що вимагає відповідно невеликих капіталовкладень в обладнання і технологію, забезпечить швидку окупність за рахунок значного збільшення строку служби інструменту, призведе до помітної економії коштів на будь-якому виробництві виготовлення кріпильних виробів.

## Список літератури

1. Рубець А.М. Збільшення ресурсу різьбових з'єднань сільськогосподарської техніки [Текст] / А.М. Рубець // Техніка і технології АПК. – 2013. – № 10(49). – С. 20–22.
2. Михайлович Я. М. Використання різьбових з'єднань зернозбиральних комбайнів [Текст] / Я. М. Михайлович, А. М. Рубець // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: збірник наукових праць Український науково-дослідний інститут прогнозування та випробування техніки і технологій для сільського господарства ім. Л. Погорілого. – Дослідницьке, 2009. – Вип. 13 (27). – С. 301–310.
3. Михайлович Я. М. Підвищення наробітку різьбових з'єднань сільськогосподарської техніки до послаблення [Текст] / Я. М. Михайлович, А. М. Рубець // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К., 2012. – Вип. 170, ч. 2, – С. 178–185.
4. Носуленко В. І. Розмірна обробка металів електричною дугою: дис. ... доктора техн. наук: 05.03.07 [Текст] / Носуленко Віктор Іванович. – Кіровоград, 1998. – 389 с.
5. Носуленко В. И. Размерная обработка металлов электрической дугой [Текст] / В.И. Носуленко, Г.М. Мещеряков // Электронная обработка материалов. – 1981. - № 1. – С.19-23.
6. Боков В. М. Розмірне формоутворення поверхонь електричною дугою [Текст] / В. М. Боков. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий центр ТОВ «Імекс-ЛТД», 2002. – 300 с.

**Oleh Sisa, PhD tech. sci.**

*Kirovohrad National Technical University, Kropyvnickiy, Ukraine*

### **Processing of hexagonal cavities of hot pressing punches by dimension electrical arc**

The article is dedicated to the development of technology and accessories of the method for processing of hexagonal cavities of hot-pressing punches by electrical arc, as high-performance alternative to traditional processing methods.

An important factor in increasing the carrying capacity of heavy duty bolts is the increasing of the elasticity of the bolt head. This condition is fully met by the high-strength bolts with hexagon head produced by the method of hot pressing. The use of an elastic flange ensures continuous operation under alternating loadings without loss of pre-tightening efforts. When developing equipment and tools, it is necessary to take into account the conditions which ensure the formation of the bolt head. The most important parameter for pressing is the dimensional accuracy, hot impact resistance of the tool, material ductility, burr tool cavity walls, since the pressure force on the transmission side surface is proportional to the pressure in the longitudinal direction. It is found that the optimum parameters hex hot pressing punch cavity walls during the processing performance of  $M = 610 \text{ mm}^3 / \text{min}$ . by electrical arc, is the roughness  $Ra = 2,5..6,3 \text{ mkm}$  that provides frictional force required to fill the cavity of the bolt head.

It is suggested to get the hexagonal cavities of hot pressing punches by dimension electrical arc with the set roughness  $Ra = 2,5..6,3 \text{ mkm}$  of side walls, which allows you to take great allowances material at the lowest cost to the processing time. At the same time the cycle of processing is decreased 2-4,5 times.

The objectivation of technological scheme of formation of hexagonal cavities of hot pressing punches by dimension electrical arc was made taking into account features of the physical mechanism of formation and hydrodynamic phenomena in the electrode gap. The analytical processing characteristics of process of sizing by electric arc of steel 5HNM with treatment regimes and geometrical parameters were established.

**electric arc, matrix, punch, bolt, hot pressing, technology, process characteristics, equipment**

Одержано 4.11.16

УДК 621.791

**М.М. Студент, проф., д-р техн. наук, В.М. Гвоздецький, канд. техн. наук**  
*Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, м. Львів, Україна*

**С.І. Маркович, канд. техн. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

*E-mail: sergey\_markovich@mail.ua*

## Вплив підвищеного тиску повітряного струменю на структуру і властивості електродугових покриттів

В статті наведено результати дослідження впливу тиску повітряного струменю на властивості покриттів. Встановлено, що збільшення тиску повітряного струменю від 0,6 до 1,2 МПа забезпечує зростання швидкості повітряного струменю від 300 до 600 м/с, а швидкість диспергованих краплин від 120 до 220 м/с. Підвищення тиску повітряного струменю від 0,6 до 1,2 МПа зумовлює зменшення товщини ламелей покриття, формування більшої кількості оксидної фази у покритті, при цьому зростає твердість, когезивна міцність та знижується рівень колових залишкових напружень першого роду у покритті.

**дугове покриття, високий тиск повітряного струменю, ламель, розмір оксидів**

**М.М. Студент, проф., д-р техн. наук, В.М. Гвоздецький, канд. техн. наук**

*Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, г. Львов, Украина*

**С.И. Маркович, канд. техн. наук**

*Кировоградский национальный технический университет, г. Кропивницкий, Украина*

**Влияние повышенного давления воздушной струи на структуру и свойства электродуговых покрытий**

В статье приведены результаты исследования влияния давления воздушной струи на свойства покрытий. Установлено, что увеличение давления воздушной струи от 0,6 до 1,2 МПа обеспечивает рост скорости воздушной струи от 300 до 600 м/с, а скорости диспергированных капель от 120 до 220 м/с. Повышение давления воздушной струи от 0,6 до 1,2 МПа предопределяет уменьшение толщины ламелей покрытия, формирование большего количества фазы окисла в покрытии, при этом растет твердость, когезионная прочность и снижается уровень окружных остаточных напряжений первого рода в покрытии.

**дуговое покрытие, высокое давление воздушной струи, ламель, размер окислов**

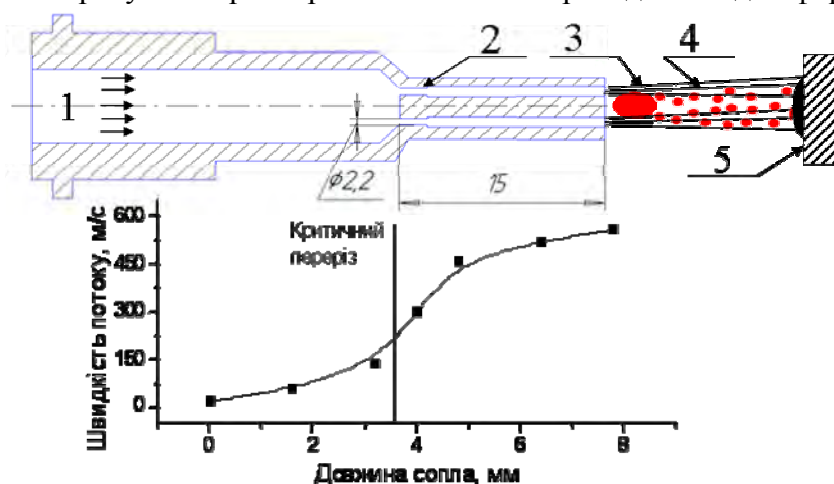
**Постановка проблеми та аналіз публікацій.** Серед газотермічних методів отримання покриттів електродугова металізація (ЕДМ) є технологічно найпростішим і найдешевшим методом. Використання останнім часом електродних матеріалів у вигляді спеціальних порошкових дротів (ПД) дало змогу розширити сферу застосування методу електродугової металізації та одержати нові відновні та захисні покриття різного функціонального призначення, з високими експлуатаційними характеристиками [1-3]. Проте, для електродугових покриттів характерною є висока пористість – 7-10 %, високий рівень залишкових напружень розтягу 60-70 МПа, низька когезія 80-90 МПа та адгезія – 8-10 МПа (порівняно із покриттями, нанесеними іншими газотермічними методами). Останнім часом у світовій практиці ведуться роботи по підвищенню фізико-механічних характеристик електродугових покриттів (метод ЕДП). Для цього в ряді робіт стиснуте повітря замінюють на суміш горючих газів із киснем [3, 4]. Такий метод, за рахунок підвищення швидкості розплавлених

краплин, що формують покриття, дозволяє суттєво підвищити механічні характеристики покриттів та зменшити пористість, однак при цьому значно ускладнюється конструкція обладнання, суттєво зростають енергетичні затрати та собівартість нанесення покриттів.

**Постановка завдання.** В даній роботі для підвищення механічних характеристик електродугових покриттів за рахунок підвищення тиску повітря, яке подається в систему розпилювання металізатора від 0,6 до 1,2 МПа.

**Методики експериментів.** Електродугові покриття товщиною 1 мм наносили металізатором ГТ-1 виробництва Фізико-механічного інституту НАН України. Для наплення покриттів використали електродні матеріали: дріт суцільного перерізу Св 08, та порошкові дроти марки 1 – 140X14; 2 – 140X14ФФ; 3 – 140X14Н2ТЮ; 4 – 140X16РЗТ2Н2; 5 – 140X16РЗ; 6 – Х6РЗЮ3Mg2. Покриття напилували за наступних режимів: напруга на дузі  $U = 32$  В, струм  $I = 120$  А, тиск повітря 0,6; 0,9 та 1,2 МПа за витрати повітря  $1,3$  м<sup>3</sup>/хв, віддаль від дуги до напилуваної поверхні у всіх випадках 120 мм. Перед напленням зразки піддавали абразиво-струменевій обробці корундом. Мікротвердість визначали на приладі ПМТ-3 за навантаження 200 г.

Для отримання надзвукової швидкості повітряного струменю числом Маха 2 використовували сопло Лавалю з вертикальним розміщенням двох повітряних каналів у соплі з критичним діаметром кожного отвору 2,2 мм. (рис. 1), довжиною надзвукової частини 15 мм. Розрахунок параметрів сопла Лавалю проводили згідно формул:



1 – повітряний потік, 2 – критичний переріз сопла, 3 – розплав з електродних матеріалів, 4 – металоповітряний потік, 5 – стальна підкладка з напленням покриттям

Рисунок 1 – Схема сопла для отримання надзвукового потоку

а) площа поперечного перерізу:  $f = G / (\rho_i \cdot w_i)$ ;

б) діаметр:  $d_i = ((4/\pi) \cdot f_i)^{0,5}$ ;

в) довжина сопла: 1) дозвукова частина  $l_1 = (d_i - d_{кр}) / (2 \cdot \operatorname{tg}(\alpha_2 / 2))$  2) надзвукова частина  $l_2 = (d_i - d_{кр}) / (2 \cdot \operatorname{tg}(\alpha_1 / 2))$  [5].

Віддаль від зрізу сопла до дуги 10 мм.

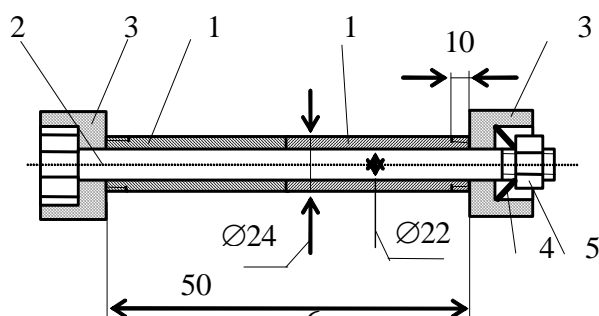
Швидкість повітряного потоку визначали за формулою  $w_i = \sqrt{\frac{2 \cdot k}{k-1} \cdot R \cdot (T_0 - T_i)}$  [5], де  $w_i$  – швидкість повітряного потоку у соплі;  $k$  – показник адіабати,  $k = C_p / C_v$ ;

$R$  – постійна газова повітря;  $T_o$  та  $T_i$  – температура повітряного потоку у дозвуковій та надзвуковій частинах сопла. Швидкість диспергованих повітряним струменем краплин визначали експериментально з використанням двох обертових дисків [6].

З метою визначення температури напилюваної поверхні під час напилення за тиску 0,6 та 1,2 МПа, нанесення покриття виконували нерухомим металізатором протягом 30 с. на пластину товщиною 5 мм, на зворотній стороні якої фіксували термопару у отворі на глибині 4 мм. В процесі напилення покриття з електродного дроту масою 300 г, температура на поверхні деталі в плямі напилення змінюється за параболічним законом. За тиску повітря 0,6 МПа була зафіксована максимальна температура 450 °С, а за тиску 1,2 МПа – 600°С.

Когезивну міцність покриттів визначали на трубчатих зразках (рис. 2), що складаються із двох половинок загальною довжиною 100 мм. Половинки зразків з'єднували між собою болтом з гайкою. На поверхню зразків наносили покриття товщиною 1 мм. Після цього зразки звільняли від оправки і розтягували на розривній машині FPZ-10, фіксуючи зусилля в момент руйнування. Когезивну міцність визначали за відомою формулою:  $\sigma = \frac{P}{S}$  де  $P$  – зафіксоване зусилля в моменту руйнування;

$S$  – площа напиленого покриття.



1 – поверхні зразків для напилення покриття; 2 – штифт; 3 – захисні шайби; 4 – пружина; 5 – гайка

Рисунок 2 – Схема зразків для нанесення покриття з метою визначення величини його когезивної міцності

Розрахунок напружень визначали за методикою, розробленою для біметалевих кілець (діаметром 60 мм, висотою 20 мм, товщиною 4 мм) з повздовжнім розрізом [7], у яких відношення радіусів центральної лінії до радіальної товщини кільця не менше 10. На зовнішню поверхню кільця наносили ЕДП товщиною 1 мм. Для визначення напружень враховували модулі пружності сталевого кільця-підкладки і напиленого шару, який становить 70 МПа [7]. Розходження крайок заміряли штангенциркулем ШЦ-I-125-0,05, ГОСТ 166-89.

**Виклад основного матеріалу.** Розрахунки швидкості повітряного струменю за вище приведеною формулою показали, що зростання тиску повітряного струменю від 0,6 до 1,2 МПа зумовлює підвищення швидкості повітряного потоку у 2 рази від 300 до 600 м/с (рис. 1). При цьому швидкість диспергованих повітряним струменем краплин при розпиленні електродних порошкових дротів зростає від 60 – 90 м/с до 160 - 220 м/с (рис. 3), а розмір зменшується.

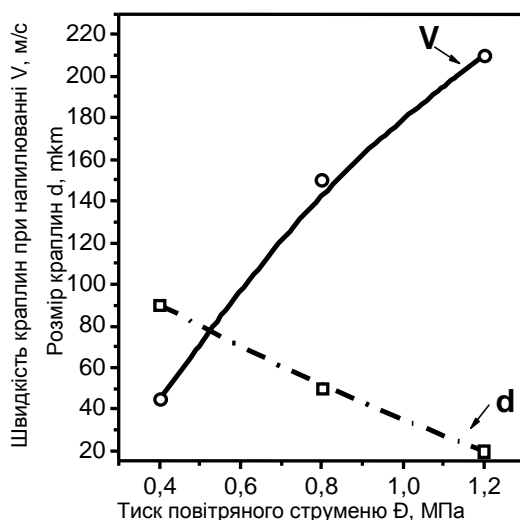


Рисунок 3 – Зміна швидкості краплини  $V$  та діаметру  $d$  краплин залежно від тиску повітряного струменю  $P$

Зменшення часу польоту диспергованих краплин від дуги до напилюваної поверхні забезпечує вищу їх температуру при вдарянні об напилювану поверхню.

Підвищення тиску повітряного струменю від 0,6 до 1,2 МПа сприяє інтенсивнішому диспергуванню розплаву з електродних дротів, що забезпечує зменшення розміру краплин, з яких формується покриття. За тиску повітря 0,6 МПа формуються краплини розміром від 30 до 100 мкм, (рис. 4, а), а за тиску повітря 1,2 МПа – 30...10 мкм і менше (рис. 4, б).

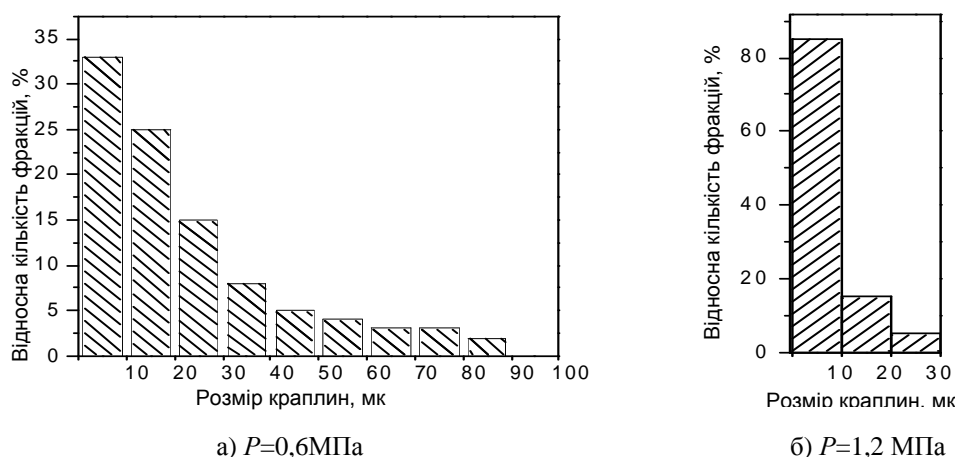
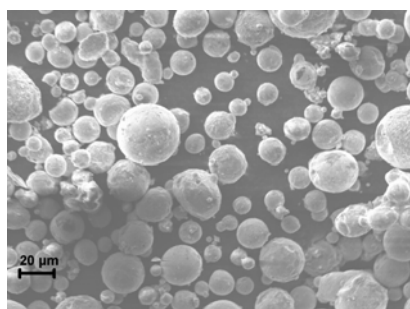


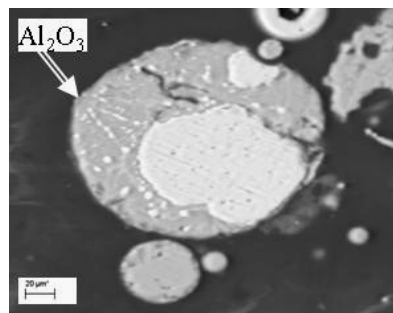
Рисунок 4 – Фракційний розподіл краплин із ПД Х6РЗЮ3Мg2

Металографічними дослідженнями підтверджено результати фракційного розподілу краплин, отриманих при напиленні за тиску 1,2 МПа (рис. 5, а).

На поверхні диспергованих краплин формуються оксидні плівки різного складу. Зменшення розмірів краплин забезпечує зростання площі їх контактної взаємодії з повітряним середовищем, як наслідок – часткове або повне їх окислення (рис. 5, б), що збільшує кількість оксидів і формування композиційної структури покриття (рис.б).

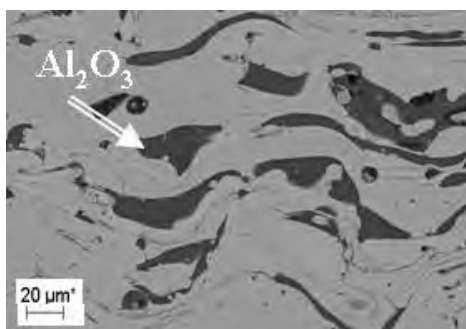


а) загальний вигляд краплин з поверхні

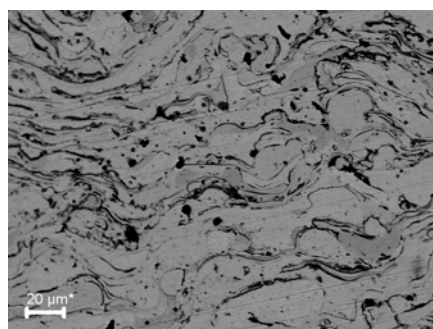


б) поперечний шліф напилених у снігову мішень краплин: повне та часткове окиснення краплини з поверхні

Рисунок 5 – Дисперговані краплин з металевого розплаву із ПД Х6Р3Ю3Mg2



а)

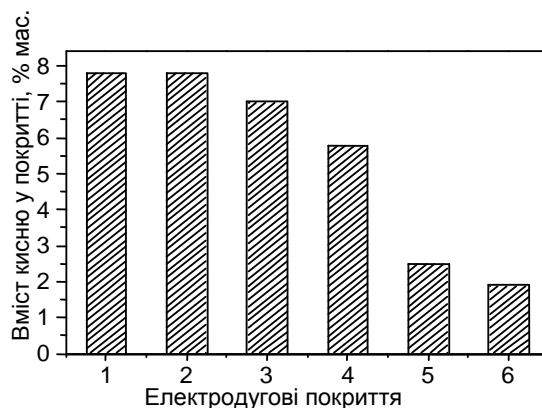


б)

Рисунок 6 – Розміщення оксидних плівок у структурі покриття із ПД140X14Н2ТЮ, P = 0.6 МПа (а) та P = 1.2 (б) МПа

За тиску розпилення 0,6 МПа кількість оксидної фази у структурі покриття із ПД140X14Н2ТЮ становить 15...20 % об., а за тиску –1,2 МПа вміст оксидів зростає у 1,3...1,5 рази та становить 20...30 % об. Як правило, оксидна фаза розташовується між ламелями покриття (рис. 6, а), хоча в деяких випадках формується оксидними ламелями із повністю окиснення краплин (рис. 6, б).

Аналіз одержаних експериментальних даних показує, що максимальний вміст оксидів у покритті спостерігається при додаванні у шихту ферофосфору, ферохрому та феротитану (рис. 7) і, при цьому, у покритті формуються переважно оксиди із Ті, Сг та Fe, або їх суміші.



1 – 140X14; 2 – 140X14ФФ; 3 – 140X14Н2ТЮ ; 4 – 140X16Р3Т2Н2; 5 – 140X16Р3; 6 – Х6Р3Ю3Mg2

Рисунок 7 – Вплив компонентів шихти порошкових дротів на вміст кисню у покриттях з ПД

Додавання у шихту ПД таких елементів, як В, Al та Mg суттєво зменшує вміст оксидів у покритті, причому змінюється і їх хімічний склад, переважно утворюються оксиди Mg або Al за рахунок відновлення інших оксидів до металу.

Товщина міжламельних оксидних плівок у покритті за тиску розпилення 1,2 МПа становить 1...3 мкм (рис. 6, б), в той же час товщина оксидних плівок за тиску 0,6 МПа може досягати 20 мкм. (рис. 6, а). Мікротвердість оксидних включень заліза – магнетиту, вюститу та гематиту в покритті, напиленого з нелегованого сталюого дроту, знаходиться в межах 700-800 НV. Це забезпечує мікротвердість покриття із нелегованого дроту Св 08 на рівні 200...300 НV за тиску 0,6 МПа. Напилення цього ж покриття за тиску 1,2 МПа сприяє зменшенню розміру ламелей та оксидів, а об'ємний вміст їх зростає, що забезпечує підвищення мікротвердості до 320...450 НV. У покриттях, напилених з порошкового дроту Х6Р3Ю6Mg2 за тиску 0,6 МПа та підвищеного тиску 1,2 МПа, мікротвердість зростає від 600...650 до 850...900 НV відповідно. Це забезпечується підвищеним вмістом оксидів алюмінію (мікротвердість  $Al_2O_3$  становить 2000 НV) та більш рівномірним розподілом боридів  $FeCrB_2$  у структурі покриття (рис. 8).

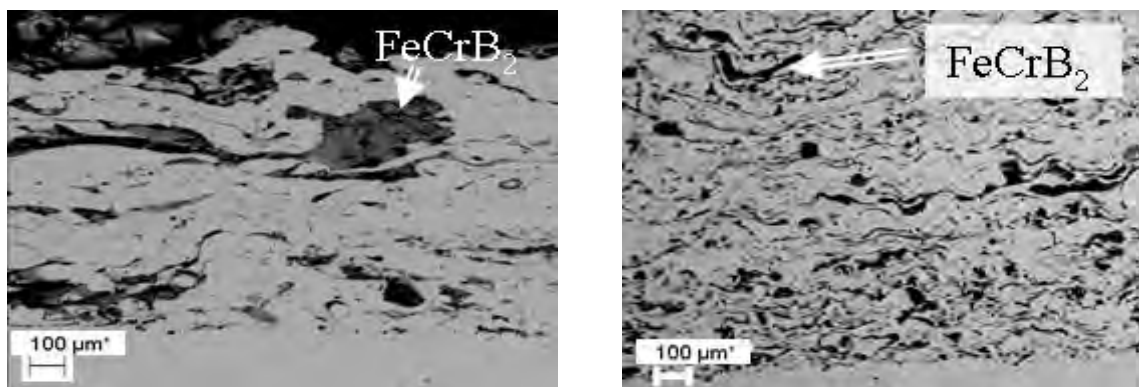


Рисунок 8 – Мікроструктура покриттів з ПД Х6Р3Ю3Mg2, P = 0.6 МПа (а) та P = 1.2 МПа (б)

На прикладі покриття з ПД 140Х14Н2ТЮ показано, що із підвищенням тиску повітряного струменю від 0,4 МПа до 1,2 МПа зменшується не тільки загальна пористість від 8,0 до 2,0 %, а також і геометричні розміри його пор від 30 до 3 мкм (табл.1).

Таблиця 1 – Вплив тиску повітряного струменю на пористість та розміри пор у покритті із ПД 140Х14Н2ТЮ.

Тиск повітряного струменю $P$ , МПа	Відкрита об'ємна поруватість, %	Середня товщина пори, мкм
0,4	8,0	30
0,6	4,4	10
0,8	3,0	5
1.2	2,0	3

З'ясовано, що тиск повітряного струменю в значній мірі впливає на пористість покриття.

Із підвищенням тиску повітряного струменю від 0,6 до 1,2 МПа зменшується рівень залишкових напружень розтягу першого роду (рис. 9). Внаслідок міцнішого зв'язку між ламелями та формування тонких оксидних плівок великої довжини, як армуючої складової покриття, когезивна міцність покриття, напиленого з ПД за тиску 1,2 МПа, зростає у 2 рази.

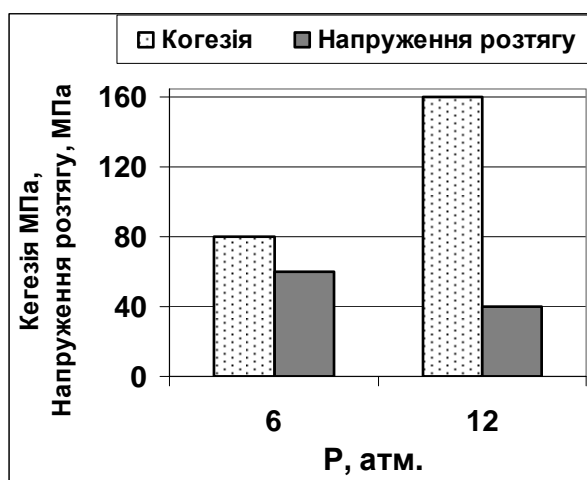


Рисунок 9 – Когезивна міцність та залишкові напруження розтягу покриття з порошкового дроту Х6Р3Ю3Mg2

**Висновки.** Встановлено, що збільшення тиску повітряного струменю від 0,6 до 1,2 МПа забезпечує зростання швидкості повітряного струменю від 300 до 600 м/с, а швидкість диспергованих краплин від 120 до 220 м/с.

Підвищення тиску повітряного струменю від 0,6 до 1,2 МПа зумовлює зменшення товщини ламелей покриття, формування більшої кількості оксидної фази у покритті, при цьому зростає твердість, когезивна міцність та знижується рівень колових залишкових напружень першого роду у покритті.

## Список літератури

1. Wielage B. Iron-based coatings arc-sprayed with cored wires for applications at elevated temperatures [Text] / Wielage B., Pokhmurska H., Student M., Gvozdeckii V., Stupnytskyi, Pokhmurskii V. // Surface and coating technology. – 2013. – №220. – P. 27-35.
2. Pokhmurskyi V. I. Arc-sprayed iron-based coatings for erosion-corrosion protection of boiler tubes at elevated temperatures [Text] / Pokhmurskyi V. I., Student M.M., Pokhmurska H.V., Student O.Z., Hvozdecky V.M., Stupnytskyi T.R. // Journal of Thermal Spray Technology. – 2013. – Vol:22.
3. Effect of high-temperature corrosion on the gas-abrasive resistance of electric-arc coatings [Text] / M.M. Student, H. V. Pokhmurs'ka, V.M. Hvozdet's'kyi, M.Ya. Holovchuk, M.S. Romaniv // Materials Science. – 2009. – 45, N 4. – P. 481-489.
4. High-temperature corrosion of electric-arc coatings sprayed from powder core wires based on the Fe–Cr–B–Al system [Text] / M. Student, Yu. Dzioba, V. Hvozdet's'kyi, H. Pokhmurska, B. Wielage, T. Grund // Materials Science. – 2008. – 44, 5. – P. 693-699.
5. Ванєєв С.М. Методичні вказівки до індивідуальних занять та виконання індивідуальної роботи «Розрахунок сопла Лавалю» з курсів «Спецрозділи теплофізики» та «Розширювальні і компресорні турбомашини для газової та нафтової промисловості» [Текст] / С.М. Ванєєв. – Суми: Вид-во СумДУ, 2009. – 22с.
6. Баргенов С.С. Детонационные покрытия в машинностроении [Текст] / С.С. Баргенов, Ю.П. Федько, А.И. Григоров. – Л.: Машиностроение, 1952. – 215с.
7. Бабичев М. А. Методы определения внутренних напряжений в деталях машин [Текст] / М. А. Бабичев. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 132 с.

**Muhajlo Student, Prof., DSc., Volodumir Hvozdetskyi, PhD tech. sci**

*Karpenko Physico-Mechanical Institute of NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine*

**Sergey Markovich, Assoc. Prof., PhD tech. sci**

*Kirovohrad National Technical University, Kropyvnickiy, Ukraine*

**Influence of enhanceable pressure air a stream on a structure and properties electro- arc coverages**

The aim is to investigate the effect of increasing the airspeed of molten drops during spraying coating.

The article presents the results of research impact pressure air jet on the properties of coatings. It was established that increasing pressure air jet from 0.6 to 1.2 MPa, the growth speed air jet from 300 to 600 m / s, and shvydkisty dispersed droplets from 120 to 220 m / s.

Increasing pressure air jet from 0.6 to 1.2 MPa causes thinning lamella coatings, forming more oxide phase in the coating, thus increasing strength, cohesive strength, and reduced levels of residual stresses circular first kind

**arc coating, high pressure air nozzle Laval, lamella, size of oxides**

Одержано 09.11.16

**УДК 620.169.1**

**С.М. Анастасенко, канд. техн. наук, В.Л. Будуров, викл., І.О. Григурко, ст.викл.**

*Первомайський політехнічний інститут Національного університету*

*кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Первомайськ, Україна,*

*E-mail: ondi2008@rambler.ru*

## **Вплив режимів різання на збереження стійкості інструмента: проблеми та шляхи їх вирішення**

У статті визначено вплив чинників на стійкість інструмента. Досліджено наступні чинники: швидкість різання, подача, глибина різання, задній кут, головний кут в плані, допоміжний кут в плані, радіус при вершині, передній кут, змінні багатогранні пластини (ЗБП).

Встановлено і систематизовано причини зниження стійкості інструмента та запропоновано шляхи збереження стійкості інструмента.

**подача, глибина різання, задній кут, головний кут в плані, радіус при вершині, передній кут, швидкість різання, стійкість інструмента**

**С.Н. Анастасенко, канд. техн. наук, В.Л. Будуров, препод., І.А. Григурко, ст.препод.**

*Первомайський політехнічний інститут Національного університету кораблебудування ім. адм.*

*Макарова, г. Первомайск, Украина*

**Влияние режимов резания на сохранение стойкости инструмента: проблемы и пути их решения**

В статье определено влияние факторов на стойкость инструмента. Исследованы следующие факторы: скорость резания, подача, глубина резания, задний угол, главный угол в плане, вспомогательный угол в плане, радиус при вершине, передний угол, сменные многогранные пластины (СМП).

Установлено и систематизировано причины снижения стойкости инструмента и предложены пути сохранения стойкости инструмента.

**подача, глубина резания, задний угол, главный угол в плане, радиус при вершине, передний угол, скорость резания, стойкость инструмента**

© С.М. Анастасенко, В.Л. Будуров, І.О. Григурко, 2016

**Постанова проблеми.** Для забезпечення максимальної продуктивності праці і виходячи з мінімізації витрат на ріжучий інструмент важливим є збереження стійкості інструмента. В наш час вартість інструмента є значною в собівартості виробу, так як інструмент виготовляється з надміцних матеріалів і тому їх вартість значна. В наш час застосовують змінні багатогранні пластини, які не підлягають перезагостренню.

З огляду на зазначене вище, оптимальними режимами різання є режими, при яких забезпечується максимальна продуктивність з збереженням стійкості інструмента.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженню проблем збереження стійкості інструмента присвячено багато вітчизняних і зарубіжних авторів [1,2,3], але вони спрямовані на розробку нових матеріалів, та актуальним на цей час є визначення і рекомендації по вибору вище перелічених чинників для збереження стійкості інструмента при оптимізації режимів різання, при яких забезпечується максимальна продуктивність з збереженням стійкості інструмента. Авторами було запропоновано дослідження стійкості інструмента в реальному часі.

**Постановка завдання.** Метою дослідження є вивчення проблем впливу швидкості різання, подачі, глибини різання, заднього кута, головного кута в плані, допоміжного кута в плані, радіуса при вершині, переднього кута на стійкість інструмента.

**Виклад основного матеріалу.** Матеріали, які використовують для виготовлення ріжучого інструменту дорогі. А. оскільки, вартість ріжучого інструменту значна, отже і собівартість виготовлення продукції за допомогою цього ріжучого інструменту значна. Тому стає проблема як зробити так, щоб собівартість виготовленої продукції була невисокою. Є два шляхи її вирішення. Перший шлях це створення нових матеріалів для ріжучого інструмента більш стійким чим існуючі матеріали і другий шлях це оптимальний режим різання при якому забезпечується максимальна продуктивність при збереженні стійкості інструмента. Було розроблено пристрій для дослідження стійкості інструмента (рис. 1.).

Перший шлях, тривалий і вартість інструмента не буде меншою ніж існуючий. Більш реалістичним є другий шлях. Розглянемо факторию, які впливають на стійкість інструмента.

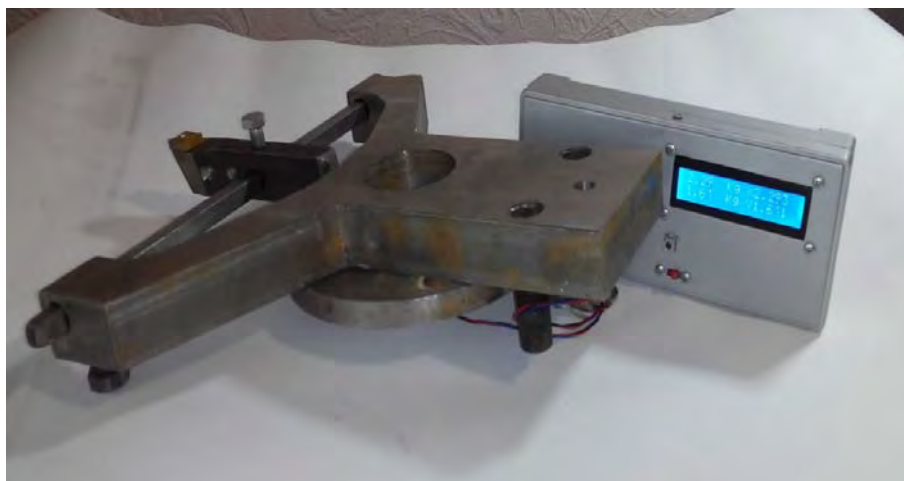


Рисунок 1 – Пристрій для вимірювання сили різання

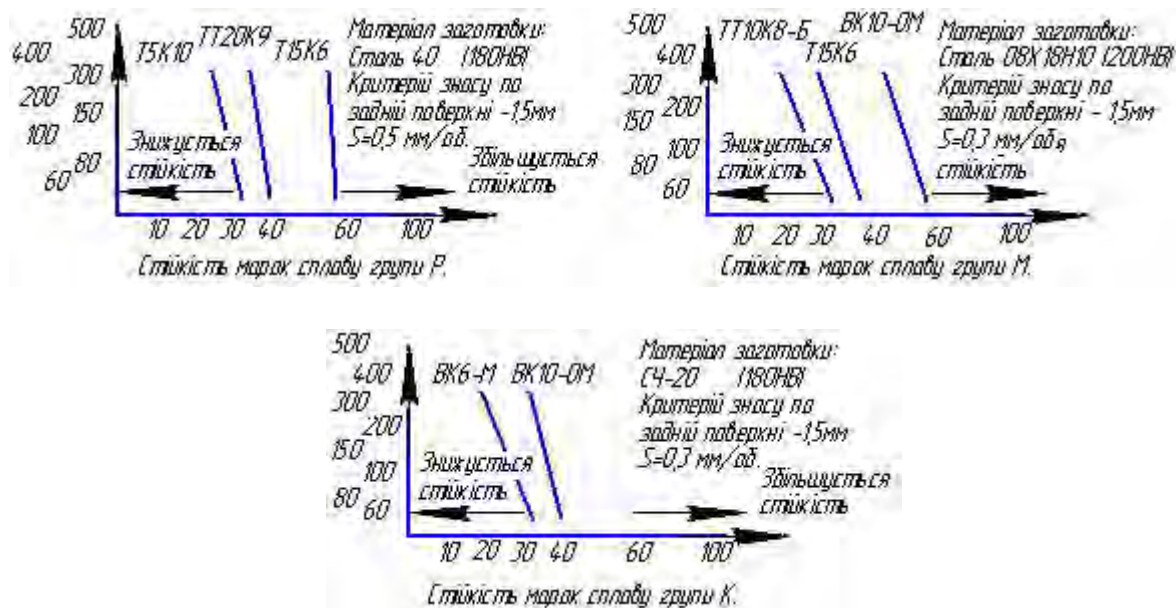


Рисунок 2 – Вибір швидкості різання, яка впливає на стійкість інструмента

Аналізуємо вплив швидкості різання на стійкість інструмента.

З графіків (рис. 2) видно, що при збільшенні швидкості різання на 20% стійкість інструмента знижується приблизно на 50%. Отже, при значно нижчих швидкостях різання (20...40 м/хв.) стійкість інструмента може зменшуватися внаслідок виникнення вібрацій.

Рекомендації по вибору подачі різання яка впливає на стійкість інструмента.

Для токарної обробки подача визначається, як переміщення інструмента (заготовки) на один оберт заготовки (інструмента)- подача на оберт. Для фрезерної обробки, як правило, подача вимірюється переміщенням фрези за час обертання її на один зуб – подача на зуб.

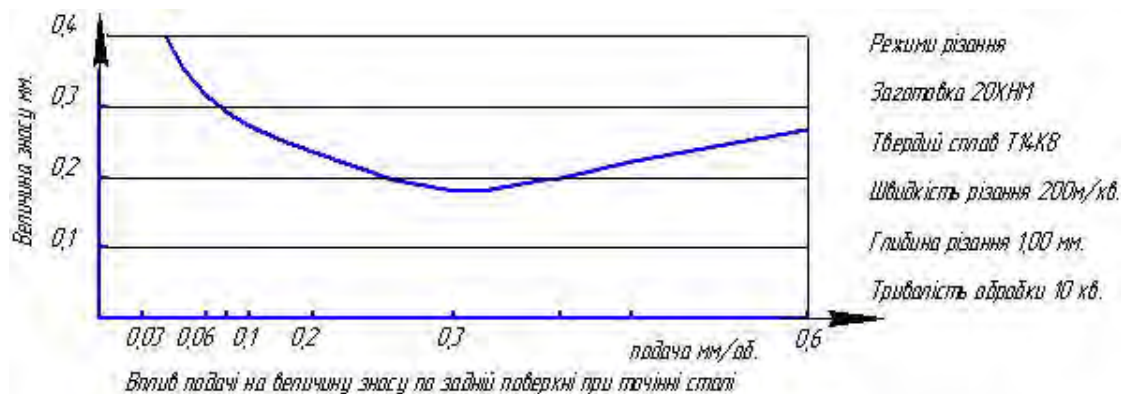


Рисунок 3 – Вибір подачі різання яка впливає на стійкість інструмента

Аналізуємо вплив подачі на стійкість інструмента.

З графіка (рис. 3) видно, що при зменшенні подачі стійкість інструмента може зменшуватися.

При значно малих подачах знос інструмента значно збільшується, при цьому велика вірогідність появи вібрації.

Збільшення подачі збільшує продуктивність роботи.

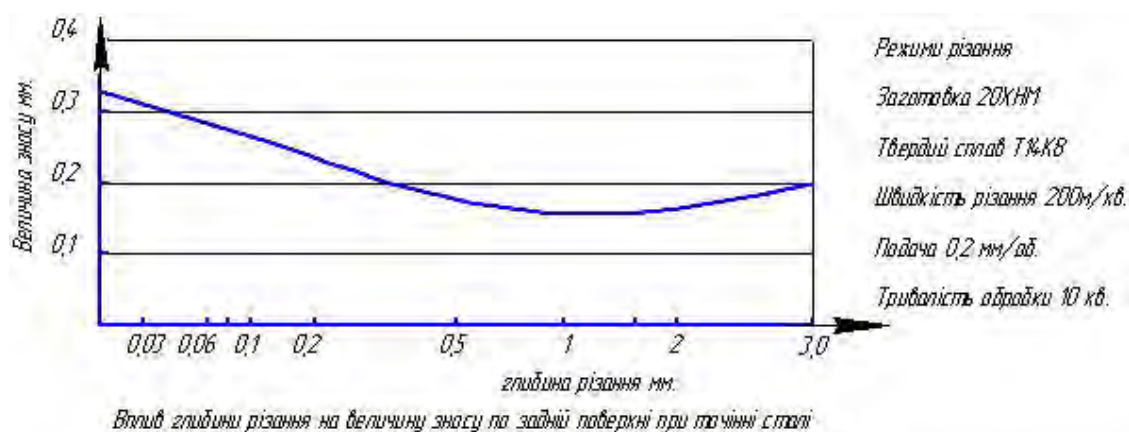


Рисунок 4 – Вибір глибини різання яка впливає на стійкість інструмента

Аналізуємо вплив глибини різання на стійкість інструмента.

Глибина різання (рис. 4), як правило, обмежена потужністю верстата. При необхідності збільшити продуктивність в першу чергу збільшують глибину різання.

Глибина різання не має великого значення на стійкість інструмента.

При дуже малих глибин різання відбувається підгинання оброблюваного матеріалу під радіус округлення різальної кромки, що веде до виникнення вібрації і зменшення стійкості інструмента.

При глибині різання менше, чим товщина кірки заготовки, відбувається зменшення стійкості інструмента, так як відбувається контакт інструменту з твердими включеннями які містяться на верхньому слою заготовки.

Аналізуємо вплив заднього кута (рис. 5) на стійкість інструмента.

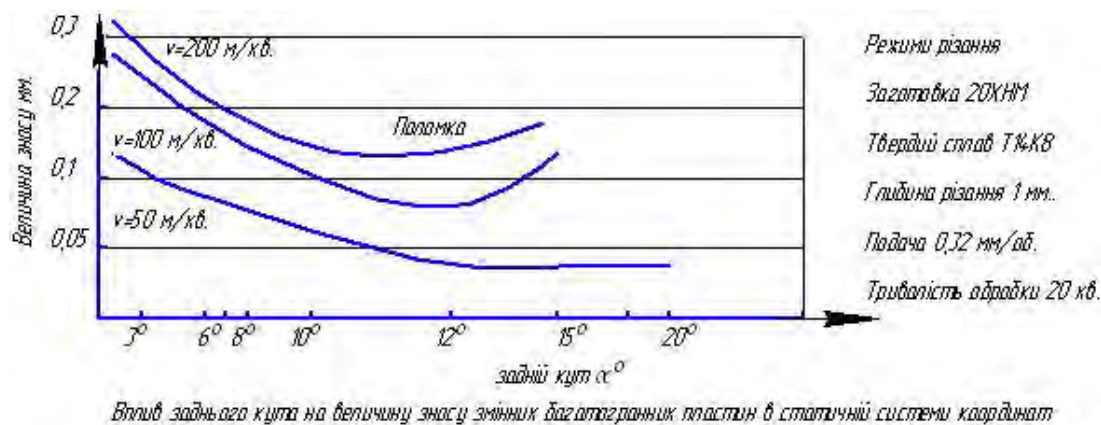


Рисунок 5 – Вибір заднього кута який впливає на знос інструмента

Виявлені наступні переваги і недоліки:

- чим більший задній кут, тим менше знос по задній поверхні;
- чим більший задній кут, тим більше ослаблення ріжучої кромки;
- чим менше задній кут, тим вища вібрація.

Рекомендації по вибору заднього кута:

- висока твердість заготовки, тяжкі умови обробки – зменшити задній кут;
- низька твердість заготовки, створюється наклеп на оброблюваній поверхні – збільшити задній кут.

Аналізуємо вплив головного кута в плані (рис.6) на стійкість інструмента

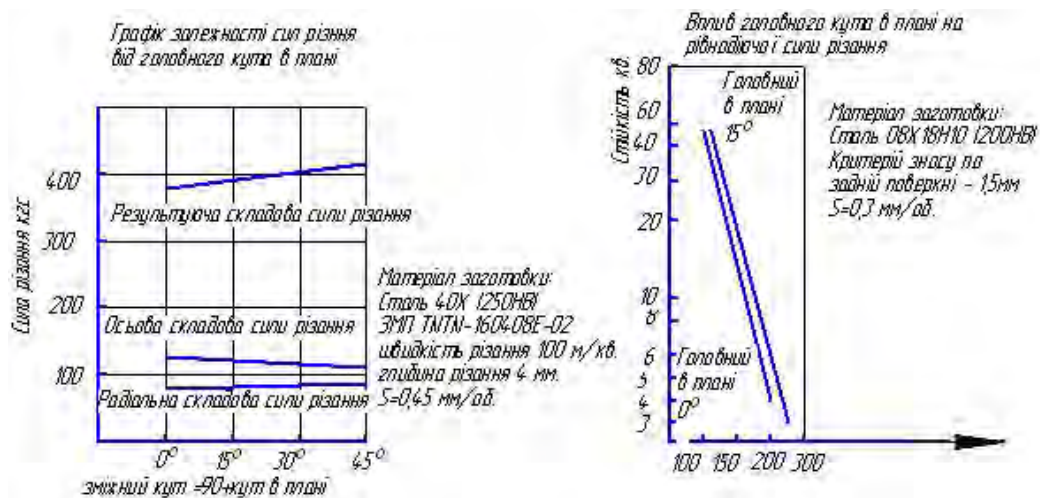


Рисунок 6 – Вибір головного кута в плані в залежності від умов обробки

Оптимальний вибір головного кута в плані забезпечує високу ефективність обробки, стійке стружкодробління при досягненні високої стійкості показників змінних багатограних пластин.

Виявлені наступні переваги і недоліки:

– зменшення головного кута в плані приводить до збільшення ширини і зменшення товщини зрізаного шару. Таким чином, тиск на ріжучу кромку зменшується, а стійкість збільшується;

– зменшення головного кута в плані збільшує радіальну складову силу різання, що може викликати відпал.

Рекомендації по вибору заднього кута.

– мала глибина різання, невеликий діаметр заготовки, низка жорсткість ВПД - зменшити головний кут;

– велика глибина різання, великий діаметр заготовки, висока жорсткість ВПД - збільшити головний кут.

Пропозиції по вибору головного кута в плані в залежності від умов обробки (табл. 1).

Таблиця 1 – Пропозиції по вибору головного кута в плані в залежності від умов обробки

Вимоги обробки	Менше ⇐ Головний кут в плані ⇒ Більше
Величина зносу	Більший ⇐ ⇒ Менший
Заготовка	Великий коефіцієнт обробки ⇐ ⇒ Важкооброблювані
Навантаження на обладнання	Менше ⇐ ⇒ Більше
Вібрація	Вірогідна появи низка ⇐ ⇒ Вірогідна появи висока
Вид обробки	Чистова ⇐ ⇒ Чорнова
Жорсткість заготовки	Довга тонка заготовка ⇐ ⇒ Коротка жорстка заготовка
Жорсткість обладнання	Низка жорсткість ⇐ ⇒ Висока жорсткість

Аналізуємо вплив допоміжного кута в плані на стійкість інструмента.

Допоміжний кут в плані сприяє зменшенню тертя між оброблюваною поверхнею і ріжучою частиною інструмента.

Переваги і недоліки малого допоміжного кута в плані:

– малий кут при вершині сприяє покращенню тепловідводу, збільшенню міцності і стійкості ріжучого інструмента;

– малий кут може викликати збільшенню вібрації, радіальною складову сили різання і сили тертя між інструментом і оброблюваною поверхнею, збільшенню нагріву і тим самим пониженню стійкості ріжучого інструмента.

Аналізуємо вплив радіусу при вершині (рис. 7) на стійкість інструмента.

Теоретичне значення шорсткості

$$Rz = \frac{S^2}{8r} 1000 \text{ мкм.},$$

де  $Rz$  – максимальне значення шорсткості, мкм.;

$S$  – значення подачі мм/об;

$r$  – радіус при вершині різця мм.

Під час дослідження встановили залежність між теоретичним і дійсним значенням шорсткості. Воно склало:

– для сталі –  $(1,5 \dots 3)Rz$ ;

– для чавуну –  $(3 \dots 5)Rz$ .

При обробці результатів досліджень можна зробити наступні висновки:

– радіус при вершині ріжучого інструмента впливає не тільки на шорсткість, але і на стійкість;

– бажано, щоб величина радіусу при вершині ріжучого інструмента була в 2...3 рази більше чим величина подачі.

Вплив збільшення радіусу при вершині:

– зменшує шорсткість оброблюваної поверхні;

– зменшує величину зносу по задній поверхні;

– збільшує силу різання;

– збільшує вібрацію.

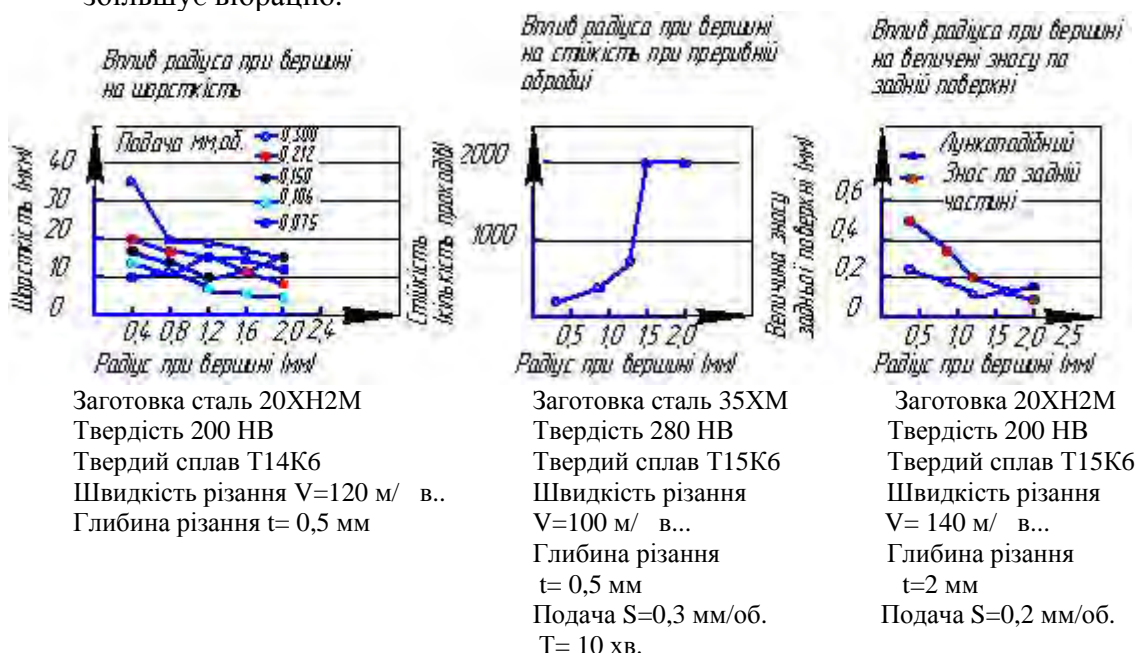


Рисунок 7 – Вплив радіусу при вершині

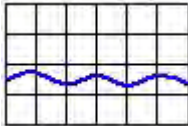
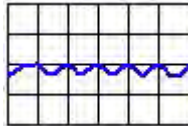

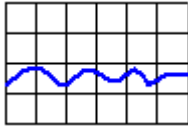
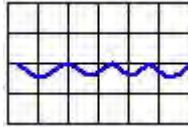
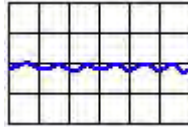
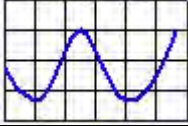
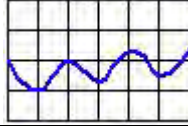
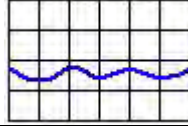
Рекомендації по вибору радіуса при вершині:

– чистове точіння при малих глибинах різання, недостатня жорсткість системи ВПД, мала потужність верстата - зменшити радіус при вершині;

– переривисте різання, важкі умови обробки, висока твердість оброблюваного матеріалу, велика потужність обладнання – збільшити радіус при вершині.

Зміна значення шорсткості від радіуса при вершині наведено у (табл. 2).

Таблиця 2 – Зміна значення шорсткості від радіуса при вершині.

Подача мм/об.	Радіус при вершині мм		
	0,4	0,8	1,2
0,15			
0,26			
0,46			

Рекомендації по збільшенню стійкості ріжучого інструменту представлені у табл. 3.

Таблиця 3 – Рекомендації по збільшенню стійкості ЗБП.

Проблеми	Причини	Фактори впливаючі на стійкість																
		Режими різання				Вибір сплаву ЗБП			Геометричні параметри ЗБП					Другі				
		Швидкість різання	Подача	Глибина різання	ЗОР	Вибрати більш тверду марку сплаву	Вибрати більш міцну марку сплаву	Вибрати відповідну марку сплаву	Вплив стружколома	Вплив переднього кута	Вплив радіуса при вершині	Вплив заднього кута	Вплив точного виготовлення	Жорсткість державки	Кріплення заготовки	Виліг державки	Жорсткість системи ВПД	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Низка точність обробки Нестабільні розміри	Пластина заниженої точності													•				

Продовження таблиці 3

	Низка жорсткість системи ВПД								•	↑	↓			•	•	•	•
Низка точність обробки Низка стійкість ЗБП	Збільшена сила різання із за недозвеної величини зносу	↓			ЗОР	•		•	•	↑	↑	↓	•				
	Адгезія, наростотворення	↑	↑		ЗОР			•	•	↑		↓	•				
	Неправильний вибір режимів різання	↑	↓	↓	ЗОР												
	Неправильний вибір геометрії інструменту								•		↑	↓	•				
	Вібрація	↓	↓	↓	ЗОР		•		•	↑	↓	↓		•	•	•	•
	Викришування ріжучої кромки		↓	↓			•		•		↑		↑		•	•	•
Віджим інструмента Необхідність постійно регулювати інструмент в процесі роботи	Робота зношеним інструментом					•					↑						
	Неправильний вибір режимів різання	↓	↑														
Знижена точність обробки Низка стійкість ЗБП Висока температура в зоні різання	Неправильний вибір режимів різання	↓	↓	↓													
	Неправильний вибір геометрії інструмента					•		•	↑		↓						

Продовження таблиці 3

Мілке кришіння ріжучої кромки	Неправильний вибір режимів різання	↓	↑		ЗОР													
Утворення задирок. Ця проблема частіше при обробці сталей алюмінію	Робота зношеними ЗБП					•	°	•	↑	↓	↓							
Обробка чавунів. Мілке кришіння сколки на ріжучій кромки	Неправильний вибір режимів різання		↓	↓														
	Недозволене стирання ЗБП					•		•	↑	↑	↓		•	•	•	•		
Обробка низько вуглецевих сталей	Неправильний вибір режимів різання	↓	↑		ЗОР													
Утворення задирок	Недозволене стирання ЗБП					•	°	•	↑		↓							

↑ – Збільшити. ↓ – Зменшити. • – Використовувати. ° – Вибрати оптимально

**Висновок.** При проведенні аналізу вище приведених досліджень можемо констатувати, що всі параметри різання так чи інакше впливають на стійкість інструмента, отже і на собівартість випускаємої продукції. Тому необхідність дотримання параметрів різання є ключовим в забезпеченні стійкості ріжучого інструменту, а значить і в конкурентоздатності випускаємої продукції.

## Список літератури

1. Матюха П. Г. Теорія різання [Текст]: навч. посіб. для ВНЗ / П. Г. Матюха. – Донецьк : ДонНТУ, 2007. – 206 с.
2. Основы теории резания материалов: учеб. для высш. уч. зав. [Текст] / Н.П.Мазур (и др.) под общей редакцией Н.П.Мазура.– Львов: Новый свет 2000.– 422с.
3. Аршинов А.В. Резание металлов и режущий инструмент [Текст] / А.В.Аршинов, Г.А.Алексеев. – М.: Машиностроение, 1976. – 440с.
4. Солоненко В.Г. Резания металлов и режущий инструмент [Текст]: учебное пособие / В.Г. Солоненко. – М.: Высшая школа, 2008. – 414 с.
5. Шагун В.И. Металорежущий инструмент [Текст]: учебное пособие / В.И. Шагун. – М.: Высшая школа, 2007. – 423с.

**Sergey Anastasenko, PhD tech. sci., Vasiliy Bydyrov, Lect., Ivan Grigyrko, Sr. Lect.**

*Pervomayskiy politechny institut Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Pervomaysk, Ukraine*

### **The influence of cutting conditions on the maintaining tool life. Problems and ways of their solution**

Research of the influence of cutting speed, feeding, cutting depth, end-clearance angle, plan approach angle, minor cutting edge angle, tip radius and the face angle on the tool durability.

Materials that are used for manufacturing of cutting tools are expensive. Therefore the cost of cutting tools is rather high, as well as the production cost of goods produced by means of such tools. Thus one has to decide how to reduce manufacturing costs. There are two ways to solve the problem. The first way is to create some new materials to make the cutting tools more resistant than the existing ones, and the second way is to optimize cutting conditions to ensure maximum performance while maintaining the tool durability. The first way is quite long and the cost of the new tools will be not lower than the existing one. The second way is more realistic.

The study identified and systematized the factors that affect the tool durability. The study allows to conclude that all cutting parameters in one way or another affect the tool durability and production costs. Therefore the need for compliance of the cutting parameters is crucial for ensuring the stability of the cutting tool, and as much for the competitiveness of products.

**feed, cutting depth, clearance angle, primary angle, nose radius, rake angle, cutting speed, tool life**

Одержано 24.10.16

## УДК 631.319

**Г.В.Теслюк, доц., канд. техн. наук, Б.А. Волик, доц., канд. техн. наук, А.М. Пугач, доц., канд. техн. наук, І.Ю. Брижатий, асп.**

*Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпропетровськ, Україна*

*E-mail: gena-shm@mail.ru*

## Результати польових досліджень дискаторів в різних ґрунтових умовах

В роботі наведені результати досліджень роботи дискаторів в умовах рядової експлуатації на ґрунтах із різним питомим зчепленням часток, який прийнятий за інтегральний показник механіко-технологічних властивостей ґрунту. За основу були взяті близькі за конструктивним виконанням машини серійного виробництва.

**дискатор, питоме зчеплення часток ґрунту, якість кришення**

**Г.В. Теслюк, доц., канд. техн. наук, Б.А. Волик, доц., канд. техн. наук, А.Н. Пугач, доц., канд. техн. наук, І.Ю.Брижатий, асп.**

*Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет, г. Днепропетровск, Украина*

### **Результаты полевых исследований дискаторов в различных почвенных условиях**

В работе представлены результаты исследования работы дискаторов в условиях рядовой эксплуатации на почвах с различным удельным сцеплением частиц, который принят в качестве интегрального показателя механико-технологических свойств почвы. За основу были взяты близкие за конструктивным исполнением машины серийного изготовления.

**дискатор, удельное сцепление частиц почвы, качество крошения**

**Постановка проблеми.** Дискатор в сучасних умовах є найбільш розповсюдженою ґрунтообробною машиною. Його переваги обумовлені обертанням в процесі роботи диска довкола своєї осі. Це суттєво зменшує тяговий опір, а встановлення дисків під кутом до напрямку руху і вертикалі дозволяє отримувати в різних ґрунтових умовах бажані показники кришення і розпушення ґрунту.

Незважаючи на широке розповсюдження, машина має слабкі місця, які потребують конструктивного удосконалення. Для виконання такої роботи необхідно мати статистичний матеріал за показниками експлуатації в різних ґрунтових умовах.

© Г.В.Теслюк, Б.А. Волик, А.М. Пугач, І.Ю. Брижатий, 2016

**Аналіз результатів останніх досліджень і публікацій.** Серед найбільш суттєвих досліджень слід відмітити роботи С.Г.Мударісова [3] (теоретично обґрунтував конструкцію диска з стояком), А.М.Семенюти [5] (виконав великий обсяг експериментальних досліджень і на їх основі аргументував раціональні кути постановки дисків до напрямку руху і вертикалі), Г.С.Юнусова [6] (аналітично обґрунтував раціональні значення діаметра і радіусу кривизни диска).

**Постановка завдання.** Систематизувати статистичні дані по експлуатації дискаторів в найбільш характерних для України ґрунтових умовах.

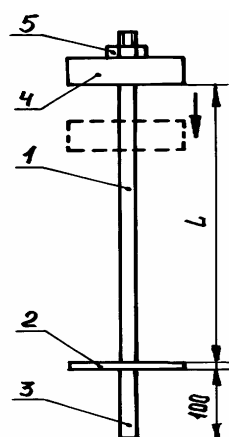
**Виклад основного матеріалу .** В ході досліджень нами визначались і порівнювались: якість кришення ґрунту, якість подрібнення і заорювання рослинних решток.

#### 1 Методика оцінки показників агрофону

Для оцінки показників агрофону перед початком роботи обрані два основних показники :

- питоме зчеплення часток ґрунту, як інтегральний показник, що характеризує основні механіко-технологічні його властивості [2];
- кількість рослин на 1 м<sup>2</sup> поверхні.

Питоме зчеплення часток визначали за кількістю ударів твердоміра ДорНДІ, (рис. 1).



- 1 – направляюча;
- 2 – обмежувач;
- 3 – наконечник;
- 4 – вантаж;
- 5 – гайка

Рисунок 1 – Твердомір ДорНДІ [2]

Суть визначення полягає у підрахунку кількості ударів вантажу 4 до повного занурення на глибину 100 мм наконечника 3 твердоміра. При цьому, робота, яку виконує вантаж за кожен удар, повинна дорівнювати 1 кГм. Особливість конструкції полягає в тому, що наконечник 3 виконано циліндричної форми і він працює виключно на зминання.

Далі, у відповідності до довідкових даних [4], за кількістю ударів вантажу визначали питоме зчеплення часток ( $C_{уд}$ ).

В роботі А. М. Панченко [4] і подальшх дослідженнях кафедри сільськогосподарських машин ДДАЕУ [1] знайшло підтвердження положення про те, що питоме зчеплення часток ґрунту визначає більшість показників його механіко-технологічних властивостей.

#### Питома кількість рослин.

Нами відпрацьована і рекомендується для роботи наступна методика (рис.2,а).

В процесі досліджень на поверхню поля накладалася рамка 25x25 см, в межах якої знімався поверхневий шар ґрунту глибиною 5-8 см. Шар просіювався на решеті діаметром 10 мм. Грудки, що залишились в коробі, відкидались, рослинні рештки збирались, зважувались і перераховувались. Таким чином, окрім кількості рослинних решток, ми отримували і їх вагу.

*Ступінь подрібнення рослинних решток*

Взяті до проходу ґрунтообробного агрегату проби рослинних решток замірялись і за отриманими даними будувався полігон розподілу довжини. Потім, після проходу агрегату, виконувалось аналогічне взяття проб із просіюванням і замірюванням довжини решток. Ступінь подрібнення визначалась за формулою

$$K_{II} = \frac{L_1}{L_2}, \quad (1)$$

де  $L_1$  – середня довжина рослинних решток перед початком роботи;

$L_2$  – середня довжина рослинних решток після проходу агрегату.



а



б

Рисунок 2 – До методики визначення питомої кількості рослин та коефіцієнту структурності шляхом просіювання

*Якість розпушення ґрунту.* Для оцінки якості розпушення ґрунту в основному використовувався коефіцієнт структурності  $K_{СТ}$ , який визначається як відношення вмісту агрономічно цінних агрегатів (0,25–10 мм) до вмісту суми агрегатів приведеним діаметром менше за 0,25 мм та грудок, більших за 10 мм.

Для його визначення використовують решітний класифікатор. Для визначення  $K_{СТ}$  не потрібно знати весь розподіл агрегатів, а достатньо знати вагу фракції діаметром вище 10 мм і менше 10 мм. Тому, в межах контрольної ділянки знімали розпушений ґрунт. Знятий ґрунт висипався у решето з діаметром отворів 10 мм і просіювався (рис.2,б). Рослинні рештки видалялись.

Як показала практика, відокремлення агрегатів менших за 0,25 мм вносить похибку не більше 2...3%, що менше за точність самого експерименту. Таким чином, з достатньою точністю можна прийняти

$$K_{СТ} = \frac{A}{B - A}, \quad (2)$$

де  $A$  – маса агрегатів, відсіяних решетом 10 мм;

$B$  – загальна маса взятої проби.

Дослідження проводились в Гуляйпільському районі Запорізької області, Петриківському, Нікопольському та Магдалинівському районах Дніпропетровської області. Ґрунти близькі за типом – чорнозем. Диференціація виконувалась за питомим зчепленням часток.

Параметри диска тора:

- діаметр диска – 450 мм;
- кривизна диска – 420 мм;
- глибина обробітку – 12 мм;
- кут постановки до вертикалі – 26 град;
- кут постановки до напрямку руху – 15 град;

– робоча швидкість – 11,6 км/год.

Основні результати досліджень представлені в табл. 1, де  $C$  – кількість ударів твердоміру ДорНДІ;  $m$  – маса рослинних решток;  $K_{СТ}$  – коефіцієнт структурності;  $K_{П}$  – ступінь подрібнення рослинних решток;  $K_3$  – процент заораних рослинних решток.

Таблиця 1 – Основні результати досліджень ґрунтів Гуляйпільського району Запорізької області

До проходу агрегату		Після проходу агрегату		
$C$	$m, \text{кг/м}^2$	$K_{СТ}$	$K_{П}, \%$	$K_3, \%$
19,6	0,67	0,67	64	56
23,3	0,73	0,60	66	53
26,7	0,89	0,56	61	50
28,2	0,69	0,51	62	48
31,5	0,87	0,52	59	45
33,1	1,05	0,53	58	47
36,3	0,96	0,49	60	44

**Висновки.** Аналіз отриманих даних показує наступне.

– коефіцієнт структурності обробленого ґрунту зі зменшенням питомого зчеплення часток збільшується в середньому на 5-6% в розрахунку на 1 удар твердоміра;

– ступінь подрібнення рослинних решток і відсоток їх заорювання залежить від питомого зчеплення часток слабо і їх значення знаходяться практично на постійному рівні.

## Список літератури

1. Кобець А.С. Ґрунтообробні машини: теорія, конструкція, розрахунок: монографія / А.С.Кобець, Б.А.Волик, А.М.Пугач. – Дніпропетровськ: Видавництво «Свідлер А.Л.», 2011. – 140 с.
2. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: навч. посібник [Текст] / [Кобець А.С., Іщенко Т.Д., Волик Б.А., Демидов О.А.]. – Дніпропетровськ: РВВ ДДАУ, 2009. – 84 с.
3. Мударисов С. Г. Дисковые орудия с адаптирующимися рабочими органами [Текст] / С. Г. Мударисов // Картофель и овощи.– 2005.– №4.– С.30 - 31.
4. Панченко А.Н. Теория измельчения почв почвообрабатывающими орудиями [Текст] / А.Н. Панченко. – Днепропетровск: ДГАУ, 1999. – 140 с.
5. Семенюта А.М. Обґрунтування конструктивної схеми, параметрів та режимів роботи дискового плуга: автореф. дис..на здобуття ступеня канд.. техн. наук [Текст] / А.М.Семенюта. – Мелітополь, 2014. – 23 с.
6. Юнусов Г.С. Определение диаметра сферического диска для обработки почвы [Текст] / Г.С.Юнусов - Техника в сельском хозяйстве. – 2005.– №2. – С.48.

**Gennady Teslyuk, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Boris Volyk, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Andriy Pugach, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Ivan Brygatiy, post-graduate**  
*Dnipropetrovsk State Agrarian and Economics University, Dnipropetrovsk, Ukraine*

### **The results of field studies of disc harrows in various soil conditions**

The article presents results of studying the work dictators under conditions of ordinary use on soils with different cohesion of the particles, which prineto us as the integral manifold of index the entire group of mechanical-technological properties of the soil.

As a quality indicator of chopping used the coefficient of structure, defined as the ratio of the mass of agronomically valuable aggregates to the total mass of soil sampling. Additionally, the results of development of methods for the assessment of quality crushing and ploughing of crop residues.

Research needs connected with the necessity of obtaining objective data on the disk of the working bodies, composed of combined units of various designs.

**disk harrow, specific adhesion of soil particles, the quality of crushing**

Одержано 01.11.16

## Зміст

<i>Д.В. Богатирьов, В.М. Сало, О.А. Кислун</i> Визначення еквівалентної проекції висоти перетину барабана з непарною кількістю ножів.....	3
<i>К.В. Васильковська</i> Моделювання точного висіву пневмомеханічним висівним апаратом .....	9
<i>С.М. Герук, Д.В. Герасимчук</i> Тенденції розвитку конструкцій картоплезбиральної техніки .....	15
<i>Г.А. Голуб, С.І. Павленко</i> Моделювання процесу руху компосту по лопаті барабана під час розпушування буртів .....	20
<i>В.А. Дейкун, Є.О. Тучков</i> Визначення факторів, які впливають на процес розподілення гранул добрив в підлаповому просторі конічним розподільником .....	30
<i>М. Л. Заєць</i> Теоретичне обґрунтування параметрів розподільника насіння сошника для підґрунтового-розкидного способу сівби .....	37
<i>Є.І. Ігнат'єв</i> Теоретичне моделювання коливального руху фронтально навішеної на інтегральний орно-просапний трактор ХТЗ-16131 гичкозбиральної машини .....	44
<i>Б. І. Котов, Р.А. Калініченко, О.Д. Курганський, С.П. Степаненко, В.О. Швидя</i> Теоретичні дослідження процесу охолодження зернового матеріалу при переміщенні у вібровідцентровому шарі .....	54
<i>Л.М. Кривоблоцька</i> Сингулярні ітерації в задачах газової динаміки .....	61
<i>В.П. Кувачов</i> До питання компонування спеціалізованих ширококолієвих енерготехнологічних транспортних засобів для колійної системи землеробства .....	72
<i>С.М. Леценко, В.М. Сало, Д.І. Петренко</i> Вплив конструктивно-технологічних параметрів комбінованого глибокорозпушувача на обробіток ґрунту .....	78
<i>А.Ю. Невдаха, В.О. Дубовик</i> До розрахунку міцності різьбових з'єднань .....	87
<i>В.О. Проценко, О.Ю. Клемент'єва</i> Деформації канатів у муфтах від неспіввісності з урахуванням їх закріплення .....	91
<i>С. В. Пустовіт, В. І. Котков, М. І. Шмалюк</i> Визначення зон деформації ґрунту при роботі дискових знарядь .....	100

<i>Vasyl Savchenko, Sergiy Minenko, Vitaliy Krot</i> Researching indexes of reliability of systems of microclimate control onto productivity of products of protected soil .....	105
<i>В.В. Адамчук, В.М. Булгаков</i> Стан та перспективи наукових досліджень галузі агроінженерії .....	108
<i>А.В. Войтік, Р.В. Вихватнюк, Л.М. Худік</i> Технологія обробітку ґрунту стріп-тіл: історичний розвиток та поширення в Україні .....	117
<i>С.М. Герук, А.П. Довбиш</i> Вплив збурень коливань вібросепаратора на динаміку зернової суміші .....	124
<i>Б.М. Гончаренко, В.Д. Кишенько, О.П. Лобок, Є.В. Кронг, Л.Г. Віхрова</i> Розроблення автоматизованої системи керування технологічними процесами виробництва хліба з використанням сценарного підходу .....	132
<i>І.І. Єніна</i> Дослідження взаємодії електромагнітного поля з ґрунтом .....	140
<i>О.Д. Кістечок</i> Показники роботи орного машино-тракторного агрегату, утвореного за схемою «push-pull» .....	146
<i>Б. І. Котов, С.П. Степаненко, В.О. Швидя</i> Технологічні аспекти сепарації зерна у вертикальному каналі .....	154
<i>В.Л. Куликівський, В.К. Палійчук, В.М. Боровський \</i> Дослідження процесу травмування зерна гвинтовим конвеєром .....	160
<i>А. С. Лімонт, О. С. Поліщук, О. Б. Плужніков</i> Абсолютна маса насіння і збирання льону-довгунця .....	166
<i>О.В. Оришака, В.І. Гуцул, А.М. Артюхов</i> Теоретичне дослідження конусного стабілізатора потоку сипкого матеріалу установки безперервної дії для завантаження сипких матеріалів .....	175
<i>В.І. Рубльов, В.Д. Войтюк, В.Є. Рубльов</i> Діагностика як складова оцінки технічного стану машин .....	182
<i>М.О. Свірень, В.В. Амосов, Шмат С.І., Іванько І.П.</i> Вплив енергії геоелектромагнітного поля на підвищення врожайності сільськогосподарських культур .....	190
<i>О.А. Сущенко</i> Структурно-параметричний синтез дискретної робастної системи стабілізації інформаційно-вимірювальних пристроїв на рухомій основі .....	194
<i>І.А. Швець</i> Застосування безперервного інжекційного способу подачі циклової порції газового палива для двигуна мобільної малопотужної електростанції .....	202
<i>Д.В. Вахніченко, Ю.І. Верхогляд, М.В. Брайко</i> Розмірна та параметрична градація верстата з МПС .....	207

<i>В.І. Дворук, К.В. Борак, С.С. Добранський</i> Дослідження зносостійкості сталі 65Г з різними фізико-механічними властивостями при зношуванні в абразивній масі .....	213
<i>Ю.В. Кулешков, Є.В. Магонець, К.Ю. Кулешкова, Т.В. Руденко, М.В. Красота</i> Аналіз гідродинамічних процесів, що відбуваються у відсіченій порожнині шестеренного насоса .....	224
<i>С.М. Кухарець, А.А. Пінкін, Я.Д. Ярош</i> Рух сільськогосподарських матеріалів нахиленою робочою поверхнею .....	234
<i>О.Й. Мажейка</i> Оцінка механічних характеристик матеріалів при лазерному термозміцненні деталей сільськогосподарської техніки .....	239
<i>В. Я. Мірзак, В. М. Боков</i> Принцип динамічного підстроювання як спосіб підвищення якості тонколистового розділового штампування .....	245
<i>Mykhailo Chernovol, Igor Shepelenko, Budar Mohamed R.F.</i> Appliances for FANT of cylinder liners .....	258
<i>С.М. Мороз, І.І. Єніна, А.С. Мороз</i> Інформаційне забезпечення сільськогосподарського виробництва .....	265
<i>О.В. Нестеренко, С.М. Лещенко, Д.І. Петренко, С.Я. Гончарова, Ю.В. Мельник</i> Дослідження безконтактного руху легких домішок у вертикальному пневмосепаруючому каналі .....	271
<i>В.Я. Ошовський</i> Підвищення ресурсу колінчастого валу алмазно-дисульфідмолібденовою приробкою поверхонь тертя .....	279
<i>Ю.М. Пархоменко, В.Ф. Гамалій, В.В. Босько</i> Розрахунок системи стабілізації температурного режиму в процесі фрикційного формоутворення .....	286
<i>М.М. Підгаєцький, К.К.Щербина, О.М. Громко, Т.В. Дяченко</i> Синтез теоретичної концептуальної схеми продукційного хонінгувального верстата .....	292
<i>О.Ф. Сіса</i> Обробка розмірною електричною дугою шестигранних порожнин пуансонів гарячого пресування.....	299
<i>М.М. Студент, В.М. Гвоздецький, С.І. Маркович</i> Вплив підвищеного тиску повітряного струменю на структуру і властивості електродугових покриттів .....	305
<i>С.М. Анастасенко, В.Л. Будуров, І.О. Григурко</i> Вплив режимів різання на збереження стійкості інструмента: проблеми та шляхи їх вирішення .....	312
<i>Г.В.Теслюк, Б.А. Волик, А.М. Пугач, І.Ю. Брижаний</i> Результати польових досліджень дискаторів в різних ґрунтових умовах .....	321

## Content

<i>Dmytro Bogatyrov, Vasyl Salo, Oleg Kuslyn</i> Determination of height equivalent projection crossing drum with an odd number of knives .....	3
<i>Katheryna Vasilkovska</i> Modeling pneumomechanical of exact seeding sowing device.....	9
<i>Stanislav Geruk, Dmytro Gerasymchuk</i> Trends construction potato harvesters .....	15
<i>Gennadiy Golub, Sergiy Pavlenko</i> Modeling of compost moving on the blade drums during loosening the collar .....	20
<i>Viktor Deikun, Yevhenij Tuchkov</i> Determination of factors influencing on the process of distribution of granules of fertilizers in subpaw space by a conical distributor .....	30
<i>Maxim Zaets</i> Theoretical study of parameters distributor for subsoil seed coulter-variation mode sowing .....	37
<i>Yevhen Ihnatiev</i> Theoretical modeling of oscillatory motion of beet tops harvesting machine which is frontally-mounted on integral arable and row-crop tractor HTZ-16131.....	44
<i>Borys Kotov, Roman Kalinichenko, Olexandr Kurganskiy, Sergiy Stepanenko, Viktor Shvidia</i> Theoretical research the cooling process of grain material when moving in layer vibrocentrifugal .....	54
<i>Larysa Kryvoblotska</i> Singular iteration in gas dynamics problems.....	61
<i>Vladimir Kuvachov</i> To the question of design the wide span vehicles for controlled traffic farming .....	72
<i>Serhii Leschenko, Vasil Salo, Dmitro Petrenko</i> The influence structural and technological parameters combined chisel for cultivation .....	78
<i>Andriy Nevdaha, Viktor Dubovik</i> Calculation of the strength of threaded connections .....	87
<i>Vladislav Protsenko, Oksana Klementyeva</i> Deformation ropes in couplings of misalignment based on their consolidation .....	91
<i>Sergiy Pustovit, Volodymyr Kotkov, Mykola Shmalyuk</i> Determination of soil deformation zones at work disk tools .....	100
<i>Vasyl Savchenko, Sergiy Minenko, Vitaliy Krot</i> Researching indexes of reliability of systems of microclimate control onto productivity of products of protected soil .....	105
<i>Valery Adamchuk, Vladimir Bulgakov</i> State and perspectives of research field ahroinzheneriyi .....	108

<i>Andriy Voytik, Roman Vykhvatniuk, Liudmyla Khudik</i> Strip-till technology: historical development and dissemination in Ukraine .....	117
<i>Stanislav Geruk, Andriy Dovbysh</i> The influence of of disturbances on dynamics of vibrations vibration separator cereal mixture .....	124
<i>Borys Goncharenko, Vasyl Kischenko, Olexiy Lobok, Yevgenia Kronh, Larysa Vikhrova</i> Development of automated process control systems of production of bread using scenario approach .....	132
<i>Irina Enina</i> Research of electromagnetic field and soil interaction.....	140
<i>Oleksandr Kistechok</i> Working indicators of arable machine-tractor unit which created according to the «push-pull» scheme .....	146
<i>Borys Kotov, Sergiy Stepanenko, Viktor Shvidia</i> Technological aspects of grain separation in the vertical channel .....	154
<i>Vladimir Kulykivskiy, Vladimir Paliychuk, Victor Borovskyi</i> Investigation of injuries grain screw conveyer .....	160
<i>Anatoliy Limont, Oleksandr Polishchuk, Oleg Pluzhnikov</i> The absolute mass of seeds and fiber flax harvesting .....	166
<i>Oleh Oryshaka, Vasily Gutsul, Anatoly Artiuhov</i> Theoretical investigation of the cone of free-flowing material flow regulator installation of continuous action for loading free-flowing materials .....	175
<i>Vladislav Rublov, Valeriy Voytuk, Victor Rublov</i> Diagnostic evaluation as part of the technical state of machines .....	182
<i>Mykola Sviren, Vladymyr Amosov, Serhiy Shmat, Ivan Ivanko</i> The impact of energy of the geoelectromagnetic field is on the increase of the productivity of agricultural crops .....	190
<i>Olha Sushchenko</i> Structural-parametric synthesis of discrete robust system for stabilization of information-measuring devices on moving base.....	194
<i>Igor Shvets</i> The use of continuous injection method of feeding the cycle portion of gas fuel for the engine low-power mobile power .....	202
<i>Dmitriy Vakhnichenko, Yuriy Verkhoglyad, Margarita Brajko</i> Dimensional and parametric grading machine with MPS .....	207
<i>Volodymyr Dvoruk, Kostiantun Borak, Sergii Dobranskyi</i> Investigation of the durability of steel 65Г with different physical and mechanical properties in wear in abrasive mass.....	213

<i>Yuriy Kuleshkov, E. Mahonets, Ksenia Kuleshkova, Timofey Rudenko, Mikhail Krasota</i> Analysis of Hydrodynamic Processes Taking Place in the Isolated Section of a Gear Pump.....	224
<i>Savelii Kukharets, Anatolii Pinkin, Yaroslav Yarosh</i> The movement of agricultural materials on an inclined working surface .....	234
<i>Olexandr Mazheyka</i> Evaluation of mechanical properties of materials with laser thermal hardening of parts agricultural machinery.....	239
<i>Vladimir Mirzak, Viktor Bokov</i> The principle of dynamic adjustment as a means of thin-sheet dividing stamping quality increase.....	245
<i>Mykhailo Chernovol, Igor Shepelenko, Budar Mohamed R.F.</i> Appliances for FANT of cylinder liners .....	258
<i>Serhiy Moroz, Iriyna Yenina, Andriy Moroz</i> Information support agricultural production .....	265
<i>Olexandr Nesterenko, Sergiy Leshchenko, Dmytro Petrenko, Svitlana Goncharova, Yuriy Melnik</i> Research contactless movement of light impurities in the vertical pneumatic separating channel .....	271
<i>Viktor Oshovsky</i> Increase of resource of crankshaft diamond-molybdenum disulfide earning additionally of surfaces of friction .....	279
<i>Yuriy Parkhomenko, Volodymyr Gamaliy, Viktor Bosko</i> The calculation of the system of stabilization of the temperature mode in the process of forming a friction .....	286
<i>Mikhailo Podgaetski, Kyryl Scherbina, Olekhandr Hromko, Tetiyna Dyachenko</i> Synthesis of theoretical conceptual scheme of a production honing machine-tool.....	292
<i>Oleh Sisa</i> Processing of hexagonal cavities of hot pressing punches by dimension electrical arc .....	299
<i>Muhajlo Student, Volodumyr Hvozdetyskiy, Sergey Markovich</i> Influence of enhanceable pressure air a stream on a structure and properties electro- arc coverages.....	305
<i>Sergey Anastasenko, Vasiliy Bydyrov, Ivan Grigyrko</i> The influence of cutting conditions on the maintaining tool life. Problems and ways of their solution .....	312
<i>Gennady Teslyuk, Boris Volyk, Andriy Pugach, Ivan Brygatiy</i> The results of field studies of disc harrows in various soil conditions .....	321

**Конструювання, виробництво та експлуатація  
сільськогосподарських машин**

Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник

Заснований у 1971 році

Випуск 46

Відповідальний за випуск Д.І. Петренко

Комп'ютерна верстка І.М. Каліч

Тиражування О. Г. Каліч

*Приватне підприємство «Ексклюзив-Систем»  
Свідоцтво про реєстрацію № 05720-ПП-1 від 10.12.1996.  
25006, м. Кіровоград, вул. Шевченка, 25  
тел./факс 24-35-53*

Здано в набір 25.11.2016 Підписано до друку 28.11. 2016. Формат 60x84 1/8.  
Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman Умов. друк. арк. 41,5  
Обл. вид. арк. 37,7. Наклад 300 прим. Замовлення №0145.