

ISSN 2409-9392

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Центральноукраїнський національний технічний університет

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
КІРОВОГРАДСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

**ТЕХНІКА В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ,
ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ**

За загальною редакцією М.І. Черновола

Заснований у 2001 році

В и п у с к 31

Кропивницький • 2018

ISSN 2409-9392

Ministry of Education and Science of Ukraine
Central Ukrainian National Technical University

Collected Works

of Kirovohrad National Technical University

**MACHINERY IN AGRICULTURAL PRODUCTION,
INDUSTRY MACHINE BUILDING, AUTOMATION**

Under the general editorship of M. Chernovol

Founded in 2001

Issue 31

Kropyvnytskyi • 2018

ББК 34.751+32.965=31
УДК 62:631.3

Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – вип. 31. – Кропивницький: ЦНТУ, 2018. – 192 с.

У збірнику представлені статті, присвячені проблемам проектування та експлуатації сільськогосподарської техніки, технології виробництва, енергозбереження, автоматизації в промисловості та сільському господарстві. Наведені практичні рекомендації до використання результатів досліджень у галузях народного господарства.

Збірник є фаховим виданням, в якому публікуються основні результати наукових досліджень вчених, аспірантів університету, а також інших навчальних закладів та промислових підприємств України.

Збірник розрахований на наукових, науково-технічних працівників різних галузей науки та техніки, ЗВО, здобувачів вчених ступенів і звань.

Рекомендовано до друку Вченою радою Центральноукраїнського національного технічного університету, протокол № 10 від 25 червня 2018 року.

Головний редактор: д-р техн. наук, проф. Черновол М.І.

Редакційна колегія: Белоцерковський М.А., д-р техн. наук, проф. (Білорусь); Варума Аріфа, Dr PhD (Нігер); Віхрова Л.Г., канд. техн. наук, проф. (науковий редактор за напрямком “Автоматизація”); Гамалій В.Ф., д-р ф.-м. наук, проф.; Жорнік В.І., д-р техн. наук (Білорусь); Кириченко А.М., д-р техн. наук, доц.; Кропивний В.М., канд. техн. наук, проф. (заступник головного редактора); Осадчий С.І., д-р техн. наук, проф.; Осіпов І.М., канд. техн. наук, доц. (науковий редактор за напрямком “Техніка в сільськогосподарському виробництві”); Павленко І.І., д-р техн. наук, проф. (науковий редактор за напрямком “Галузеве машинобудування”); Петренюк А.Я., д-р ф.-м. наук, проф.; Сабірзянов Т.Г., д-р техн. наук, проф.; Сафонов В.В., д-р техн. наук, проф. (РФ); Смірнов О.А., д-р техн. наук, проф.; Філімоніхін Г.Б., д-р техн. наук, проф.; Шепеленко І.В., канд. техн. наук, доц. (відповідальний секретар).

Адреса редакційної колегії: 25030, м. Кропивницький, проспект Університетський, 8,
Центральноукраїнський національний технічний університет, тел.: +380 (522)
390-472, +380 (522) 390-437, +380 (522) 55-10-49.

Офіційний сайт: <http://mapiea.kntu.kr.ua/>

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.

Збірник включений рішенням Атестаційної колегії Міністерства освіти і науки України в перелік наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватись результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук. Затверджений наказом Міносвіти і науки України № 1528 від 29.12.14р.

Збірник наукових праць зберігається в загальнодержавній реферативній базі даних «*Україніка наукова*» Національної бібліотеки України ім. В.І. Вернадського та представлений у міжнародній наукометричній базі даних *Google Scholar*

Реєстраційне свідоцтво: серія KB № 15253-3825 ПР від 30.04.2009 р.
ISSN 2409-9392

ТЕХНІКА В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ

УДК 62-822

Р. Д. Іскович-Лотоцький, проф., д-р техн. наук, І. В. Коц, проф., канд. техн. наук, Я. В. Іванчук, доц., канд. техн. наук, Є. І. Івашко, ст. лаборант
Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна
E-mail: ivanchuck@ukr.net

Моделювання руху двомасового вібраційного живильника на базі гідроімпульсного привода

Розроблена нова оригінальна конструкція двомасового вібраційного живильника на базі гідроімпульсного привода, яка врівноважує надлишкові динамічні навантаження. Проведено теоретичне дослідження двомасового вібраційного живильника з гідроімпульсним приводом на базі розробленої математичної моделі. У процесі дослідження була розроблена розрахункова схема пристрою та отримані основні математичні залежності які характеризують режими його роботи та взаємозв'язок робочих параметрів, а також дають змогу оцінити актуальність та перспективність оригінальної розробки.

вібраційний живильник, гідроімпульсний привод, вібрації, реактивна маса

Р.Д. Искович-Лотоцкий, проф., д-р техн. наук, И.В. Коц, проф., канд. техн. наук, Я.В. Иванчук, доц., канд. техн. наук, Е.И. Ивашко, ст. лаборант
Винницкий национальный технический университет, г.Винница, Украина

Моделювання руху двомасового вібраційного живильника на базі гідроімпульсного привода

Разработана новая оригинальная конструкция двухмассового вибрационного питателя на базе гидроимпульсного привода, которая уравнивает избыточные динамические нагрузки. Проведено теоретическое исследование двухмассового вибрационного питателя с гидроимпульсным приводом на базе разработанной математической модели. В процессе исследования была разработана расчетная схема устройства и получены основные математические зависимости, что характеризуют режимы его работы и взаимосвязь рабочих параметров, а также дают возможность оценить актуальность и перспективность оригинальной разработки.

вибрационный питатель, гидроимпульсный привод, вибрации, реактивная масса

Постановка проблеми. Основним недоліком потужних вібраційних живильників з різними видами приводів (механічним, дебалансним, гідроімпульсним), виконаних по одномасовій схемі, є високі динамічні навантаження на елементи несучих конструкцій (фундаменти, рами та інше). Вібраційні живильники з гідроімпульсним приводом [1, 2] налаштовуються на білярезонансний режим, внаслідок чого динамічне навантаження на фундамент може досягати дуже великих значень. Рішенням даної проблеми є встановлення додаткової реактивної маси, яке і буде сприймати на себе надлишкові динамічні навантаження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У праці [3], при масі робочого органу 1000 кг і власної частоти одномасової системи близько 100 с^{-1} максимальна амплітуда динамічного навантаження на фундамент може досягати величин більше 50 кН. Повздовжнє врівноваження даної вібраційної системи непридатне для роботи під великими змінними навантаженнями.

У праці [4] для теоретичного дослідження руху вібраційного конвеєра була розроблена математична модель переміщення вантажу вгору у вертикальній і

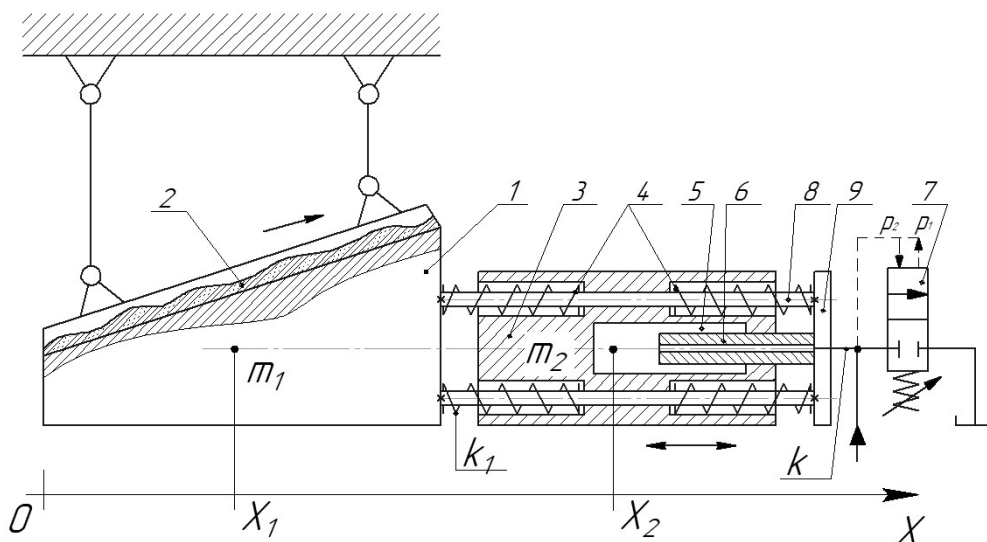
горизонтальних площинах. У даній математичній моделі сумарна швидкість переміщення вантажу в даній моделі складається із швидкості поступального руху і приспосту вібраційної швидкості. Остання представлена також сумою складових швидкості вібрації в горизонтальній і вертикальній площинах. Дана математична модель не розглядає визначення динамічних сил навантаження на поверхню вантажонесучого органу вібраційного живильника

Враховуючи вищесказане, актуальним є розробка та теоретичне дослідження оригінальної конструкції потужного вібраційного живильника на базі гідроімпульсного привода з великим ступенем віброізоляції.

Постановка завдання. Мета статті – розробка математичної моделі руху двомасового вібраційного живильника на базі гідроімпульсного привода, для підтвердження доцільності розробки та ефективності його роботи в перспективі.

Для вирішення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі: провести аналіз розробленого двомасового вібраційного живильника з гідроімпульсним приводом, як об'єкта дослідження; розробити математичну модель руху двомасового вібраційного живильника на базі гідроімпульсного привода; теоретично дослідити і проаналізувати отримані залежності робочих параметрів двомасового вібраційного живильника на базі гідроімпульсного привода.

Виклад основного матеріалу. У Вінницькому національному технічному університеті на кафедрах галузевого машинобудування та інженерних систем у будівництві розроблена конструкція потужного двомасового вібраційного живильника на базі гідроімпульсного привода [1, 3, 5] з великим ступенем віброізоляції [6]. Вібраційний живильник складається із лотка 1 на якому знаходиться сипучий вантаж 2, що переміщується вгору. До лотка 1 прикріплена реактивна маса 3 через пружини 4. Переміщення реактивної маси 3, яка в свою чергу виступає гідроциліндром, забезпечується збільшенням тиску у робочій порожнині 5 до величини p_1 , нагнітанням гідронасосом робочої рідини через поршень 6. Поршень 6 жорстко з'єднаний із мостом 9, який через направляючі 8 і пружини 4 з'єднаний із лотком 1. Зворотний рух лотка 1 забезпечується падінням тиску у робочій порожнині 5 до величини p_2 . Регулювання максимального тиску набору p_1 і падіння p_2 забезпечується клапаном-пульсатором 7.



m_1 – маса, яка включає в себе масу лотка і приведену масу шару вантажу; m_2 – величина реактивної маси;
 k_1 – приведений коефіцієнт жорсткості, який включає в себе жорсткість допоміжної пружної системи і жорсткість шару вантажу; k – жорсткість основної пружної системи

Рисунок 1 – Розрахункова схема двомасового вібраційного живильника з гідроімпульсним приводом

Якщо сили тиску в гідроімпульсному приводі врівноважені, то динамічне навантаження на фундамент включає в себе силу тиску поршня вібратора і реакцію основних пружних зв'язків [7]. Його можна визначити із виразу:

$$R_g = P_L S_1 - kY, \quad (1)$$

де R_g – динамічне навантаження на фундамент;

P_L – динамічна складова тиску в робочій порожнині 5 (рис. 1);

k – жорсткість основної пружної підвіски;

S_1 – площа поперечного перерізу поршня 6 (рис. 1);

Y – амплітуда коливання реактивної маси 3 (рис. 1).

Для складення рівняння руху двомасової системи скористуємося рівняннями Лагранжа другого роду [8].

Приймаємо за узагальнені координати цієї системи відхилення мас від їх рівноваги x_1 і x_2 , напрямлення відліку яких вказані на рис. 1.

Рівняння Лагранжа для системи, що розглядається, має вигляд:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_1} \right) - \frac{\partial T}{\partial x_1} + \frac{\partial \Pi}{\partial x_1} + \frac{\partial \Phi}{\partial x_1} = Q_1, \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_2} \right) - \frac{\partial T}{\partial x_2} + \frac{\partial \Pi}{\partial x_2} + \frac{\partial \Phi}{\partial x_2} = Q_2. \end{cases} \quad (2)$$

Повна кінетична енергія системи:

$$T = \frac{1}{2} (m_1 \dot{x}_1^2 + m_2 \dot{x}_2^2)$$

Потенціальна енергія системи Π включає в себе енергію деформації пружних зв'язків:

$$\Pi = \frac{1}{2} [k_1 x_1^2 + k(x_1 - x_2)^2]$$

Дисипативна функція Релея:

$$\Phi = \frac{1}{2} \eta \dot{x}_1^2.$$

Сили, що діють на маси, рівні між собою і протилежні за напрямком:

$$Q_1 = -Q_2 = P_L S_1.$$

Підставляючи ці вирази в рівняння Лагранжа (2), отримаємо рівняння руху двомасової системи:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 + k_1 x_1 + k(x_1 - x_2) + \eta \dot{x}_1 = P_L S_1, \\ m_2 \ddot{x}_2 + k_1 x_1 + k(x_2 - x_1) + \eta \dot{x}_1 = -P_L S_1. \end{cases} \quad (3)$$

Дані рівняння (3) являються другою граничною умовою для $x=L$. Виключаючи із системи рівнянь (3) x_2 і враховуючи, що:

$$x_1 - x_2 = Y = y_L \frac{S}{S_1} = \frac{y_L}{\sigma},$$

отримуємо:

$$x_2 = x_1 - \frac{y_L}{\sigma}.$$

Підставляючи вираз для x_2 в (3) для $x=L$ отримуємо:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 + k_1 x_1 + ky \frac{1}{\sigma} + \eta \dot{x}_1 = -E \frac{\partial y}{\partial x} S_1, \\ m_2 \left(\ddot{x}_1 - \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \frac{1}{\sigma} \right) - ky \frac{1}{\sigma} = E \frac{\partial y}{\partial x} S_1. \end{cases} \quad (4)$$

Якщо $y(x, t) = u(x) e^{j\omega t}$, тобто ми отримуємо моногармонійні коливання з частотою ω , а x_1 і x_2 , в силу суперпозиції будуть також моногармонійними, і для $x=L$:

$$x_1 = \Lambda u(x) e^{j\omega t}, \quad (5)$$

де Λ – коефіцієнт зв'язку між u і x_1 .

Підставивши (5) і вираз для y в (4), отримаємо систему рівнянь, які є граничними умовами для $x=L$:

$$\begin{cases} \Lambda u(x) (-m_1 \omega^2 + k_1 + j\omega \eta) + ku(x) \frac{1}{\sigma} = -E \frac{du(x)}{dx} S_1; \\ m_2 \omega^2 u(x) \left(\frac{1}{\sigma} - \Lambda \right) - ku(x) \frac{1}{\sigma} = E \frac{du(x)}{dx} S_1. \end{cases} \quad (6)$$

Коефіцієнт зв'язку визначаємо із другого рівняння системи (6):

$$\Lambda = \frac{u(x) (m_2 \omega^2 - k) \frac{1}{\sigma} - E \frac{du(x)}{dx} S}{m_2 \omega^2 u(x)}. \quad (7)$$

Підставивши (7) в перше рівняння системи (6), отримуємо граничну умову для $x=L$:

$$u(x) \bar{H} + \frac{du(x)}{dx} = 0, \quad (8)$$

де

$$\bar{H} = \frac{(m_2 \omega^2 - k)(j\omega \eta - m_1 \omega^2 + k_1) + km_2 \omega^2}{m_2 \omega^2 E S_1 \sigma}. \quad (9)$$

Введемо позначення:

$$\begin{aligned}\Omega_1^2 &= \frac{k}{m_1}; & \Omega_2^2 &= \frac{k}{m_2}; & \Omega_3^2 &= \frac{k_1}{m_1}; & \tilde{\eta} &= \frac{\eta}{m_1 \Omega_1}; \\ \nu_1^2 &= \frac{\omega^2}{\Omega_1^2}; & \nu_2^2 &= \frac{\omega^2}{\Omega_2^2}; & \nu_3^2 &= \frac{\omega^2}{\Omega_3^2}.\end{aligned}\quad (10)$$

Підставивши (10) в (9), отримаємо:

$$\bar{H} = \frac{1}{\sigma^2 \lambda L} \left[\left(1 - \frac{1}{\nu_2^2} \right) \left(\frac{\nu_2^2}{\nu_2^2} - \nu_1^2 \right) + 1 \right] + j \frac{\bar{\eta} \nu_1}{\sigma^2 \lambda L} \left(1 - \frac{1}{\nu_2^2} \right). \quad (11)$$

Рівняння (8) формально співпадає з рівнянням (3.13, [9]) і формула для визначення H в (3.12 [9]) являє окремим випадком формули для визначення (11) при підставленні в (11) значень $t_2 = \infty$ і $k_l = 0$. Подальший розрахунок (визначення переміщень, тиску і повної потужності необхідно виконувати по формулам (3.15, 3.20, 3.33 [10]), використовуючи при розрахунках $u(x)$ формулу (3.14) і $q(x)$ – формулу (3.19 [11]) наступними співвідношеннями:

$$a_1 = \operatorname{Re} \bar{H}; \quad b = \operatorname{Im} \bar{H}; \quad R = 1 + a_1 L.$$

Визначимо переміщення робочого органу, для чого в (5) підставимо (7) і (10):

$$x_1 = \left[u(x) \left(1 - \frac{1}{\nu_2^2} \right) \frac{1}{\sigma} - \frac{\sigma \chi L}{\nu_2^2} \cdot \frac{du(x)}{dx} \right] e^{j\omega t}. \quad (12)$$

Підставимо в цей вираз значення $u(x)$ – по формулі (3.14 [12]) і $q(x)$ – по формулі (3.19 [11]) при $x=L$, після відкидання членів вищого порядку малості і виділення дійсної частини отримаємо вираз для визначення функції переміщення лотка вібраційного двомасового живильника:

$$x_1 = A \bar{x}_1 \cos(\omega t - \varphi_L), \quad (13)$$

де

$$x_1 = \frac{1}{\sigma} \left[\left(1 - \frac{1}{\nu_2^2} \right) - L \left(\frac{Lb^2 + a_1 R}{R^2 + L^2 b^2} \right) \left(1 - \frac{1}{\nu_2^2} - \frac{\sigma^2 \lambda}{\nu_2^2} \right) \right]; \quad (14)$$

$$\operatorname{tg} \varphi_L = \frac{bL}{R}.$$

Аналізуючи отримані залежності, можна зробити висновок, що переміщення робочого органу x_1 збільшується, при зменшенні ν_2 а також при збільшенні реактивної маси t_2 . І навпаки зменшується при збільшенні в'язкості транспортуючого матеріалу.

Висновки. Розроблена математична модель руху вібраційного живильника, яка дозволяє оптимізувати параметри налагодження гідроімпульсного привода і намітити шляхи вирішення проблеми екстремально високих динамічних навантажень на фундамент при розробці нових оригінальних конструкцій двомасових вібраційних живильників.

Список літератури

1. Іскович–Лотоцький Р. Д. Вібраційні та віброударні пристрої для розвантаження транспортних засобів : монографія [Текст] / Р. Д. Іскович–Лотоцький, Я. В. Іванчук. – Вінниця : Вінниця, 2012. – 155 с.
2. Іскович–Лотоцький Р. Д. Технологія моделювання оцінки параметрів формоутворення заготовок з порошкових матеріалів на вібропресовому обладнанні з гідроімпульсним приводом [Текст] : монографія / Р. Д. Іскович–Лотоцький, О. В. Зелінська, Я. В. Іванчук. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 152 с.
3. Іскович–Лотоцький Р. Д. Основи резонансно–структурної теорії віброударного розвантаження транспортних засобів [Текст] / Р. Д. Іскович–Лотоцький, Я. В. Іванчук, Я. П. Веселовський // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. – Д., 2014. – №5(53) – С.109 – 118. doi: 10.15802/stp2014/30458
4. Артюнин А. И. Возможности обобщения задач динамических взаимодействий в неуравновешенных вращениях твердых тел [Текст] / А. И. Артюнин, С. В. Елисеев // Решетневские чтения. – 2014. –Т.1. – №18. – С. 269 – 271.
5. Іскович–Лотоцький Р. Д. Дослідження динаміки процесу роботи універсального гідравлічного віброударного приводу для розвантаження транспортних засобів [Текст] / Р. Д. Іскович–Лотоцький, Я. В. Іванчук // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за напрямом «Інженерна механіка») – Луцьк, 2007. – № 20. – С. 184 – 187.
6. Блехман И. И. Вибрационная механика [Текст] / И. И.Блехман. – М.: Физматлит, 1994. – 400 с.
7. Іскович–Лотоцький Р. Д. Застосування гібридного моделювання при розробці установок для утилізації відходів [Текст] / Р. Д. Іскович–Лотоцький, Я. В. Іванчук, Д. В. Тесовський, Я. П. Веселовський // Технологічні комплекси. Науковий журнал – Луцьк, 2012. – № 1,2 (5, 6). – С. 122 – 126.
8. Іскович–Лотоцький Р. Д. Основи резонансно–структурної теорії віброударного розвантаження транспортних засобів [Текст] / Р. Д. Іскович–Лотоцький, Я. В. Іванчук, Я. П. Веселовський // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. – Д., 2014. – №5(53) – С.109 – 118. DOI: 10.15802/stp2014/30458.
9. Iskovych–Lototsky, R. D., Zelinska, O. V., Ivanchuk, Y. V., Veselovska, N. R. (2017). Development of the evaluation model of technological parameters of shaping workpieces from powder materials. Eastern–European Journal of Enterprise Technologies. Engineering technological systems. – no.1(85). – 9–17. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.59418.
10. Іскович–Лотоцький Р. Д. Установка для утилизации отходов [Текст] / Р. Д. Іскович–Лотоцький, В. И. Повстенюк, О. М. Данилюк, Я. В. Іванчук // Международный промышленный журнал «Мир техники и технологий» – Харьков, 2007. – №12(73). – С. 36–37.
11. Іскович–Лотоцький Р. Д. Оптимізація конструктивних параметрів інерційного вібропрес–молота [Текст] / Р. Д. Іскович–Лотоцький, Я. В. Іванчук, Я. П. Веселовський // Вісник машинобудування та транспорту. – 2016. – №2. – С. 43 – 50.
12. Іскович–Лотоцький Р. Д. Моделювання робочих процесів гідроімпульсного приводу з однокаскадним клапаном пульсатором [Текст] / Р. Д. Іскович–Лотоцький, Я. В. Іванчук, Я. П. Веселовський // Вібрації в техніці та технологіях. – Вінниця, 2017. – № 3(86). – С. 10–19.

Referencis

1. Iskovych–Lotots'kyj, R.D. & Ivanchuk, Ya.V. (2012). *Vibratsijni ta vibroudarni prystroi dlja rozvantazhennia transportnykh zasobiv* [Vibration and vibroudarni device for unloading vehicles]. Vinnytsia : Vinnytsia.
2. Iskovych–Lotots'kyj, R.D., Zelins'ka, O.V. & Ivanchuk, Ya. V. (2018). *Tekhnolohiia modeliuvannia otsinky parametriv formoutvorennia zahotovok z por oshkovykh materialiv na vibropresovomu obladnanni z hidroimpul'snym pryvodom* [The technology of modeling the estimation of parameters of shaping of billets from powder materials on vibropress equipment with a hydropulse drive] . Vinnytsia : VNTU.
3. Iskovych–Lotots'kyj, R.D., Ivanchuk, Ya.V. & Veselovs'kyj, Ya.P. (2014). Osnovy rezonansno–strukturnoi teorii vibroudarnoho rozvantazhennia transportnykh zasobiv [The basis of resonance–structure theory for vibroimpact unloading of the vehicles]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovs'koho natsional'noho universytetu zaliznychnoho transportu im. akademika V. Lazaryana* – Science and transport progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, 5(53), pp.109–118. doi: 10.15802/stp2014/30458
4. Artjunin, A.I. & Eliseev, S.V. (2014). Vozmozhnosti obobshhenija zadach dinamicheskikh vzaimodejstvij v neuravnoveshennykh vrashhenijah tverdyh tel [The possibility of generalizing the problem of dynamic

- interactions in the balance spinning solids] . *Reshetnevskie chtenija – Reshetnev reading, Vol. 1, 8, 269 – 271.*
5. Iskovych–Lotots'kyj R.D. & Ivanchuk, Ya.V. (2007). Doslidzhennia dynamiky protsesu roboty universal'noho hidravlichnoho vibroudarnoho pryvodu dla rozvantazhennia transportnykh zasobiv [The study of dynamics of hydraulic universal vibroudarnoho about unloading vehicles]. *Naukovi notatky. Mizhvuzivs'kyj zbirnyk – Intercollegiate collection "Scientific notes"*, 20, 184-187.
 6. Blehman, I. I. (1994). *Vibracionnaja mehanika [Vibration mechanics]*. – Moscow: Fizmatlit.
 7. Iskovych–Lotots'kyj, R.D., Ivanchuk, Ya.V., Tesovs'kyj, D.V. & Veselovs'kyj, Ya.P. (2012). Zastosuvannia hibrydnogo modeliuvannia pry rozrobtsi ustanovok dla utylizatsii vidkhodiv [Application of hybrid modeling in the development of waste treatment facilities]. *Tekhnologichni komplekxy. Naukovyj zhurnal – Technological complexes. Scientific journal*, 1,2 (5, 6), 122-126.
 8. Iskovych–Lotots'kyj, R.D., Ivanchuk, Ya.V. & Veselovs'kyj, Ya. P. [2014]. Osnovy rezonansno-strukturnoi teorii vibroudarnoho rozvantazhennia transportnykh zasobiv [The basis of resonance-structure theory for vibroimpact unloading of the vehicles]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovs'koho natsional'noho universytetu zaliznychnoho transportu im. akademika V. Lazaryana – Science and transport progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan*, 5(53), 109-118. doi: 10.15802/stp2014/30458.
 9. Iskovych–Lototsky, R.D., Zelinska, O.V., Ivanchuk, Y.V., Veselovska, N.R. (2017). Development of the evaluation model of technological parameters of shaping workpieces from powder materials. *Eastern–European Journal of Enterprise Technologies. Engineering technological systems*, 1(85), 9-17. doi: 10.15587/1729-4061.2017.59418.
 10. Iskovich–Lotockij, R. D., Povstenjuk, V. I., Daniljuk, O. M. & Ivanchuk, Ja.V. (2007). Ustanovka dlja utylizatsii othodov [Waste recycling plant]. *Mezhdunarodnyj promyshlennyj zhurnal «Mir tehniki i tehnologii» – International industrial Journal «The world of Technics and Technologies»*, 12(73), 36-37.
 11. Iskovych–Lotots'kyj, R.D., Ivanchuk, Ya.V. & Veselovs'kyj, Ya.P. (2016). Optymizatsiia konstruktivnykh parametriv inertsijnogo vibropres–molota [Optimization of design data inertial vibropress-hammer]. *Visnyk mashynobuduvannia ta transportu – Journal of mechanical engineering and transport*, 2, 43-50.
 12. Iskovych–Lotots'kyj, R.D. & Ivanchuk, Ya.V., Veselovs'kyj, Ya.P. (2017). Modeliuvannia robochykh protsesiv hidroimpul'snoho pryvodu z odnokaskadnym klapanom pul'satorom [Modeling workflow hydro-impulse drive with a single stage valve pulsator]. *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnologiiakh – Vibration in engineering and technology*, 3(86), 10-19.

Rostyslav Iskovych-Lototskyi, Prof., Dsc., Ivan Kots, Prof., PhD tech. sci., Yaroslav Ivanchuk, Assos.Prof., PhD tech. sci., Yevheniy Ivashko, Senior Labor. Assist.

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, Ukraine

Simulation of the Motion of a Two-mass Vibrating Feeder Based on a Hydro-impulse Drive

The main disadvantage of powerful vibrating feeders with different types of drives, performed on a single-mass scheme, are high dynamic loads on the elements of load-bearing structures. The aim of the article is to develop a mathematical model of the motion of a two-mass vibrating feeder based on a hydroimpulse drive, to confirm the feasibility of developing and its performance in the future.

Vibrating feeders with a hydropulse drive are tuned to near resonance mode, as a result of which the dynamic load on the foundation can reach very high values. The solution to this problem is to establish an additional reactive mass, which will absorb the excessive dynamic loads. A new original design of a two-mass vibrating feeder based on a hydropulse drive is developed, which balances the excess dynamic loads. A mathematical model of the motion of a two-mass vibrating feeder is developed, which is represented by a system of Lagrange differential equations. The solution of the mathematical model of motion of a vibrating feeder was carried out by the method of introducing a complex variable. A theoretical investigation of a two-mass vibrating feeder with a hydroimpulse drive based on the developed mathematical model is carried out.

In the process of research, the design scheme of the device was developed and the mathematical dependences obtained on the basis of a system of differential equations were derived. A mathematical model of the motion of a vibrating feeder has been developed which allows to optimize the parameters of debugging of the hydroimpulse drive and to outline ways to solve the problem of extremely high dynamic loads on the foundation while developing new original designs of two-mass vibrating feeders. Solving the system of differential equations that characterize the modes of its operation and the interrelationship of operating parameters make it possible to assess the relevance and prospects of the original development.

two-mass vibration feeder, hydro-impulse drive, vibration, reactive mass

Одержано (Received) 14.05.2018

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

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

Оцінка енергоємності глибокого обробітку ґрунту комбінованими чизельними глибокорозпушувачами

В роботі проводиться оцінка енергоємності основного обробітку ґрунту комбінованими чизельними глибокорозпушувачами. Доводиться, що незважаючи на значну кількість досліджень у напрямку скорочення витрат енергії на основний обробіток ґрунту, питання залишається актуальним, а з врахуванням необхідності впровадження ґрунтозахисних технологій, найбільш доцільним є оптимізація енерговитрат при проведенні безполицевого обробітку ґрунту комбінованими чизельними глибокорозпушувачами.

В результаті проведених досліджень доведено можливість скорочення енерговитрат на основний обробіток ґрунту при використанні комбінованих чизельних глибокорозпушувачів із додатковими деформаторами за умови їх ефективного агрегатування з енергетичними засобами. Спираючись на результати практичного використання таких агрегатів розроблені рекомендації щодо їх подальшого використання та вдосконалення

енергоємність обробітку ґрунту, комбінований чизельний глибокорозпушувач, витрати пального, тяговий опір, ґрунтозахисні технології

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

Центральноукраїнський національний технічний університет, г. Кропивницький, Україна

Оценка энергоемкости глубокой обработки почвы комбинированными чизельными глубокорыхлителями

В работе проводится оценка энергоемкости основной обработки почвы комбинированными чизельными глубокорыхлителями. Доказывается, что несмотря на значительное количество исследований в направлении сокращения затрат энергии на основную обработку почвы, вопрос остается актуальным, а с учетом необходимости внедрения почвозащитных технологий, наиболее целесообразным является оптимизация энергозатрат при проведении безотвальной обработки почвы комбинированными чизельными глубокорыхлителями.

В результате проведенных исследований, доказана возможность сокращения энергозатрат на основную обработку почвы при использовании комбинированных чизельных глубокорыхлителей с дополнительными деформаторами, при условии их эффективного агрегатирования с энергетическими средствами. Опираясь на результаты практического использования таких агрегатов, разработаны рекомендации по их дальнейшему использованию и усовершенствованию.

энергоемкость обработки почвы, комбинированный чизельный глубокорыхлитель, расход топлива, тяговое сопротивление, почвозащитные технологии

Постановка проблеми. Актуальним питанням сьогодення є зменшення витрат на вирощування сільськогосподарської продукції. Зважаючи на той факт, що витрати енергії є найвищими на операціях основного обробітку ґрунту, а під час вирощування окремих культур, таких як соняшник, кукурудза, картопля, цукрові буряки, ріпак та ін., витрати на проведення основного обробітку ґрунту можуть досягати 25...35% загальних енерговитрат на технологію вирощування, проблема енергозбереження стає ще більш гострою. Ще більшої актуальності енергетика процесу глибокого обробітку

грунту набуває під час впровадження технологій безполицевого розпушування, оскільки ці операції позиціонуються не лише як основи ґрунтозахисного землеробства, а й мають забезпечувати принципи зниження енергоємності процесу. З іншої сторони, під час комплектування агрегатів для основного обробітку ґрунту у складі енергетичних засобів та глибокорозпушувачів, до цих пір відсутні чіткі рекомендації відносно узгодженості тягового класу трактора та ширини захвату машини, витрат пального на обробіток ґрунту, диференціації набору робочих органів та загальної компоновки агрегату в залежності від зміни типу ґрунту та його фізико-механічних властивостей тощо. Тому оцінка енергоємності обробітку ґрунту комбінованими чизельними глибокорозпушувачами є початковим етапом вирішення означеного переліку проблем.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Відомо, що найбільш вагомим фактором, який забезпечує створення оптимальних умов росту і розвитку рослин є механічний обробіток ґрунту. Проте, часті і глибокі обробітки щорічно призводять до втрати органічної речовини від 1 до 2%, яка має важливе значення для формування необхідних фізико-механічних властивостей, структури ґрунту та інших факторів родючості [1].

Ряд дослідників доводять [2-6], що проведення багатократного механічного обробітку ґрунту, з однієї сторони, дозволяє забезпечити максимальне знищення бур'янів, але з іншої – суттєво погіршує структуру і сприяє загальному ущільненню орного горизонту, що вимагає здійснення додаткових операцій обробітку, а отже, супроводжується збільшенням витрат енергії. На основі цього П.Г. Семихненко робить висновок про те, що чим більше ґрунт обробляється, тим більше він потребує обробітку [2]. Тому при виборі виду обробітку ґрунту, типу машини чи знаряддя, конструктивних особливостей робочих органів та їх поєднань, параметрів налаштувань ґрунтообробних агрегатів і режимів роботи, насамперед необхідно виходити із умов, що забезпечують агрофізичні та інші властивості ґрунтів.

Сьогодні відвальна оранка хоч і відноситься до найбільш ерозійно небезпечних та енергозатратних операцій обробітку ґрунту, все ж залишається найпоширенішою операцією основного обробітку на теренах нашої держави. Незважаючи на значну кількість досліджень, що спрямовані не лише на вдосконалення технологічного процесу оранки, але й зниження енергоємності цієї операції, та після аналізу шляхів вдосконалення плугів В.А. Сакун [3] дійшов до висновку щодо необхідності створення принципово нових ґрунтообробних машин і знарядь. Виходячи з міркувань збереження родючості ґрунтів, зменшення втрат органічної речовини, покращення інфільтраційних властивостей та зниження проявів вітрової і водної ерозії поступовий перехід від традиційних способів обробітку у вигляді відвальної оранки до технологій глибокого безполицевого обробітку можуть служити початком впровадження системи ґрунтозахисного енергоощадного землеробства.

З практичної точки зору, витрати енергії на обробіток ґрунту виражаються витратами пального. Проте витрати пального на ґрунтообробку в значній мірі залежать не тільки від типів робочих органів і знарядь, але і від типу та фізико-механічних властивостей ґрунту. Так, наприклад, питома робота (кДж/м^3) під час оранки полицевим плугом складає: на піщаних ґрунтах – 30 ± 5 , на важкоглинистих 120 ± 20 ; для чизельних знарядь при тих самих умовах – 20 ± 4 та $80 \pm 10 \text{ кДж/м}^3$, що фактично підтверджує факт зниження витрат під час глибокого безполицевого обробітку ґрунту у 1,5 рази порівняно із оранкою [7].

В залежності від спеціалізації господарств витрати дизельного пального на оранку під час виробництва продукції рослинництва знаходяться в межах 20...60% від

загальної річної потреби на здійснення польових робіт [7]. При цьому на підготовку ґрунту і посів припадає 62...64% загальних енерговитрат. Витрати дизельного пального на ґрунтообробку для різних машин і знарядь зведено в таблицю 1.

Таблиця 1 – Витрати дизельного пального на ґрунтообробку для різних машин і знарядь

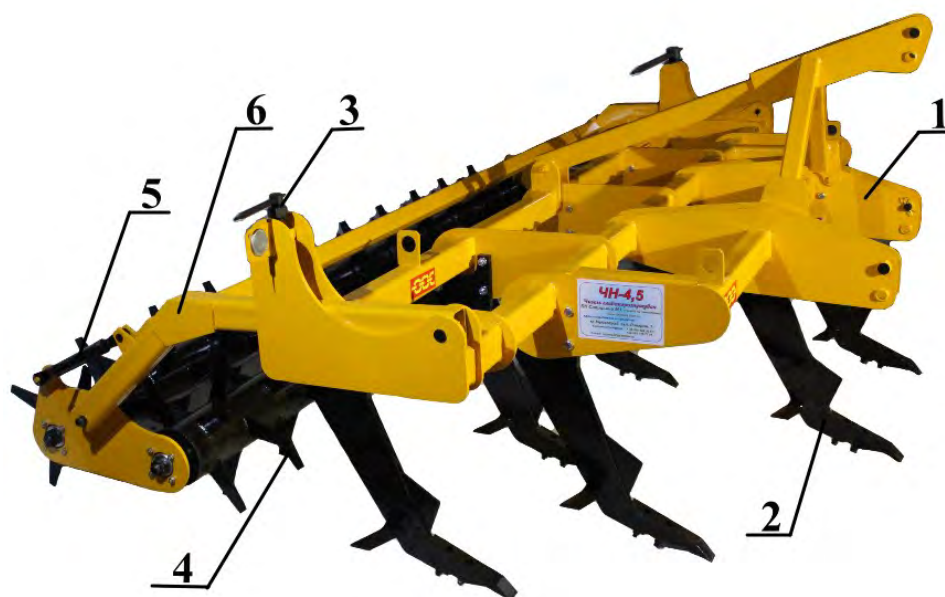
Машина, знаряддя	Витрати, л/га	Машина, знаряддя	Витрати, л/га
Плуг полицевий	25±7	Культиватор легкий	8±1
Плуг дисковий	22±5	Культиватор важкий	10±2
Чизельні глибокорозпушувачі:		Дискова борона:	
- з прямими стояками	15±2	- важка	9±3
- з похилими стояками	12±2	- легка	7±2
Віброкультиватор	6±1	Культиватор роторний	20±4
Голчаста борона (типу БИГ-3)	4±1	Комбінований агрегат для оранки і передпосівного обробітку	24±6

Зміна геометричних параметрів робочих органів неминуче пов'язана із дилемою «тяговий опір – якість обробітку». Цілком очевидно, що зниження тягового опору, як правило, приводить до погіршення якості обробітку ґрунту і навпаки, а тому при проектуванні ґрунтообробних робочих органів необхідно чітко визначитися з їх домінуючими характеристиками. Поєднання високої якості обробітку при низькому тяговому опорі досягається досить рідко, а вирішенням даної проблеми пов'язано із комбінуванням окремих робочих поверхонь на одному стояку чи рамі на стадіях проектування [8].

Робочі органи щілинорізів працюють в умовах блокованого різання, а чизельних глибокорозпушувачів і культиваторів – блокованого, напіввільного і вільного різання. Якраз вид різання ґрунту робочими органами і спосіб їх розстановки на рамі машин має вирішальний вплив на тяговий опір, а отже і на витрати пального. Під час розміщення робочих органів на рамі чизельного знаряддя необхідно виходити з того, щоб якомога менша кількість лап працювала в умовах блокованого різання. Енергоємність роботи чизельних лап в умовах блокованого, напіввільного і вільного різання відносяться як 100:70:50% [9]. Тому раціональне розміщення робочих органів на рамі чизельного знаряддя дозволяє значно зменшити витрати пального за умови забезпечення необхідної якості операцій.

Постановка завдання. Виходячи із наведеного, метою даної роботи є оцінка енергоємності глибокого обробітку ґрунту комбінованими чизельними глибокорозпушувачами, шляхом аналітичного дослідження силової взаємодії запропонованого знаряддя і практичного аналізу витрат пального в залежності від компоновки агрегату та набору робочих органів.

Виклад основного матеріалу. Для проведення оцінки енергоефективності чизельного обробітку ґрунту на кафедрі сільськогосподарського машинобудування Центральноукраїнського національного технічного університету після аналізу існуючих конструктивних рішень робочих органів і схем компоновки глибокорозпушувачів, враховуючи основні сучасні тенденції вдосконалення ґрунтообробних агрегатів, запропоновано вдосконалену схему комбінованого чизельного глибокорозпушувача (рис. 1).



1 – рама; 2 – лапа чизельна; 3 – регулювальний механізм; 4 – спарений зубчастий коток; 5 – гвинт;
6 – механізм кріплення котка

Рисунок 1 – Комбінований чизельний глибокорозпушувач

Основним робочим органом розробленої машини є чизельна лапа 2 (рис. 1), що складається з стояка, до якого закріплені долото, зуб та крила. Допоміжним робочим органом, який виконує опорну функцію та забезпечує заробку рослинних решток з їх переміщенням на глибину 15-20 см, може бути спарений зубчастий коток. Залежно від зовнішніх умов, наявності і кількості крупних брил та рослинних решток за рахунок зміни положення гвинта 5 регулюється інтенсивність перемішування і подрібнення часток ґрунту та органіки після чизелювання.

Під час рихлення ґрунту чизельною лапою долото сколює моноліти ґрунту, зуб інтенсивно подрібнює брили і відводить їх від стояка, а крила, крім підрізання бур'яну, додатково кришать ґрунт, та залежно від їх місця розміщення на стояку, можуть зменшувати нерівності дна борозни. Відносно дна борозни зміна положення крил відбувається шляхом фіксації останніх гвинтами у відповідному місці на стояку [3-6].

Попередні випробування, експериментальні та теоретичні дослідження доводять, що запропонований глибокорозпушувач, незважаючи на свою просту конструкцію, є більш адаптованим до дійсних умов роботи, а саме важких чорноземів центральної України, проте енергетична оцінка його роботи, як і роботи інших подібних знарядь, потребує вивчення та пошуку шляхів оптимізації енерговитрат [12-21].

Аналізуючи зони розпушування ґрунту у фронтальній площині (рис. 2), можна встановити залежність окремих геометричних параметрів робочих органів, виходячи із їх розміщення (рис. 3). Враховуючи кут сколювання ґрунту (у середньому $\psi_{ск} = 45^\circ$) при $B < 2H$ коли $H < H_2$, висота незруйнованих підґрунтових гребнів $h_{зр} = H_2 - H_1 = 0,5 \cdot B$, а товщина суцільного розпушування верхнього шару $H_1 = H_2 - 0,5B$.

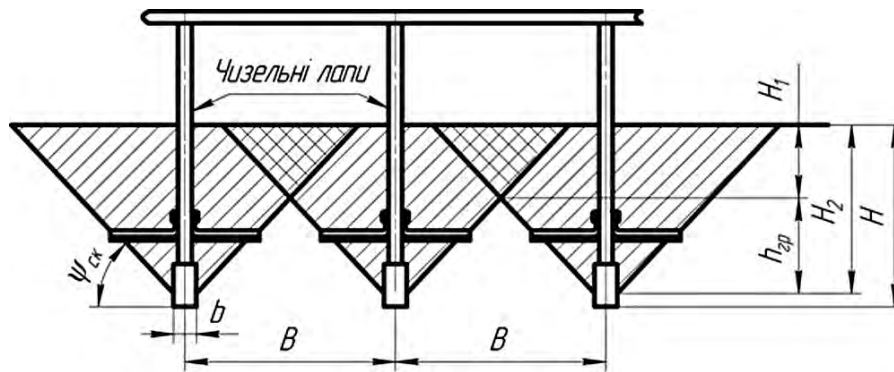


Рисунок 2 – Профіль зони деформації ґрунту робочими органами чизеля

Отже, зміною відстані між робочими органами по ходу машини можна домогтися значного поліпшення якісних показників процесу розпушування. Все це дає змогу виконувати різні види обробітку ґрунту: при $B > 2H$ виконуються роботи по щільюванню 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.

Тяговий опір плугів прийнято визначати за формулою В.П. Горячкіна [11]:

$$R_x = R_1 + R_2 + R_3 = f \cdot G + k_0 \cdot a \cdot b \cdot n + \varepsilon \cdot a \cdot b \cdot n \cdot V^2, \quad (1)$$

де R_1 , R_2 , R_3 – опори першої, другої та третьої категорій;

f – коефіцієнт пропорційності (опір перетягуванню плуга у відкритій борозні), при роботі полицевого плуга по стерні $f = 0,5$; для чизельних плугів $f = 0,4$ [10];

G – сила ваги;

k_0 – питомий опір ґрунту, за В.П. Горячкіним: на легких ґрунтах $k_0 = 2$ Н/см² (20 кПа), на середніх – $k_0 = 3$ Н/см² (30 кПа) і на важких – $k_0 = 4 \dots 5$ Н/см² (40...50 кПа) [10];

a та b – відповідно глибина обробітку та ширина захвату робочого органу;

n – кількість корпусів чи лап на знарядді;

ε – коефіцієнт швидкісного опору, який залежить від параметрів (геометричної форми) робочого органу та властивостей ґрунту, за В.П. Горячкіним $\varepsilon = 1500 \dots 2000$ Н·с²/м⁴ [10];

V – швидкість операції.

Дослідники відмічають [7-11], що чизель здійснює принципово інший технологічний процес обробітку ґрунту у порівнянні із плугом. Відмінність технологічного процесу полицевого плуга полягає в тому, що він забезпечує суцільне рихлення на повну глибину ходу робочих органів з обертанням скиби, в той час як чизельні глибокорозпушувачі проводять розпушування ґрунту без обертання скиби з утворенням незруйнованих гребенів над дном борозни (недоріз скиби). Саме ця принципова різниця і ускладнює використання раціональної формули В.П. Горячкіна (1) для визначення тягового опору глибокорозпушувачів, так як плуг повністю обробляє частину поля з площею поперечного перерізу $a \times b$. Якщо ж визначити площу поперечного перерізу скиби, яку обробляє безполицевий робочий орган, у даному випадку чизельна лапа, то підставивши її в формулу В.П. Горячкіна, можна розрахувати тяговий опір чизельного глибокорозпушувача.

Формулу (1) можна записати наступним чином

$$R_x = f \cdot G + F(k_0 \cdot n + \varepsilon \cdot n \cdot V^2), \quad (2)$$

де F – площа перерізу обробленого ґрунту у поперечно-вертикальній площині.

Оброблена площа ґрунту чизельною лапою є сумою площ прямокутника від проекції виступаючої частини долота на поперечно-вертикальну площину та трапеції, обмеженої проекціями бокових крил чизельної лапи (рис. 3):



Рисунок 3 – Розміщення чизельних лап на рамі глибокорозпушувача у фронтальній площині

$$F = l_\delta \cdot b_\delta + \frac{1}{2}(b_\delta + b_\kappa)(l_\kappa - l_\delta), \quad (3)$$

де l_δ , l_κ , b_δ , b_κ – проекції довжини і ширини виступаючої частини долота і крил відповідно.

Тоді з врахуванням обробленої площі ґрунту однією чизельною лапою з крилами загальна формула для визначення тягового опору має вигляд:

$$R_x = f \cdot G + \left(l_\delta \cdot b_\delta + \frac{1}{2}(b_\delta + b_\kappa)(l_\kappa - l_\delta) \right) (k_0 \cdot n + \varepsilon \cdot n \cdot V^2). \quad (4)$$

Результати практичного вимірювання тягового опору, зафіксовані традиційним динамометруванням, представлені у вигляді тримірного графіку взаємного впливу глибини обробки і відстані між робочими органами на питомий опір (рис. 4). Отримані результати дозволяють підтвердити, що збільшення глибини обробки неминуче приводить до зростання питомого опору, останнє спостерігається при будь-якій відстані між робочими органами. Однозначно можна констатувати, що рекомендовані значення питомого опору, за умов забезпечення заданої якості, перебувають у діапазоні 14...16 кН/м, що для глибини чизелювання 30...40 см забезпечується при відстані між робочими органами 50...60 см. Ці практичні рекомендації стосовно взаємозв'язку глибини обробки та відстані між робочими органами з їх взаємним впливом на питомий опір і були враховані при проектуванні сімейства комбінованих чизельних глибокорозпушувачів.

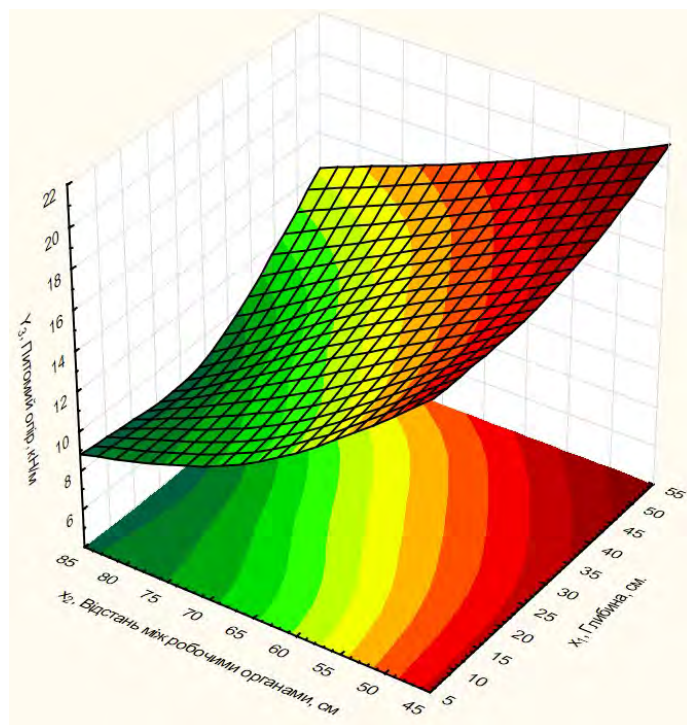


Рисунок 4 – Графік впливу глибини обробки і відстані між робочими органами на питомий опір

Дійсні витрати пального на основний безполицевий обробіток ґрунту глибокорозпушувачами оцінювали протягом 2012-2017 років під час роботи агрегатів на полях Кіровоградської, Черкаської, Вінницької та Полтавської областей. Переважний механічний склад ґрунту – важкий і середній суглинок. Твердість ґрунту за глибиною розміщення горизонтів в середньому складала 0...10 см – 15-30 кг/см²; 10...20 см – 25-60 кг/см²; 20...30 см – 50-95 кг/см². За показник оцінки ефективності роботи глибокорозпушувачів прийнято коефіцієнт якості кришення ґрунту, а тяговий опір оцінювали питомим опором. Інформація за даними виробників сільськогосподарської продукції в регіонах центральної України зведена в табл. 2.

Таблиця 2 – Витрати дизельного пального при обробітку ґрунту комбінованими чизельними глибокорозпушувачами

№ п/п	Характеристика трактора	Потужність двигуна, к.с	Ширина захвату робочої машини, м	Глибина обробітку, см	Витрати пального, л/га
Глибокорозпушувачі ЧН вітчизняного виробництва (Набір робочих органів – чизельні лапи з плоскими крилами і зубами та спарені зубчасті котки)					
1	John Deere 7530	180	3,5	35	14...16
2	ХТЗ-2021	130	2,3	40	18...20
3	ХТЗ-240	240	2,5	55	18
4	К-700	300	3,5	40	19
5	МТЗ	105	1,5	55	15

Продовження таблиці 2

6	K-700 (двигун Renault)	400	3,5	35	17...20
7	New Holland	350	4,5	45	16...18
8	T-150 (двигун МАЗ)	238	2,5	35	20
9	K-700	300	3,5	35	19...20
Середні витрати пального					17,88
Глибкорозпушувачі Gaspardo Artiglio . За комплектацією робочих органів аналогічні з вітчизняними					
1	John Deere 8400	270	3,5	30...35	18...22

Аналіз даних за витратами пального (табл. 2), дозволяє відмітити, що незважаючи на складні ґрунтові умови, переущільнення ґрунту та наявність ущільненої підорної підшви, використання агрегатів на базі глибкорозпушувачів вітчизняного виробництва дозволить проводити обробіток ґрунту із середніми витратами пального близько 18 л/га, при глибині роботи 35 і більше см. Слід відмітити, що такі агрегати в змозі забезпечити середній якісний показник кришення ґрунту 70...75%. В свою чергу, ґрунтообробні агрегати на базі глибкорозпушувачів Gaspardo Artiglio при глибині роботи 30...35 см. витрачали до 22 л/га пального, якісний показник їх роботи не перевищував 55...60%. Якщо ж проводити аналогії із операціями традиційної відвальної оранки, то крім створення сприятливих умов для виникнення вітрової і водної ерозій та утворення ущільненої підорної підшви, витрати пального сягали 30...34 л/га. Суттєва відмінність у фактичних витратах пального (табл. 2) і витрат, встановлених попередніми дослідниками (табл. 1), що були актуальними на 2000-2010 рр., зайвий раз доводять, що відбувається стрімке переущільнення орного горизонту з утворенням ущільненої підорної підшви, а отже швидка деградація ґрунту, яка і призводить до втрати родючості і ускладнення механічного обробітку загалом.

Висновки. 1. Витрати пального на обробіток ґрунту можуть сягати 25...35% загальних витрат на реалізацію технологічних процесів у рослинництві. Зважаючи на необхідність збереження родючості ґрунтів, зменшення проявів ерозій, поліпшення інфільтраційних властивостей та зниження витрат енергії на основний обробіток ґрунту, доцільно проводити безвідвальне рихлення комбінованими чизельними глибкорозпушувачами, робота яких потребує оптимізації енерговитрат.

2. З метою використання раціональної формули В.П. Горячкіна (1) для визначення тягового опору глибкорозпушувачів, доцільно визначати площу поперечного перерізу скиби, яку обробляє чизельна лапа з врахуванням її додаткових конструктивних елементів (долота і крил).

3. На основі проведених досліджень можна стверджувати, що рекомендовані значення питомого опору, за умов забезпечення заданої якості, перебувають у діапазоні 14...16 кН/м, що для глибини чизелювання 30...40 см забезпечується відстанню між робочими органами 50...60 см.

4. Глибкорозпушувачі типу ЧН вітчизняного виробництва, робочі органи яких мають в своєму складі чизельні лапи з плоскими крилами і зубами та спарені зубчасті котки, при роботі на ускладнених ґрунтах центральної України із середніми витратами пального близько 18 л/га, при глибині роботи 35 см і більше забезпечують якісний показник кришення ґрунту 70...75%.

Список літератури

1. Пашенко В.Ф. Теория воздействия рабочих органов орудий на почву [Текст]: Монография / В.Ф. Пашенко, С.И. Корниенко, Н.П. Гусаренко. – Харьков : ХНАУ, 2013. – 90 с.
2. Семихненко П.Г. Возделывание пропашных культур с минимальным числом оборотов [Текст] / П.Г. Семихненко // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1972. – № 2. – С. 31-36.
3. Машины для обробітку ґрунту та внесення добрив. Навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей [Текст] / В.М. Сало, С.М. Лещенко, П.Г. Лузан, Ю.В. Мачок, Д.В. Богатирьов – Х.: Мачулін, 2016. – 244 с.
4. 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: УКРНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 2014 – № 10 (61) – С. 16-19.
5. Панов И.М. Физические основы механики почв [Текст] : Монография / И.М. Панов, В.И. Ветехин – К.: Феникс, 2008. – 266 с.
6. 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, 2015. – Вип. 45, Ч.1 – С. 126-132.
7. Борисенко И.Б. Совершенствование ресурсосберегающих и почвозащитных технологий и технических средств обработки почвы в остросухливых условиях нижнего Поволжья [Текст] : дис...доктора техн. наук: 05.20.01 / Борисенко Иван Борисович. – Волгоград, 2006. – 402 с.
8. Дроздов С.Н. Использование вынужденных колебаний для снижения тягового сопротивления почвообрабатывающих машин [Текст] / С.Н. Дроздов, И.З. Аширов, А.А. Сорокин, О.Я. Набокина // Известия ОГАУ. – 2013. - №1. – С. 46-48.
9. Руденко Н.Е. Механизация обработки почвы: Учебное пособие [Текст] / Н.Е. Руденко – Ставрополь: Изд-во СтГАУ «АГРУС». – 2005. – 112 с.
10. Божко, И.В. Особенности безотвальной послойной обработки почвы в засушливых условиях [Текст] / И.В. Божко, Г.Г. Пархоменко // Агротехника и энергообеспечение: Научно-практический журнал – Орел. – 2014. – № 1(1). – С. 25 – 30.
11. Сисолін П.В. Сільськогосподарські машини : теоретичні основи, конструкція, проектування [Текст] : підруч. для студ. вищ. навч. закл. із спец. «Машини та обладнання с.-г. вир-ва». Кн. 1: Машини для рільництва./ За ред. М.І. Чорновола / П.В. Сисолін, В.М. Сало, В.М. Кропівний. – К.: Урожай, 2001. – 384 с.
12. Лещенко С.М. Технічне забезпечення збереження родючості ґрунтів в системі ресурсозберігаючих технологій [Текст] / С.М. Лещенко, В.М. Сало // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград, 2013. – Вип. 43, ч.1 – С. 96-102.
13. 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.
14. Leschenko S. Experimental estimate of the efficiency of basic tilling by chisel equipment in the conditions of soil [Text]/ S. Leschenko, V. Salo, D. Petrenko // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград, 2014. – Вип. 44 – С. 237-243.
15. Лещенко С.М. Експериментальна оцінка якості роботи комбінованого чизеля з додатковими горизонтальними та вертикальними деформаторами [Текст] / С.М. Лещенко, В.М. Сало, Д.І. Петренко // Вісник Харківського національного технічного університету ім. П. Василенка. – Харків, 2015. – Вип. 156 – С. 25–34.
16. Лещенко С.М. Вплив конструктивних параметрів чизельної лапи глибокорозпушувача на деформацію ґрунту [Текст] / С.М. Лещенко, В.М. Сало, Д.І. Петренко, І.О. Лісовий // Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти – Вип. 4. – Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2016. – С. 115-124.
17. 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.
18. Лещенко С.М. Обґрунтування доцільності проведення глибокого чизельного рихлення на переушільнених та ерозійно-небезпечних ґрунтах [Текст] / С.М. Лещенко, В.М. Сало // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в

- сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Вип. 28. – Кіровоград: КНТУ, 2015 р. – С. 181-186.
19. Vasylovskaya K.V. Improvement of equipment for basic tillage and sowing as initial stage of harvest forecasting [Text] / Vasylovskaya K.V.; Leshchenko S.M.; Vasylovskiy O.M.; Petrenko D.I. // INMATEH-Agricultural Engineering. – Vol.50 No.3, 2016 – P.13-20 ref.18.
 20. Лещенко С. М. Шляхи підвищення ефективності роботи комбінованих чизельних ґрунтообробних знарядь з додатковими деформаторами [Текст] / С.М. Лещенко, В.М. Сало // Механізація та електрифікація сільського господарства: [загальнодержавний збірник]. – 2016. – Вип. №4 (103) / [ННЦ «ІМЕСГ»]. – Глеваха, 2016. – С. 31-37.
 21. Сало В.М. Нова конструкція чизельного глибокорозпушувача-удобрювача [Текст] / С.М. Лещенко, В.М. Сало, О.І. Шевченко // Сільськогосподарські машини: Зб. наук.ст. – Вип. 36. – Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛНТУ, 2017. – С. 150-157.

References

1. Pashhenko, V.F., Kornienko, S.I. & Gusarenko, N.P. (2013). *Teorija vozdejstviya rabochih organov orudij na pochvu [Theory of impact of the working bodies of guns on the soil]*. Har'kov : HNAU.
2. Semihnenko, P.G. (1972). Vozdelyvanie propashnyh kul'tur s minimal'nyim chislom oborotov [Cultivation of row crops with a minimum number of revolutions]. *Vestnik sel'skhozajstvennoj nauki – Herald of Agricultural Science*, 2, 31-36.
3. Salo, V.M., Leschenko, S.M., Luzan, P.H., Machok, Yu.V. & Bohatyrov, D.V. (2016). *Mashyny dlia obrobittu ґruntu ta vnesennia dobryv [Machines for soil tillage and fertilization]*. Kharkiv: Machulin.
4. Salo, V.M., Bohatyrov, D.V., Leschenko, S.M. & Savits'kyj, M.I. (2014). Vitchyzniane tekhnichne zabezpechennia suchasnykh protsesiv u roslinnystvi [Domestic engineering support of modern processes in plant growing]. *Tekhnika i tekhnologii APK – Engineering and technology APC*, 10 (61), 16-19.
5. Panov, I.M. & Vetohin, V.I. (2008). *Fizicheskie osnovy mehaniki pochv [Physical bases of soil mechanics]*. Kiev: Feniks.
6. Salo, V.M., Leschenko, S.M., Pashyn's'kyj, V.A. & Yarovykh, R.V. (2015). Analiz protsesiv chyzeliuvannia ґruntiv z zastosuvanniam riznykh kombinatsij robochykh orhaniv [The analysis of the processes of soil chiseling with the application of various combinations of working parts]. *Zaghal'noderzhavnyj mizhvidomchyj naukovo-tekhnichnyj zbirnyk. Konstruiuvannja, vyrobnyctvo ta ekspluatacija sil's'kogospodars'kykh mashyn – National Interagency Scientific and Technical Collection of Works. Design, Production and Exploitation of Agricultural Machines*, Vol. 45, part.1, 126-132.
7. Borisenko, I.B. (2006). Sovershenstvovanie resursosberegajushhih i pochvozashhitnyh tehnologij i tekhnicheskikh sredstv obrabotki pochvy v ostrozashchivnykh uslovijah nizhnego Povolzh'ja [Improvement of resource-saving and soil-protective technologies and technical means of tillage in the harsh conditions of the lower Volga region]. *Doctor's thesis*. Volgograd.
8. Drozdov, S.N., Ashirov, I.Z., Sorokin, A.A. & Nabokina, O.Ja. (2013). Ispolzovanie vynuzhdennykh kolebanij dlja snizhenija tjavovogo soprotivlenija pochvoobrabatyvajushhih mashin [The use of forced vibrations to reduce traction resistance of tillage machines]. *Izvestija OGAU – News OSAU*, 1, 46-48.
9. Rudenko, N.E. (2005). *Mehanizacija obrabotki pochvy: Uchebnoe posobie [Mechanisation of Soil treatment]*. Stavropol': Izd-vo StGAU «AGRUS».
10. Bozhko, I.V. & Parhomenko, G.G. (2014). Osobennosti bezotval'noj poslojnoj obrabotki pochvy v zasushlivykh uslovijah [Features of the soilless layered tillage in arid conditions]. *Agrotehnika i jenergoobespechenie: Nauchno-prakticheskij zhurnal – Agrotechnology and energy supply: Scientific and practical journal*, 1(1), 25-30.
11. Sysolin, P.V., Salo, V.M. & Kropivnyj, V.M. (2001). *Agricultural machines: theoretical foundations, design, design*. M.I. Chornovola (Ed.). Kyiv: Urozhaj.
12. Leschenko, S.M. & Salo, V.M. (2013). Tekhnichne zabezpechennia zberezhenia rodiuchosti ґruntiv v systemi resursozberihaiuchykh tekhnologij [The technical providing maintainance of fertility soils is in the system of keepings technologies]. *Zaghal'noderzhavnyj mizhvidomchyj naukovo-tekhnichnyj zbirnyk. Konstruiuvannja, vyrobnyctvo ta ekspluatacija sil's'kogospodars'kykh mashyn – National Interagency Scientific and Technical Collection of Works. Design, Production and Exploitation of Agricultural Machines*, Vol. 43, part.1, 96-102.
13. Leshchenko, S., Salo, V. & Vasil'kovskij, A. (2014). Sostojanie voprosa i perspektiva intensifikacii raboty chizel'nyh orudij s cel'ju sohraneniya estestvennogo plodorodija [The state of the issue and the prospect of intensifying the work of chisel tools in order to preserve natural fertility]. MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. An international journal on operation of farm and agri-food industry machinery, Vol. 16, 2, 195–201.
14. Leschenko, S., Salo, V. & Petrenko, D. (2014). Experimental estimate of the efficiency of basic tilling by chisel equipment in the conditions of soil [Experimental Estimate of the Efficiency of Basic Tilling by Chisel Equipment in the Conditions of Soil Compaction]. *Zaghal'noderzhavnyj mizhvidomchyj naukovo-*

- tehnichnyj zbirnyk. Konstruivannja, vyrobnytstvo ta ekspluatacija sil'skoghospodars'kykh mashyn – National Interagency Scientific and Technical Collection of Works. Design, Production and Exploitation of Agricultural Machines, Vol.44 – C. 237-243.
15. Leschenko, S.M., Salo, V.M. & Petrenko, D.I. (2015). Eksperymental'na otsinka iakosti roboty kombinovanoho chyzelia z dodatkovyimi horyzontal'nymi ta vertykal'nymi deformatoramy [Experimental performance evaluation chisel combined with extra horizontal and vertical warp]. *Visnyk Kharkivs'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu im. P. Vasylenka – Bulletin of Kharkiv National Technical University of Agriculture. Petro Vasilenko, Vol. 156, 25–34.*
 16. Leschenko, S.M., Salo, V.M., Petrenko, D.I. & Lisovyj, I.O. (2016). Vplyv konstruktivnykh parametriv chyzel'noi lapy glybokorozpushuvacha na deformatsiiu gruntu [Influence of structural parameters of the chisel kneecap on the deformation of the soil]. *Visnyk Ukrain's'koho viddilennia Mizhnarodnoi akademii ahrarnoi osvity – Bulletin of the Ukrainian Branch of the International Academy of Agrarian Education, Vol. 4, 115-124.*
 17. Salo, V. & Leschenko, S. (2015). Tekhnichne zabezpechennia protsesiv hlybokoho rozpushuvannia gruntu [Technical maintenance of processes of deep loosening soil]. *Propozytsiia: ukrains'kyj zhurnal z pytan' ahrobiznesu. Informatsijnyj schomisiachnyk – Suggestion: Ukrainian magazine on agribusiness. Information Monthly, 10, 122-124.*
 18. Leschenko, S.M. & Salo, V.M. (2015). Obgruntuvannia dotsil'nosti provedennia hlybokoho chyzel'noho rykhlennia na pereuschil'nenykh ta erozijno-nebezpechnykh gruntakh [Justification feasibility of deep loosening on chisel compaction and erosion-hazardous soils]. *Zbirnyk naukovykh prats' Kirovohrads'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu. Tekhnika v sil'skohospodars'komu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia – Collected Works of Kirovohrad National Technical University. Machinery in agricultural production, industry machine building, automation, Vol. 28, 181-186.*
 19. Vasylovska, K.V., Leshchenko, S.M., Vasylovskiy, O.M. & Petrenko, D.I. (2016). Improvement of equipment for basic tillage and sowing as initial stage of harvest forecasting. *INMATEH-Agricultural Engineering, Vol.50, 3, 13-20.*
 20. Leschenko, S.M. & Salo, V.M. (2016). Shliakhy pidvyschennia efektyvnosti roboty kombinovanykh chyzel'nykh gruntoobrobnykh znariad' z dodatkovyimi deformatoramy [Ways to increase the efficiency of combined chisel soil cultivating tools with additional deformer]. *Mekhanizatsiia ta elektrifikatsiia sil's'koho hospodarstva: zahal'nodержavnyj zbirnyk – Mechanization and electrification of agriculture: national collection, Vol. 4 (103), 31-37.*
 21. Salo, V.M., Leschenko, S.M. & Shevchenko, O.I. (2017). Nova konstruktsiia chyzel'noho hlybokorozpushuvacha-udobriuvacha [New design of chisel deep-spreader-fertilizer]. *Sil's'kohospodars'ki mashyny: Zb. nauk. st. – Agricultural machines: Collection of scientific articles, Vol. 36, 150-157.*

Sergiy Leshchenko, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Vasyl Salo, Prof., DSc, Dmytro Petrenko, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Assessment of Energy Intensity of Deep Cultivation of Soil by Combined Chisel Deep Tillers

The work presents the assessment of energy intensity of the basic soil cultivation with combined chisel deep tillers. It is proved that despite a significant amount of research in the sphere of reducing energy consumption for basic soil cultivation, the issue remains relevant, and taking into account the necessity to apply soil protection technologies, the optimization of energy consumption in the process of subsoil tillage with combined chisel deep tillers becomes most significant.

At the stage of the analysis of the conducted studies it has been confirmed that the most effective indicator of the assessment of energy expenditure for soil cultivation is the consumption of fuel, and the change in the geometrical parameters of the working parts is inevitably connected with the dilemma "traction resistance - quality of cultivation". It is clear that reducing traction resistance, as a rule, leads to the deterioration in the quality of soil cultivation and vice versa. Therefore, when designing soil cultivating machines it is necessary to clearly define their principal characteristics.

As a result of the conducted research the possibility of reduction of energy consumption for the basic tillage with the application of combined chisel deep tillers with additional deformer is proved. This happens under the condition of effective aggregation with energy means. Based on the results of practical use of such units, recommendations for their further use and improvement were developed.

Chisel tillers CHN of domestic production, working bodies of which have chisel paws with flat wings and teeth and dual gears, while working on complicated soils of central Ukraine with an average fuel consumption of about 18 l/ha, at a depth of 35 cm or more ensure the qualitative index of soil crush is 70 ... 75%. **energy intensity of soil tillage, combined chisel deep tiller, fuel consumption, traction resistance, soil protection technologies**

Одержано (Received) 18.06.2018

УДК 677.11.021

А.Ю. Лисих, канд. техн. наук*Первомайська філія НУК ім. адмірала Макарова, м. Первомайськ, Україна**E-mail: snezanad256@gmail.com*

Розробка та розрахунок кінематичної схеми механізму для одержання короткого льоноволокна

Стаття присвячена розрахунку кінематичної схеми живильно-потоншувального та паралелізаційного механізму, який здійснює процес підготовки відходів тіпання лляного волокна до подальшої більш ефективної механічної переробки з метою одержання якісного короткого волокна.

кінематична схема, паралелізаційний механізм, коефіцієнт потоншення, передатне відношення

А.Ю. Лысых, канд. техн. наук*Первомайский филиал НУК им. адмирала Макарова, г. Первомайск, Украина*

Разработка и расчет кинематической схемы механизма для получения короткого льноволокна

Статья посвящена расчету кинематической схемы питательно-утоняющего и параллелизационного механизма, который осуществляет процесс подготовки отходов трепания льняного волокна к дальнейшей более эффективной механической переработке с целью получения качественного короткого волокна.

кинематическая схема, параллелизационный механизм, коэффициент утонения, передаточное отношение

Постановка проблеми. Існуючий кілковий живильник марки ПКМ призначений для паралелізації волокон відходів тіпання перед промином у м'яльній частині куделеприготувального агрегату. Але як показує його практичне застосування ступінь паралелізації вкрай низька з огляду на недосконалість технологічної операції пов'язаної з його конструктивними особливостями. Відомо, що застосування кілкового живильника нової, запропонованої конструкції забезпечує більш ефективне розпрямлення й паралелізацію волокон, полегшує їх подальшу механічну обробку, а отже сприяє підвищенню якості короткого волокна, але розрахунок цього живильника є технологічним і деякою мірою силовим [1]. Для здійснення на ньому технологічного процесу необхідно щоб ці параметри були отримані з застосуванням самої конструкції, яка потребує відповідної кінематичної схеми механізму та її розрахунку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Запропоновано модернізацію куделеприготувального агрегату КПАЛ шляхом заміни його тіпальної частини на дезінтегратор для інтенсифікації процесу очищення відходів тіпання та низькосортної трести. Використання комплектів гребінок забезпечує можливість зниження заостриченості короткого волокна, отриманого з відходів тіпання, з початковим вмістом костриці 52,03% до 1,80-1,89%, що в 9 разів менше порівняно з контрольним варіантом на куделеприготувальному агрегаті КПАЛ [2].

Розроблена модель процесу дроблення комплексів луб'яного волокна при різній кількості механічних дій. Представлена методика дозволяє прогнозувати дроблення комплексів луб'яного волокна під час механічних дій з боку робочих органів машин залежно від інтенсивності та кількості механічних дій.

Дослідження проводилося на експериментальному стенді, який являє собою набір м'яльних і рубальних вальців. Він складається з живильного транспортера, м'яльно-затискних вальців і рубальних вальців.

На підставі динамічного аналізу взаємодії пасма волокон, що несе відокремлювану частку костриці, з робочим органом показано, що ефективність виділення сміттевої домішки в процесі удару буде підвищуватися в міру розрідження волокнистого потоку, коли маса пучків волокон, що взаємодіють з робочим органом, буде наближатися до маси відокремлюваних часток костриці, що знаходяться в волокні.

Встановлено, що приріст дроблення комплексів луб'яного волокна зі збільшенням швидкості взаємодії відбувається інтенсивніше, ніж зі збільшенням числа механічних впливів. Отже, форсування процесу дроблення комплексів луб'яного волокна доцільніше здійснити не за рахунок збільшення числа механічних впливів, а за рахунок збільшення швидкості взаємодії [3].

Запропонована наукова концепція процесу отримання короткоштапельного луб'яного волокна, як послідовність або поєднання трьох головних процесів: зменшення довжини комплексів луб'яного волокна до заданої величини, стоншування цих комплексів, відділення сміттевих домішок.

Позитивний ефект технологічного процесу виділення костриці, розволокнення та очищення луб'яних комплексів досягається за рахунок підвищення інтенсивності процесу очищення, яке забезпечується завдяки ковзному згину-зламу та інерційним силам, утвореним під дією відцентрових сил. Даний ефект досягається завдяки тому, що два диски обертаються в одному напрямку, але з різною швидкістю. Це дозволяє уникнути критичного напруження та крутильного моменту, які призводять до закручування пасом волокна. Завдяки запропонованим змінам механічних дій відбувається більш ефективне очищення та розволокнення луб'яного сирцю [4].

Постановка завдання. Компоновка розробленої кінематичної схеми та її виконавчих механізмів в цілому відповідає загально прийнятим в механіці правилам, але у зв'язку з тим, що вона в перше розроблена то потребує відповідного розрахунку.

Виклад основного матеріалу. Відходи тіпання та коротке волокно, яке підлягає обробці на початковому етапі, взаємодіє з кілками пари кілкових барабанів. Зв'язок між швидкостями транспортування і ковзання матеріалу встановлений Левитським І.Н. [5].

Швидкість ковзання волокон при проходженні їх через кілкові барабани залежить від швидкості транспортування, кута нахилу кілків і фрикційних характеристик тертьової пари (кута тертя).

Передача руху шару волокна здійснюється від двох різних електродвигунів з однаковою кількістю обертів. Усю передачу можна розділити на:

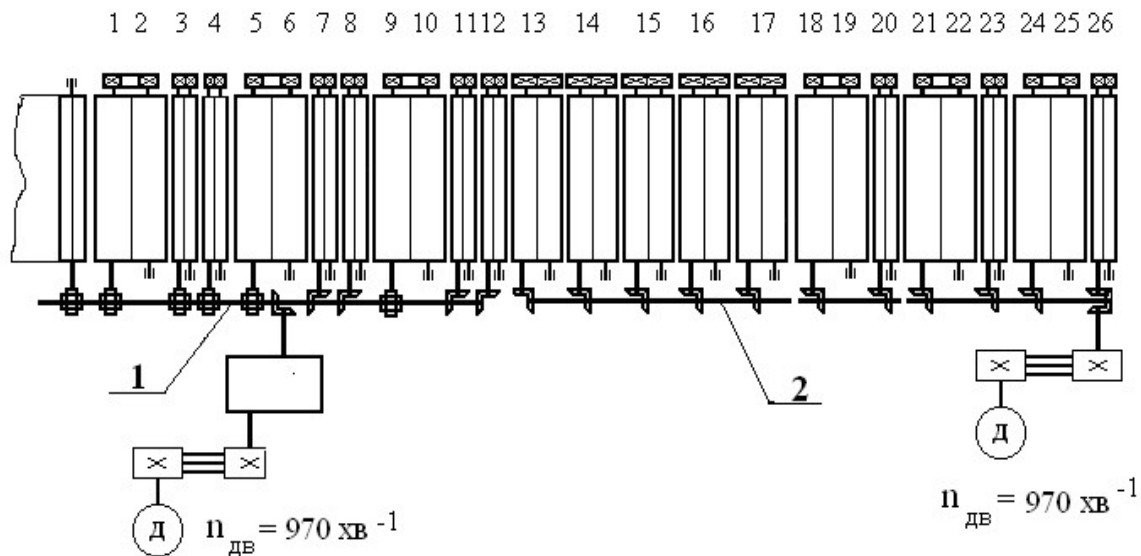
- привід кілкових барабанів і витяжних пар;
- привід м'яльної машини і паралелізатора.

Кінематичну схему механізму розволокнення та паралелізації короткого волокна наведено на рис. 1.

Для того, щоб забезпечити ефективну обробку шару волокна, товщина якого на початку технологічного процесу становить 250 мм, його необхідно потоншити до товщини приблизно 5 мм перед входом у м'яльну машину, тобто загальний коефіцієнт потоншення повинен дорівнювати $i_{\text{заг}} \approx 50$.

Необхідно також визначити витяжку на переходах технологічного процесу.

Кілкові барабани одержують обертання від приводу та головного поздовжнього вала живильно-потоншувального механізму, причому кожна наступна пара має більшу колову швидкість, ніж попередня пара.



1 – головний поздовжній вал живильно-потоншувального механізму;
2 – головний поздовжній вал м'яльної машини та паралелізаційного механізму

Рисунок 1– Кінематична схема живильно-потоншувального та паралелізаційного механізму

Швидкість переміщення оброблюваного матеріалу визначалася з урахуванням коефіцієнта потоншення:

$$V_1 = V_2 = 3,73 \text{ м/хв}, \quad (1)$$

де V_1 – колова швидкість нижнього кілкового барабана;
 V_2 – колова швидкість верхнього кілкового барабана.

$$V_3 = V_4 = V_2 \cdot i_1 = 3,73 \cdot 2,19 = 8,17 \text{ м/хв}, \quad (2)$$

де V_3 – колова швидкість нижнього вальця витяжної, потоншувальної пари;
 V_4 – колова швидкість верхнього вальця витяжної, потоншувальної пари.

$$V_5 = V_6 = V_4 \cdot i_2 = 8,17 \cdot 2,19 = 17,89 \text{ м/хв.}, \quad (3)$$

$$V_7 = V_8 = V_6 \cdot i_3 = 17,89 \cdot 2,19 = 39,18 \text{ м/хв.}, \quad (4)$$

$$V_9 = V_{10} = V_8 \cdot i_4 = 39,18 \cdot 2,19 = 85,8 \text{ м/хв.}, \quad (5)$$

$$V_{11} = V_{12} = V_{13} \dots V_{17} = V_{20} = V_{10} \cdot i_5 = 85,8 \cdot 2,19 = 187,9 \text{ м/хв.}, \quad (6)$$

$$i_{\text{заг}} = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \cdot i_4 \cdot i_5 = 2,19 \cdot 2,19 \cdot 2,19 \cdot 2,19 \cdot 2,19 \approx 50, \quad (7)$$

де i_1, i_2, i_3, i_4, i_5 – коефіцієнти потоншення.

Визначимо частоту обертання для кожного з комплектів, що складається з кілкового барабана й витяжної пари.

Оскільки діаметр першої пари кілкових барабанів дорівнює 0,4 м, частота обертання становитиме:

1. Частота обертання першої пари кілкових барабанів:

$$n_1 = n_2 = \frac{V_1}{\pi \cdot D_{61}} = \frac{3,73}{3,14 \cdot 0,4} = 2,97 \text{ хв}^{-1}, \quad (8)$$

де D_{61} – діаметр нижнього кілкового барабана.

2. Частота обертання першої витяжної пари вальців:

$$n_3 = n_4 = \frac{V_3}{\pi \cdot D_{63}} = \frac{8,17}{3,14 \cdot 0,1} = 26,02 \text{ хв}^{-1}, \quad (9)$$

де D_{63} – діаметр нижнього вальця витяжної пари.

4. Частота обертання кілкового барабана другого комплекту:

$$n_5 = n_6 = \frac{V_5}{\pi \cdot D_{65}} = \frac{17,89}{3,14 \cdot 0,4} = 14,24 \text{ хв}^{-1}. \quad (10)$$

5. Частота обертання другої витяжної пари:

$$n_7 = n_8 = \frac{V_7}{\pi \cdot D_{67}} = \frac{39,18}{3,14 \cdot 0,1} = 124,78 \text{ хв}^{-1}. \quad (11)$$

6. Частота обертання кілкового барабана третього комплекту:

$$n_9 = n_{10} = \frac{V_9}{\pi \cdot D_{69}} = \frac{85,8}{3,14 \cdot 0,4} = 68,31 \text{ хв}^{-1}. \quad (12)$$

7. Частота обертання третьої витяжної пари:

$$n_{11} = n_{12} = \frac{V_{11}}{\pi \cdot D_{611}} = \frac{187,9}{3,14 \cdot 0,1} = 598,41 \text{ хв}^{-1}. \quad (13)$$

М'яльна машина й паралелізатор одержують обертання від другого двигуна. Розрахуємо частоту обертання для цієї групи:

$$n_{13} = n_{14} = n_{15} = n_{16} = n_{17} = \frac{V_{13}}{\pi \cdot D_{613}} = \frac{187,9}{3,14 \cdot 0,25} = 239,36 \text{ хв}^{-1}. \quad (14)$$

У зв'язку з тим, що діаметр всіх кілкових барабанів паралелізатора дорівнює 500 мм, виходячи з конструктивних міркувань, частота обертання нижніх кілкових барабанів паралелізаційного комплексу становить:

$$n_{18} = n_{21} = n_{24} = \frac{V_{18}}{\pi \cdot D_{618}} = \frac{187,9}{3,14 \cdot 0,5} = 119,68 \text{ хв}^{-1}. \quad (15)$$

$$n_{20} = n_{23} = n_{26} = \frac{V_{20}}{\pi \cdot D_{e20}} = \frac{187,9}{3,14 \cdot 0,1} = 598,41 \text{ хв}^{-1}. \quad (16)$$

Для здійснення процесу паралелізації волокна верхні кілкові барабани такого ж діаметру обертаються в 1,5 рази швидше. Таким чином їх частота обертання становить:

$$n_{19} = n_{22} = n_{25} = n_{18} \cdot 1,5 = 119,68 \cdot 1,5 = 179,52 \text{ хв}^{-1}. \quad (17)$$

Згідно з кінематичною схемою, передача руху окремим органам експериментальної установки здійснюється пасовими і шестеренчастими передачами. Частоту обертання окремих робочих органів устаткування можна визначити за кінематичною схемою, використовуючи передатні відношення. Передатне відношення дорівнює відношенню кутових швидкостей або частот обертання органів, зв'язаних передачею.

Частоту обертання окремих органів розраховують за передачею від вала електродвигуна.

Визначимо передатне відношення привода для першої групи $u_{прив1}$, де частота обертання вала двигуна дорівнює 970 хв^{-1} , а частоту обертання $n_{вал1}$ поздовжнього вала 1 приймаємо рівним n_7 .

$$u_{прив1} = \frac{n_{дв}}{n_{вал1}} = \frac{970}{124,78} = 7,76. \quad (18)$$

Виходячи з числового значення передавального відношення привода приймаємо передавальне відношення пасової передачі $u_{nac1} = 2,4$. Таким чином передавальне відношення редуктора [6]:

$$u_{ред} = \frac{u_{прив1}}{u_{nac1}} = \frac{7,76}{2,4} = 3,20. \quad (19)$$

Розрахуємо передатне відношення для кожної групи запропонованого пристрою.

Передатні співвідношення для першої групи, в яку входять кілкові барабани й витяжні пари:

$$u_{31} = \frac{n_{вал1}}{n_1} = \frac{124,78}{2,97} = 20,90. \quad (20)$$

$$u_{33} = \frac{n_{вал1}}{n_3} = \frac{124,78}{26,02} = 4,80. \quad (21)$$

$$u_{35} = \frac{n_{вал1}}{n_5} = \frac{124,78}{14,24} = 8,76. \quad (22)$$

$$u_{37} = \frac{n_{вал1}}{n_7} = \frac{124,78}{124,78} = 1,00. \quad (23)$$

$$u_{39} = \frac{n_{вал1}}{n_9} = \frac{124,78}{68,31} = 1,83, \quad (24)$$

$$u_{311} = \frac{n_{вал1}}{n_{11}} = \frac{124,78}{598,41} = 0,21. \quad (25)$$

Передатні співвідношення для другої групи – м'яльна машина й паралелізатор визначаємо конструктивно приймаючи $n_{вал2}=179 \text{ хв}^{-1}$:

$$u_{прив2} = \frac{n_{дв}}{n_{вал2}} = \frac{970}{179} = 5,42. \quad (26)$$

У якості одного з елементів привода приймаємо пасову передачу $u_{пас2} = 5,42$. Визначаємо передавальні відношення:

$$u_{313} = \frac{n_{вал2}}{n_{13}} = \frac{179}{239,36} = 0,75, \quad (27)$$

$$u_{313} = u_{314} = u_{315} = u_{316} = u_{317} = 0,75. \quad (28)$$

Визначаємо частоту обертання головного вала 2 за формулою:

$$u_{318} = \frac{n_{вал2}}{n_{18}} = \frac{179}{119,68} = 1,5. \quad (29)$$

Визначаємо передатні співвідношення для другої групи машин.

$$u_{318} = u_{321} = u_{324} = 1,5, \quad (30)$$

$$u_{320} = \frac{n_{вал2}}{n_{20}} = \frac{179}{598,41} = 0,3, \quad (31)$$

$$u_{320} = u_{323} = u_{326} = 0,3. \quad (30)$$

Проведені розрахунки швидкісних параметрів робочих органів і виконавчих механізмів дозволяють здійснити компоновку експериментальної установки та провести подальший розрахунок механізмів і деталей на міцність.

Перевірку теоретичних висновків і визначення залежності ступеня паралелізації короткого лляного волокна від параметрів обробки, які змінюються, було здійснено на експериментальній установці, що складається з живильно-потоншувального механізму, м'яльної машини з п'ятьма парами дрібнорифлених м'яльних вальців та паралелізатора.

Комплект кілкових барабанів живильно-потоншувального механізму здійснює часткове виділення вільної костриці, а також потоншення шару волокна. Основна операція – паралелізація волокон – виконується в паралелізаторі. Він складається з комплектів кілкових барабанів з кілками, що переміщуються всередину барабана за

рахунок зміщення центрів їх обертання відносно осі цього барабана, для запобігання захоплюванню й намотуванню волокна на барабани.

Перша секція експериментальної установки складається з живильного конвеєра, трьох пар кілкових барабанів, розташованих один над одним та двох витяжних рифлених вальців. Секція має індивідуальний привід. Вихідний вал пасової передачі кінематично зв'язаний з редуктором, тихохідний вал якого з'єднано за допомогою конічних шестерінок з головним поздовжнім валом, який передає рух живильному транспортеру і трьом парам кілкових барабанів з витяжними вальцями.

Висновки. Розроблено дослідну експериментальну установку для одержання короткого лляного волокна підвищеної якості з відходів тіпання, до складу якої входять нові механізми: живильник-потоншувач, м'яльна машина з дрібнорифленими вальцями та паралелізатор.

Проведено розрахунок кінематичної схеми та швидкісних параметрів робочих органів експериментальної установки. Для здійснення процесу паралелізації застосовано кілкові барабани з площинно-конусними кілками, які переміщуються всередину барабана за рахунок зміщення центрів їх обертання.

Список літератури

1. Лисих А.Ю. Механічний процес підготовки сировини для одержання короткого лляного волокна [Текст] / А.Ю. Лисих // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, вип.47, ч.ІІ. – Кропивницький: ЦНТУ, 2017. – С. 123-130.
2. Соболев О.А. Удосконалення технології одержання короткого лляного волокна з відходів тіпання [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.18.01 „Зберігання і технологія переробки зерна, виготовлення зернових і хлібопекарських виробів та комбікормів” / О.А. Соболев. – Херсон, 2010. – 26 с.
3. Круглий Д.Г. Модель процесу дроблення технічних комплексів луб'яного волокна при механічних впливах [Текст] / Д.Г. Круглий, К.М. Клевцов. // Вестник Херсонского нац. технического университета. – 2017. – № 60 (1). – С. 113-119.
4. Круглий Д.Г. Розвиток наукових основ інноваційних технологій одержання луб'яних волокон цільового призначення [Текст] : дис. ... доктора тех. наук: 05.18.02 / Круглий Дмитро Георгійович. – Херсон, 2017. – 359 с.
5. Левицкий И.Н. Общие черты различных способов механической обработки стеблевых материалов [Текст] / И.Н. Левицкий // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1976. – 1. – С. 41-43.
6. Иванов М.Н. Детали машин [Текст] : Учебник для студ. вузов. / М.Н. Иванов. – изд.3-е, доп. и пер. – М.: Высш. школа, 1976. – 399 с.

References

1. Lysykh, A.Yu. (2017). Mekhanichnyj protses pidhotovky syrovyny dlja oderzhannia korotkoho llianoho volokna [Mechanic process of preparation of raw material for the receipt of short linen fibre]. *Zaghaljnoderzhavnyj mizhvidomchyj naukovo-tekhnichnyj zbirnyk. Konstruiuvannja, vyrobnyctvo ta ekspluatacija sil'skogospodars'kykh mashyn – National Interagency Scientific and Technical Collection of Works. Design, Production and Exploitation of Agricultural Machines, Vol.47, part.II*, 123-130.
2. Sobolev, O.A. (2010). Udoskonalennia tekhnolohii oderzhannia korotkoho llianoho volokna z vidkhodiv tipannia [Improvement of the technology of obtaining short flax fiber from waste products]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kherson.
3. Kruhlyj, D.H. & Klevtsov, K.M. (2017). Model' protsesu droblennia tekhnichnykh kompleksiv lub'ianoho volokna pry mekhanichnykh vplyvakh [Model of the crushing technical complexes bast fibers by mechanical action]. *Vestnyk Khersonskoho nats. tekhnicheskoho unyversyteta – Herald of Kherson national technical university*. 60 (1), 113-119.
4. Kruhlyj, D.H. (2017). Rozvytok naukovykh osnov innovatsijnykh tekhnolohij oderzhannia lub'ianykh volokon tsil'ovoho pryznachennia [Development of scientific bases of innovative technologies for obtaining bird fibers of special purpose]. *Doctor's thesis*. Kherson.

5. Levickij, I.N. (1976). Obshhie cherty razlichnyh sposobov mehanicheskoy obrabotki stblevyh materialov [General features of various methods of machining stems materials]. *Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti – News of universities. Technology of textile industry*, 1, 41-43.
6. Ivanov, M.N. (1976). *Machine parts*. (3d ed). Moscow: „Vyssh. shkola”.

Alla Lisikh, PhD. tech. sci.

Pervomasky branch of the Mykolaiv university of shipbuilding of the name of admiral Makarov, Pervomaysk, Ukraine

Development and Calculation of the Kinematic Circuit of the Mechanism for Reception of a Short Flax Fiber

The article is devoted to the calculation of the kinematic scheme of the nutrient-quenching and parallelization mechanism, which carries out the process of preparation of flax fiber scrap waste for further more efficient mechanical processing in order to obtain a qualitative short fiber.

According to the kinematic scheme, the transfer of movement to individual organs of the experimental setup is carried out by belt and gear gears. The rotation frequency of the individual operating mechanisms of the equipment is determined by the kinematic scheme using gear ratios. The gear ratio is equal to the ratio of the angular velocities or rotation frequencies of the bodies connected by transmission. Determination of the dependence of the degree of parallelization of short flax fiber was carried out in an experimental setup consisting of a nutritional-drying mechanism, a chopping machine with five pairs of finely chopped milling rolls and a parallelizer.

A research experimental setup has been developed to produce a short linen fiber of improved quality from scrap waste. The calculation of the kinematic scheme and the speed parameters of the working organs of the experimental setup is carried out.

kinematic scheme, parallelization mechanism, coefficient of thinning, gear ratio

Одержано (Received) 18.05.2018

УДК 631.894:879.4

С.І. Павленко, доц., канд. техн. наук, ст. наук. співр.

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна, E-mail: si.pavlenko17@gmail.com

Виробничі випробування технології механізованого компостування органічних відходів з використанням аератора-змішувача

Проведений системний аналіз поводження з органічними відходами, існуючий в господарстві на фермі великої рогатої худоби стійлового утримання. Результати аналізу узагальнені у вигляді таблиці, що розглядає технологічний процес, операції та склад технічних засобів та матеріалів і значення показників операції. Сформовані робочі гіпотези по покращенню технології поводження з органічними відходами на основі вдосконалення технологічних прийомів циклу, яким необхідно повести експериментальну перевірку:

- формування буртів при суцільному складуванні гноєвих сумішей за рахунок створення проходів шириною до 2-3 м в середовищі сировини вологістю до 75 % за допомогою бульдозера або іншого технічного засобу;

- формування буртів при вивантаженні гноєкомпостної суміші на майданчик при транспортуванні сировини самоскидним тракторним причепом або розкидачем органічних добрив, що агрегуються з трактором МТЗ-80;

- укрупнення буртів з використанням бульдозера;

- покращення аерації за рахунок використання аератора-змішувача, конструкції ІМТ НААН України.

© С.І. Павленко, 2018

Розроблений вдосконалений технологічний і технічний регламенти механізованого компостування. Визначені геометричні параметри буртів, їх щільність, маса. Проведені результати випробування технічних засобів: бульдозера, аератора-змішувача згідно стандартним методикам.

виробничі випробування, технологія, компост, прискорене компостування, аератор-змішувач, формування бурта

С.И. Павленко, доц., канд. техн. наук, ст. наук. сотр.

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, г. Киев, Украина

Производственные испытания технологиимеханизированного компостирования органических отходов с использованием аэратора-смесителя

Проведенный системный анализ поведения с органическими отходами, существующий в хозяйстве на ферме крупного рогатого скота стойлового содержания. Результаты анализа обобщены в виде таблицы, рассматривает технологический процесс, операции и состав технических средств и материалов и значения показателей операции. Сформированы рабочие гипотезы по улучшению технологии обращения с органическими отходами на основе совершенствования технологических приемов цикла, которым необходимо повести экспериментальную проверку:

- формирование буртов при сплошном складировании гноя смесей за счет создания проходов шириной до 2-3 м в среде сырья влажностью до 75% с помощью бульдозера или другого технического средства;

- формирование буртов при выгрузке гноекостной смеси на площадку при транспортировке сырья самосвальным тракторным прицепом или разбрасывателем органических удобрений, которые агрегатируются с трактором МТЗ-80;

- укрупнение буртов с использованием бульдозера;

- улучшение аэрации за счет использования аэратора-смесителя, конструкции ИМТ НААН Украины.

Разработан усовершенствованный технологический и технический регламенты механизированного компостирования. Определены геометрические параметры буртов, их плотность, масса. Проведенные результаты испытания технических средств: бульдозера, аэратора-смесителя согласно стандартным методикам.

производственные испытания, технология, компост, ускоренное компостирование, аэратор-смеситель, формирование бурта

Постановка проблеми. В умовах реального господарствата в реальних умовах експлуатації тієї чи іншої машини часто виникають задачі щодо вдосконалення процесів поводження з органічними відходами тваринництва і рослинництва. Рушійними чинниками слугують: необхідність покращення стану оточуючого середовища, підвищення ефективності органічних добрив, їх кількості, хімічного складу, раціональне використання технічних засобів і земельних угідь, що в кінцевому результаті приводить до збільшення родючості ґрунтів, зменшення витрат на мінеральні добрива і хімічні препарати, можливості виробництва органічної продукції, ресурсозбереженню, диверсифікації продукції агропідприємства.

Нормативні правила «Проектуванні тваринницьких приміщень і комплексів» передбачають використання сучасних технологічних та технічних рішень по системах видалення та переробки гною [1, 2, 3]. В той же час в Україні діють тваринницькі ферми і комплекси, що збудовані за вимогами ранніх періодів, які теж вимагають вдосконалення, відповідності і адаптації нових технологій та технічних засобів. Один із варіантів – застосування біоконверсних методів та сучасних технічних засобів для їх виконання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Біоконверсні технології переробки органічних відходів тваринництва і рослинництва – широко розповсюджені методи, кошторис яких економічно доступний [4, 5]. Вони базуються на аеробних або анаеробних способах розкладання органічної речовини – в присутності кисню в першому випадку і без нього в другому. Можлива комбінація способів. Природні аераційні процеси відбуваються постійно і, в залежності від умов організації термічних

режимів, проходять в терміни від двох неділь до 24 місяців. Формуванню умов інтенсивних аеробних процесів та дослідженню технічних засобів для забезпечення механізованих циклів переробки розглядаються в ряді наукових праць [6, 7].

Серед способів інтенсифікації аеробних процесів можливо виділити: вдосконалення природної аерації, проведення механічної аерації або примусової подачі повітря в середовище гноєкомностної суміші. Основна мета заходів – покращення кисневого забезпечення мікроорганізмів, які при масовому їх збільшенню активізують процеси життєдіяльності, що приводить до підвищення температурних режимів в сировині за необхідного складу і фізичного стану суміші.

Природна аерація відбувається за рахунок поглинання кисню, що заповнює простір між частками матеріалу сировини. Чим краще організований процес доступу кисню, тим швидше і ефективніше проходить компостування – мінералізація. Реалізація процесів залежить від раціонального хімічного і механічного складу гноєкомпостних сумішей, організації і складування сировини – в буртах або суцільно. Такий спосіб належить до пасивних дієвих методів з низькими фінансовими затратами, але терміни дозрівання більше 6 місяців.

Активні методи аерації – механічне та примусове нагнітання – фінансово і організаційно складніше, але терміни компостування набагато менші від 14 днів до 2–4 місяців в залежності від складу суміші. Аерація проводиться технічними засобами ротоційно-фрезерними робочими органами, що використовуються в конструкціях розкидачів органічних добрив, спеціальних машинах, що одержали назву аератори – змішувачі, навантажувачах безперервної дії гною. Взаємодія робочого органу з сировиною забезпечує подрібнення, змішування, вивільнення парів води, вуглецевого газу та суміші, заповненню приросту між частками киснем, а вцілому, активному процесу окислення, що приводить до необхідного результату[8]. Технічні засоби, активно розробляються та вдосконалюються [9, 10].

Примусова аерація проводиться на майданчиках або спорудах, де через отвори, канали, нагнітається повітря в сировину – гноєкомпостну суміш, що розташовується в межах діючого обладнання. Терміни обробки – від 20 до 30 діб. Необхідність побудови спеціальних майданчиків і споруд, відносно невеликі обсяги обробки є суттєвими недоліками цього методу, але широко використовуються для одержання товарної продукції: компостів для вирощування грибів, органо-мінеральних добрив, тощо.

Процеси механізованого компостування постійно вдосконалюються. В питаннях приготування субстратів при різних характеристиках сировини, використовуваних технічних засобів, організації виробництва. Дослідження, аналіз практичного досвіду, результативність має актуальне науково-практичне значення і доповнення.

Постановка завдання. Метою дослідження є подальший розвиток раціонального використання технічних засобів в механізованих процесах твердофазного компостування.

Основні задачі дослідження:

- встановлення раціональної послідовності технологічних операцій і складу технічних засобів;
- дослідження змін фізико-механічних властивостей в процесі біоферментації та механічної обробки;
- встановлення зміни параметрів компостних сумішей, готового компосту, термінів компостування, техніко-економічних показників роботи засобів механізації.

Виклад основного матеріалу. Сировина, що використовувалась для дослідження:

- підстилковий гній великої рогатої худоби щоденного видалення, вологістю до 80 %;
- підстилковий гній великої рогатої худоби з вигульних майданчиків, вологістю 60–65%;
- підстилковий матеріал: солома злакових культур, відходи силосу.

Раціональна послідовність технологічних операцій і використання технічних засобів проводилась на основі аналізу виконання технологічного процесу біотермічного компостування, якості отриманої гноє-компостної суміші, аналізу техніко-економічних показників, одержаних в процесі експериментів. Фізико-хімічні властивості гноєкомпостних сумішей та готових продуктів визначали стандартними методами згідно ГОСТ 26712-82, ГОСТ 26718-82 «Удобрения органические». Аналізи проводили за участю фахівців Дніпропетровської філії Державної установи «Держгрунтохорона». Кінетика біотермічного процесу оцінювалась шляхом вимірювання температури в 4–6 точках попереднього і повздовжнього напрямку штанговим термометром.

В якості технічного засобу використовувався аератор-змішувач конструкції ІМТУААН України. Проведення експериментальних випробувань технічних засобів проводилось згідно стандартних методик.

Умови проведення досліджень. Операційну технологію поводження з органічними відходами тваринництва і рослинництва в господарстві (табл. 1), а блок – схема на рис 1. і є практично типовим для тваринницьких підрозділів великої рогатої худоби на 200–600 голів основного поголів'я. Видалення та навантаження гною приміщень – скребковий та похилий конвеєр ТСН–3. Технічне забезпечення процесів управління відходами з бульдозерного навісного обладнання складається з бульдозерного навісного обладнання до трактора Т–74, навантажувача «Карпатець», з грейферним захватом, трактором МТЗ–80 та самоскидним тракторним причепом 2ПТС–4. Складування і зберігання сировини проводиться на протязі 18–24 місяців на тимчасовому ґрунтовому майданчику зберігання з суцільним укладанням без додаткових обробіток. За період зберігання підстилковий гній розкладається до маси чорного кольору розсипчастої структури, що використовується, в якості органічних добрив.

Таблиця 1 – Операційна механізована технологія поводження з органічними відходами, прийнята в господарстві

№ п.п.	Технологічний процес	Шифр операції	Операція	Склад технічних засобів та параметри і значення показників операції
01	Видалення гною	011	Прибирання стійла	Вручну. Періодичність: до 4 разів на добу
		012	Видалення гною відкритих каналів	Скребковий конвеєр типу ТСН–3,0 Б. Підстилковий гній вологістю до 80 %. Обсяг робіт до 12 м/добу. Кількість підстилкового матеріалу-соломи 1–3 кг/голову. Вручну. Продуктивність: 4,5–7,0 т/год.
02	Вивантаження гною	021	Щоденне вивантаження гною приміщення	Похилий скребковий конвеєр ТСН–3Б. Вологість підстилкового гною 80–85%. Продуктивність до 10т/г

№ п.п.	Технологічний процес	Шифр операції	Операція	Склад технічних засобів та параметри і значення показників операції
		022	Вивантаження гною з вигульних майданчиків	Навантажувач «Карпатець» з грейферним захватом. Вологість підстилкового гною: до 75–78. Продуктивність: 15–20т/год.
03	Транспортування	031	Транспортування гною з вигульних майданчиків	Трактор МТЗ–80+1ПТС–4. Дальність маршруту до 0,5км.
		032	Транспортування гною при щоденному вивантаженні	Трактор МТЗ–80 +2ПТС–4. Дальність маршруту до 0,5км
		0321 0311	Розвантаження	Суцільне складування сировини. Висота бурту до 1,0м
04	Карантування			Витримка на майданчику тимчасового зберігання 7–10днів
05	Складування і зберігання			Бульдозерне обладнання трактора Т–74. Зберігання від 18 до 24 місяців в залежності від термінів постачання на майданчик. Періодичне підгортання 3–4 рази на рік до створення суцільного середовища висотою 1–1,2м.
06	Контроль за процесами компостування			Температурні режим від 12°C до 30°C, на глибині 0,5–0,6м від поверхні. Суттєве значення має температура, оточуючого середовища. Поверхневий шар сировини на глибину до 20–30см пересихає і заважає проникненню кисню до нижніх шарів. Вологість нижніх шарів гноєсумішей на протязі літнього сезону складає 72–76%. Процес зволоження відбувається під дією атмосферних опадів.
07	Готовність добрив			За 18–24 місяці.
08	Внесення добрив	081	Навантаження	Навантажувач «Карпатець». Продуктивність 20–25,0т/год. Вологість сировини 55–65%
		082	Транспортування і внесення	Розкидач ПРТ–7(ПРТ–10) + МТЗ–80. Дальність переміщення до 5 км. Норми внесення – згідно агрономог.

Методика проведення випробувань механізованої технології. Сформовані робочі гіпотези по покращенню технології поводження з органічними відходами на

основі вдосконалення технологічних прийомів циклу, яким необхідно провести експериментну перевірку:

- формування буртів при суцільному складуванні гноєвих сумішей на основі створення проходів шириною до 2-3 м в середовищі сировини за допомогою бульдозера або іншого технічного засобу;
- формування буртів при вивантаженні гноєкомпостної суміші на майданчик при транспортуванні сировини самоскидним тракторним причепом або розкидачем органічних добрив, що агрегуються з трактором МТЗ-80;
- укрупнення буртів з використанням бульдозера за необхідністю;
- покращення аерації за рахунок використання аератора-змішувача, конструкції інституту механізації тваринництва Національної Академії Аграрних Наук (ІМТ НААН) України [10, 11].

На основі технічних засобів запропонована модернізована механізована технологія поводження із органічними відходами в умовах господарства табл.2, експериментальна перевірка якої проводилась в період з червня по серпень 2015 року.

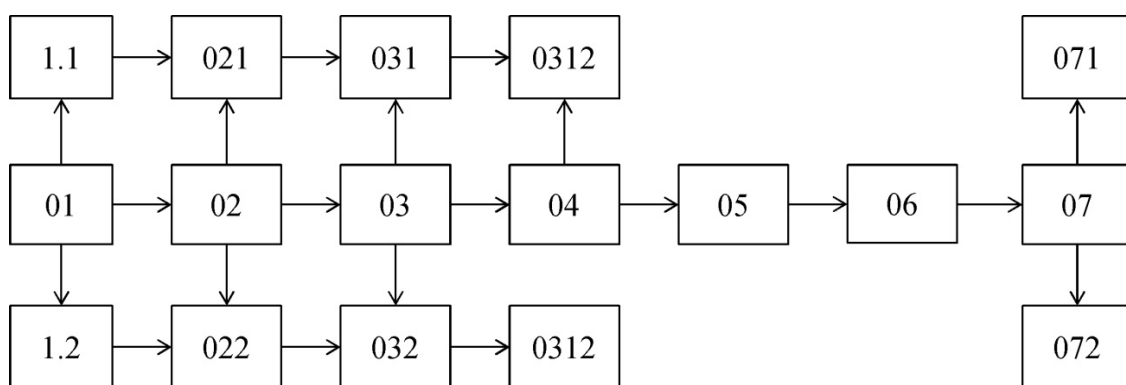


Рисунок 1 – Блок-схема процесу одержання і внесення органічних добрив в господарстві

Таблиця 2 – Вдосконаленні технологічні операції поводження з органічними відходами умов господарства (операції 011-032 аналогічні проведеними в табл. 1)

№ п.п.	Технологічний процес	Шифр операції	Операція	Склад технічних засобів та параметри і значення показників операції
03		0321	Розвантаження з формуванням бурту і проходів між ними	Бурти з параметрами ширина до 2,5м, довжина – до 50м, висота до 1,2 м
04	Карантування			
04	Формування гноєкомпостної суміші	041	Внесення вологопоглинаючих матеріалів	
		0411	Навантаження соломи	
		0412 0413	Транспортування та внесення соломи	Трактор МТЗ-80+КТУ-10

№ п.п.	Технологічний процес	Шифр операції	Операція	Склад технічних засобів та параметри і значення показників операції
		042	Укрупнення буртів	Бульдозерне обладнання трактора Т-74
		043	Змішування, подрібнення сировини та формування бурту	МТЗ-80 з ходозменшувачем + аератор – змішувач Продуктивність 300-500 м/год $V_p \approx 0,3-0,5$ км/год
06	Контроль за процесами компостування	061	Механічне перелопачування	МТЗ-80 з ходозменшувачем + аератор-змішувач. За умови підвищення температури в бурті більше 50 °С. Продуктивність – більше 300-500 т/год.
		062	2-ге механічне перелопачування	Проводиться через 10...14 днів після попереднього змішування.
		0621	Зволоження	
		06211	Заправка ємності з рідиною	Трактор МТЗ-80 + ємність 4 м ³ + водяний насос Об'єм рідини(води) - 1-5 % від об'єму бурту . Продуктивність насосу – до 10 м ³ /г.
		06212	Транспортування	Трактор МТЗ-80+ємність 4 м ³ . Дальність перевезень до 2км
		062213	Внесення рідини	Трактор МТЗ-80+аератор-змішувач.
		062	Перелопачування	МТЗ-80 + аератор – змішувач $H_{\text{бурту}} = 1,1$ м. $B_{\text{бурту}}$ – до 2,5м. $L_{\text{бурту}}$ – до 50 м.
		063	3-е механічне перелопачування	Через 7–10днів після попереднього змішування.
		0631	Зволоження	Трактор МТЗ-80+ємність 4 м ³ . Рідини (води) – 1–5 %
		06311	Заправка ємності рідиною	Водяний насос трактор МТЗ-80+ємність 4 м ³ . Продуктивність до 10 м ³ /год.
		06312	Транспортування	Трактор МТЗ-80+ємність 4 м ³ . Дальність перевезень до 2 км.
		0613	Внесення рідини	Трактор МТЗ-80 + аератор-змішувач.
		063	Перелопачування	$H_{\text{бурту}} = 0,9$ м, $B_{\text{бурту}} = 25$ м до 2,5 м, $L_{\text{бурту}} =$ до 50 м.
07	Готовність			За 2 місяці
08	Внесення добрив	081	Навантаження	Навантажувач «Карпатець» з грейферним захватом. Продуктивність до 25 т/год
		082	Внесення добрив	Трактор МТЗ-80+ПРТ 7(ПРТ-10) Дальність перевезення до 5 км.

За 10–15 діб сформовано бурти підстилкового гною, що викладувались послідовно вивантаженням рядами. Висота бортів складала 0,4–1,0 м. Через недостатню кількості підстилкового матеріалу сировина розтікалась до ширини 3–4 м, а висота – 0,2–0,8 м. На базі трактора Т–74 з бульдозерним обладнанням збільшувались бурти. Параметри борту (табл. 3), сформовані бульдозером показують значні відхилення від рівномірності. Загальна довжина борту до 50 м. Обробку борту трактором МТЗ–80, обладнаним ходозменшувачем з аератором-змішувачем проводили з виділенням ділянки борту в 30 м на якій обліковувався час обробки, вимірювались параметри борту, щільність сировини, вологість і показники NPK, відносно яких розраховувались показники, представлені в табл. 3 і 4.

Таблиця 3 – Основні параметри борту

Показники	Значення показників				
Технічний засіб	Бульдозер трактор Т–74	Трактор МТЗ–80 з ходозменшувачем + аератор-змішувач конструкції ІМТ НААН			
Дата проведення випробування	18.06.15	07.07.15	22.07.15	05.08.15	20.08.15
Щільність сировини*, кг/м ³	890	789	759	739	768
Параметри борту, м					
Довжина: загальна	50	50	50	50	50
залікова		30	30	30	30
ширина	2,4	2,2	2,1	2,5	2,5
висота	0,6-1,1	0,76	0,68	0,60	0,55
Переріз борту, м ²	1,02	0,836	0,816	0,75	0,69
Об'єм борту, м ³	30,6	25,08	24,58	22,5	20,7
Маса борту, т	27,23	19,8	18,6	16,6	15,9

*Щільність сировини – 692 кг/м³ на 03.06.2015

Друга і третя обробка проводилась за тих же умов. Після кожної обробки в борт установлювався зонд, який вимірював зменшення висоти борту між аераціями (табл.4).

Таблиця 4 – Основні результати випробування технічних засобів механізованої технології компостування

Назва операції	Попереднє формування борту	перелопачування			Закінчення циклу
		I	II	III	
Маса борту на 1 метр довжини, т/м*	-	0,66	0,62	0,55	-
Робоча швидкість, м/с	0,5	0,110	0,150	0,21	-
Пропускна здатність аератора, кг/с	-	69,7	96,3	136,2	-
Продуктивність, т/год	-	250,1	346	490,4	-
Просідання висоти борту між обробками, мм	-	50	40	40	60
Температура в середині борту, Т°С	-	35	30	28	25

** Розрахункові показники

Основні ознаки готового компосту: органічна маса повинна бути рівномірно ферментована; одержаний продукт (компост) розсипчастий і має темно бурий (чорний) колір; відсутність запахів, солома втратила свій стан, стала крихкою.



б) Суцільне укладання гною



а) Вивантаження гною з тваринницького приміщення



в) Формування буртів при вивантаженні сировини



г) Укрупнення буртів бульдозерним обладнанням



д) Формування буртів агрегатом МТЗ-80 з ходозменшувачем та аератором-змішувачем з одночасним подрібненням та змішуванням сировини



е) Вигляд бурта після першого проходу агрегату

Рисунок 2 – Загальний вигляд виробничого випробування технології механізованого компостування органічних відходів з використанням аератора-змішувача

Результати дослідження і їх аналіз. Згідно поставлених задач і прийнятих робочих гіпотез вдосконалення технологічного процесу (рис. 2) поводження з органічними відходами ферми великої рогатої худоби одержані наступні результати.

При суцільному укладанні сировини висота шару підстилкового гною складає 0,5–1,0 м., формування проходів для проходу аератора-змішувача з допомогою грейферного навантажувача «Карпатець» характеризується продуктивністю до 20–25 т/год. Умови переміщення агрегату в проходах із-за високої вологості поверхні не дозволяють виконувати їх ефективно. Формування проходів в суцільному середовищі підстилкового гною за допомогою бульдозерної навіски на трактор Т–74 теж складаються проблемними. Для підготовки до роботи аератора-змішувача сировини попередньо вивантажували послідовно розміщеними кучами, формуючи бурт висотою 0,5–0,8 м. Через недостатню масу підстилкового матеріалу гній розтікався до висоти 0,2–0,4 м., а для укрупнення буртів використовувався бульдозер на базі трактора Т–74. Недолік процесу укрупнення буртів – ущільнення сировини при виконанні робочого процесу бульдозером, нерівномірна висота бурту, що в подальшому впливає на роботу агрегату з аератором.

1. Технологічний комплекс з проведення прискореного компостування з використанням аератора-змішувача підстилкового гною великої рогатої худоби забезпечує скорочення термін компостування органічної сировини до 45–60 діб.

2. Конструкція аератора-змішувача забезпечує якісне змішування гною великої рогатої худоби з підстилковим матеріалом – соломой. Формування буртів після проходу агрегату рівномірно по висоті та ширині. Від проходу до проходу змінюється агрегатний стан сировини – зменшуються розміри часток, формуються нові агрегатні стани, що близькі до ґрунтових до кінця терміну обробки. Структура готового компосту характеризується однорідним розміром часток, 10–20 мм.

3. Температурні режими компостування відповідають мезофіль-ному процесу і температура складає 28–35°C.

4. Енергозасіб. Трактор МТЗ–80 з ходозменшувачем. Робочі швидкості – 0,10–0,25 м/с. Навантаження на енергозасіб налаштовується зміною швидкісного режиму. Продуктивність аератора від 300 до 500 т/год. Менші при формуванні буртів – першого проходу із-за нерівномірного навантаження – більші при послідовних проходах на буртах.

Температура субстрату за час спостереження не перевищувала 25–40 °, що відповідає мезофільному температурному процесу. Досягти температур, що відповідають умовам термофільності ($T > 55^{\circ}$) процесу компостування не склалося із-за невідповідності співвідношення $C:N = 25 \pm 5:1$ (факт 16,0:1), висота буртів менше 1 м, що не забезпечує відповідні умови для активізації мікроорганізмів.

Визначалась контролем за температурою в бурту, її стабілізацією на протязі 3–5 діб і поступовим зменшенням температури.

Висновки.

1. Розроблена механізована технологія компостування для умов господарства забезпечує одержання високоефективних добрив за 45–60 діб, що значно зменшує термін природного компостування.

2. Використання аератора-змішувача для змішування і аерації на сировині щільністю вище 600 кг/м³ необхідно з агрегуванням з трактором МТЗ–80, обладнаним ходозменшувачем, що забезпечують робочу швидкість від 0,1 м/с і вище. Продуктивність аератора-змішувача при цьому складає 300–500 т/год.

3. Для підвищення технологічних і експлуатаційних показників при компостуванні з використанням аератора-змішувача доцільно попереднє формування буртів по висоті і ширині, що і забезпечує рівномірне завантаження енергозасобу, яке

характеризується масою сировини бурту і складає до 1000кг/м для даного типу технічного засобу.

4. Технологічний прийом аерації позитивно впливає на збільшення складових агрохімічного складу компосту і збільшується на 20–30 %.

Список літератури

1. ВНТП-АПК-09.06 Відомчі норми технологічного проектування. Системи видалення, обробки, підготовки та використання гною / – К.: Мінагрополітики України, 2006. – 100 с.
2. ВНТП-АПК-04.05 Відомчі норми технологічного проектування. Птахівницькі підприємства / – К.: Мінагрополітики України, 2006. – 90 с.
3. ВНТП-АПК-01.05 Відомчі норми технологічного проектування. Скотарські підприємства. (комплекси, ферми, малі ферми) / – К.: Мінагрополітики України, 2005. – 111 с.
4. Павленко С.И. Технологические решения переработки навоза на животноводческих предприятиях [Текст] / С.И. Павленко, А.А. Ляшенко // Вестник ВНИИМЖ. Ежеквартальный научный журнал. Серия: Механизация, автоматизация и машинные технологии в животноводстве. – М: ГНУВНИИМЖ. – 2013. – Вып. №4(12). – С.114-121.
5. Обґрунтувати перспективні напрямки і технологічні схеми виробництва орґано-мінеральних добрив шляхом компостування: Звіт про НДР в УкрІНТЕІ/Ін-т мех. тварин. УААН; № ДР 0101U007033; Інв.0302U001868, Запоріжжя, 2002. – 47 с.
6. Павленко С.І. Обґрунтування технологічної схеми процесу компостування орґанічних відходів на відкритих майданчиках [Текст] / С.І. Павленко // Вісник ХНТУСГ ім. П.Василенка, «Технічні системи і технології тваринництва». – 2015. – Вип. 157 – С. 197-201.
7. Шевченко І.А. Результати експериментальних досліджень змішувача-аератора компостів [Текст] / І.А. Шевченко, В.І. Харитонов, Е.В. Алієв // Механізація, екологізація та конвертація біосировини у тваринництві . Збірник наукових праць Інституту механізації тваринництва НААН України. – 2011 . – Вип. 2(8). – С. 80-88.
8. Павленко С.І. Новітні технічні засоби переробки орґанічних відходів [Текст] / С.І. Павленко, О.О. Ляшенко, А.А. Поволоцький, Ю.А. Філоненко // Вісник ХНТУСГ ім. П.Василенка «Технічні системи і технології тваринництва». – 2013. – Вип. 132. – С.193-200.
9. Павленко С.І. Експериментальні дослідження процесу біоконверсного компостування пташиного посліду [Текст] / Павленко С.І., Ляшенко О.О., Філоненко Ю.А. // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка і енергетика АПК. – 2014 . – Вип. 196. – 4.1. – С. 400-409
10. Павленко С.И. Результаты производственных испытаний смесителя-вератора компостов [Текст] / С.И. Павленко, А.А. Ляшенко // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-техн. конф.: в 2 т. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2015. – Т. 1. – С. 148-153.

Referencis

1. VNTP-APK-09.06 Vidomchi normy tekhnolohichnoho proektuvannia. (2006). Systemy vydalennia, obrobky, pidhotovky ta vykorystannia hnoiu. Kyiv.: Minahropolityky Ukrainy.
2. VNTP-APK-04.05 Vidomchi normy tekhnolohichnoho proektuvannia. (2006). Ptakhivnyts'ki pidpriemstva. Kyiv: Minahropolityky Ukrainy.
3. VNTP-APK-01.05 Vidomchi normy tekhnolohichnoho proektuvannia. (2005). Skotars'ki pidpriemstva. (kompleksy, fermy, mali fermy). Kyiv: Minahropolityky Ukrainy.
4. Pavlenko, S.I. & Ljashenko, A.A. (2013). Tehnologicheskie reshenija pererabotki navozu na zhivotnovodcheskih predpriyatijah [Technological solutions for manure processing in livestock enterprises]. *Vestnik VNIIMZh. Ezhekvartal'nij nauchnij zhurnal. Serija: Mehanizacija, avtomatizacija i mashinnyetehnologii v zhivotnovodstve – Journal of VNIIMZH. Quarterly scientific journal. Series: Mechanization, Automation and Machine Technologies in Livestock, Vol. №4(12)*, 114-121.
5. *To substantiate the perspective directions and technological schemes of production of organo-minerals made by composting.* (2002). Zvit pro NDR v UkrINTEI/In-t mekh. tvaryn. UAAN; № DR 0101U007033; Inv.0302U001868, Zaporizhzhia, 47.
6. Pavlenko, S.I. (2015). Obhruntuvannia tekhnolohichnoi skhemy protsesu kompostuvannia orhanichnykh vidkhodiv na vidkrytykh majdanchyках [Justification of the technological scheme of the process composting of organic waste in open areas]. *Visnyk KhNTUSH im. P.Vasilenko, «Tekhnichni systemy i tekhnologii tvarynnytstva» – Bulletin KNTUA P.Vasilenko, "Technical systems and technologies of animal husbandry", Vol. 157*, 197-201.

7. Shevchenko, I.A., Kharytonov, V.I. & Aliev, E.V. (2011). Rezul'taty eksperymental'nykh doslidzhen' zmishuvacha-aeratora kompostiv [Results of experimental studies of the mixer-aerator of compost]. Mekhanizatsiia, ekolohizatsiia ta konvertatsiia biosyrovyny u tvarynnyts'vi // Zbirnyk naukovykh prats' Instytutu mekhanizatsii tvarynnyts'tva NAAN Ukrainy – "Mechanization, greening and convert biosyrovyny in cattle". Scientific magazine NSC "Institute of agriculture NAAS" Vyp. 2(8). – Zaporizhzhia: IMT NAAN, 2011 – S. 80-88.
8. Pavlenko, S.I., Liashenko, O.O., Povolots'kyj, A.A. & Filonenko, Yu.A. (2013). Novitni tekhnichni zasoby pererobky orhanichnykh vidkhodiv [The latest technical equipment for the recycling of organic waste]. Visnyk KhNTUSH im. P.Vasylenka «Tekhnichni systemy i tekhnolohii tvarynnyts'tva» – Bulletin KNTUA P.Vasilenko, "Technical systems and technologies of animal husbandry", Vol. 132, 193-200
9. Pavlenko, S.I., Liashenko, O.O. & Filonenko, Yu.A. (2014). Eksperymental'ni doslidzhennia protsesu biokonversnoho kompostuvannia ptashynoho poslidu [Experimental researches of process of biological-conversion composting of poultry manure]. Naukovyj visnyk Natsional'noho universytetu biosursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Seriya: Tekhnika i enerhetyka APK – Scientific Herald of NULES of Ukraine. Series: Technique and energy of APK, Vol. 196, 4.1, 400-409.
10. Pavlenko, S.I. & Ljashenko, A.A. (2015) Rezul'taty proizvodstvennykh ispytanj smesitel'ja-veratora kompostov [The results of the production tests of the mixer-vertector compost]. Scientific and technological progress in agricultural production: *Mezhdunarodnaia nauchno-tehnicheskaja konferenciia – International Scientific and technical Conference*. (pp. 148-153) (Vols.2; Vol.1). Minsk: RUP «NPC NAN Belarusi po mehanizatsii sel'skogohozjajstva».

Sergiy Pavlenko, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Senior Researcher

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine

Industrial Testing OF Technology Mechanized Composition of Organic Wastes With the Use of Aerator-Mixernull

Adaptation of new technological methods and technical means of mechanized composting of organic waste of bovine cattle at steady maintenance and daily disposal of organic waste requires systemic solutions based on the analysis of organizational and economic conditions. In practical terms, it is necessary to prove the feasibility of introducing modern solutions: technologies, technical means, methods of use before existing in the economy. The purpose of the further development of rational use of technical means in the mechanized processes of solid phase composting.

A systematic analysis of the management of organic waste, existing in the farm on the cattle stockholding system, was carried out. The results of the analysis are summarized in the form of a table that deals with the technological process, operations and the composition of the technical means and materials and the value of the indicators of the operation. Worked hypotheses for improving the technology of handling organic waste based on the improvement of technological techniques of the cycle, which need to conduct an experimental verification:

- the formation of bursts in the continuous storage of gnawing mixtures due to the creation of passages with a width of up to 2-3 m in the medium of raw materials up to 75% humidity using a bulldozer or other technical means;

- formation of bursts during unloading of gnoyeposobnoy mixture at the site during transportation of raw material by a dumper tractor trailer or spreader of organic fertilizers that are aggregated with a tractor MTZ-80;

- consolidation of bursts using a bulldozer;

- Improvement of aeration due to the use of an aerator-mixer, the structure of the IMT NAAS of Ukraine.

Improved technological and technical regulations for mechanized composting have been developed. The geometric parameters of the drums, their density, mass are determined. The results of testing the technical equipment: bulldozer, mixer aerator according to standard methods are carried out.

Main conclusions. Formation of passages in the raw material, which is enclosed entirely with the help of a bulldozer, is not efficient. Previously, it is necessary to form bursts when unloading in a row.

The technological complex of technical means ensures high-quality mixing, formation of drills in height and width, new aggregates are created - the size of particles close to the soil aggregates.

The cycle is up to 45-60 days.

Productivity of the unit: tractor MTZ-80 with throttle reducer from 300 to 500 t / year. Smaller values at first passages. Working speeds 0,10-0,25 m / s. Technological operations of accelerated composting can increase the chemical composition of organic fertilizers by 20-30%, reduce the loss of nutrients, increase the mass of organic fertilizers, introduced on the field by 60-70%.

production tests, technology, compost, accelerated composting, aerator-mixer, burt formation

Одержано (Received) 03.06.2018

УДК 631.332.99:635.262

О.Я. Семен, асп., Д.В. Кузенко, доц., канд. техн. наук, Я.В. Семен, доц., канд. техн. наук

Львівський національний аграрний університет, м. Львів, Україна

E-mail: Olehsemen@i.ua

Аналітична модель зубка часнику

Проведено теоретичні дослідження і запропоновано модель зубка часнику, котрий розглядається у декартовій системі координат як частина кулі відповідного радіусу, об'єм якої обмежений двома меридіональними площинами з двограним кутом між ними та однією площиною, що лежить в основі зубка і є перпендикулярною до двох інших. Отримано аналітичні залежності, що дозволяють знайти масу і координати центра ваги зубка часнику, вважаючи його однорідним тілом однакової густини, центр ваги якого лежить у площині симетрії, що поділяє зубок навпіл за висотою. Наведено окремі результати теоретичних досліджень з визначення розмірно-масових показників зубків часнику та проведено їх аналіз.

зубок часнику, модель, розмір, об'єм, маса, центр ваги

О.Я. Семен, асп., Д.В. Кузенко, доц., канд. техн. наук, Я.В. Семен, доц., канд. техн. наук

Львовский национальный аграрный университет, г. Львов, Украина

Аналитическая модель зубка чеснока

Проведены теоретические исследования и предложена модель зубка чеснока, рассматриваемого в декартовой системе координат как часть шара соответствующего радиуса, объем которого ограничен двумя меридиональными плоскостями с двугранным углом между ними и одной, перпендикулярной к ним плоскостью, лежащей в основе зубка. Получены аналитические зависимости, позволяющие найти массу и координаты центра тяжести зубка чеснока, считая его однородным телом одинаковой плотности, центр тяжести которого лежит в плоскости симметрии, разделяемой зубок пополам по высоте. Приведены отдельные результаты теоретических исследований по определению размерно-массовых показателей зубков чеснока и выполнен их анализ.

зубок чеснока, модель, размер, объем, масса, центр тяжести

Постановка проблеми. На сучасному етапі розвитку техніки для садіння зубків часнику необхідно вирішувати основне завдання – адаптацію їх робочих органів до розмірно-масових показників, фізико-механічних властивостей та характеристик садильного матеріалу. Без такої умови неможливо добитися належної якості механізованого садіння вказаної сільськогосподарської культури, оскільки більшість машин працюють за принципом сівалок, після відокремлення від садильних апаратів яких, зубки падають під дією власної ваги і хаотично розподіляються в борозенці [1]. Це пов'язано з тим, що при створенні чи удосконаленні робочих органів машин для садіння більше уваги приділялося розмірам, масі та формам різних сортів зубків часнику. Питання визначення їх центра ваги залишається відкритим, через певні труднощі у практичному вирішенні. Очевидно, що це відбувається також і через відсутність достатньої теоретичної бази.

Саме тому, дослідження, спрямовані на розроблення аналітичної моделі зубка часнику й знаходження на її основі координат його центра ваги є актуальними та слугуватимуть основою для наступного математичного моделювання процесу їх поштучного орієнтованого садіння денцем вниз, а ростком вверх.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Переважна кількість наукових праць, пов'язаних із виробництвом часнику присвячені агротехніці його вирощування [2, 3]. В них зовсім мало інформації відводиться питанням механізації садіння вказаної сільськогосподарської культури. Особливо це стосується конструктивних особливостей саджалок та їх робочих органів, при створенні яких більшість науковців розглядали зубок часнику близьким до цибулі-сіянки. Тому машини обладнують ложечково-дисковими, стрічково-ложечковими, ланцюгово-ложечковими, пневматичними, пневмомеханічними та дисковими садильними апаратами, які не можуть забезпечити скерованого укладання зубків у борозенку [1, 4].

Серед наукових праць, присвячених створенню робочих органів машин для орієнтованої сівби, необхідно відмітити роботи Ємельянова П.А., Соколова В.А., Кухарева О.Н. Ларюшина Н.П. [5, 6, 7]. В них розглядаються не тільки теоретичні основи орієнтування в цілому, але й запропоновані математичні моделі процесу сівби близьких за фізико-механічними властивостями культур. Проте стосуються вони переважно цибулі, центр ваги якої лежить в площині центральної осі симетрії. Така модель не є характерною для зубків часнику, а тому питання вимагає окремих теоретичних досліджень.

Постановка завдання. Метою дослідження є розроблення теоретичної моделі зубка часнику для визначення координат його центра ваги.

Виклад основного матеріалу. Зубки часнику мають різноманітні форми поверхні: овальні, стовбчасті, округлі, циліндричні, розміри та масу, обумовлені передовсім їх біологічними особливостями [3]. Кожен з них покритий лускою, причому зверху вона виглядає шорсткішою, ніж в місцях дотику зубків один до одного в межах однієї головки часнику, на що вказують дослідження коефіцієнта їх зовнішнього тертя по різних матеріалах [8].

Спільним для них є те, що вони отримуються внаслідок ділення головки часнику, яка має округлу поверхню. Тому вважаємо, що зубок часнику – це частина кулі радіусом R (рис. 1) з центром у точці O_1 .

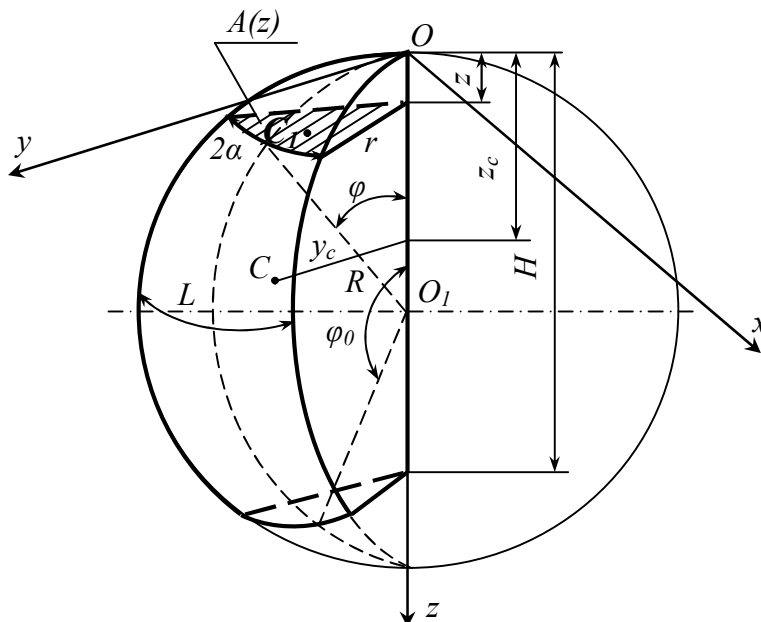


Рисунок 1 – Розрахункова модель зубка часнику

Цей об'єм обмежений двома меридіональними площинами, двогранний кут між якими дорівнює 2α , та однією площиною, яка лежить в основі зубка і є перпендикулярною до двох інших. Висота зубка дорівнює H .

Виберемо початок декартової системи координат $Oxyz$ у вершині зубка. Вісь Oz направимо вздовж лінії перетину меридіональних площин, вісь Oy лежить у площині симетрії зубка, а вісь Ox – перпендикулярна до цієї площини.

Тоді об'єм V зубка можна обчислити за інтегралом

$$V = \int_0^H A(z) dz, \quad (1)$$

де $A(z)$ – площа перерізу зубка на відстані z від його вершини.

Положення перерізу (заштрихована ділянка) задаємо за допомогою змінного кута φ між віссю Oz і радіусом кулі R . Площа перерізу зубка $A(z)$ згідно поданої схеми – це круговий сектор, радіус якого визначається з умови

$$r = R \cdot \sin \varphi. \quad (2)$$

Оскільки кут між радіусами зубка по меридіональних площинах становить 2α , то площа перерізу $A(z)$ обчислюється за формулою

$$A(z) = r^2 \cdot \alpha = \alpha \cdot R^2 \cdot \sin^2 \varphi. \quad (3)$$

Виразивши відстань z через кут φ отримаємо:

$$z = R - R \cdot \cos \varphi, \quad (4)$$

звідки

$$dz = R \cdot \sin \varphi d\varphi. \quad (5)$$

За аналогією висота зубка H становить:

$$H = R - R \cdot \cos \varphi_0. \quad (6)$$

Якщо висота зубка відома, то згідно формули (6) знаходимо кут φ_0 , тобто

$$\cos \varphi_0 = \frac{R - H}{R},$$

звідки

$$\varphi_0 = \arccos\left(\frac{R - H}{R}\right), \quad (7)$$

за умови

$$0 \leq \varphi \leq \varphi_0.$$

Підставивши вираз (3) в (1) і з врахуванням (5) об'єм зубка становить:

$$\begin{aligned} V &= \int_0^{\varphi_0} \alpha \cdot R^2 \cdot \sin^2 \varphi \cdot R \cdot \sin \varphi d\varphi = \alpha \cdot R^3 \int_0^{\varphi_0} (1 - \cos^2 \varphi) \cdot \sin \varphi d\varphi = \\ &= \alpha \cdot R^3 \left(-\cos \varphi + \frac{1}{3} \cos^3 \varphi \right) \Big|_0^{\varphi_0} = \alpha \cdot R^3 \left(\frac{2}{3} - \cos \varphi_0 + \frac{1}{3} \cos^3 \varphi_0 \right). \end{aligned} \quad (8)$$

Якщо максимальний розмір зубка по ширині позначити через L (див. рис.), то кут α (в радіанах) можна обчислити за формулою

$$\alpha = \frac{L}{2R}. \quad (9)$$

Тоді, враховуючи (7), об'єм зубка часнику можна визначити за формулою

$$V = \frac{L}{2R} \left(R^2 \cdot H - \frac{R^3}{3} + \frac{1}{3} (R - H)^3 \right). \quad (10)$$

Вважаючи густину ρ (кг/м³) зубка часнику однорідною можна обчислити його масу

$$m = \rho \cdot V = \frac{\rho \cdot L}{2R} \left(R^2 H - \frac{R^3}{3} + \frac{1}{3} (R - H)^3 \right). \quad (11)$$

Знайдемо координати центра ваги зубка часнику, вважаючи його однорідним тілом, центр ваги якого лежить у площині симетрії ($x_c = 0$), а тому досить знайти координати z_c і y_c .

Координату z_c обчислюємо за інтегралом

$$z_c = \frac{1}{V} \int_0^H z \cdot A(z) dz. \quad (12)$$

Підставляємо вирази (3) – (5) у формулу (12) і провівши інтегрування отримаємо:

$$\begin{aligned} z_c &= \frac{1}{V} \int_0^{\varphi_0} (R - R \cdot \cos \varphi) \alpha \cdot R^2 \sin^2 \varphi \cdot R \cdot \sin \varphi d\varphi = \\ &= \frac{\alpha \cdot R^4}{V} \int_0^{\varphi_0} (1 - \cos \varphi)(1 - \cos^2 \varphi) d(-\cos \varphi) = \\ &= -\frac{\alpha \cdot R^4}{V} \left(\cos \varphi - \frac{1}{2} \cos^2 \varphi - \frac{1}{3} \cos^3 \varphi + \frac{1}{4} \cos^4 \varphi \right) \Big|_0^{\varphi_0} = \\ &= -\frac{\alpha \cdot R^4}{V} \left(\frac{5}{12} - \cos \varphi_0 + \frac{1}{2} \cos^2 \varphi_0 + \frac{1}{3} \cos^3 \varphi_0 - \frac{1}{4} \cos^4 \varphi_0 \right). \end{aligned} \quad (13)$$

З врахуванням виразу (8) будемо мати остаточну формулу для визначення координати z_c , а саме:

$$z_c = \frac{R}{4} \cdot \frac{5 - 12 \cos \varphi_0 + 6 \cos^2 \varphi_0 + 4 \cos^3 \varphi_0 - 3 \cos^4 \varphi_0}{2 - 3 \cos \varphi_0 + \cos^3 \varphi_0}. \quad (14)$$

Враховуючи, що центр ваги площі $A(z)$ кругового сектора лежить у площині симетрії, то він знаходиться від осі Oz на відстані y_{cl} , яку визначаємо з виразу

$$y_{cl} = \frac{2}{3} \cdot \frac{\sin \alpha}{\alpha} r = \frac{2}{3} \cdot \frac{\sin \alpha}{2} R \sin \varphi. \quad (15)$$

Тоді координату y_c центра ваги зубка часнику визначаємо за інтегралом

$$y_c = \int_0^{\varphi_0} y_{cl} \cdot A(z) dz. \quad (16)$$

Для його знаходження підставляємо у (16) вирази (3), (5) і (15) та проводимо інтегрування:

$$\begin{aligned} y_c &= \frac{2}{3} \cdot \frac{R^4 \sin \alpha}{V} \int_0^{\varphi_0} \sin^4 \varphi d\varphi = \frac{2}{3} \cdot \frac{R^4}{4V} \int_0^{\varphi_0} (1 - \cos 2\varphi)^2 d\varphi = \\ &= \frac{1}{6} \cdot \frac{R^4 \sin \alpha}{V} \int_0^{\varphi_0} \left(1 - 2 \cos 2\varphi + \frac{1 + \cos 4\varphi}{2} \right) d\varphi = \\ &= \frac{R^4 \sin \alpha}{6V} \left(\varphi - \sin 2\varphi + \frac{1}{2} \varphi + \frac{1}{8} \sin 4\varphi \right) \Big|_0^{\varphi_0} = \\ &= \frac{R^4 \sin \alpha}{6V} \left(\frac{3}{2} \varphi_0 - \sin 2\varphi_0 + \frac{1}{8} \sin 4\varphi_0 \right). \end{aligned} \quad (17)$$

З врахуванням виразу (8) остаточна формула для визначення координати y_c центра ваги зубка часнику матиме вигляд:

$$y_c = \frac{R \cdot \sin \alpha}{16\alpha} \cdot \frac{12\varphi_0 - 8 \sin 2\varphi_0 + \sin 4\varphi_0}{2 - 3 \cos \varphi_0 + \cos^3 \varphi_0}. \quad (18)$$

Таким чином, отримані залежності (14) і (18) дають змогу визначити координати центра ваги зубка часнику. Очевидно, що при $\varphi_0 < \pi$, координата $z_c > (1/2) \cdot H$, тобто

центр ваги дещо зміщений до основи зубка. Цей факт необхідно використати для орієнтації зубків, а також розроблення робочих органів для укладання їх в ґрунт денцем вниз, а ростком вверх.

На підставі виконаних теоретичних досліджень встановлено певний взаємозв'язок між окремими розмірно-масовими показниками і характеристиками зубків часнику, числові значення яких відображено в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати теоретичних досліджень розмірно-масових показників зубків часнику

Вхідні параметри			Розрахункові значення			
висота H , м	радіус R , м	товщина L , м	об'єм V , см ³	маса m , г	координати центра ваги, м	
					z_c	y_c
0,0200	0,0160	0,0100	1,1667	1,33	0,0121	0,0096
0,0269	0,0269	0,0137	3,3166	3,63	0,0168	0,0157
0,0300	0,0160	0,0200	3,3750	3,71	0,0164	0,0089
0,0277	0,0277	0,0143	3,4020	3,75	0,0169	0,0157
0,0284	0,0286	0,0149	4,0137	4,42	0,0178	0,0166
0,0284	0,0291	0,0165	4,1418	4,64	0,0170	0,0166
0,0285	0,0260	0,0173	4,4436	4,96	0,0176	0,0153
0,0289	0,0303	0,0171	4,5908	5,04	0,0176	0,0172
0,0296	0,0269	0,0177	4,9846	5,57	0,0184	0,0154
0,0300	0,0160	0,0300	5,0625	5,61	0,0164	0,0082
0,0295	0,0315	0,0177	5,2936	5,89	0,0186	0,0181
0,0308	0,0279	0,0182	5,4604	6,06	0,0190	0,0164

Як видно з даних таблиці розрахункові значення об'єму V , а, відповідно, і маси m зубків зростають із збільшенням не тільки їх розмірів, але й форми, яка в цілому залежить від сорту та індексу головки часнику. Так, для висоти зубка $H=0,030$ м, товщини $L=0,020$ м і радіуса $R=0,0160$ м, $V=3,3750$ см³, а $m=3,71$ г. При цьому координати z_c і y_c його центра ваги відповідно становлять 0,0164 та 0,0089 м. У випадку збільшення товщини зубка до 0,030 м і незмінних висоті і радіусі його об'єм зросте до 5,0625 см³, а маса до 5,61 г. Характерно, що значення координати z_c теж залишилось на тому самому рівні, а y_c навіть зменшилось до 0,0082 м. Це вказує на те, що форма зубка часнику стала більш округлою.

Теоретичні дослідження показали, що максимальні значення об'єму ($V=5,4604$ см³) і маси ($m=6,06$ г) притаманні зубкам з найбільшою висотою ($H=0,0308$ м), а мінімальні ($V=1,1667$ см³, $m=1,33$ г), навпаки – з найменшою висотою ($H=0,020$ м). Щодо координат центра ваги зубка, то такої закономірності не простежується, оскільки впливовими на їх значення є сукупно усі досліджувані вхідні параметри.

Висновки. Запропонована аналітична модель дозволяє визначати координати центра ваги зубка часнику за його вхідним розмірними параметрами. Теоретичними дослідженнями встановлено також вплив на їх значення форми зубка, притаманної кожному окремому сорту.

Майбутні експериментальні дослідження будуть спрямовані на визначення розмірно-масових показників зубків часнику сортів Спас, Лідер та Лідія, що різняться саме формою поверхні. Наступним етапом стане порівняння отриманих експериментальних даних з розрахунковими значеннями згідно аналітичних формул, запропонованих у теоретичних дослідження. Їхня мета – перевірити адекватність

запропонованої аналітичної моделі зубка часнику для різних сортів та побудова удосконалених моделей, що враховують зокрема центральний стержень головки часнику, на якому сформовані зубки.

Отримані теоретичні формули з визначення координат центра ваги зубків часнику стануть в основу досліджень, спрямованих на розроблення систем і робочих органів машин для поштучного скеровано орієнтованого укладання садильного матеріалу в борозенку.

Список літератури

1. Семен О.Я. Аналіз конструкцій машин для садіння часнику [Текст] / О.Я. Семен // Матеріали XVII Міжнародного науково-практичного форуму “Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій”. – Львів: Ліга-Прес, 2016. – С. 254-261.
2. Снітинський В.В. Часник на фермерському полі та присадибній ділянці [Текст] / В.В. Снітинський, Л.П. Лішак, Н.І. Ковальчук, І.О. Лішак. – Львів: Український бестселер, 2010. – 110 с.
3. Лихацкий В.И. Чеснок. Биология и технология выращивания. Практическое пособие. [Текст] / В.И. Лихацкий. – К.: Издательство УСХА, 1990. – 96 с.
4. Ким Б.Н. Механизированное возделывание лука и чеснока [Текст] / Б.Н. Ким, Б.А. Утепов // Картофель и овощи. 1977. – № 5. – С. 27-28.
5. Емельянов П.А. Введение в теорию ориентирования тел техническими средствами в сельскохозяйственных технологических процессах [Текст] / П.А. Емельянов, Н.М. Ибрагимов. Пенза: РИО ПГСХА, 2007. – 128 с.
6. Соколов В.А. Обоснование параметров вилочного захвата аппарата точного высева лука-севка [Текст] / В.А. Соколов // Научно-технический бюллетень. Всесоюзный НИИ механизации сельского хозяйства. – М. – 1981. – Вып. 48.1. – С. 20-23.
7. Кухарев О.Н. Исследование цепочно-ложечного высаживающего аппарата с ориентирующим устройством для лука-матки [Текст] / О.Н. Кухарев, Н.П. Ларюшин // Техника в сельском хозяйстве. – 2004. – № 2. – С. 21-23.
8. Семен О.Я. Визначення коефіцієнта та кута зовнішнього тертя зубків часнику [Текст] / О.Я. Семен // Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. – Львів: Львів. нац. аграр. університет, 2016. – № 20. – С. 162-167.

Referencis

1. Semen, O.Ya. (2016). Analiz konstruktsij mashyn dlja sadinnia chasnyku [Analysis of constructions of machines for garlic sailing]. Theory and practice of development agro-industrial complex and rural territories. *Mizhnarodnyj naukovo-praktychnyj forum – International scientific and practical forum* (pp. 254-261). L'viv: Liha-Pres.
2. Snityns'kyj, V.V., Lischak, L.P., Koval'chuk, N.I. & Lischak, I.O. (2010). *Chasnyk na fermers'komu poli ta prysadybnij diljantsi* [Garlic on the farm field and the farmland]. L'viv: Ukrain's'kyj bestseler.
3. Lihackij, V.I. (1990). *Chesnok. Biologija i tehnologija vyrashhivaniya. Prakticheskoe posobie* [Garlic. Biology and technology of cultivation. Practical Handbook]. Kiev: Izdatel'stvo USHA.
4. Kim, B.N. & Uteпов, B.A. (1977). *Mehanizirovannoe vozdeľyvanie luka i chesnoka* [Mechanized cultivation of onions and garlic]. *Kartofel' i ovoshhi – Potatoes and vegetables*, 5, 27-28.
5. Emel'janov, P.A. & Ibragimov, N.M. (2007). *Vvedenie v teoriju orijentirovaniya tel tehničeskimi sredstvami v sel'skohozjajstvennyh tehnologičeskijh processah* [Introduction to the theory of orientation of bodies by technical means in agricultural technological processes]. Penza: RIO PGSHA.
6. Sokolov, V.A. (1981). *Obosnovanie parametrov vilochnoho zahvata apparata tochnogo vyseva luka-sevka* [Justification of forklift parameters of the precision onion-seeding machine]. *Nauchno-tehnicheskij bjulleten'. Vsesojuznyj NII mehanizacii sel'skogo hozjajstva – Scientific and technical bulletin. All-Union Scientific Research Institute of Agricultural Mechanization*, Vol. 48.1, 20-23.
7. Kuharev, O.N. & Larjushin, N.P. (2004). *Issledovanie cepочно-ložhechnogo vysazhivajushhego apparata s orijentirujushhim ustrojstvom dlja luka-matki* [Investigation of the chain-and-socket planting device with orienting device for onion-uterus]. *Tehnika v sel'skom hozjajstve – Machinery in agriculture*. 2, 21-23.
8. Semen, O.Ya. (2016). *Vyznachennia koefitsiienta ta kuta zovnishn'oho tertia zubkiv chasnyku* [Determination of coefficient and external friction angle of garlic bulb]. *Visnyk L'viv's'koho*

natsional'noho ahrarnoho universytetu: ahroinzhenerni doslidzhennia The Journal of Lviv National Agrarian University: Agro-engineering, 20, 162-167.

Oleh Semen, postgraduate, Dmytro Kuzenko, Assos. Prof., PhD tech. sci., Yaroslav Semen, Assos. Prof., PhD tech. sci.

Lviv National Agrarian University, Lviv, Ukraine

Analytical Model of the Garlic Clove

Studies as to developing of the mathematical model of garlic clove were conducted.

The model of the garlic clove is proposed. The garlic clove is considered in the Cartesian coordinate system as a part of the sphere of the appropriate radius. Its volume is limited by two meridional planes with a two-cornered angle between them and one plane that lies at the base of the garlic clove and is perpendicular to the other two. The volume of the garlic clove is determined by integrating the area of its cross section at a certain distance from the origin of the coordinates. The analytical dependencies of the mass and coordinates of the center of gravity of the garlic clove are obtained. Some results of theoretical studies on determination of dimensional-mass indexes and coordinates of the center of garlic clove gravity are given and analyzed.

The conducted theoretical researches allow forming the basic directions of further experimental researches of the dimensional-mass indices of garlic clove different form surface of separate garlic varieties. The considered theoretical studies will also be the basis for further mathematical modelling of the process of piece-oriented garlic clove planting with a bulb stem down, and a sprout up.

garlic clove, model, size, volume, weight, coordinate, centre of gravity

Одержано (Received) 18.03.2018

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 621.9.048.4

В.М. Боков, проф., канд. техн. наук*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький,
Україна, E-mail: bokov_yt@mail.ru*

Підвищення ефективності електродугового різання бідротовим електродом-інструментом

Удосконалено та досліджено високопродуктивний спосіб електродугового різання металів бідротовим електродом-інструментами шляхом застосування зворотного прокачування органічного середовища.

електрична дуга, гідродинамічний режим, бідротовий електрод-інструмент, технологічна схема формоутворення

В. М. Боков, проф., канд. техн. наук*Кировоградский национальный технический университет*

Повышение эффективности электродугового резания бипроволочным электродом-инструментом

Усовершенствован и исследован высокопроизводительный способ электродугового резания металлов бипроволочным электродом-инструментом за счёт применения обратной прокачки органической среды

электрическая дуга, гидродинамический режим, бипроволочный электрод-инструмент, технологическая схема формообразования

Постановка проблеми. В сучасному машинобудуванні для різання важкооброблюваних матеріалів застосовуються електрофізикохімічні методи. В більшості випадків продуктивність процесу різання є визначальною при виборі того чи іншого способу різання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За роботами [1, 2] відомий високопродуктивний спосіб розмірної обробки дугою (РОД). Однак, процес РОД не знайшов застосування для ефективного різання металів в зв'язку з відсутністю оптимальної технологічної схеми формоутворення різку, при якій певним чином компенсується електроерозійний знос електрода-інструмента.

В роботі [3] запропоновано таку технологічну схему електродугового формоутворення різку, що дозволяє компенсувати знос електрода-інструмента шляхом паралельного протягування в робочій зоні двох дрових електродів-інструментів (тобто бідротового електрода-інструмента) при прямому прокачуванні робочої рідини крізь торцевий міжелектродний зазор. Однак, при прямому прокачуванні створюються умови для концентрації часток в бічному зазорі [4]. Результатом цього явища є виникнення довгих дуг, які, з одного боку утворюють похилу поверхню різку, збільшують час різання, а з другого боку руйнують стінки електродотримачів. Крім того, технічна вода, як робоча рідина, частково проводить електричний струм. За цією причиною частина енергії, що підводиться до електродів, не використовується ефективно.

В роботі пропонується долати вади відомого способу різання шляхом використання зворотного прокачування органічної робочої рідини крізь торцевий міжелектродний зазор. Таким чином, підвищення ефективності електродугового різання бідровим електродом-інструментом є актуальною задачею.

Постановка завдання. Метою дослідження є підвищення ефективності електродугового різання бідровим електродом-інструментом шляхом застосування зворотного прокачування органічного середовища.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі: запропонувати та обґрунтувати нову технологічну схему формоутворення різі при електродуговому різанні металів бідровим електродом-інструментом з використанням зворотного прокачування органічного середовища; розробити методику експериментального дослідження технологічних характеристик електродугового різання; виконати експериментальне дослідження продуктивності, точності та якості електродугового різання.

Методика дослідження включає в себе аналіз та порівняння елементів відомої технологічної схеми формоутворення різі зі схемою, що пропонується. Крім того, методика передбачає побудову математичних моделей технологічних характеристик процесу електродугового різання бідровим електродом-інструментом (табл. 1).

Таблиця 1 – Матриця планування експерименту (план 2^2)

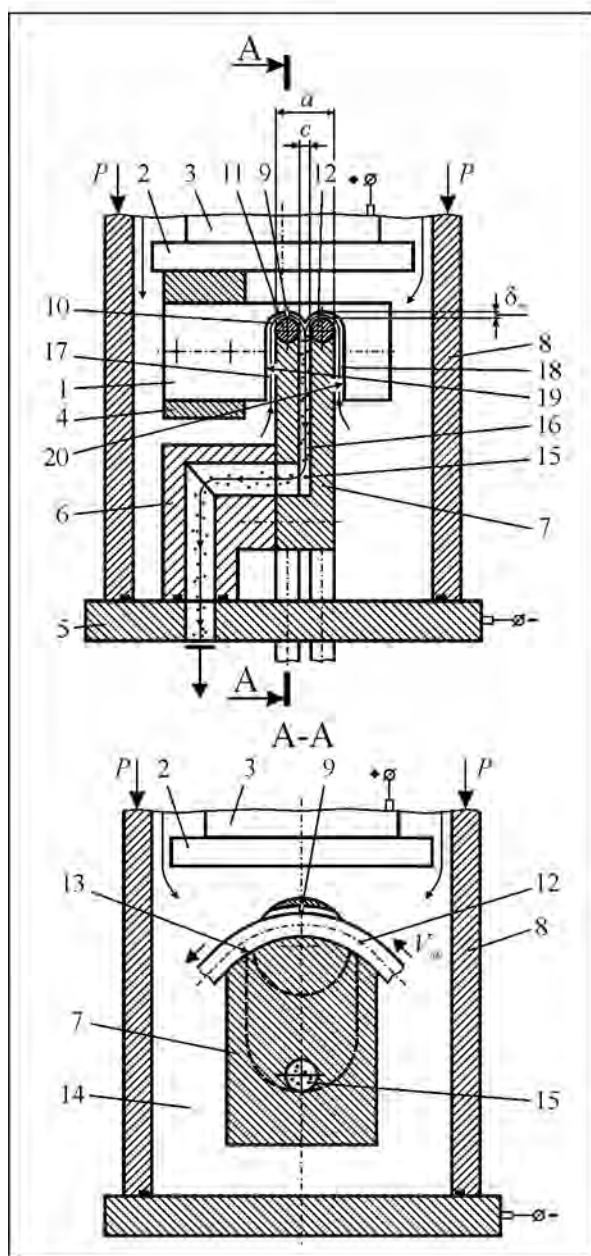
Фактори				I , А	P_{cm} , МПа	M , мм ³ /хв.	M_a , мм ³ /А·хв.	a , кВт·год/кг	δ_0 , мм	Ra , мкм
Основний рівень				15	1,3					
Інтервал варіювання				5	0,3					
Верхній рівень				20	1,6					
Нижній рівень				10	1,0					
Код				x_1	x_2	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5
Номер дослідів	1	Порядок реалізації	3	+	+	59	2,95	21,59	0,25	9
	2		2	-	+	30	3,00	21,23	0,15	5
	3		4	+	-	106	5,30	12,01	0,26	10
	4		1	-	-	38	3,80	17,69	0,16	6
Досліди в центрі плану		1		0	0	53	3,53	18,02	0,22	7
		2		0	0	59	3,93	16,19	0,21	7
		3		0	0	64	4,27	14,93	0,23	8
		4		0	0	61	4,07	15,56	0,21	7

Виклад основного матеріалу. Пропонується нова технологічна схема формоутворення різі при електродуговому різанні металів бідровим електродом-інструментом: електричну дугу збуджують в гідродинамічному потоці робочої рідини між електродом-заготовкою та складеним електродом-інструментом, який включає в себе два паралельні дроти, що протягують по випуклій поверхні майстер-електрода; органічну робочу рідину нагнітають в зону різання (в герметичну камеру) під технологічним тиском, а відводять із зони різання разом з продуктами ерозії крізь щілину між дротами.

Перед початком процесу різання (рис. 2.1). електрод-заготовку 1 нерухомо закріплюють відносно плити 2 шпинделя 3 верстата за допомогою тримача 4, а складений електрод-інструмент нерухомо закріплюють на плиті верстата 5 за допомогою тримача 6 та електро-тримача 7. Далі герметичну камеру 8 закривають і здійснюють процес різання. При цьому електричну дугу 9 збуджують в гідродинамічному потоці 10 робочої рідини між електродом-заготовкою 1 та складеним електродом-інструментом, який включає в себе два паралельні дроти 11, 12, що протягують по випуклій поверхні 13 електродотримача 7. Робочу рідину нагнітають в

зону різання (в порожнину 14 герметичної камери 8) під технологічним тиском, а відводять із зони різання разом з продуктами ерозії 15 крізь щілину 16 між дротами 11, 12. Ширина щілини 16 (c) менша або дорівнює двом торцевим міжелектродним зазорам (δ_m). Ширину електродотримача 7 (a) вибирають із умови

$$a \leq 2d + c = 2(d + \delta_m),$$



де d – діаметр дроту. В процесі взаємодії гідродинамічного потоку 10 робочої рідини з електричною дугою 9 дуга стискується, енергетичні параметри її підвищуються, що покращує якісні характеристики поверхні різ. Оскільки продукти ерозії 15 в бічних міжелектродних зазорах 17, 18 відсутні, довгі (малостиснуті) дуги в ньому не утворюються. Останнє дозволяє підвищити точність різання за рахунок формування поверхонь різ 19, 20 без нахилу та забезпечити реалізацію процесу без руйнування стінок електродотримача 7. Подача V_0 електродотримача 7 з дротами 11, 12 в напрямку розрізування здійснюється з використанням автоматичного регулятора міжелектродного проміжку (на рис. 1 не показано). Завдяки оптимальній відстані c між дротами технологічний виступ між дротами не утворюється. В той же час, завдяки протягуванню дротів, точність різання зростає, а витрати на електрод-інструмент мінімізуються.

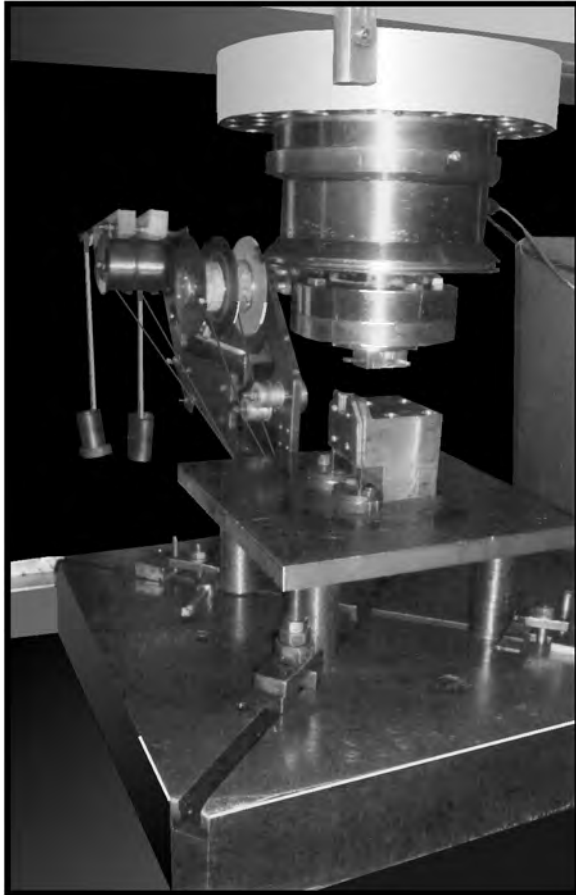
Рисунок 1 – Технологічна схема формоутворення різ, що пропонується

Процес здійснюють з використанням органічної робочої рідини. Оскільки органічна робоча рідина не електропровідна, це дозволяє уникнути втрати електричної енергії за струмом на розсіювання і, як наслідок, підвищити

продуктивність різання.

Для дослідження технологічних характеристик електродугового різання металів дротовими електродами-інструментами з використанням зворотного прокачування органічного середовища спроектовано та виготовлено оригінальний експериментальний пристрій до електроерозійного верстата «Дуга-8Г» (рис. 2).

Пристрій включає в себе наступні основні вузли та деталі:



- механізм перемотування дроту, який являє собою вертикальну платформу, на якій змонтовано дві котушки з вихідним дротом та дві котушки для прийому відпрацьованого дроту, що обертаються від електродвигуна через редуктор;
- тримач, що постачається гвинтом для регулювання вертикального положення платформи;
- плиту, на якій монтується уся робоча частина пристрою;
- стійку для позиціонування плити на певній висоті над плитою стола верстата «Дуга-8Г»;
- тримач для розташування елементів ущільнення робочої зони пристрою;
- тримач для тримання шибери;

Рисунок 2 – Експериментальний пристрій для електродугового різання бідровим електродом-інструментом з використанням зворотного прокачування органічного середовища (верстат «Дуга-8Г»)

- основу для кріплення основних елементів робочої зони пристрою;
- електродотримач для протягування дротового електрода-інструмента;
- прокладку, що забезпечує опти-мальний зазор між дротами;
- планку для кріплення електродо-тримачів та прокладки до основи;
- тримач для закріплення елект-рода-заготовки відносно плити;
- вісь для тримання ролика пере-мотування дротового електрода-інструмента 4;
- патрубки для відведення орга-нічного робочого середовища разом з продуктами ерозії із зони різання через фільтр в бак;
- планку для з'єднання механізму перемотування дроту з основою.
- інші деталі.

Пристрій працює таким чином. Перед початком роботи електрод-заготовку виставляють та закріплюють нерухомо (гвинтами) відносно тримача, що змонтований, в свою чергу, нерухомо відносно шпинделя верстата. Далі за допомогою гідравлічного приводу закривають герметичну камеру верстата, вмикають електродвигун насосної установки подачі робочої рідини в зону обробки, вмикають електродвигун механізму перемотування дротів, вмикають джерело живлення технологічним струмом та ведуть електродугове різання металів бідровим електродом-інструментом з використанням зворотного прокачування органічного середовища.

Отримано математичні моделі технологічних характеристик, що визначають продуктивність, точність та якість електродугового різання металів дротовими електродами-інструментами з використанням зворотного прокачування органічного середовища та дозволяють керувати ними та прогнозувати їх :

- модель продуктивність різання $M(y_1)$, мм³/хв

$$y_1 = 58,25 + 24,25x_1 - 13,75x_2;$$

- модель питомої продуктивності різання M_a (y_2), $\text{мм}^3/\text{А} \cdot \text{хв}$

$$y_2 = 3,76 - 0,78x_2;$$

- модель питомої витрати електроенергії a (y_3), $\text{кВт} \cdot \text{год}/\text{кг}$

$$y_3 = 18,13 + 3,28x_2;$$

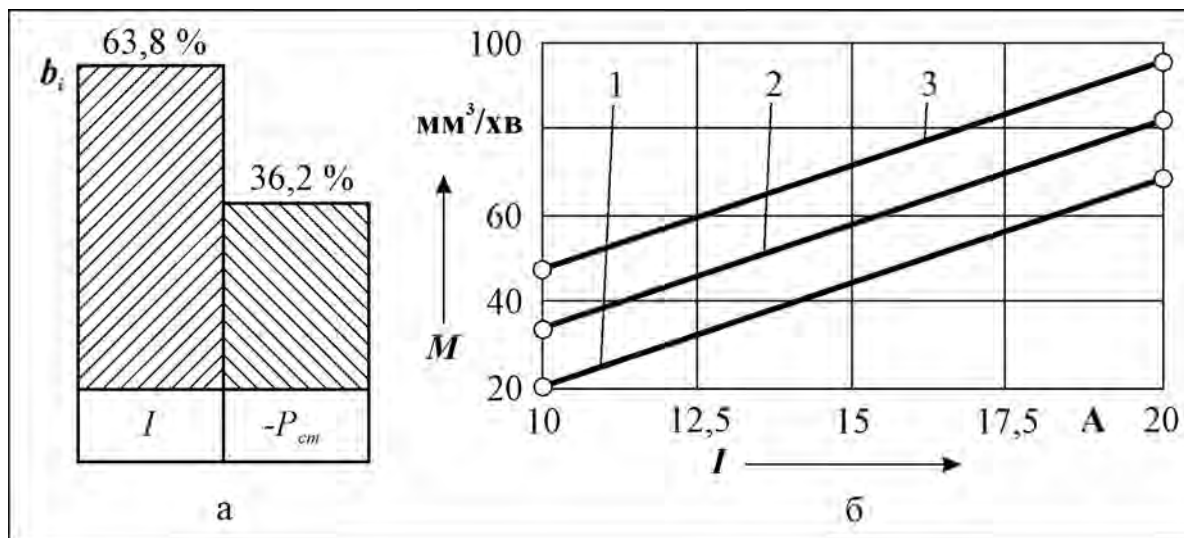
- модель бічного міжелектродного зазору δ_b (y_4), мм

$$y_4 = 0,205 + 0,05x_1;$$

- модель шорсткості поверхні різі Ra (y_5), мкм

$$y_5 = 7,5 + 2x_1.$$

Показано (рис. 3), що найбільший вплив на продуктивність різання виявляє сила технологічного струму I (63,8 %), із підвищенням якої продуктивність різання збільшується. Таким чином, силу технологічного струму треба розглядати як основний керуючий фактор. Вплив статичного тиску P_{cm} значно менший (36,2 %), але має суттєве значення. З його підвищенням продуктивність зменшується. В рамках експерименту продуктивність процесу електродугового різання змінювалася у межах від 30 до 106 $\text{мм}^3/\text{хв}$.



1 – $P_{cm} = 1,6 \text{ МПа}$; 2 – $P_{cm} = 1,3 \text{ МПа}$; 3 – $P_{cm} = 1,0 \text{ МПа}$

Рисунок 3 – Ступінь впливу факторів (а) та залежність продуктивності електродугового різання M від I та P_{cm} (б)

Відомо [14, с. 111], що продуктивність РОД значно залежить від усталеності процесу. В умовах експерименту спостерігався неусталений процес. Останнє пояснюється недостатньою напругою на електродах ($U = 30 \text{ В}$) при реалізації малих технологічних струмів (10 – 20 А), що погіршує фізичні умови існування таких електричних дуг. Тому подальше підвищення продуктивності різання металів дровими електродами-інструментами пов'язано не тільки з підвищення сили технологічного струму, але й з підвищення напруги на електродах.

Встановлено (рис. 4), що питома продуктивність різання M_a залежить тільки від статичного тиску робочої рідини на вході в торцевий МЕЗ $P_{ст}$, із зменшенням якого M_a збільшується. Таким чином, статичний тиск робочої рідини на вході в торцевий МЕЗ $P_{ст}$ є головний керуючий фактор. В умовах експерименту питома продуктивність процесу електродугового різання змінювалася у межах від 2,95 до 5,30 мм³/А·хв.

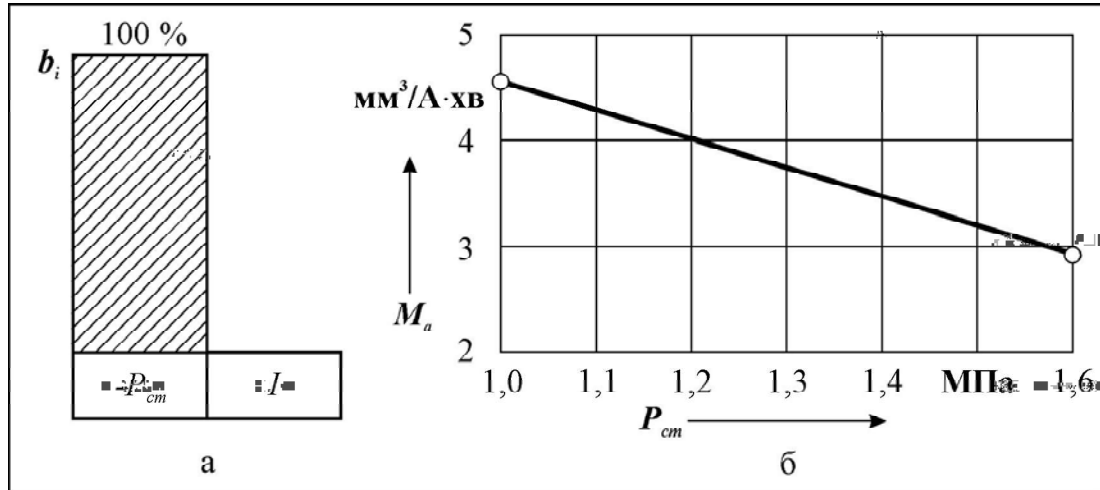


Рисунок 4 – Ступінь впливу факторів (а) та залежність питомої продуктивності електродугового різання M_a від $P_{ст}$ (б)

Показано (рис. 5), що на питому витрату електроенергії a впливає лише один фактор – статичний тиск робочої рідини на вході в торцевий міжелектродний зазор $P_{ст}$, із підвищенням якого a збільшується. Саме тому $P_{ст}$ слід розглядати як головний керуючий фактор. Збільшення питомої витрати електроенергії при підвищенні $P_{ст}$ з фізичної точки зору пояснюється тим, що зростає швидкість потоку, а отже теплова енергія, яка відводиться потоком від електричної дуги. В умовах експерименту питома витрата електроенергії процесу РОД змінювалася у межах від 12,01 до 21,59 кВт·год/кг.

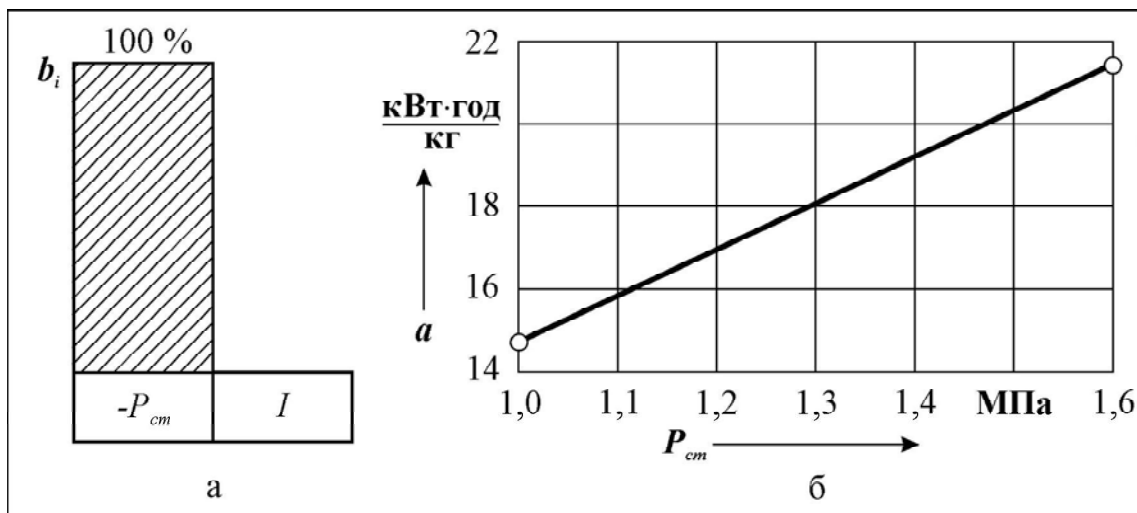


Рисунок 5 – Ступінь впливу факторів (а) та залежність питомої витрати електроенергії a процесу електродугового різання від $P_{ст}$ (б)

Встановлено (рис. 6), що на бічний міжелектродний зазор δ_b впливає лише один фактор – сила струму I , із підвищенням якого δ_b збільшується. Саме тому I слід розглядати як головний керуючий фактор. В умовах експерименту бічний міжелектродний зазор δ змінювався у межах від 0,15 до 0,26 мм. Процес різання відбувається при постійному бічному міжелектродному зазорі без утворення похилої поверхні різі (рис. 7). Крім того, на електроді-заготовці спостерігається гостра кромка на вході потоку в бічний міжелектродний зазор, а технологічний виступ між дротами не утворюється.

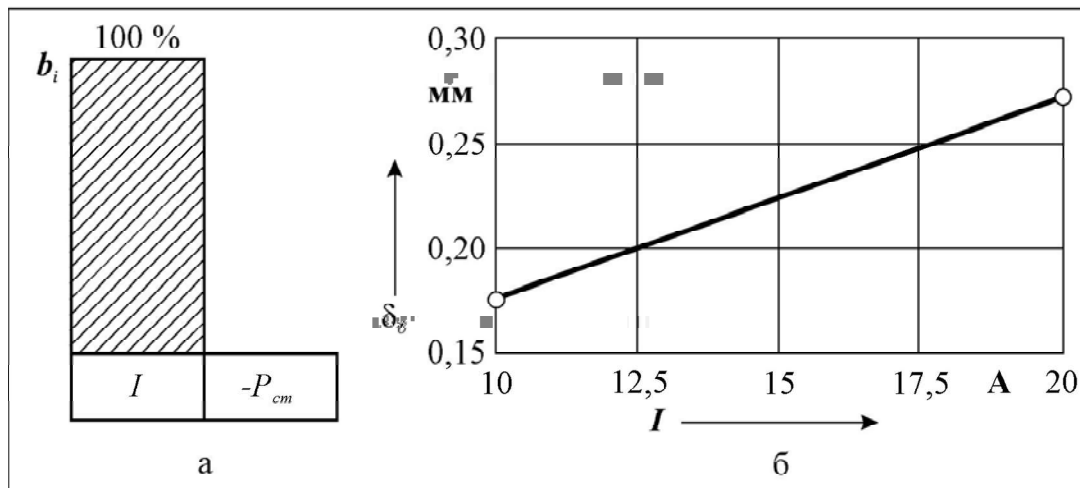
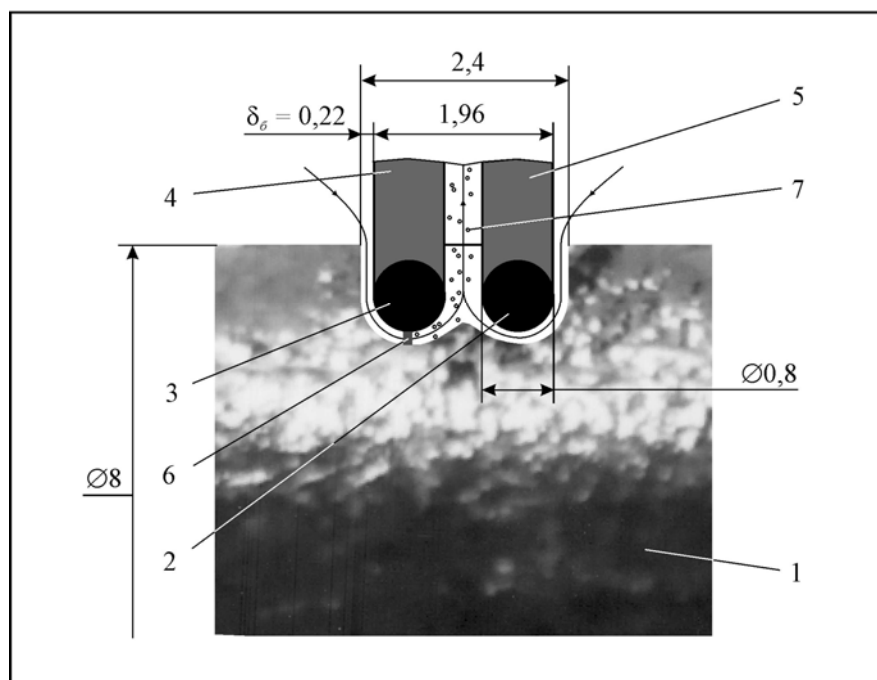


Рисунок 6 – Ступінь впливу факторів (а) та залежність бічного міжелектродного зазору δ_b від I (б)



1 – електрод-заготовка (фото); 2 – дріт правий; 3 – дріт лівий; 4 – електродотримач лівий;
5 – електродотримач правий; 6 – електрична дуга; 7 – продукти ерозії

Рисунок 7 – До визначення бічного міжелектродного зазору δ_b (початкова фаза процесу різання; $\times 16$)

Показано (рис. 8), що найбільший вплив на шорсткість поверхні різу Ra оказує сила струму I , із підвищенням якої Ra збільшується. Саме тому I слід розглядати як головний керуючий фактор. Виявлено, що статичний тиск робочої рідини на вході в МЕЗ P_{cm} на шорсткість поверхні різу не впливає. В умовах експерименту шорсткість поверхні різу Ra змінювалася у межах від 5 до 10 мкм.

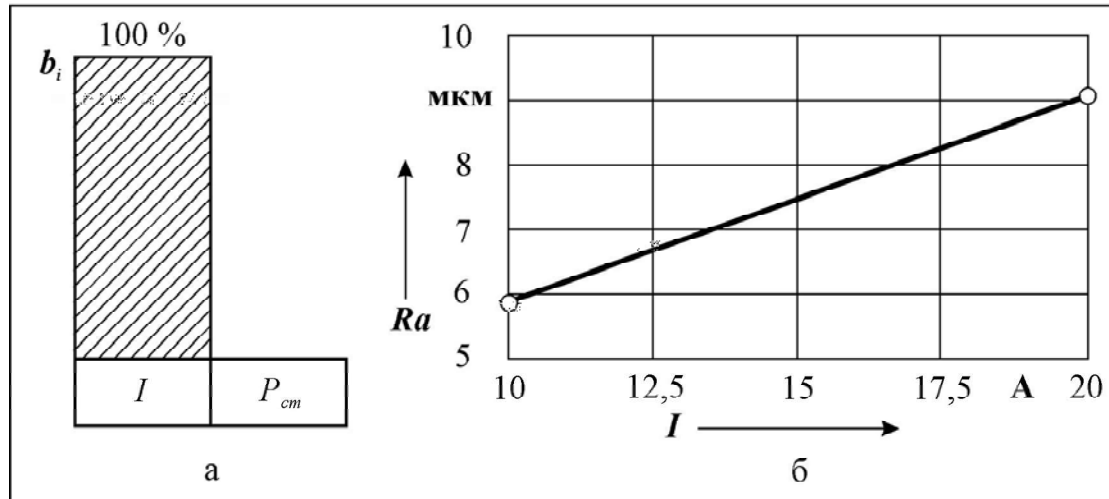
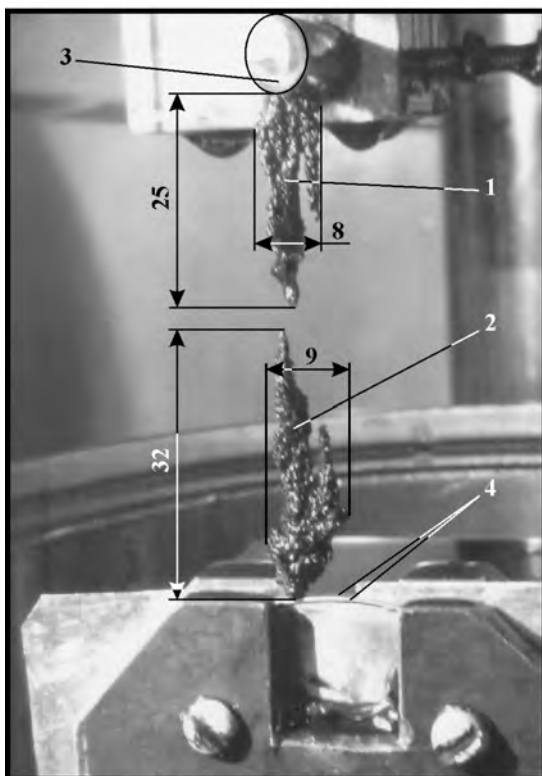


Рисунок 8 – Ступінь впливу факторів (а) та залежність шорсткості поверхні різу Ra від I (б)

При експериментальному дослідженні процесу електродугового різання дротовими електродами-інструментами вперше виявлено явище утворення на аноді (вгорі) та катоді (внизу) бурулькоподібних наростів (рис. 9), що схожі за формою на сталактити та сталагміти.



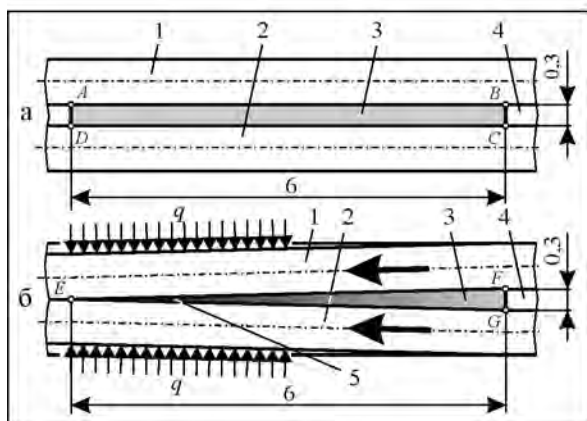
1 – анодний нарост; 2 – катодний нарост; 3 – електрод-заготовка; 4 – бідровий електрод-інструмент

Рисунок 9 – Явище утворення на катоді та аноді бурулькоподібних наростів

Джерело: розроблено автором

Такі нарости не притягуються магнітом. Їх утворенню передувало порушення гідродинамічного режиму (суттєве зменшення швидкості прокачування органічного середовища через торцевий між-електродний зазор; рис. 10), яке викликало суттєвим зменшенням площі каналу 3 між дротовими електродами-інструментами 1, 2 в зв'язку із вимушеним зближенням дротів.

В свою чергу зближення дротів 1, 2 обумовлене асиметричним (неточним) виконанням тороподібної поверхні для фіксації дроту на електродотримачах.

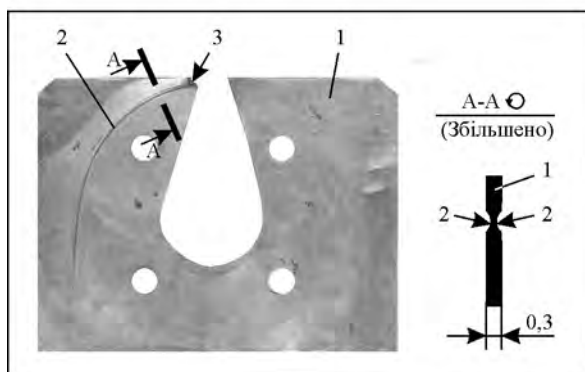


Асиметрія викликає виникнення сил (від навантаження q), що зближають дроти 1, 2 в момент протягування. При цьому, тертя сталевих дротів об центральну прокладку 4, що відповідає за зазор між дротами, закінчується її подальшим пластичним руйнуванням (рис. 11).

а – до експерименту; б – після експерименту

Рисунок 10 – Форма каналу між дровими електродами-інструментами

Зміна форми (з прямокутної $ABCD$ на трикутну EFG) та зменшення площі каналу 3 (див. рис. 10) привели до суттєвого збільшення гідравлічного опору течії рідини крізь нього і утворення застійної зони 5 в найменшому куті трикутника, де швидкість органічного середовища наближається до нуля.

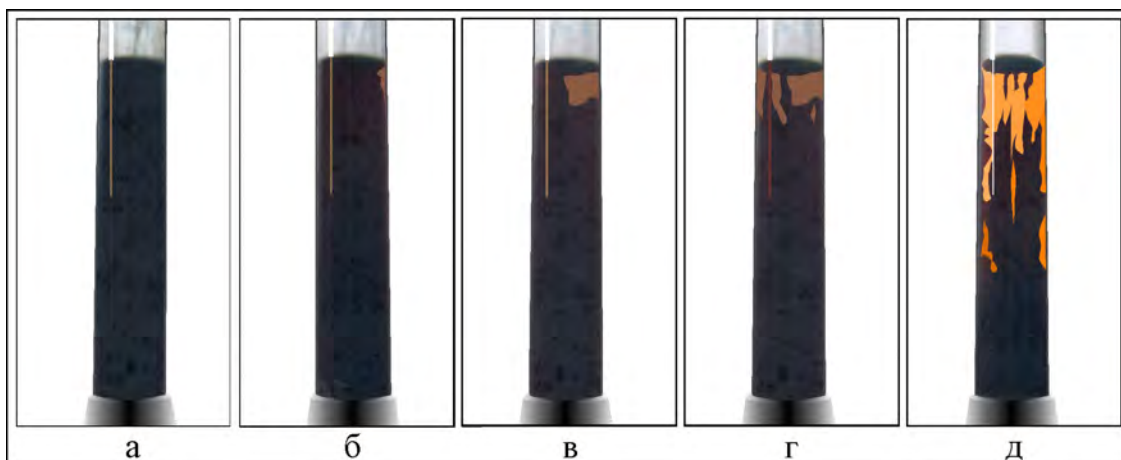


1 – прокладка; 2 – слід від пластичного деформування дротом; 3 – місце збудження довгих дуг

Рисунок 11 – Скановане зображення центральної прокладки після експерименту:

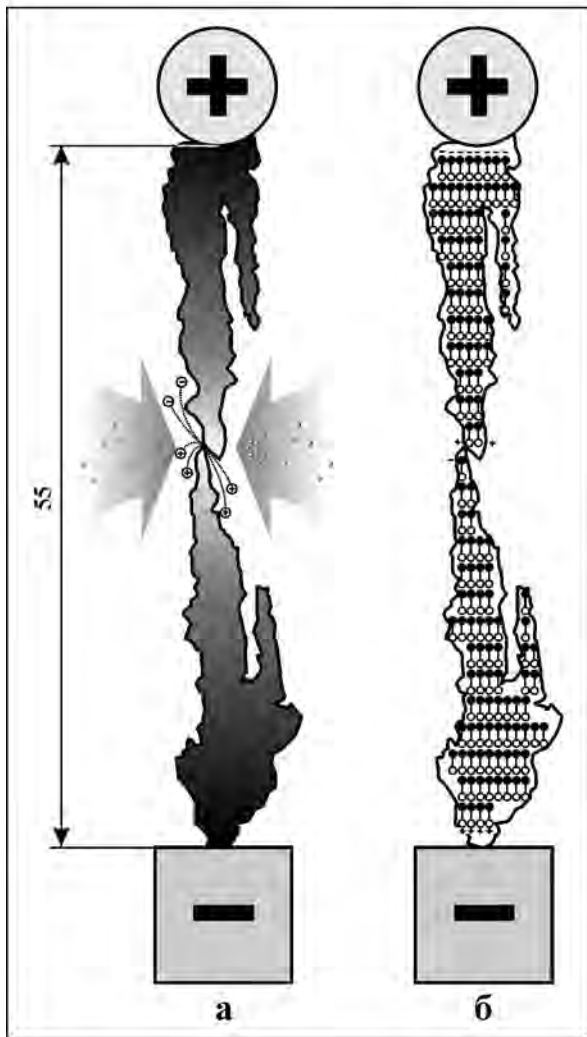
Внаслідок цього ініціюються довгі (не стиснуті гідродинамічним потоком) дуги, які викликають короткі замикання. Сила електричного струму зростає від 10А до 40 А. Далі

спрацьовує слідкуюча система, що розводить електроди. В цей самий момент починають формуватися нарости на електродах. Матеріалом наростів ні є металеві продукти ерозії. Нарости формуються електричним полем із пилоподібних часток, що є у великій кількості в забрудненій органічній рідині (рис. 12). Це продукти розкладу органічної рідини та трансформації графіту під дією електричної дуги.



а – рідина після експерименту; б – відстій один тиждень; в – відстій два тижня; г – відстій три тижня; д – відстій чотири тижня

Рисунок 12 – Забруднена органічна робоча рідина в залежності від ступеню відстою



Частки, що електролізуються в електричному полі біля катода, притягуються катодом, а частки, що електролізуються в електричному полі біля анода, притягуються анодом. Притягання не зарядженого тіла із діелектрика до зарядженого тіла, як відомо [6], пояснюється тим, що в електричному полі відбувається *поляризація діелектрика*, тобто зміщення в протилежні боки різнойменних зв'язаних зарядів, що входять у склад атомів та молекул речовини. Таким чином, частки в умовах експерименту набувають наступних властивостей: проводять струм малої сили, утворюють разом з електродами електричне поле та притягують із рідини інші частки. Електроди безперервно повільно розводяться, але електричний контакт між ними не обривається (рис. 13).

а – загальна схема явища; б – схема поляризації наростів

Рисунок 13 – До фізичного механізму утворення на аноді та на катоді бурулькоподібних наростів при реалізації процесу електродугового різання дровими електродами-інструментами

Даний факт підтверджується тим, що слідкуюча система відводить шпиндель верстата вгору, тобто так, як при короткому замиканню. Електричний контакт між електродами при їх розведенні можливий тільки тоді, коли швидкість зростання наростів за висотою буде дорівнювати швидкості переміщення шпинделя верстата вгору. Але, яким чином частки з'єднуються між собою, утворюючи «бурульки»? Слід припустити, що в контактній зоні (між наростами) спостерігається великий електричний опір, а, отже під дією електричного струму виділяється багато тепла. Контактні поверхні нагріваються, розплавляються та випаровуються. Розплавлені частки розбризкуються, осаджуються на раніш утвореній «бурульки» та приварюються до неї. При цьому, частка, що заряджена негативно, рухається до анода, а частка, що заряджена позитивно – до катода.

Слід відмітити, що наріст проявляє властивості напівпровідника. Так, перебуваючи в електричному полі, в ньому спостерігається струм провідності. Виявлений ефект може бути застосований при розробки нових 3D-технологій для «виросування» деталей.

Таким, власне, представляється фізичний механізм даного явища.

Висновки. Запропонована нова технологічна схема формоутворення різі при електродуговому різанні металів дровими електродами-інструментами з використанням зворотного прокачування органічного середовища, яка забезпечує при задовільній ширині різі наступні переваги: підвищення продуктивності різання шляхом повного використання електричної енергії, що підводиться до електродів;

підвищення точності різання за рахунок формування бічного міжелектродного зазору без утворення похилої поверхні різі; підвищення якості різання шляхом ведення процесу без утворення довгих (нетиснутих) дуг в бічному міжелектродному зазорі; ведення процесу без руйнування дугою стінок електродотримача. Отримано математичні моделі технологічних характеристик, що визначають продуктивність, точність та якість електродугового різання металів і дозволяють керувати ними та прогнозувати їх. Виявлено та описано фізичний механізм явища утворення на аноді та катоді бурулькоподібних наростів.

Список літератури

1. Носуленко В. И. Размерная обработка металлов электрической дугой [Текст] / В. И. Носуленко, Н. Г. Мещеряков // Электронная обработка материалов. – 1981. – № 1. – С. 19-23.
2. Боков В. М. Розмірне формоутворення поверхонь електричною дугою [Текст] / Віктор Боков – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий центр ТОВ «Імекс-ЛТД», 2002. – 300 с.
3. Спосіб різання металів електричною дугою [Текст]: пат. 102343 Україна: МПК В 23 К 9/00 / Боков В. М.; заявник та патентовласник Боков В. М.. – № u201504022; заявл. 27.04.15; опубл. 26.10.15, Бюл. № 20. – 6 с.
4. Боков В. М. Електродугове різання металів бідровим електродом-інструментом [Текст] / В. М. Боков // 36. наук. праць КНТУ. Техніка в с/г виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – 2017. – Вип. 30. – С.44-57.
5. Боков В. М. Розмірна обробка електричною дугою кувальних штампів [Текст] : монографія / В. М. Боков. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий центр ТОВ «Імекс – ЛТД», 2012. – 178 с.
6. Габардин О. Ф. Физика. Справочные материалы: учеб. пособие [Текст] / О. Ф. Габардин. – 3-е изд. – М.: Просвещение, 1991. – 367 с.

Referencis

1. Nosulenko, V. I. & Meshherjakov, N. G. (1981). Razmernaja obrabotka metallov jelektricheskoy dugoju [Dimensional processing of metals by electric arc]. *Jelektronnaja obrabotka materialov – Elektronnaya obrabotka materialov*, 1, 19-23.
2. Bokov, V.M. (2002). Rozmirne formoutvorennia poverkhon' elektrychnoiu duhoiu [Dimensional shaping of surfaces by electric arc]. Kirovohrad: Polihrafichno-vydavnychyj tsentr TOV «Imeks-LTD».
3. Sposib rizannia metaliv elektrychnoiu duhoiu [Method of cutting metals by an electric arc]: pat. 102343 Ukraina: MPK V 23 K 9/00 / Bokov V. M.; zaiavnyk ta patentovlasnyk Bokov V. M.. – № u201504022; zaiavl. 27.04.15; opubl. 26.10.15, Biul. № 20. – 6 s.
4. Bokov, V.M. (2017). Elektroduhove rizannia metaliv bidrotovym elektrodom-instrumentom [Electric arc metal cutting with by-wire electrode-tool]. *Zb. nauk. prats' KNTU. Tekhnika v s/h vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia – Collected works of KNTU. Machinery in agricultural production, industry machine building, automation, Vol. 30*, 44-57.
5. Bokov, V. M. (2012). Rozmirna obrobka elektrychnoiu duhoiu kuval'nykh shtampiv [Dimensional machining with an electric arc of forging dies], Kirovohrad: Polihrafichno-vydavnychyj tsentr TOV «Imeks – LTD».
6. Gabardin, O. F. (1991). *Physics. Reference materials* (3d ed.). Moscow: Prosveshhenie.

Viktor Bokov, Prof., PhD Tech. Sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Increase of Efficiency of Electric Arc Cutting with a Bipolar Electrode Tool

Modern engineering applies electrical, physical and chemical methods for cutting hard-to-treat materials. In most cases it is the process productivity that determines the choice of a cutting method. We know the technological shaping scheme for electric arc cutting which compensates the electric erosion wear of the electrode tool due to the parallel pulling of two electrode tools (that is, a bipolar electrode tool) with the direct pumping of process water through the front inter-electrode gap clearance. However, the direct pumping creates conditions for the concentration of torsion products in the lateral gap clearance. As a result, long arcs appear which, on the one hand, form an inclined cutting surface and increase cutting time, and, on the other hand, they destroy the electrode holders. Besides, technical water, as the process water, partially conducts electric current. Due to this part of power linked up with the electrode is not effectively used/

The objective of the work is to increase the efficiency of electric arc cutting with a bipolar electrode tool by applying reverse pumping of the organic medium.

We know the technological scheme for shaping which compensates the wear of the bipolar electrode tool due to its pulling in the cutting zone, in which the direct pumping of process water is used. However, the application of this technology creates conditions for the concentration of erosion in the lateral inter-electrode gap clearance. As a result, long arcs appear that form an inclined cutting surface and destroy the electrode holders. And the leakage of current (through water) reduces the cutting performance.

The work suggests a new technological shaping scheme for the electric arc cutting by a bipolar electrode tool which uses reverse pumping and organic medium. The new scheme allowed eliminating the above-mentioned disadvantages of the known scheme. Experimental research was carried out and mathematical models of technological characteristics which allow managing and predicting productivity, accuracy and quality of electric arc cutting have been obtained.

Thus, a high-performance method of electric arc cutting of metals by a bipolar electrode tool has been studied and improved by using reverse pumping of the organic medium.

electric arc, hydrodynamic mode, bipolar electrode tool, technological shaping scheme

Одержано (Received) 23.03.2018

УДК 631.3:001

С. М. Герук, доц., канд. техн. наук, ст. наук. співр.

*ННЦ «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»,
Житомирський агротехнічний коледж, м. Житомир, Україна*

E-mail: mega_sgeruk@ukr.net

О.М. Сукманюк, доц., канд. іст. наук

Житомирський національний агроекологічний університет, м. Житомир, Україна

E-mail: mega_sgeruk@ukr.net

Особенности развития автоматизации сваривания и наплавивания з использованием промислових роботов

Робота присвячена складному і актуальному питанню розвитку одного з напрямків процесу відновлення деталей машин звариванням і наплавиванням з використанням промислових роботов.

У статті висвітлені та проаналізовані досягнення світових фірм, що займаються розробкою і впровадженням робототехнічних комплексів та технологічних операцій відновлення деталей машин звариванням і наплавиванням.

історія, промислові роботи, зваривання, наплавивання, відновлення

С. М. Герук, доц., канд. техн. наук, ст. наук. сотр.

*ННЦ «Інститут механізації и електрифікації сільського хозяйства», Житомирський
агротехнічний коледж, г. Житомир, Україна*

А.Н. Сукманюк, доц., канд. іст. наук

Житомирський національний агроекологічний університет, г. Житомир, Україна

Особенности развития автоматизации сварки и наплавки с использованием промышленных роботов

Робота посвящена сложному и актуальному вопросу развития одного из направлений процесса восстановления деталей машин сваркой и наплавкой с использованием промышленных роботов.

В статье освещены и проанализированы достижения мировых фирм, занимающихся разработкой и внедрением робототехнических комплексов и технологических операций восстановления деталей машин сваркой и наплавкой.

история, промышленные роботы, сварка, наплавка, восстановление

© С. М. Герук, О.М. Сукманюк, 2018

Постановка проблеми. В умовах сьогодення, коли для інтенсивного розвитку виробництва, науки і техніки постала необхідність збереження та економії сировинних і енергетичних ресурсів, провідну роль у досягненні високої якості та експлуатаційної надійності машин і зменшення їхньої вартості набувають процеси якісного відновлення зношених деталей машин, зокрема зварюванням і наплавленням, яке набуло широкого застосування у світі.

Для подальшого технічного прогресу застосування роботизованої техніки стало абсолютно необхідним, оскільки досягти реального результату екстенсивним методами, тобто ручною працею, стало вже неможливим. Крім того, існують технологічні процеси, де зварювальне середовище і продукти зварювання можуть завдати прямої шкоди здоров'ю зварювальника і виконуються в ізольованому робочому просторі.

Постійне підвищення вартості енергоносіїв та матеріалів, які використовуються у процесі відновлення деталей за допомогою електричної дуги, поставило перед дослідниками, науковцями і виробниками завдання щодо можливості створення ефективніших способів відновлення деталей з використанням промислових роботів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як свідчать дослідження, в літературних джерелах недостатньо висвітлено розвиток роботів для відновлення деталей машин зварюванням і наплавленням, тому виникла об'єктивна необхідність більш широкого висвітлення етапів даного розвитку.

Постановка завдання. Метою даного дослідження є висвітлення діяльності фірм-розробників роботів для відновлення деталей машин зварюванням та наплавленням.

Основним завданням даної роботи стала спроба розглянути розвиток роботів в історії науки електродугового зварювання і наплавлення.

Об'єкт статті – історія розвитку роботів для відновлення деталей сільськогосподарських машин зварюванням і наплавленням, а предметом – виступають наукові здобутки винахідників.

Методологічною основою дослідження є загальні принципи об'єктивності, історизму, які передбачають об'єктивний опис і аналіз подій на основі науково-критичного використання різноманітних джерел.

Виклад основного матеріалу. Переваги використання робототехніки:

- підвищення точності виконання технологічних операцій й, як наслідок, поліпшення якості продукції;
- можливість використання технологічного встаткування в три зміни, 365 днів у році;
- раціональність використання виробничих приміщень;
- виключення впливу людського фактора на потокових виробництвах, а також при проведенні монотонних робіт, що вимагають високої точності;
- виключення впливу шкідливих факторів на персонал на виробництвах з підвищеною небезпекою;
- досить швидка окупність.

На світовому ринку робототехніки зараз лідирують Японія і Німеччина - ці країни виробляють більше половини всієї роботизованої продукції в світі.

В середині 70-х років XX ст. одним із напрямків розвитку автоматизації зварювання і наплавлення у світі стало використання промислових роботів, для яких, на відміну від інших засобів автоматизації виробництва, є характерною можливість переналаштування з одного типу виробу на інший шляхом зміни програми. Поштовхом

для розвитку цього напрямку стала проведена в місті Ессен (Німеччина) в 1981 році виставка-ярмарок досягнень в сфері роботизації процесу зварювання.

Однією з перших країн, які стали на шлях роботизації процесу зварювання, була Японія, де виготовленням та впровадженням у виробництво роботів займалися такі фірми як «ShinMaywa» (рис. 1), «Osaka Transformer» (рис. 2), «HITACHI» (рис. 3), «YASKAWA» – «MOTOMAN-L10» і «MOTOMAN-L3» (рис. 4) [1].

Промислові роботи Panasonic застосовуються для зварювання у середовищі активних (CO_2 та MAG) та інертних газів (MIG) плавким електродом, а також неплавким електродом у середовищі інертних газів (TIG). Зварювальний робот складається з маніпулятора, контролера, зварювального джерела живлення (з відповідним пальником та механізмом подавання дроту), а також додаткових пристроїв переміщення та позиціонування (т.з. "зовнішні осі"). Зважаючи на наявність двох різних типів контролерів, розрізняють дві серії роботів: G2 та TAWERS.

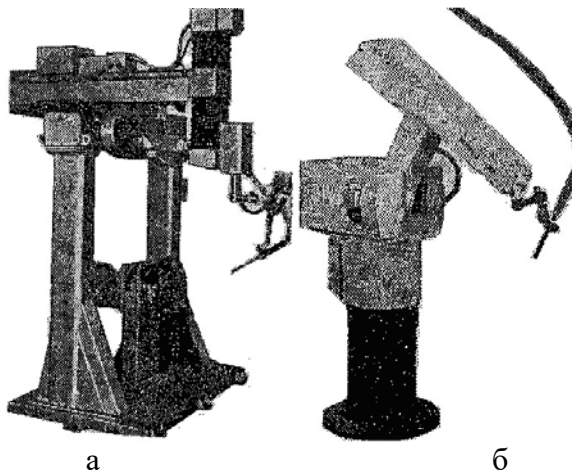


Рисунок 1 – Роботи для зварювання фірми «Шин-Мейва» (Японія): а – PW752; б – RJ65

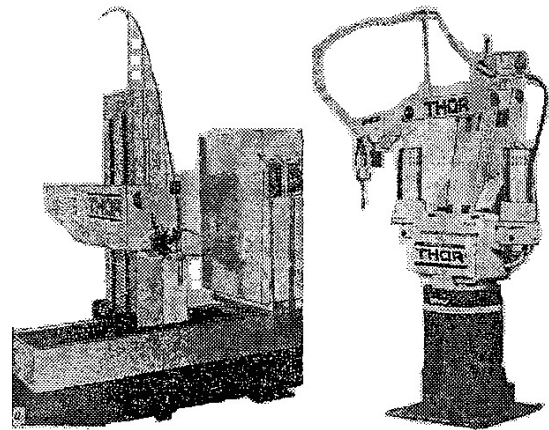


Рисунок 2 – Роботи для зварювання фірми «Осака трансформер» (Японія)

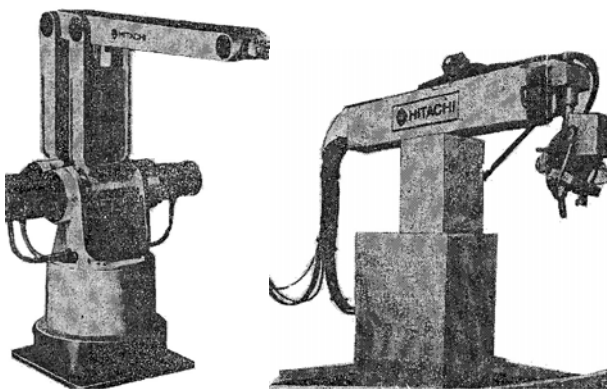


Рисунок 3 – Роботи фірми «Хітачі» (Японія)

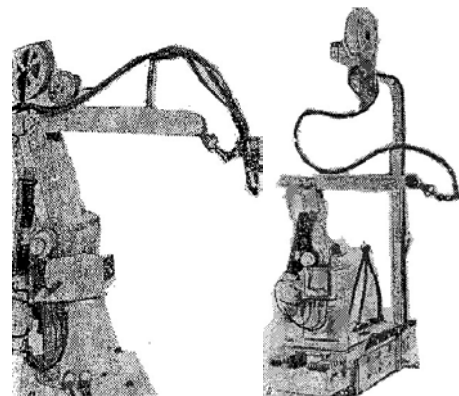


Рисунок 4 – Роботи «Мотоман -L10» і «Мотоман-L3» фірми «Яскава» (Японія)

Проблемами розробки та виготовлення, а також впровадження у виробництво роботів для зварювання займалися ряд фірм Німеччини «Німак» (рис. 5), «Фольксфакен», «Клоос» (рис. 6), «КУКА» (рис. 7), «А.Бинцель», «МессерГрисхайм»; США «Юнімейшен», «Цинциннаті-Мілакрон»; Австрії «ІГМ»; Франції «Рено», «Сіакі»; Швеції «АСЕА», «ЕСАБ», «Торстекнік»; Італії «Бісіач і Карру» (рис. 8); Великобританія «Філіпс» [2, С. 45 – 58].

Роботизація того часу була спрямована в основному на зварювальне виробництво, однак вищеперераховані фірми приділяли увагу й розвитку робототехнічних комплексів, які використовувались для відновлення (зварювання та наплавлення) деталей машин.

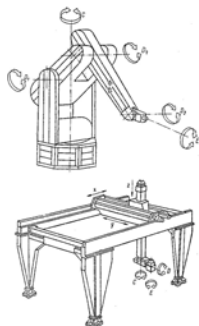


Рисунок 5 – Зварювальний робот фірми «Німак» (Німеччина)

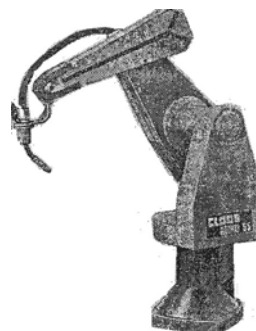
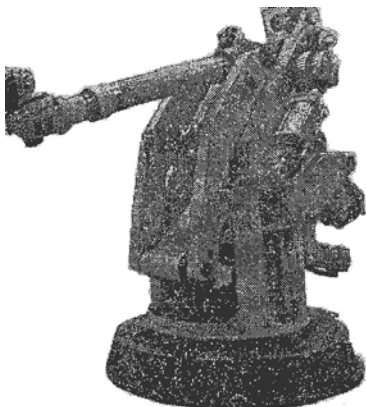
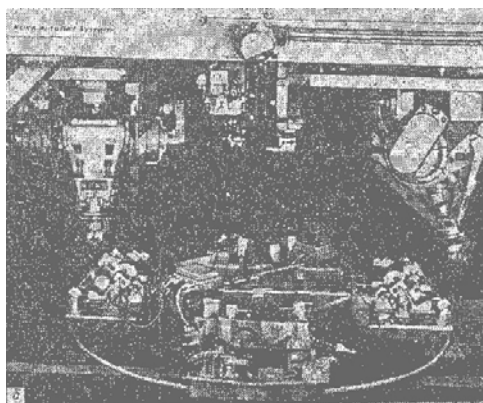


Рисунок 6 – Зварювальний робот «Ромат 55» фірми «Клоос» (Німеччина)

Однією з наукових установ, що займалися розробкою нових технологій відновлення типу «вал», заснованої на нанесенні мінімального шару додаткового матеріалу, був Центральний інститут зварювання (ZIS) в німецькому місті Галлі. Для цього був створений спеціальний робот, за допомогою якого відновлювались різноманітні деталі, що забезпечувало значне скорочення витрат цінного наплавляемого металу та енергії [3, 4].



а



б

а – IR 601/60 – для зварювання кліщами; б – робототехнічний комплекс, який включає в себе два роботи IR 250/500 та чотирьохпозиційний стіл зі складально-зварювальними пристосуваннями

Рисунок 7 – Роботи для контактного точкового зварювання фірм «КУКА» (Німеччина)

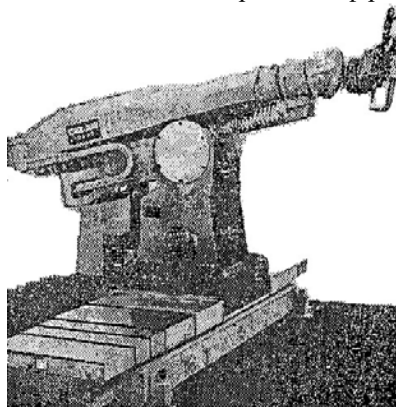


Рисунок 8 – Робот «Джоллі 80» фірми «Бісіач і Карру» (Італія) для контактного точкового зварювання

Цей робот забезпечував наплавлення за п'ятьма програмами: одношарову по всій довжині деталі при поступальній подачі; двошарову при зворотно-поступальній подачі; одношарову посадочних місць на валу при поступальній подачі та швидкому переході через місця, які непотрібно наплавляти; двошарову при зворотно-поступальній подачі та швидкому переході через не наплавляємі поверхні; шліців валів та зубів шестерень шляхом виключення подачі при наплавленні по гвинтовій лінії.

В кінці 80-х років XX ст. на ремонтних підприємствах Чехословаччини для відновлення дисків копачів бурякозбиральних комбайнів та дискових борін БДТ-7,0 застосовувався метод заміни зношених частин деталей за допомогою напівавтоматичного зварювання в середовищі вуглекислого газу [5, С. 215-216] з попереднім нагрівом до температури 350 – 400°C.

Німецькою фірмою «Rege-Motortechnik GmbH», яка спеціалізується на виготовленні обладнання для відновлення колінчастих валів, розроблено технологію та установку для наплавки шийок колінчастих валів [6], які використовувались в МТС Мимонь (Чехословаччина). Процес відновлення проводився наплавкою під шаром флюсу з попереднім підігрівом валу до 250°C.

Характерною рисою організації ремонтного виробництва в США, Канаді, Німеччині, Англії, Японії та інших країнах є фірмовий метод ремонту [7]. Обсяг ремонтних робіт в зарубіжних країнах постійно зростає. В США наприкінці 80-х років витрати на ремонт виросли з 0,25-0,30 долара на 1 долар вартості техніки до 0,6 долара на 1 долар вартості техніки [8]. При витраченні одного долара на ремонт або ТО забезпечується прибуток в 2 рази більш ніж при виготовленні нової машини.

У США, Канаді, Японії та інших країнах мережа підприємств агросервісного обслуговування створюється, приблизно, за однаковою схемою: фірма-виробник, генеральний агент, дилер, споживач. Сільськогосподарську техніку ремонтують на дилерських пунктах і в невеликих майстернях у сільській місцевості і безпосередньо на фермах.

Чітко відпрацьовані господарсько-договірні відносини при ремонті в розвинутих країнах забезпечували високий рівень організації і якості цих робіт, а також гарантію надійності відновленої деталі. Відновлювали, у першу чергу блоки та головки блоків двигунів, гільзи циліндрів, колінчаті та розподільні вали, шатуни, гальмівні барабани, маховики та деякі інші дорогі деталі. Ремонтною базою є моторо- та агрегаторемонтні підприємства фірм-виробників нових машин, самостійних фірм-посередників, а також невеликі спеціалізовані підприємства.

На підприємстві Лондонського транспортного управління англійської фірми «Engine Rebuilders» [8] перед відновленням деталі розподіляються в залежності від характеру дефектів на сім маршрутів, де їх об'єднують в партії оптимального об'єму.

Відновлення деталей на великих підприємствах здійснюється поточним методом. Прикладом цього в Німеччині є три спеціалізовані підприємства з перешліфовки шийок колінчастих валів двигунів. На підприємстві англійської фірми «AnglandWilliams» спеціалізуються на відновленні зварюванням блоків циліндрів та інших корпусних деталей.

Широке розповсюдження підприємства, що спеціалізуються на відновленні деталей, отримали також в США. Застосування високопродуктивного обладнання та оптимальна організація контролю забезпечує високу якість та низьку вартість відновлення деталей. Крім блоків циліндрів та колінчастих валів, підприємства можуть ремонтувати деталі паливної апаратури (американська фірма «Lawless») чи рами вантажних автомобілів (канадські фірми «Equipment GervaisInc» і «Paling Collision»). Спеціалізація також здійснюється і в середині підприємств, тобто на рівні цехів та виробничих дільниць. Прикладом цього є фірма «PalingCollision», яка має два

підприємства, персонал яких складає більше 150 осіб. Окрім рам, за допомогою роботів «Аппрентіс» фірми «Юнімейшин» (США) (рис. 9) підприємство відновлює також кабіни вантажних автомобілів, проводять ремонт причепів та напівпричепів.

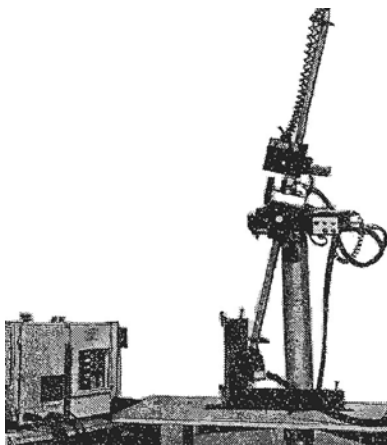


Рисунок 9 – Робот моделі SRV6,SRV6LiSRV16 фірми «REIS-ROBOTICS»

Щорічно проводячи виставки в Ессені (Німеччина) зварювальна промисловість знайомить з новими світовими досягненнями в галузі технологій і обладнання для зварювального виробництва. Так, у вересні 2001 р. були представлені експонати, що дозволяють проводити аналіз технологічних рішень і оцінювати рівень розвитку створених засобів робототехніки, а також нові тенденції в їх застосуванні [9].

За останні роки значно збільшилась вантажопідйомність промислових роботів, в даний час для деяких моделей роботів вона досягає 400 кг. Це суттєво розширило галузь їхнього використання, підвищувалась точність позиціонування робочих органів, яка в деяких моделей досягала 0,02-0,03 мм і не перевищувала 0,5 мм для моделей великої вантажопідйомності.

За рахунок ускладнення алгоритмів обробки інформації розширились і функціональні можливості роботів. Фірма «REIS-ROBOTICS» (рис. 10) навела основні стандартні функції пристроїв керування промислових роботів для дугового зварювання. До них відносяться автоматичне програмування, корекція можливих помилок, автоматичне управління роботами за шести степенями рухливості, запалення дуги, регулювання параметрів, обробка і раціональний вибір холостих ходів переміщення робочого інструмента [9, С. 34-35].

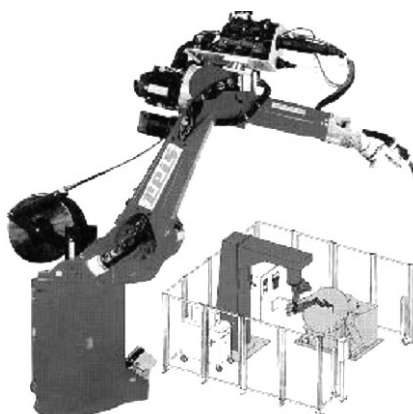


Рисунок 10 – Робот моделі SRV6,SRV6LiSRV16 фірми «REIS-ROBOTICS»

Розробка робототехнічних комплексів в Україні здійснюється відділом автоматизованих систем управління технологічними процесами Інституту

електрозварювання ім. Є.О. Патона. Співробітниками даного відділу для підприємства «Північна зірка» (м. Черкаси) було розроблено в 2008 р. робот PANUK для зварювання вузлів сівалки.

На замовлення одного з найстаріших українських підприємств з випуску сільгоспмашин ВАТ «Червона зірка» (м.Кіровоград) фірма «НАВКО-ТЕХ» виготовила і запустила у виробництво роботизований комплекс РК755 для МИГ-зварювання малогабаритних виробів типу «повідець». Як промисловий робот застосований робот АМ-100iBe з пристроєм управління R-J3iB Mate виробництва фірми FANUC Robotics.

Ринок робототехніки постійно зростає протягом багатьох років. Промислові роботи є невід'ємною частиною сучасних виробничих потужностей у всьому світі і становлять основу для точності, постійного якості та високої продуктивності. При впровадженні роботів в зварювальне виробництво найвищі вимоги пред'являються до механічних, хімічних і теплових властивостей. Продукти повинні витримувати сильне прискорення і уповільнення, навантаження, а також мільйони циклів вигину, крутіння та ін. До цього додаються стійкість до високих температур і зварювальних бризок.

Висновок. Отже, впровадження і використання роботів для зварювання і наплавлення при відновленні деталей машин дозволить по новому, більш високому науково-технічному рівні вирішити задачу створення комплексної автоматизації на підприємствах, переглянути функції між людиною і машиною, суттєво підвищить продуктивність праці.

Застосування промислових роботів і робототехнічних комплексів забезпечить стабільно високу якість продукції, а також можливість мобільного переналаштування виробництва.

Список літератури

1. Сукманюк О.М. Еволюція наукових поглядів на відновлення деталей сільськогосподарських машин зварюванням і наплавленням [Текст]: автореф. дис. ... канд. істор. наук: спец. 07.00.07 «Історія науки і техніки» / О.М. Сукманюк. К., 2010. – 16 с.
2. Никитин В.П. Метод сварки металлов с раздельными процессами плавления [Текст] / В.П. Никитин // Докл. АН СССР. 1947. – Т. LVI, №5. – С. 45-58.
3. Восстановление деталей типа «вал» наплавкой тонкого слоя с помощью робота = Automatisches Regenerieren Rotations-symmetrischer Bauteile mit geringer Schichtdicke // KFT. 1984. – № 1. – С. 30–31.
4. Восстановление ротационно-асимметричных деталей наплавкой тонких слоёв металла с помощью робота = Automatisches Regenerieren rotation symmetrischer Bauteile mit geringer Schichtdicke // Agrartechnik. – 1985. – № 11. – С. 500–501.
5. Современное оборудование и технологические процессы для восстановления изношенных деталей машин (Ремдеталь-83): тез. докл. на науч.-техн. конф. стран-членов СЭВ и СФРЮ, г. Киев, 17-22 мая, 1983 г. / Госкомсельхозтехника СССР. ЦНТИИТЭИ. М., 1983. – Ч. 1. – 224 с.
6. Установка для наплавки шеек коленчатых валов: проспект / «Rege-Motortechnik GmbH». Б. г. – 8 с.
7. Масин М.А. Организация восстановления автомобильных деталей [Текст] / М.А. Масин. – М.: Транспорт, 1981. – 176 с.
8. Воскобойников И.В. Техническое обслуживание и ремонт машин за рубежом: обзор. информ. [Текст] / И.В. Воскобойников, А.Г. Яловенко; Минлес-бумпром СССР. ВНИПИЭ Илеспром. – М., 1985. – 58 с.
9. Колясинский З.С. Восстановление деталей автомобильных двигателей за рубежом [Текст] / З.С. Колясинский, Н.А. Болтышев // Организация работы автомобильного транспорта за рубежом: экспресс-информ // ЦБНТИ Минавтогтранса РСФСР. – 1982. – Вып. 6. – С. 12–21.
10. Стесин Б.В. Робототехника в сварочном производстве [Текст] / Б. В. Стесин, А. И. Бондаренко // Сварщик. – 2002. – №3 (25). – С. 34 – 35.

Referencis

1. Sukmaniuk, O.M. (2010). Evoliutsiia naukovykh pohliadiv na vidnovlennia detalej sil's'kohospodars'kykh mashyn zvaryuvanniam i naplavlenniam [The evolution of scientific views over the renovation of

- particulars of agricultural machines by welding and melting]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kyiv.
2. Nikitin, V.P. (1947). Metod svarki metallov s razdel'nymi processami plavlenija [Method of welding metals with separate melting processes]. *Abstracts of Papers, Vol. LVI, 5*, 45-58.
 3. *Restoration of details like "shaft" by surfacing a thin layer with the help of a robot*. (1984). KFT, 1, 30-31.
 4. *Restoration of rotary-asymmetric parts by welding of thin layers of metal using a robot*. (1985). *Agrartechnik, 11*, 500-501.
 5. Sovremennoe oborudovanie i tehnologicheskie processy dlja vosstanovlenija iznoshennykh detalej mashin [Modern equipment and technological processes for the restoration of worn machine parts]. Remdetal '83 : Nauchno-tehnicheskai konferenciia stran-chlenov SJeV i SFRJu g. Kiev (17-22 maja 1983 hoda) – Scientific and Technical Conference of the member countries of the CMEA and the SFRY, Kiev (Vol. 1, 224 p), Moscow: Goskomsel'hoztehnika SSSR. CNTIITJeI.
 6. *Installation for surfacing necks crankshafts*. «Rege-Motorteknik GmbH».
 7. Masin, M.A. (1981). *Organizacija vosstanovlenija avtomobil'nyh detalej* [Organization restoration of automobile parts]. Moscow: Transport.
 8. Voskoboynikov, I.V. & Jalovenko, A.G. (1985). *Tehnicheskoe obsluzhivanie i remont mashin za rubezhom: obzor.inform* [Maintenance and repair of machinery abroad]. Minles-bumprom SSSR. VNIPIJellesprom. Moscow.
 9. Koljasinskij, Z.S. & Boltyshev, N.A. (1982). Vosstanovlenie detalej avtomobil'nyh dvigatelej za rubezhom [Restoration parts of automobile engines abroad]. *Organizacija raboty avtomobil'nogo transporta za rubezhom: jekspress-inform* – Organization the work of motor transport abroad: express-inform, 6, 12-21.
 10. Stesin, B.V. & Bondarenko, A. I. (2002). Robototekhnika v svarochnom proizvodstve [Robotics in welding production]. *Svarshhik – Welder, 3* (25), 34-35.

Snanslav Geruk, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Senior Researcher

NSC "Institute of Mechanization and Electrification of Agricultural" NAAS of Ukraine, Zhytomyr Agrotechnical College, Zhytomyr, Ukraine

Olena Sukmaniuk, Assoc. Prof., PhD hist. sci.

Zhytomyr National Agroecological University, Zhytomyr, Ukraine

Development features of welding and surfacing automation with industrial robots usage

This research purpose is to highlight the activities of robots and robotic systems manufacturers for parts of machines repair by welding and surfacing.

The paper highlights development of welding and surfacing automation with industrial robots usage, which dates back to the mid-70's of the twentieth century. The article deals with robots and robotic systems models that were developed and implemented in the production by the world leading countries firms, which produce more than a half of all robotized products in the world: Japan, Germany, USA, etc.

Industrial robots are used for welding in active and inert gas with the consumable electrode and TIG electrodes in inert gas, this generates a significant amount of pollutants that adversely affect the staff.

Thanks to special robots, a significant reduction of valuable surfacing metal and energy cost was reached, the sharpness of technological operations was increased and, consequently, the product quality was improved.

The article indicates the scientific institutions - the Central Institute of Welding (ZIS) in the German city of Galli and the Institute of Electric Welding named after Y. O.Paton (Ukraine), that worked with the development of the machine parts repair new technologies, based on the additional material minimum layer application.

Particular attention is paid to the firm "REIS-ROBOTICS" work, which developed the control devices for industrial robots basic standard functions for arc welding. These include automatic programming, the possible errors correction, robots automatic control in six degrees of freedom, the arc inflammation, the parameters adjustment, processing and rational choice of the working tool moving idle movements.

The introduction and robots usage for welding and surfacing while the machine parts repair will allow to solve the creating complex automation problem on the new and higher scientific and technical level at enterprises, to reconsider the functions between a person and a machine, will significantly increase productivity. The industrial robots and robotic systems usage will ensure a product stable high quality, as well as the production mobile reconfiguration possibility.

history of development, industrial robots, welding, surfacing, repairing

Одержано (Received) 05.11.2017

УДК 621.74

В.М. Ломакін, доц., канд. техн. наук, В.В. Клименко, проф., д-р техн. наук, В.В. Пукалов, доц., канд. техн. наук, О.В. Кузик, канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

E-mail: vik284333@gmail.com

В.І. Дубодєлов, проф., д-р техн. наук, М.С. Горюк, канд. техн. наук, ст. наук. співр.

Фізико-технологічний інститут металів і сплавів НАН України, м. Київ, Україна

Дослідження процесу затвердіння та прогнозування структури литих чавунних молотків

Розглядається використання методу скінченних елементів для чисельного розрахунку процесу затвердіння виливків молотків тіл циліндричної і сферичної форми в кокилі в залежності від хімічного складу сплаву та для прогнозування співвідношення між кількістю ледебуриту, що визначає зносостійкість молотків тіл, та кількістю аустеніто-графітної евтектики

цільпебс, лита куля, легований чавун, хром, кокиль, затвердіння, структура, моделювання

В.Н. Ломакин, доц., канд. техн. наук, В.В. Клименко, проф., д-р техн. наук, В.В. Пукалов, доц., канд. техн. наук, А.В. Кузык, канд. техн. наук

Центральноукраинский национальный технический университет, г. Кропивницкий, Украина

В.И. Дубодєлов, проф., д-р техн. наук, М.С. Горюк, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев, Украина

Исследование процесса затвердевания и прогнозирование структуры литых чугуновых молотков

Рассматривается использование метода конечных элементов для численного расчета процесса затвердевания отливок молотков тел цилиндрической и сферической формы в кокиле в зависимости от химического состава сплава и для прогнозирования соотношения между количеством ледебурита, что определяет износостойкость молотков тел, и количеством аустенито-графитной евтектики

цільпебс, литой шар, легированный чугун, хром, кокиль, затвердевание, структура, моделирование

Постановка проблеми. Молоткові тіла (МТ), що складають, по деяким оцінкам, до 3% від усього обсягу світового виробництва металопродукції, піддаються багаторазовим ударним навантаженням і активному абразивному зносу. Тому, до матеріалу МТ пред'являються дві взаємовиключних вимоги. Він має характеризуватися високою твердістю (50...60 HRC), оскільки стикається з високоміцною породою, а з іншого боку – в'язкістю, яка, здебільшого, визначає ударостійкість МТ.

Виробництво сталевих МТ, що включає їх пластичну деформацію, очевидно, малоперспективно з огляду структури, яку можна отримати в сталях. Низьковуглецеві сталі – добре деформуємі сплави, але ці сталі практично не загартовуються на мартенсит. Для МТ з такого матеріалу характерна висока ударостійкість, але низька зносостійкість. Високівуглецеві леговані сталі можна досить легко загартувати на мартенсит, але вони важко деформуються. Досить широке використання сталевих МТ, незважаючи на їх низькі експлуатаційні властивості, обумовлено кон'юнктурою ринку і відносно низькою вартістю на них [1].

Зносостійкість білих чавунів в 2-5 разів вище, ніж сталей через значний вміст в структурі цементиту і спеціальних карбідів. Однак, МТ зі звичайних білих чавунів не відповідають вимогам по ударостійкості. Підвищення цієї важливої експлуатаційної властивості, при збереженні зносостійкості, досягають високим легуванням чавунів хромом, до 30%, що різко підвищує собівартість продукції.

Таким чином, розробка відносно дешевого, зносостійкого та ударостійкого матеріалу для МТ є проблемним питанням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Згідно з останніми дослідженнями МТ із високохромистого білого чавуну економні тільки при твердості подрібнюваного мінералу не більше 6 по Моосу (приблизно HV 470). Саме тому МТ і футеровки млинів із такого матеріалу широко застосовуються в цементній промисловості. Для підвищення в'язкості високохромитого чавуну необхідно проводити термообробку МТ. Ця обставина, а також дорожнеча і дефіцитність легуючих елементів змусили відмовитися від такого матеріалу на користь низьколегованого білого чавуну.

По впливу основних компонентів такого сплаву на властивості МТ можна зазначити таку коротку характеристику:

- вуглець збільшує ударостійкість, твердість і зносостійкість МТ; підвищує схильність до графітизації і до отримання структури половинчастого чавуну МТ, зменшуючи їх схильність до відбілу; збільшує вміст ледеburиту і зменшує кількість перліту в мікроструктурі;
- кремній збільшує ударостійкість, але знижує твердість і зносостійкість МТ; різко підвищує схильність до графітизації і отримання структури половинчастого чавуну, зменшуючи схильність до відбілу; знижує вміст ледеburиту і збільшує вміст перліту в мікроструктурі;
- марганець різко збільшує твердість і зносостійкість МТ. Знижує схильність до графітизації і отримання структури половинчастого чавуну.

Саме на підставі зазначеного для дослідження було прийнято експериментальний, половинчастий чавун (3-3.9% С, 2.8-4% Si, 0.6-1.2% Mn; до 0.03% Р, до 0.02% S) з порівняно високим вмістом кремнію для графітизації чавуну в центральній частині вилівка і підвищення ударостійкості МТ. Разом з цим для утворення карбідної фази і забезпечення зносостійкості МТ запропоновано додавати хром у кількості 0,8-1,0%.

Постановка завдання. Найбільш простою і дешевою є технологія отримання структури половинчастого (або білого) чавуну – литтям в кокіль. Але при цьому внаслідок явно вираженого напрямку тепловідведення і високої швидкості охолодження розплаву зазвичай виникає транскристалізація МТ. Ця особливість різко знижує ударостійкість чавунних МТ. Зважаючи, що при зменшенні маси (і об'єму) МТ на половину розмелювальна властивість значною мірою втрачається, то задачею дослідження було розрахунок кінетики кристалізації і визначення раціонального режиму охолодження виливків МТ циліндричної (цильпечс) і сферичної (куля) форми в кокілі для забезпечення при кристалізації поверхневого зносостійкого вибіленого шару не більше третини розміру (або радіусу кулі) від поверхні тіла.

Виклад основного матеріалу. Основним процесом структуроутворення виливків МТ в кокілі є тепловий процес при кристалізації. Рівняння теплопровідності в циліндричній системі координат для тіла цильпечса має вигляд [2]:

$$c(T)\rho \frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda \left[\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right], \quad (1)$$

де r – радіус-вектор, м;

τ – час, с;

T – температура, град, функція r і τ ;

ρ – густина сплаву, кг/м³;

$c(T)$ – теплоємність сплаву, Дж/(кг·град);

λ – коефіцієнт теплопровідності сплаву, Вт/(м·град).

Граничні умови:

при $r=0$ – умова симетричного охолодження в центральній частині виливка

$$\frac{\partial T}{\partial r} = 0; \quad (2)$$

при $r = R_0$ (радіус циліндру) прийнято конвективну тепловіддачу з поверхні виливка

$$-\lambda \frac{\partial T_0}{\partial r} = \alpha [T_0 - T_c], \quad (3)$$

де T_0 – температура на поверхні тіла циліндру, град;

T_c – температура навколишнього середовища (ливарної форми), град;

α – коефіцієнт конвективної тепловіддачі, Вт/(м²·град);

Помноживши вирази (1) та (3) на варіацію температури δT , та інтегруючи, відповідно, по об'єму тіла V та його поверхні S після складання отримаємо:

$$\int_V \left[c(T) \rho \frac{\partial T}{\partial \tau} \delta T + \lambda \left(\frac{\partial T}{\partial r} \delta \frac{\partial T}{\partial r} \right) \right] \cdot r \cdot dr \cdot dz \cdot d\varphi + \int_S \alpha [T_0 - T_c] \delta T \cdot R_0 \cdot dz \cdot d\varphi = 0, \quad (4)$$

де $(r \cdot dr \cdot dz \cdot d\varphi) = dV$ – елементарний об'єм циліндру на відстані r від початку координат, м³;

$(R_0 \cdot dz \cdot d\varphi) = dS$ – елемент поверхні циліндру, м²;

dr – диференціал координати r , м;

dz – диференціал координати z (по довжині l циліндру), м;

$d\varphi$ – зміна кута, рад.

Якщо винести варіацію δ за знаки інтегралів в (4) отримаємо **варіаційне рівняння теплопровідності**:

$$\delta \int_V \left[c(T) \rho \frac{\partial T}{\partial \tau} T + \frac{\lambda}{2} \left(\frac{\partial T}{\partial r} \right)^2 \right] \cdot r \cdot dr \cdot dz \cdot d\varphi + \delta \int_S \alpha \left[\frac{T_0}{2} - T_c \right] T_0 \cdot R_0 \cdot dz \cdot d\varphi = 0. \quad (5)$$

І, остаточно, враховуючи симетрію температурного поля, та зважаючи, що температура циліндру не змінюється вздовж осі z :

$$\delta \left\{ 2\pi \cdot l \cdot \int_r \left[c(T) \rho \frac{\partial T}{\partial \tau} T + \frac{\lambda}{2} \left(\frac{\partial T}{\partial r} \right)^2 \right] \cdot r \cdot dr \right\} + \delta \left\{ 2\pi \cdot R_0 \cdot l \cdot \alpha \left[\frac{T_0}{2} - T_c \right] T_0 \right\} = 0, \quad (6)$$

де під знаком варіації маємо функціонал теплопровідності I для виливка циліндричної форми:

$$I = \pi \cdot l \int_r \left[2c(T) \rho \frac{\partial T}{\partial \tau} T + \lambda \left(\frac{\partial T}{\partial r} \right)^2 \right] \cdot r \cdot dr + \pi \cdot R_0 \cdot l \cdot \alpha [T_0 - 2T_c] T_0. \quad (7)$$

Таким чином, замість задачі (1), (2) і (3) ставиться еквівалентна задача пошуку мінімуму функціоналу I (7). Очевидно, такий пошук має здійснюватися у класі неперервних і двічі диференційованих функцій T . При цьому можна показати (рівняння Ейлера [3]), що функція T , при якій функціонал I приймає мінімальне значення, і є істинним розподілом температури в тілі циліндру та задовольняє рівнянню процесу (1):

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{\partial I}{\partial T'} \right) - \frac{\partial I}{\partial T} = 0. \quad (8)$$

Для МТ у вигляді сфери (кулі) рівняння процесу теплопровідності має вигляд [2]:

$$c(T) \rho \frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda \left[\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right]. \quad (9)$$

Для сукупності виразів (9), (2) та (3) аналогічним чином можна отримати функціонал теплопровідності для виливка сферичної форми:

$$I = \pi^2 \int_r \left[4c(T) \rho \frac{\partial T}{\partial \tau} T + 2\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial r} \right)^2 \right] \cdot r^2 \cdot dr + 2\pi^2 R_0^2 \alpha [T_0 - 2T_c] T_0, \quad (10)$$

де $(r^2 \cdot dr \cdot d\varphi \cdot d\theta) = dV$ – елементарний об'єм кулі на відстані r від початку координат, м^3 ;

R_0 – радіус кулі;

$(R_0^2 \cdot d\varphi \cdot d\theta) = dS$ – елемент поверхні кулі, м^2 ;

dr – диференціал координати r , м ;

$d\varphi$ – зміна кута, рад;

$d\theta$ – зміна кута, рад.

Процес кристалізації рідкого чавуну характерний наявністю фазових перетворень. Для розрахунку саме такого процесу для тіл циліндричної та сферичної форми в кокілі теплоємність матеріалу виливка $c(T)$ було замінено “згладженою” або ефективною спектральною (в інтервалі температур “ліквідус-слідус”) величиною $\bar{c}(T)$:

$$\bar{c}(T) = \begin{cases} c_p, T > T_L; \\ \frac{c_p + c_T}{2} + \frac{L}{T_L - T_S}, T_S < T < T_L, \\ c_T, T < T_S \end{cases} \quad (11)$$

де c_p – теплоємність рідкого чавуну, Дж/(кг·град);

c_T – теплоємність твердого чавуну, Дж/(кг·град);

L – питома теплота кристалізації, Дж/кг;

T_L – температура ліквідус, град;

T_S – температура солідус, град.

Як слідує з (11) вводиться лінійний розподіл теплоти фазового перетворення, що виділяється зі сплаву при кристалізації в двофазній твердо-рідкій частині виливка в інтервалі температур “ліквідус-слідус”. Криві зміни температур “ліквідус” та “слідус” на відповідній діаграмі стану замінюються прямими лініями. Хімічний склад чавуну враховували адитивно в теплофізичних константах.

Іншим важливим моментом було врахування термічного впливу стінки кокілю. Математичні формулювання теплових задач для тіл циліндричної (7), (11) і сферичної форми виливка (10), (11) ігнорують теплопередачу через стінку кокілю. Проте такий вплив враховували опосередковано, через величини T_c і α . В якості T_c прийнято середню за технологічний цикл температуру кокілю (згідно з промисловими випробуваннями). Коефіцієнт конвективної тепловіддачі від розплаву до ливарної форми, α , залежить від великої кількості чинників. Згідно з класичними роботами по теорії затвердіння [4], [5] його визначали як ефективний параметр:

$$\alpha = \frac{\lambda_\phi}{\varepsilon}, \quad (12)$$

де λ_ϕ – коефіцієнт теплопровідності кокільної вогнетривкої фарби, Вт/(м·град);

ε – товщина шару кокільної фарби, м.

Згідно з формалізованою постановкою задачі затвердіння МТ функціонали (7) та (10) мінімізували чисельним методом **скінченних елементів**. Для цього було розроблено алгоритм, блок-схему та програму чисельного розрахунку на персональному комп'ютері температурного поля та кінетики кристалізації виливків МТ в кокілі. Тіло виливків молоткових циліндру та кулі було розбито на скінченні елементи різної довжини. По мірі наближення до граничної поверхні контакту виливка з стінкою кокілю довжина скінченних елементів зменшувалась і в приграничній області становила 1 мм.

Як видно на рис. 1 спочатку виливок охолоджується до температури початку кристалізації. Потім відбувається кристалізація в інтервалі температур “ліквідус”-“солідус”. Кристалізація виливка закінчується після заповнення ливарної форми через 250-300 сек. Потім твердий виливок охолоджується до температури вибивки з кокілю.

З метою прогнозування структури металу в чавунних цильпесках Ø25 мм і в чавунних кулях Ø30 мм із легованого чавуну розраховували розподіл лінійної швидкості затвердіння по перерізу виливків.

Отримані дані вказують на неоднорідність розподілу лінійної швидкості затвердіння по перерізу литих виробів. На початку процесу фронт солідусу має відносно високу швидкість (0,08 мм/сек), яка стрімко зменшується при збільшенні товщини кірки. Далі, з плином часу, товщина двофазної зони поступово зменшується і в центральній частині вилівка швидкість затвердіння становить $\sim 0,005$ мм/сек.

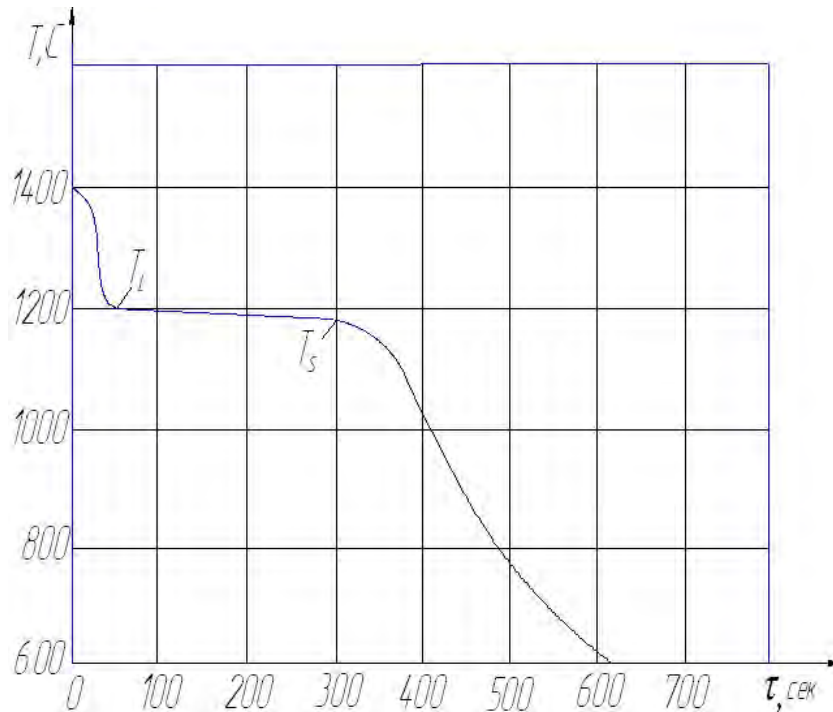


Рисунок 1 – Крива зміни температури в центральній частині вилівка "Цильпебс"

Розрахована залежність швидкості затвердіння від положення границі кристалізації (по ізотермі солідусу) показана на рис. 2.

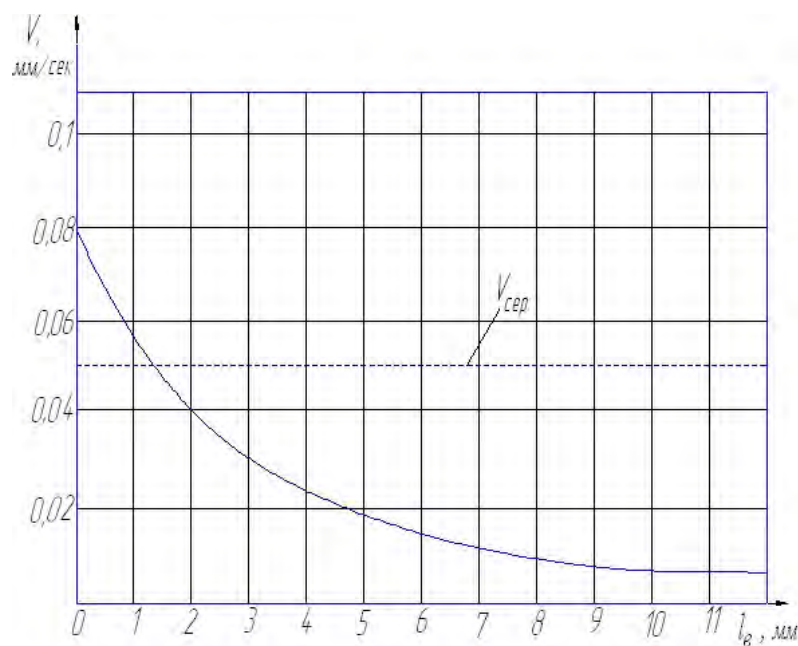


Рисунок 2 – Крива зміни швидкості затвердіння вилівка "Цильпебс" Ø25 мм

В результаті проведених розрахунків визначили, що найбільш ефективний режим охолодження чавунних молольних тіл має досягатись при використанні кокільних фарб із коефіцієнтом теплопровідності (λ_{ϕ}) 0,24 – 0,38 Вт/(м×°С). В цьому випадку швидкість затвердіння забезпечує товщину вибіленого шару ~5...8 мм. Згідно з структурними діаграмами Г.Ф. Баландіна – А.І. Вейніка [6, 7] прогнозована твердість вибіленої поверхневої частини у виливках із низьколегованого чавуну знаходиться на рівні 400 - 520 НВ (~42-50 HRC), а перліто-графітної серцевини – від 210 до 286 НВ в межах міцності 250 – 320 МПа.

Мікроструктуру таких чавунів вивчали на шліфах, виготовлених із тіла молольних тіл. Тип хромистих карбідів і металевої матриці визначали тепловим травленням і рентгеноспектральним аналізом.

Встановлено, що мікроструктура низькохромистого чавуну (~1% Cr) перліто-ледебуритна. Карбідна фаза представлена легованим цементитом (Fe, Cr)₃C (рис. 3).

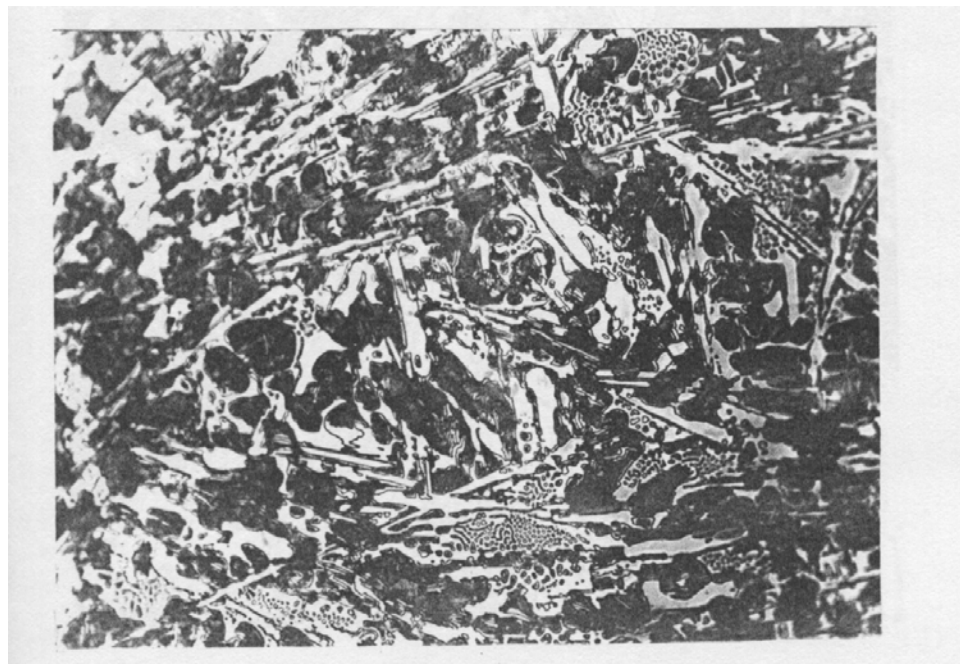


Рисунок 3 – Мікроструктура білого чавуну (0,8% Cr) ×500

Експлуатаційні властивості литих чавунних цильпесів і молольних куль (ударно-абразивну зносостійкість і ударостійкість) було перевірено на зразках, вирізаних в радіальному напрямку. Випробування здійснювали в лабораторному млину.

На рис. 4 та рис. 5 показано, відповідно, виливок чавунної кулі та її злом з поверхневим вибіленим шаром, та структурою сірого чавуну в центральній частині.



Рисунок 4 – Молольна куля (Ø30 мм)



Рисунок 5 – Злом виливка молольної кулі (Ø30 мм)

Висновки. Порівняльний аналіз експлуатаційних властивостей і вартості їх досягнення показав, що в умовах сьогодення компромісним є виготовлення литих молольних тіл із низьколегованого хромом чавуну (0,8-1%). Дані, отримані розрахунковим способом, добре узгоджуються із результатами виробничих випробувань литих молольних тіл, що дозволило оптимізувати технологію виготовлення таких виробів.

Список літератури

1. Бестужев Н.И. Графитизированный белый чугун – перспективный материал для мелющих тел [Текст] / Н.И. Бестужев, С.П. Королев // Литейное производство. – 1999. – №3. – С. 20-21.
2. Баландин Г.Ф. Основы теории формирования отливки [Текст] / Г.Ф. Баландин. – М: Машиностроение, 1976. – 328 с.
3. Корн Г. Справочник по математике [Текст] / Г. Корн, Т. Корн. – М: Наука, 1978. – 832 с.
4. Вейник А.И. Теория затвердевания отливки [Текст] / А.И. Вейник. – М: Машиностроение, 1960. – 435 с.
5. Жуховицкий А.А. Физическая химия [Текст] / А.А. Жуховицкий, Л.А. Шварцман; под ред. С.И. Попеля. – М.: Металлургия, 1987. – 688 с.
6. Дубоделов В.И. Численное исследование кинетики затвердевания мелющих тел в металлических формах с естественным воздушным охлаждением [Текст] / В.И. Дубоделов, В.К. Погорский, В.Н. Кропивный, В.Н. Ломакин // Збірник наукових праць Кіровоградського державного технічного університету. – 1999. – №4. – С.5-10.
7. Справочник по чугуному литью [Текст] / под ред. Г.Ф. Гиршовича. – Л: Машиностроение. – 1978. – 758 с.

Referencis

1. Bestuzhev, N.I. & Korolev, S.P. (1999). Grafitizirovannyj belyj chugun – perspektivnyj material dlja meljushhih tel [Graphitized white cast iron is a promising material for grinding media]. *Litejnoe proizvodstvo – Foundry*, 3, 20-21.
2. Balandin, G.F. (1976). *Osnovy teorii formirovaniya otlivki [Fundamentals of the casting formation theory]*. Moscow: Mashinostroenie.

3. Korn, G. & Korn, T. (1978). *Spravochnik po matematike [Math Handbook]*. Moscow: Nauka.
4. Vejniki, A.I. (1960). *Teorija zatverdevanija otlivki [Theory of Casting]*. Moscow: Mashinostroenie.
5. Zhuhovickij, A.A. & Shvarcman, L.A. (1987). *Physical chemistry*. C.I. Popelja (Ed.). Moscow: Metallurgija.
6. Dubodelov, V.I., Pogorskij, V.K., Kropivnyj, V.N. & Lomakin, V.N. (1999). Chislennoe issledovanie kinetiki zatverdevanija meljushhih tel v metallicheskih formah s estestvennym vozdušnym ohlazhdeniem [Numerical study of the kinetics of hardening of grinding bodies in metal forms with natural air cooling]. *Zbirnyk naukovykh prats' Kirovohrads'koho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu – Collection of scientific works of Kirovograd State Technical University*, 4, 5-10.
7. Girshovich, G.F. (Eds.). (1978). *Cast Iron Handbook*. Leningrad: Mashinostroenie.

Viktor Lomakin, Prof. Assist., PhD tech. sci., Vasyl Klymenko, Prof., DSc., Viktor Pukalov, Prof. Assist., PhD tech. sci., Olexandr Kuzyk, PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Viktor Dubodelov, Prof., DSc., Maxym Goriuk, Sen. Res., PhD tech. sci.

Physiko-Technological Institute of Metals and Alloys

Research of the Solidification Process and Prediction of the Structure of Cast Cast-Iron Grinding Bodies

The aim of the study was to calculate the kinetics of crystallization and to determine the rational mode for cooling castings of a crushing cylinder and a crushing ball in metallic form to ensure that the surface wear-resistant bleached layer does not have more than a third of the size (or radius of the ball) from the surface of the body.

The use of the finite element method for numerical calculation of solidification of castings of grinding bodies of cylindrical and spherical bodies in chill molds is considered depending on the chemical composition of the alloy and for predicting the ratio between the amount of ledeburite, which determines the wear resistance of grinding bodies, and the amount of austenite-graphite eutectic. The experimental chemical composition of cast iron for grinding bodies: 3-3.9% C, 2.8-4% Si, 0.6-1.2% Mn; less 0.03% P, less 0.02% S. For cylindrical and spherical bodies, the thermal conductivity functional was obtained and the kinetics of crystallization of castings was calculated. The data obtained indicate an inhomogeneity in the distribution of the linear rate of solidification along the cross-section of cast products. At the beginning of the process, the solidus front has a relatively high velocity (0.08 mm / s), which rapidly decreases with increasing thickness of the crust. Further, with the passage of time, the thickness of the two-phase zone gradually decreases and in the central part of the casting the rate of solidification is ~ 0.005 mm / sec. It is established that the microstructure of low-chromium cast iron (~ 1% Cr) is perlite-ledeburite. The carbide phase is represented by doped cementite (Fe, Cr)₃C.

A comparative analysis of the operational properties and the cost of their achievement showed that in today's conditions, it is a compromise to make cast grinding bodies from low-alloyed cast iron (0.8-1% Cr). The data obtained by the calculation method are in good agreement with the results of production tests of cast grinding bodies, which made it possible to optimize the technology for manufacturing such products.

cylinder for crushing, cast ball, alloyed cast iron, chromium, metallic form, solidification, structure, modeling

Одержано (Received) 27.04.2018

УДК 621.795

О.Й. Мажейка, проф., канд. техн. наук*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна, E-mail: profkom551124@ukr.net***А.М. Лутай***Національний технічний університет України «КПІ», м. Київ, Україна, E-mail: anat5@i.ua*

Чисельне моделювання при дослідженні процесів ультразвукової обробки сталевих деталей сільськогосподарської техніки

Сформульовано модельна контактна задача для дослідження процесів поверхневого зміцнення пластичним деформуванням з застосуванням ультразвукового впливу. Проведено чисельне моделювання та намічені шляхи оптимізації параметрів розглянутого технологічного процесу. Вирішена крайова задача рівняння руху, співвідношенню Коші, фізичні співвідношення складових компонент деформації при необхідних граничних умовах. Встановлено зв'язок радіуса індентора з його навантаженням для досягнення якісних показників процесу ультразвукового впливу. Доказано, що ультразвукова обробка деталей сільськогосподарської техніки дозволяє збільшувати мікротвердість сталевих поверхонь до 27 %.

чисельне моделювання, деталь, вплив, циліндр, теорія, ультразвук, деформація, тензор напружень, опір втоми, сталь, індентор, мікротвердість

А.И. Мажейка, проф., канд. техн. наук*Центральноукраинский национальный технический университет, г. Кропивницкий, Украина***А.М. Лутай***Национальный технический университет Украины «КПИ», г. Киев, Украина*

Численное моделирование при исследовании процессов ультразвуковой обработки стальных деталей сельскохозяйственной техники

Сформулирована модельная контактная задача для исследования процессов поверхностного упрочнения пластическим деформированием с применением ультразвукового воздействия. Проведено численное моделирование и намечены пути оптимизации параметров рассматриваемого технологического процесса. Решена крайовая задача уравнения движения, соотношению Коши, физические соотношения составляющих компонент деформации при необходимых граничных условиях. Установлена связь радиуса индентора с его нагрузкой для достижения качественных показателей процесса ультразвукового влияния. Доказано, что ультразвуковая обработка деталей сельскохозяйственной техники позволяет увеличивать микротвердость стальных поверхностей до 27%.

численное моделирование, деталь, влияние, цилиндр, теория, ультразвук, деформация, тензор напряжений, сопротивление усталости, сталь, индентор, микротвердость

Постановка проблеми. Підвищення експлуатаційних характеристик деталей машин і механізмів є пріоритетом подальшого розвитку сучасних технологій. Одним з них є технологічна обробка поверхні деталі за допомогою ультразвуку. Застосування ультразвуку дозволяє істотно підвищити якість оброблюваної поверхні і за рахунок поверхневого зміцнення матеріалу забезпечити високу зносостійкість деталей. У зв'язку з цим оптимізація технологічних параметрів механічної обробки матеріалів з використанням ультразвукового впливу і підвищення ефективності обробки вельми актуальним видається дослідження напружено-деформованого стану в деталях і вузлах сільськогосподарських машин при комбінованому ультразвуковому впливі [1-3].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У роботах, присвячених вивченню характеристик сталевих сталей після ультразвукової обробки, показана можливість підвищення їх мікротвердості [2-5]. Механічні процеси, що відбуваються при взаємодії робочого інструмента і поверхні деталі складні. Тому спочатку доцільно вивчити

специфічні аспекти поведінки оброблюваного матеріалу на базі чисельного моделювання.

Постановка завдання. Метою даної роботи було дослідження характеристики сталевих деталей сільськогосподарської техніки після ультразвукового впливу, що забезпечує підвищення їх ресурсу.

Виклад основного матеріалу. З цією метою оброблювану деталь представимо у вигляді кругового металевго циліндра висоти і радіусу, до центру однієї з торцевих поверхонь якого прикладається робочий інструмент у вигляді абсолютно твердого индентора в формі півсфери. Силовий вплив робочого органу на матеріал моделюється шляхом додатка до индентора спрямованого уздовж загальної осі симетрії индентора і циліндра зусилля

$$F(t) = F_0 + F_1 \sin \omega t, \quad (1)$$

де F_0 і F_1 - відповідно постійна і змінна складові зусилля.

Віднесемо циліндр до декартовій системі координат, розташувавши її початок в центрі оброблюваної поверхні і направивши одну з осей вздовж загальної осі симетрії индентора і циліндра (рис. 1).

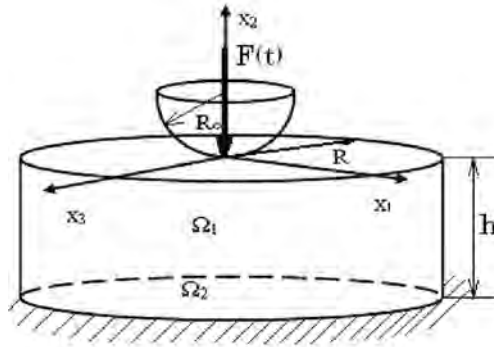


Рисунок 1 – Схема процесу ультразвукового зміцнення циліндра

Будемо вважати, що нижня торцева поверхня циліндра жорстко закріплена, а бічна і верхня торцева, крім зони контакту, вільні від зовнішнього навантаження. З урахуванням прийнятих припущень, за умови, що матеріал циліндра є пружнопластичним з ізотропно-кінематическим зміцненням і деформації є малими, дослідження напружено-деформованого стану в рамках теорії течії в класичній постановці [1] зводиться до вирішення наступного крайової задачі:

1-рівняння руху

$$\sum_{j=1}^3 \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} = \rho \frac{d^2 u_i}{dt^2} \quad (i = \overline{1,3}); \quad (2)$$

2-співвідношення Коші

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (i, j = \overline{1,3}); \quad (3)$$

3-фізичні співвідношення

$$\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ij}^{el} + \varepsilon_{ij}^{pl} \quad (i, j = \overline{1,3}); \quad (4)$$

а) для пружних складових компонент деформації

$$\varepsilon_{ij}^{el} = \frac{1+\nu}{E} \left(\sigma_{ij} - \delta_{ij} \frac{3\nu}{1+\nu} \sigma_{n\partial} \right) \quad (i, j = \overline{1,3}); \quad (5)$$

б) для пластичних складових компонент деформації

$$\dot{\varepsilon}_{ij}^{pl} = \dot{\varepsilon}^{pl} \frac{\partial F}{\partial \sigma_{ij}} \quad (i, j = \overline{1,3}); \quad (6)$$

4-граничні умови:

$$\begin{aligned} u_2 &= 0 \quad \text{при} \quad (x_1, x_2, x_3) \in \Omega_2, \\ \sigma_n &= \tau_{ns} = 0 \quad \text{при} \quad (x_1, x_2, x_3) \in \Omega_1, \\ \sigma_{22}|_{x_2=0} &= 0 \quad \text{при} \quad (x_1, x_3) \in \Omega_3, \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{12}|_{x_2=0} &= \sigma_{23}|_{x_2=0} = 0 \quad \text{при} \quad (x_1, x_3) \in \Omega_3 \cup \Omega_4, \\ \sigma_{22}|_{x_2=0} &= -p(x_1, x_2, t), \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} v_n^1 - v_n^2 \leq 0, t_n^c \leq 0, (v_n^1 - v_n^2)t_n^c &= 0 \quad \text{при} \quad (x_1, x_3) \in \Omega_4, \\ \iint_{\Omega_4} p(x_1, x_3, t) dx_1 dx_3 &= F(t). \end{aligned} \quad (9)$$

У формулах (2) - (9) прийняті наступні позначення: σ_{ij} – компоненти тензора напружень; σ ; ε_{ij} – компоненти тензора деформацій; ε_{ij}^{el} – пружні компоненти деформацій; ε_{ij}^{pl} – пластичні компоненти деформацій; u_i – компоненти зсуву; E – модуль Юнга; ν – коефіцієнт Пуассона; ρ – щільність матеріалу; σ_n – нормальна напружка; τ_{ns} – дотичне напруження; t_n^c – напружка взаємодії тел в напрямку нормалі n - до контактної поверхні; v_n^1 – нормальна компонента швидкості точок индентора на поверхні контакту; v_n^2 – нормальна компонента швидкості точок циліндра на поверхні контакту.

Середня напружка і інтенсивність швидкостей пластичних деформацій в (5) і (6) відповідно визначаються співвідношеннями

$$\sigma_{n\bar{o}} = \frac{1}{3} \sigma_{ii} \quad (i = \overline{1,3}) \quad \dot{\varepsilon} = \sqrt{\frac{2}{3} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \varepsilon_{ij}^{pl} \cdot \varepsilon_{ij}^{pl}} \quad (i, j = \overline{1,3}) \quad (10)$$

Слідуючи [4], модель изотропно-кінематичного зміцнення прийнята у вигляді:

$$F = f(\sigma, \alpha) - \sigma^0 = 0, \quad (11)$$

$$\sigma^0 = \sigma|_0 + Q_\infty (1 - e^{-b \dot{\varepsilon}^{pl}}), \quad (12)$$

$$f(\sigma, \alpha) = \sqrt{\frac{2}{3} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 (S_{ij} - \alpha_{ij}^{dev})(S_{ij} - \alpha_{ij}^{dev})}, \quad (13)$$

$$\alpha_{ij} = C \frac{1}{\sigma^0} (\sigma_{ij} - \alpha_{ij}) \dot{\varepsilon}^{pl} - \gamma \alpha_{ij} \dot{\varepsilon}^{pl} \quad (i, j = \overline{1,3}), \quad (14)$$

де $\sigma|_0$ і σ^0 – значення межі текучості в момент появи пластичної деформації і в поточний момент часу; S – девіатор тензора напружень; α – тензор мікронапруг, α^{dev} – девіатор тензора мікронапруг; Q_∞, b, C, γ – параметри, що визначаються за допомогою експериментальних даних.

Аналітичне рішення поставленого завдання пов'язане з непереборними математичними труднощами. Тому, слідуючи [2], її рішення зведемо до виконання наступного варіаційного нерівності (в позначеннях зазначеної роботи):

$$\int_{\Omega} (\delta v_{i,j} \sigma_{ji} + \delta v_i \rho \dot{v}_i) d\Omega - \int_{\Gamma_t} (\delta v_i \bar{t}_i) d\Gamma + \int_{\Gamma^c} \delta [\lambda (v_n^1 - v_n^2)] d\Gamma \geq 0, \quad (15)$$

де δv_i – пробні функції; $\bar{t}_i$ – поверхневі зусилля; λ – множник Лагранжа.

Уявімо швидкості і множник Лагранжа у вигляді:

$$\begin{aligned} v_i(x_j, t) &= \sum_{I \in \Omega} N_I(x_j) v_{Ii}(t) \quad (i, j = \overline{1,3}); \\ \lambda(\zeta, t) &= \sum_{I \in \Gamma^c} \Lambda(\zeta) \lambda_I(t), \end{aligned} \quad (16)$$

де $N_I(x_j)$, $\Lambda(\zeta)$ – функції форми [2].

Після підстановки цих виразів в нерівність і проведення необхідних перетворень [2], отримаємо:

$$\begin{aligned} M\ddot{d} + f^{\text{int}} - f^{\text{ext}} + G^T \lambda &= 0; \\ Gv &\leq 0. \end{aligned} \quad (17)$$

Тут f^{int} і f^{ext} – внутрішні і зовнішні зусилля відповідно, а компоненти матриць M і G

$$\begin{aligned} M_{ijIJ} &= \delta_{ij} \int_{\Omega} \rho N_I N_J d\Omega; \\ G_{JJI} &= \int_{\Gamma^c} \Lambda_I N_J n_J d\Gamma. \end{aligned} \quad (18)$$

Рішення системи (17) здійснюється методом кінцевих елементів із застосуванням програмного комплексу ABAQUS [4].

Результати досліджень. В якості непрямих характеристик, що дозволяють судити про рівень зміцнення матеріалу, були прийняті залишкові пластичні деформації в напрямку загальної осі симетрії циліндра і індентора і щільність матеріалу, що є функцією інтенсивності залишкових деформацій. Тому з огляду на обмеженість обсягу в даній роботі наводяться результати чисельного аналізу тільки цих характеристик. Всі розрахунки проводилися для циліндра радіуса $R = 0,016$ м, висоти $h = 0,01$ м і індентора радіуса $R_0 = 0,006$ м при наступних значеннях параметрів [3]:

$$\begin{aligned} \rho &= 7800 \text{ кг/м}^3, \quad E = 2,1 \cdot 10^{11} \text{ Па}, \quad \nu = 0,3, \quad \sigma_0 = 2 \cdot 10^8 \text{ Па}, \quad Q_{\infty} = 2 \cdot 10^9 \text{ Па}, \\ b &= 0,26, \quad C = 2,55 \cdot 10^{10} \text{ Па}, \quad \gamma = 81, \quad \text{и } \omega = 150000. \end{aligned}$$

На рис. 2 показані графіки поведінки зазначених характеристик при різних умовах навантаження індентора.

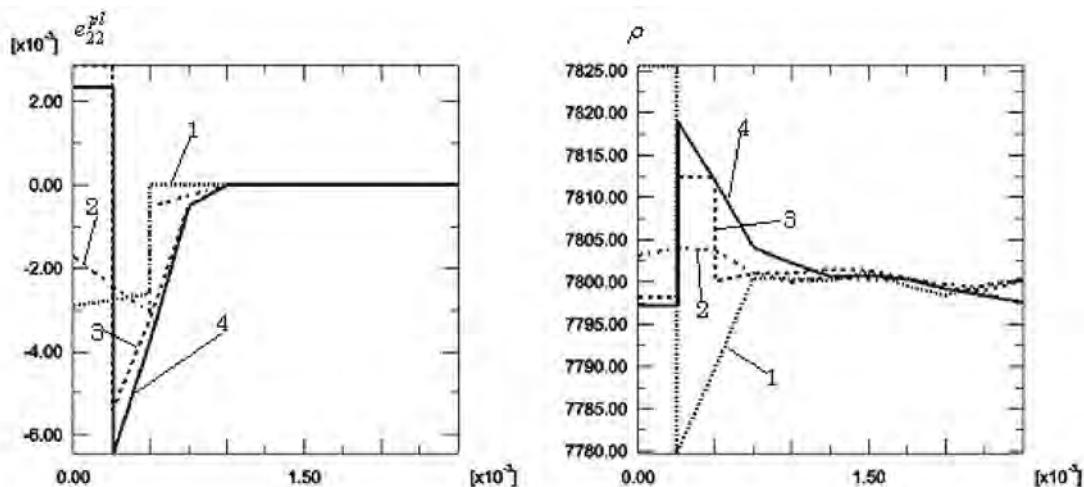
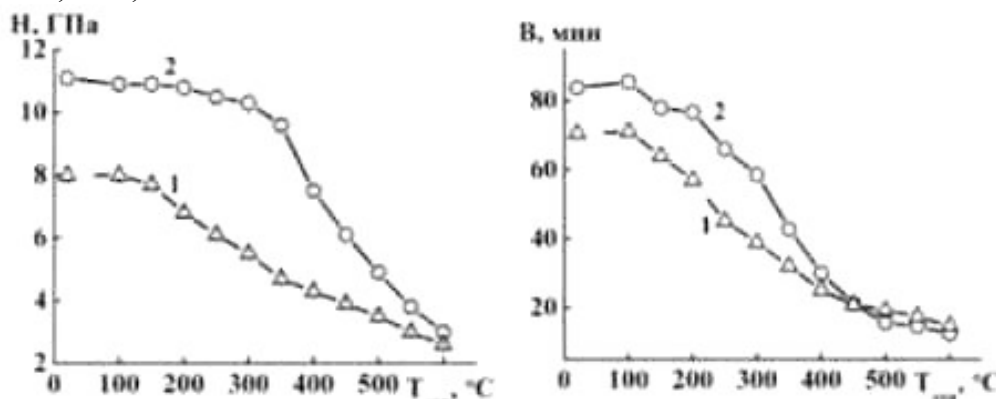


Рисунок 2 – Розподіл осьових залишкових пластичних деформацій і щільності по глибині

На графіках прийнято такі позначення, що відповідають параметрам навантаження: 1 - $= 166,77 \text{ Н}, = 0$; 2 - $= 166,77 \text{ Н}, = 9,81 \text{ Н}$; 3 - $= 166,77 \text{ Н}, = 19,62 \text{ Н}$; 4 - $= 166,77 \text{ Н}, = 29,43 \text{ Н}$.



Риунок 3 – Вплив температури відпустки на мікротвердість H (а) і інтегральну ширину B рентгенівської лінії (110) α (б) сталі 45 в вихідному загартованому стані (крива 1) і після ультразвукової обробки (крива 2).

Висновки. Додаток ультразвукових коливань до індентора істотно впливає на якісний і кількісний характер поведінки залишкових осьових пластичних деформацій і щільності. Також істотно (до 27%) підвищується мікротвердість, що має важливе значення при зміцненні сталевих деталей сільськогосподарської техніки. Тому, варіюючи параметри силового і ультразвукового навантажень, можна управляти процесом формування зміцненого шару в матеріалі.

Список літератури

1. Галин А.Н. Контактные задачи теории упругости и вязкоупругости [Текст] / А.Н. Галин. – М.: Наука, 1980. – 304 с.
2. Belytschko T. Nonlinear finite elements for continua and structures [Text] / T. Belytschko, W.K. Liu, B. Moran. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2000. – 666 p.
3. Doghri I. Fully Implicit Integration and Consistent Tangent Modulus in Elasto-Plasticity [Text] / I. Doghri // International Journal for Numerical Methods in Engineering. – 1993. – Vol. 36. – P. 3915-3932.
4. ABAQUS Analysis User's Manual Version 6.4. Hibbitt: Karlsson & Sorensen, Inc. USA. – 2002.
5. Мажейка О.Й. Зміцнення деталей сільськогосподарських машин сучасними методами деформування [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.

Referencis

1. Galin, A.N. (1980). *Kontaktnye zadachi teorii uprugosti i vjaskouprugosti [Contact problems of the theory of elasticity and viscoelasticity]*. Moscow: Nauka.
2. Belytschko, T., Liu, W.K. & Moran, B. (2000). *Nonlinear finite elements for continua and structures*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
3. Doghri, I. (1993). Fully Implicit Integration and Consistent Tangent Modulus in Elasto-Plasticity. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, Vol. 36, 3915-3932.
4. ABAQUS Analysis User's Manual Version 6.4. (2002). Hibbitt: Karlsson & Sorensen, Inc. USA.
5. Mazhejka, O.J., Chajkovs'kyj, O.B. & Lutaj, A.N. (2010). Zmitsnennia detalej sil'skohospodars'kykh mashyn suchasnymy metodamy deformuvanniam [Hardening of details agricultural machines modern technologies] *Zahaljnoderzhavnyj mizhvidomchyj naukovo-tekhnichnyj zbirnyk. Konstrujuvannja, vyrobnyctvo ta ekspluatacija sil'skoghospodars'kykh mashyn – National Interagency Scientific and Technical Collection of Works. Design, Production and Exploitation of Agricultural Machines*, Vol. 40, 1, 253-256.

Oleksandr Mazheyka, Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian national technical university, Kropyvnickiy, Ukraine

Anatoliy Lutai

National technical university of Ukraine «KPI», Kyiv, Ukraine

Numerical Modeling in the Study of Ultrasonic Processing of Steel Parts of Agricultural Machinery

The priority is given to carrying out studies to improve the performance characteristics of agricultural machinery parts in the context of modern technologies. The value of ultrasonic effects for the surface treatment of steel parts is established. The relevance of research is determined. The analysis of literature sources is carried out, the necessity of optimization of technological parameters of mechanical processing of materials with use of ultrasonic influence is shown. It is established that, mechanical processes that occur during the interaction of an ultrasonic working tool and the surface of a part are rather complicated.

The expediency of studying specific aspects of the behavior of the machined material of parts on the basis of numerical modeling is determined. A model contact problem was formulated to study the processes of surface hardening during plastic deformation using ultrasound. The research tasks, boundary conditions are determined. Numerical simulation is carried out and ways of optimization of parameters of the considered technological process are described. The boundary value problem of the equation of motion, the Cauchy relation, the physical relationships of the components of the deformation components with the necessary boundary conditions are solved. As indirect characteristics, allowing to judge the level of strengthening of the material, residual plastic deformations were taken in the direction of the general axis of symmetry of the cylinder and the indenter.

The relationship between the radius of the indenter and its load is established to achieve qualitative indices of the process of ultrasonic action. The state of the surface of steel parts by parameters of microhardness and structural components is studied.

It is proved that ultrasonic treatment of agricultural machinery parts allows to increase microhardness of steel surfaces up to 27%. It is established that by changing the parameters of power and ultrasonic load, it is possible to control the formation of a hardened layer in the material.

numerical modeling, detail, influence, cylinder, theory, ultrasound, deformation, stress tensor, fatigue resistance, steel, indenter, microhardness

Одержано (Received) 05.06.2018

УДК 621.9.048.4

В.І. Носуленко, проф., д-р техн. наук, В.М. Шмельов, доц., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна, E-mail: shmelyovvm@gmail.com

Якісні характеристики джерел тепла на сталевих електродах

Описано згідно існуючих уявлень в області фізики теплових процесів деякі якісні характеристики джерел тепла на електродах в умовах РОД та їх відповідність експериментальним даним для електродів із заліза та сталей. Можливості та якісні і кількісні характеристики процесу РОД визначаються якісними характеристиками (якістю) джерел тепла на електродах, перш за все, об'ємною густиною теплової потужності, яка, визначається динамічним тиском потоку робочої рідини та полярністю електродів. В зв'язку з цим є можливим легко керувати якістю джерел тепла на електродах, а отже і якістю процесу ерозії, здійснюючи обробку незалежно від струму в широкому діапазоні режимів, починаючи від грубого розмірного плавлення і аж до превалюючого тонкого розмірного випаровування.

електрична дуга, анод, катод, стовп дуги, джерело тепла, робоча рідина, густина струму

© В.І. Носуленко, В.М. Шмельов, 2018

В.И. Носуленко, проф., д-р техн. наук, В.Н. Шмелев, доц., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, г. Кропивницький, Україна

Качественные характеристики источников тепла на стальных электродах

Описаны согласно существующих представлений в области физики тепловых процессов некоторые качественные характеристики источников тепла на электродах в условиях РОД и их соответствие экспериментальным данным для электродов из железа и сталей. Возможности и качественные и количественные характеристики процесса РОД определяются качественными характеристиками (качеством) источников тепла на электродах, прежде всего, объемной плотностью тепловой мощности, которая определяется динамическим давлением потока рабочей жидкости и полярностью электродов. В связи с этим возможно легко управлять качеством источников тепла на электродах, а следовательно и качеством процесса эрозии, осуществляя обработку независимо от тока в широком диапазоне режимов, начиная от грубого размерного плавления и до преобладающего тонкого размерного испарения.

електрическа дуга, анод, катод, столб дуги, источник тепла, рабочая жидкость, плотность тока

Постановка проблеми. Електричну дугу розглядають як суму трьох самостійно діючих джерел тепла на катоді, аноді і стовпі дуги. При цьому якісні характеристики (якість) джерела тепла на катоді визначають можливість і якісну сторону процесу ерозії (обробки) катода, а якісні характеристики (якість) джерел тепла на аноді – можливість і якісну сторону процесу ерозії (обробки) анода. Порівняльні кількісні та якісні оцінки джерел тепла на катоді і аноді, в свою чергу, дозволяють зробити висновки про полярність електричної ерозії, оскільки, як відомо, ефект електричної ерозії є полярним, тобто як кількісно так і якісно ерозія катода і анода відрізняються.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На погляд Л. Леба [1], “надзвичайно високі концентрації енергії в катодній плямі і прилеглій до неї контрагованій плазмі роблять взагалі проблематичним для поверхні плями застосування таких понять, як робота виходу електронів, теплопровідність, температура, теплота випаровування, тиск і т. і.” І. Г. Кесаєв стверджує: “Складання балансу енергії для катода при сучасному рівні знань пов’язано зі значною невизначеністю при виборі величин, що входять до нього, внаслідок чого цей метод вирішення задачі є заздалегідь хибним” [2]. Треба відразу ж зазначити, що “при вивченні електричних дуг явищам біля анода приділялось значно менше уваги, ніж явищам біля катода” [1], в зв’язку з чим складання балансу енергії для анода тим більш ускладнене.

Що ж до порівняльних характеристик джерел тепла на катоді і аноді, то для звичайних дуг типа зварювальних “анодна область, на погляд більшості дослідників, має більшу довжину (висоту) та об’єм, ніж катодна. Тому концентрація енергії в цій області звичайно менша, ніж на катоді, а кумулятивні процеси при її руйнуванні повинні в більшості випадків протікати більш мляво [1]”. Відомо також, що “анодна пляма має більшу тенденцію залишатись нерухомою, ніж катодна пляма” [3]. Крім того, якість джерел тепла на катоді і аноді значною мірою визначається теплофізичними константами матеріалу окремо на катоді і окремо на аноді. Так, наприклад, виявляється, що, на відміну від сталевих, тугоплавкі катоди, наприклад з вольфраму, руйнуються значно менш інтенсивно, ніж аноди. І, нарешті, Р. Еккер зазначає [4] “...приелектродні області відлякують експериментаторів та теоретиків великою різноманітністю форм існування... Нестачі в кількості робіт нема, недостає тільки ясності та об’єктивності.”

Постановка завдання. Із викладеного можна зробити важливий, на наш погляд, висновок: скласти достовірний баланс енергії для катодної області і окремо для анодної області дуги, тобто дати кількісну і якісну характеристику джерел тепла окремо на аноді і окремо на катоді, використовуючи існуючі класичні уявлення про елементарні процеси в дузі, теперішнього часу неможливо. Тому для вивчення якості джерел тепла

на електродах треба, принаймні зараз, використати інші засоби. Зокрема, якість джерел тепла на електродах може бути охарактеризована об'ємною густиною теплової потужності в катодному та анодному джерелах тепла [5], яка, в свою чергу, визначається густиною струму та напруженістю електричного поля відповідно в катодній та анодній областях дуги.

Виклад основного матеріалу. Густина струму в дузі, що горить в поперечному потоці рідини, нами визначена. Вона в 5...10 і більше разів перевищує густину струму відкритих дуг і збільшується (зменшується) при збільшенні (зменшенні) динамічного тиску потоку. При цьому напруженість електричного поля в приелектродних областях [6] в 2...3 рази вища, ніж у звичайних дугах в повітрі, і збільшується (зменшується) при збільшенні (зменшенні) динамічного тиску потоку. Це дозволяє зробити висновок, що при горінні дуги в поперечному потоці рідини об'ємна густина теплової потужності в катодному і анодному джерелах тепла значно вища (на порядок і більше), ніж у звичайних дугах в повітрі, і регулюється в широких межах за рахунок зміни динамічного тиску потоку; при цьому при збільшенні (зменшенні) динамічного тиску потоку об'ємна густина теплової потужності зазначених джерел тепла збільшується (зменшується). Тому така дуга, на відміну від звичайних дуг в повітрі, може бути використана для розмірної обробки металу.

Проте, в кінцевому підсумку, про придатність такої дуги для розмірної обробки металу можна судити лише за характером її теплової дії на електроди, зокрема по профілю лунок обробленої поверхні та по величині і структурі зон термічного впливу відповідно на катоді і аноді. Розглянемо з цією метою деякі характерні приклади.

На рис. 1 показано профілі одиничних лунок обробленої поверхні на катоді і аноді із сталі 45 при горінні дуги в поперечному потоці води при струмі $I = 400\text{A}$ і при різних динамічних тисках потоку P_d , а саме: а) $P_d = 0,1\text{МПа}$; б) $P_d = 0,4\text{МПа}$; в) $P_d = 1\text{МПа}$. Наведені профілі лунок показують, що площі поперечних перерізів "стружки" на катоді і аноді відрізняються незначно, причому при збільшенні P_d розміри "стружки" в горизонтальному напрямку зменшуються помітно, а в вертикальному напрямку – незначно. На рис. 2 для тих же умов показано зміну товщини зони термічного впливу H на катоді і аноді в функції динамічного тиску потоку P_d . Отримана залежність свідчить, що товщини зон термічного впливу на катоді і аноді приблизно однакові, помітно зменшуються при збільшенні P_d і при достатньо значних P_d практично відсутні.

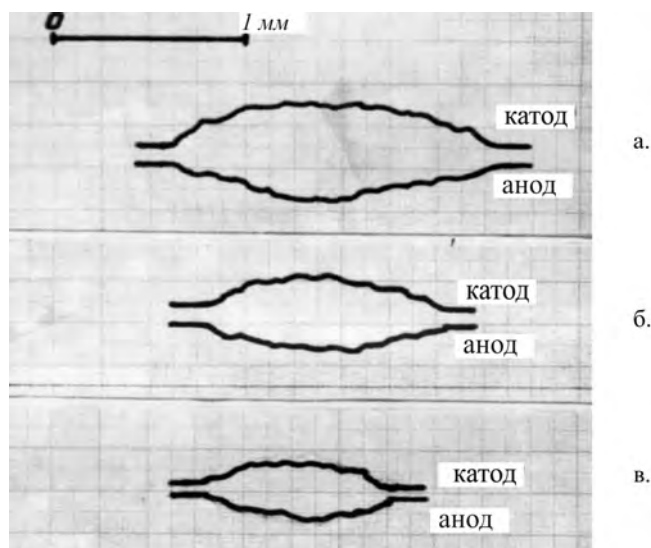


Рисунок 1 – Профілі одиничних лунок на катоді і аноді із сталі 45

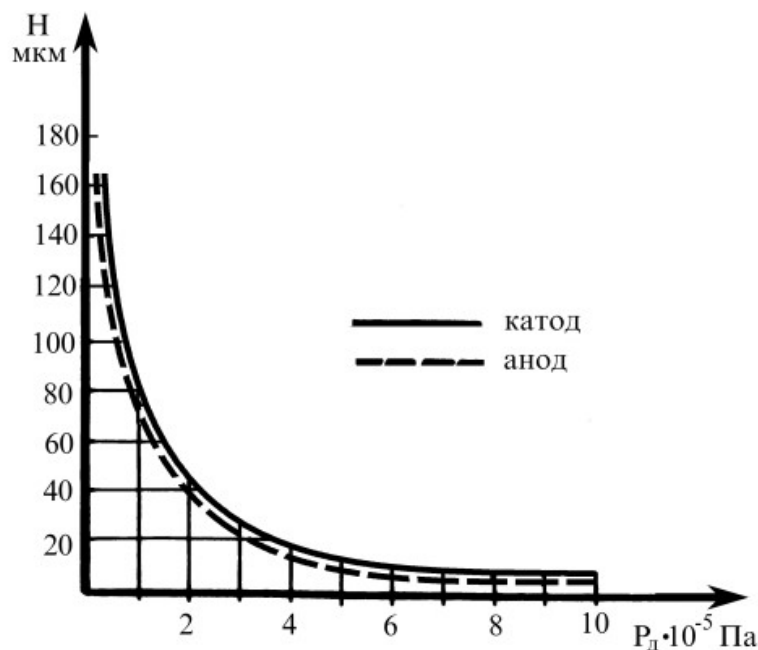
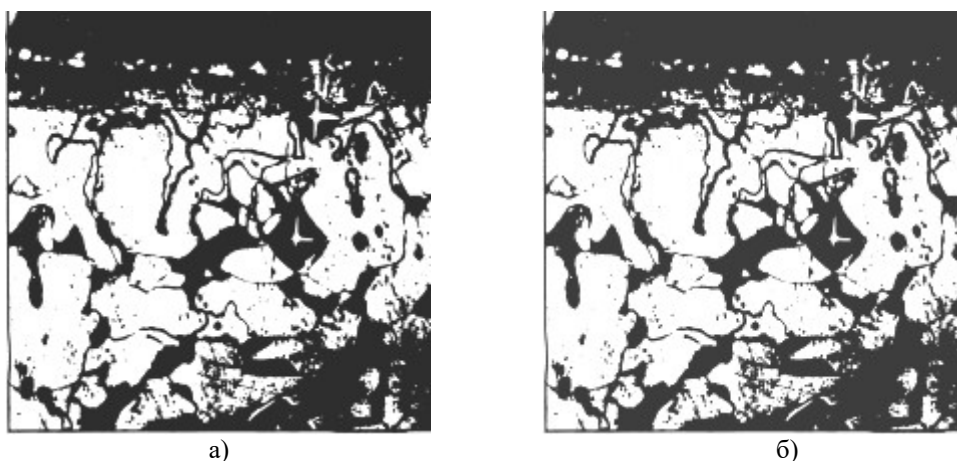
Рисунок 2 – Залежність товщини зони термічного впливу H на катоді і аноді зі сталі 45 від P_d 

Рисунок 3 – Мікроструктура зони термічного впливу на катоді (а.) і аноді (б) зі сталі 45 (x500)

Зазначимо, що по структурі зони термічного впливу на катоді і аноді можуть суттєво відрізнятися. На рис. 3 показано знімки мікроструктур зон термічного впливу на катоді і на аноді для вищенаведених умов обробки при $P_d = 0,4 \text{ МПа}$. На знімках видно, що зона термічного впливу на аноді не тільки дещо менша, але також не має характерного для електроерозійної обробки поверхневого шару підвищеної твердості (оскільки зерна фериту виходять до периферії шліфу), що зокрема, полегшує подальшу механічну обробку.

В діапазоні досліджених режимів обробки отримані дані дозволяють достатньо достовірно судити про якість джерел тепла на електродах, а отже про полярність електричної ерозії та технологічні режими, яким треба надати перевагу. Так, оскільки ерозовані об'єми і товщина зони термічного впливу на катоді та аноді відрізняються незначно, можна зробити висновки, що якісні та кількісні характеристики катодного і анодного джерел тепла, в відомих межах, однакові. Зменшення товщини зони термічного впливу практично до нуля при відповідному збільшенні P_d дозволяє зробити висновок, що при горінні дуги в поперечному потоці рідини ерозія електродів

може відбуватись в широкому діапазоні режимів, починаючи від розмірного плавлення і кінчаючи розмірним випаровуванням і досягається це відповідним регулюванням динамічного тиску потоку. При виборі полярності електродів та режимів обробки треба в цьому випадку враховувати конкретні технологічні задачі. Так, при необхідності подальшої механічної обробки, коли поверхневий шар підвищеної твердості небажаний, деталь повинна бути анодом (пряма полярність), а обробка повинна здійснюватись при відповідних P_d .

При використанні одного з електродів із сталі (ЕЗ) і другого електрода з графіту (ЕІ) якість джерела тепла на ЕЗ, а, відповідно, кількісна та якісна сторони процесу обробки визначаються значною мірою полярністю електродів. При цьому по площі катодного джерела тепла (якщо ЕЗ є катод) теплова потужність розподілена достатньо рівномірно, тоді як по площі анодного джерела тепла (якщо ЕЗ є анод) вона розподілена нерівномірно, з явно вираженим максимумом в центрі, внаслідок чого шорсткість анода значно перевищує шорсткість катода. Це видно на рис. 1, де показано профілі лунок на катоді і аноді з сталі 45 при використанні ЕІ з графіту МПГ-7 при струмі $I = 400\text{A}$ і динамічному тиску потоку води $P_d = 0,1\text{МПа}$. Зазначимо, що при цьому анодне джерело тепла забезпечує значно більш високу продуктивність (приблизно в 1,5...1,8 рази), ніж катодне. Тому висновок для цього випадку може бути такий: якщо треба забезпечити високу якість обробки, то слід застосовувати зворотню полярність; для забезпечення більш високої продуктивності треба застосовувати пряму полярність.

Якість джерел тепла на електродах значною мірою визначається теплофізичними константами матеріалу електродів. Зокрема, відомо, що на відміну від сталевих тугоплавкі катоди, наприклад, із твердого сплаву, руйнуються значно менш інтенсивно, ніж аноди. Тому тверді сплави в умовах РОД обробляються тільки на прямій полярності.

Треба враховувати, що якість джерел тепла на електродах може визначатись і бути різною в зв'язку з різними гідродинамічними режимами руху рідини по висоті міжелектродного зазору [7,8]. Це стосується перш за все ділянок, де відбувається зміна напрямку течії робочої рідини (рис. 4) [9]. Так, наприклад, при реалізації процесу поміж сталевими електродами одного діаметра при $P_d = 0,4\text{МПа}$ при відносному зсуві електродів – нехай навіть на десятки долі міліметра (рис. 5, а), спостерігається явно виражена нерівномірна ерозія електродів (рис. 5, б). Особливо це помітно на діаметрально протилежних ділянках. Такого не спостерігається, наприклад, при відсутності зсуву електродів або ж при звичайному прошиванні. Це означає, що визначальними в цьому випадку є різні гідродинамічні режими течії робочої рідини по висоті міжелектродного зазору, які обумовлюють різну якість джерел тепла на електродах, а отже різні кількісні та якісні характеристики процесу ерозії електродів. Отримує пояснення також факт інверсії електричної ерозії.

Визначимо згідно існуючих уявлень в області фізики теплових процесів деякі якісні характеристики джерел тепла на електродах в умовах РОД та їх відповідність експериментальним даним для електродів із заліза та сталей.

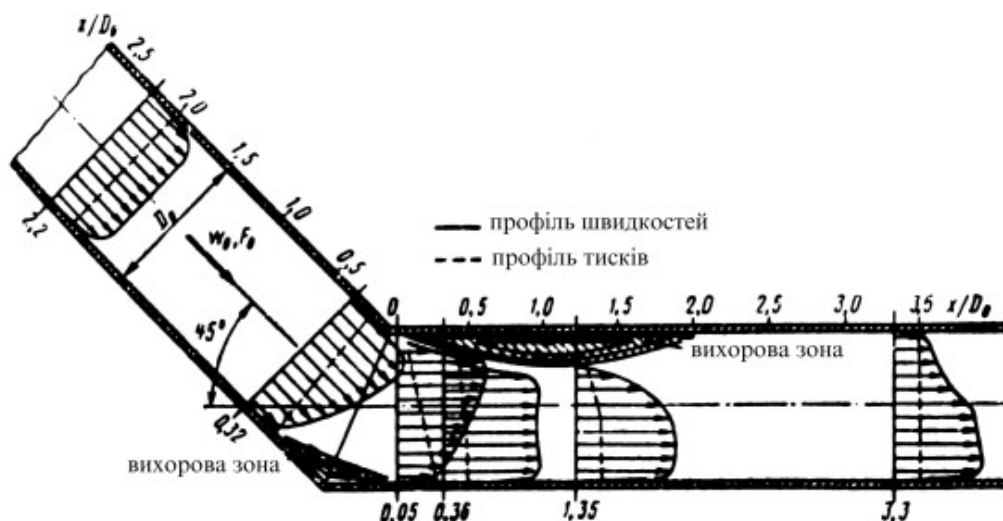


Рисунок 4 – Епюра швидкостей і тисків потоку рідини в вигнутих каналах

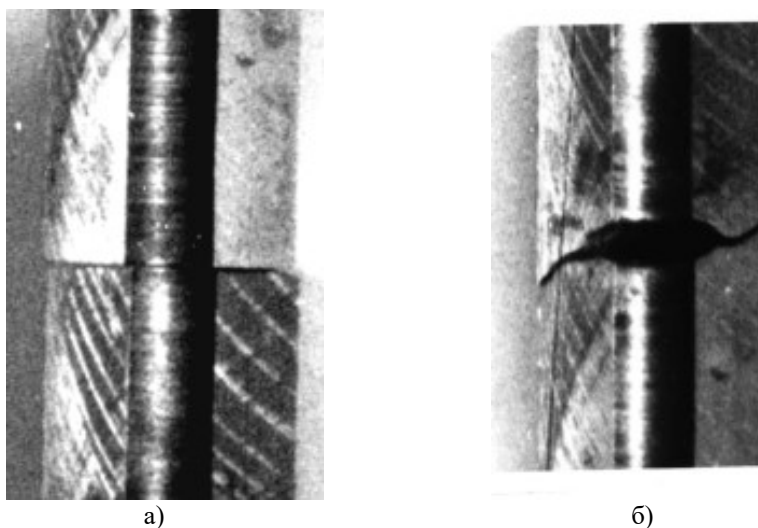


Рисунок 5 – Характер зносу електродів зі сталі при їх відносному зсуві

Теплоту заліза, яка витрачається на його нагрівання при переведенні від початкового стану (25°C) до кінцевого (температура кипіння), коли метал знаходиться в газоподібному стані знаходимо за виразом:

$$Q = \int_{298K}^{1033K} C_{p,\alpha}(T)dT + L_{\alpha \rightarrow \beta} + \int_{1033K}^{1184K} C_{p,\beta}(T)dT + L_{\beta \rightarrow \gamma} + \int_{1184K}^{1674K} C_{p,\gamma}(T)dT + L_{\gamma \rightarrow \delta} + \int_{1674K}^{1812K} C_{p,\delta}(T)dT + L_{nl} + \int_{1812K}^{3343K} C_{p,p}(T)dT + L_e \quad (1)$$

де $C_{p,\alpha}$, $C_{p,\beta}$, $C_{p,\gamma}$, $C_{p,\delta}$, $C_{p,p}$ – теплоємності, відповідно, твердого заліза у модифікаціях α , β , γ і δ та рідкого заліза;

$L_{\alpha \rightarrow \beta}$, $L_{\beta \rightarrow \gamma}$, $L_{\gamma \rightarrow \delta}$ – теплота відповідних фазових перетворень;

L_{nl} , L_{∞} – теплота плавлення і випаровування.

Залежність теплоємності від температури характеризується рівнянням [10]:

$$C_p = a + b \cdot 10^{-3} T + c \cdot 10^{-5} T^{-2}. \quad (2)$$

Значення коефіцієнтів a , ϵ і c , а також теплота фазових перетворень для заліза наведені у табл. 1 [10].

Таблиця 1 – Коефіцієнт температурної залежності теплоємності ($\text{Дж/г-ат}\cdot\text{К}$) та теплоти фазових перетворень заліза (Дж/г-ат)

Модифікація заліза	$T_{i,n} - T_{i,k}$	a_i	ϵ_i	C_i	L_i
α	298...1033	4,18	5,92	0	2760
β	1033...1184	9,0	0	0	920
γ	1184...1674	1,84	4,66	0	880
δ	1674...1812	10,5	0	0	15490
рідке	1812...3343	10,0	0	0	374300

Після підстановки (4.2) в (4.1) та інтегрування отримуємо:

$$Q = \sum_{i=1}^5 \{ (T_{i,k} - T_{i,n}) \cdot [a_i + 0,5 \cdot \epsilon_i \cdot 10^{-3} (T_{i,n} + T_{i,k}) + C_i \cdot 10^5 / (T_{i,n} \cdot T_{i,k})] + L_i \} \quad (3)$$

де i – номер температурної ділянки; $T_{i,n}$ та $T_{i,k}$ – початкова і кінцева температури на i -тій ділянці.

Результати розрахунку за формулою (3) при використанні даних табл. 1 наведені у табл. 2 та на рис. 6.

Таблиця 2 – Залежність тепловмісту заліза від температури

T, K	298	500	700	900	1033	1033	1184	1184
$Q, \text{Дж/г-ат}$	0	1322	2868	4651	5968	8728	10087	11007

T, K	1400	1674	1674	1812	1812	2000	2200
$Q, \text{Дж/г-ат}$	12705	15172	16052	17500	32991	34871	36871

T, K	2400	2600	2800	3000	3200	3343	3343
$Q, \text{Дж/г-ат}$	38871	40871	42871	44871	46871	48301	422600

При РОД, як зазначалось, електрична ерозія незалежно від струму відбувається в широкому діапазоні режимів, починаючи від розмірного плавлення і аж до тонкого розмірного випаровування. Тому джерела тепла на електродах за таких умов можуть бути охарактеризовані діапазонами температур $T = 1812...3343 \text{ K}$ і теплоти $Q = 32991...422600 \text{ Дж/г-ат}$ (рис. 6) відповідно при динамічних тисках потоку робочої рідини в межах $P_d = 0,01...0,5 \text{ МПа}$ (рис. 2). Це дозволяє, зокрема, оцінити питомі витрати електроенергії та продуктивність процесу, які відповідають експериментальним даним, а також використати отримані дані як вихідні для визначення функції температурного поля в зоні дії зазначених джерел тепла, що, в свою чергу, дозволяє оцінити величину зони термічного впливу при РОД.

Математичне формулювання задачі:

$$\begin{cases} \frac{\partial T}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, & 0 \leq x < \infty; \\ T(0, \tau) = T_n; \\ T(x, 0) = T_o, & 0 < x < \infty \end{cases} \quad (4)$$

де T_n і T_o – температура поверхні і початкова температура;
 $a = 6,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ – коефіцієнт теплопровідності [11].

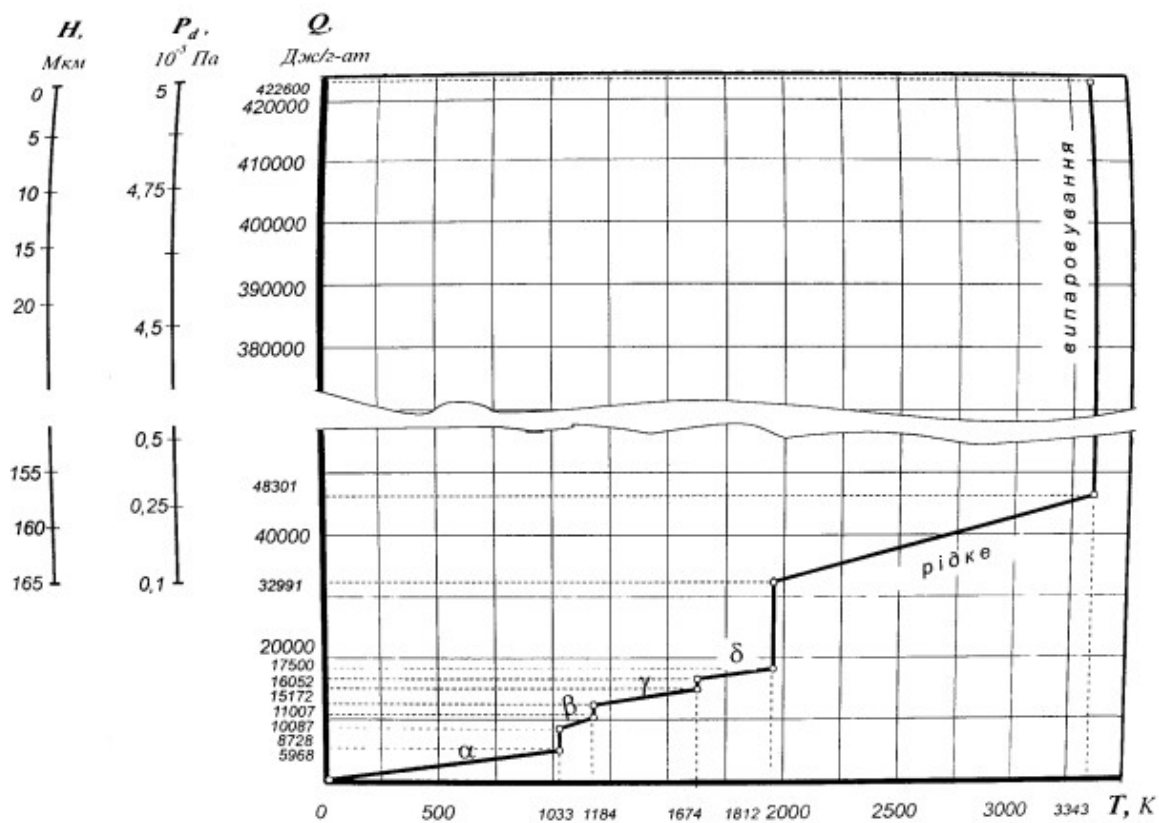


Рисунок 6 – Якісні характеристики джерел тепла на сталевих електродах

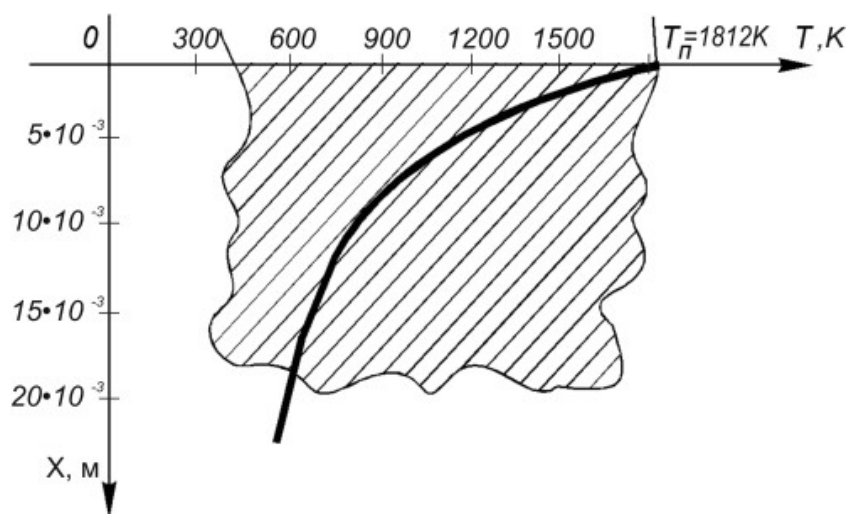


Рисунок 7 – Температурне поле в зоні дії джерела тепла

Розв'язок задачі (4) є відомим [11]:

$$\Theta = \frac{T_n - T}{T_n - T_o} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_{U=0}^{U_s} e^{-U^2} dU, \quad (5)$$

де U – комплексна безрозмірна змінна, яка визначається заданими значеннями параметрів x і τ .

$$U = x / (2\sqrt{a \cdot \tau}). \quad (6)$$

Визначимо за допомогою рівнянь (5) і (6) глибину зони термічного впливу згідно зазначених умов при $\tau = 0,005$ с при $T_n = T_{nl} = 1812$ К, $T_o = 303$ К, і $T = 1073$ К. При

цьому $\Theta = 0,4762$; $U = 0,451$ [12]. В підсумку отримуємо:

$$x = U \cdot 2\sqrt{a \cdot \tau} = 1,65 \cdot 10^{-4} \text{ м.} \quad (7)$$

Одержане значення x відповідає експериментальному (рис. 2) при динамічному тиску потоку рідини в зоні обробки $P_d = 10^4 \text{ Па}$ та дозволяє приблизно визначити глибину зони термічного впливу H згідно зазначених умов при динамічному тиску потоку в межах $P_d = 0,01 \dots 0,5 \text{ МПа}$ (рис. 6).

Висновки. Можливості та якісні і кількісні характеристики процесу РОД визначаються якісними характеристиками (якістю) джерел тепла на електродах, перш за все, об'ємною густиною теплової потужності. Остання, в свою чергу, визначається динамічним тиском потоку робочої рідини, а також, в відомих межах, полярністю електродів. В зв'язку з цим є можливим легко (за рахунок регулювання швидкості потоку робочої рідини) керувати якістю джерел тепла на електродах, а отже і якістю процесу ерозії, здійснюючи обробку незалежно від струму в широкому діапазоні режимів, починаючи від грубого розмірного плавлення і аж до превалюючого тонкого розмірного випаровування.

Фізичний процес електричної ерозії при РОД характеризується безперервним підведенням енергії в зону обробки, безперервним горінням дуги і безперервним існуванням джерел тепла на електродах. Отже безперервною є теплова дія розряду на електроди і безперервно проходить процес ерозії.

Описано згідно існуючих уявлень в області фізики теплових процесів деякі якісні характеристики джерел тепла на електродах в умовах РОД та їх відповідність експериментальним даним для електродів із заліза та сталей.

Список літератури

1. Мазель А.Г. Технологические свойства электросварочной дуги [Текст] / А.Г. Мазель – М.: Машиностроение, 1969. – 178 с.
2. Кесаев И. Г. Катодные процессы электрической дуги [Текст] / И. Г. Кесаев – М.: Наука, 1968. – 244 с.
3. Самервилл, Дж. М. Электрическая дуга [Текст] / Пер. с англ. К. Л. Гребень; Под ред. Л. Ю. Абрамовича. - Москва ; Ленинград : Госэнергоиздат, 1962. – 120 с.
4. Эккер Г. Современное развитие теории приэлектродных областей электрической дуги [Текст] / Г. Эккер // Теплофизика высоких температур. – 1973. – Т.2. – вып.4. – С. 865-870.
5. Носуленко В. І. Про якість джерел тепла на електродах і полярність електричної ерозії при РОД [Текст] / В.І. Носуленко // Збірник наукових праць КІСХМ. – 1998. – Вип 2. – С. 141-147.
6. Носуленко В. І. Розмірна обробка металів електричною дугою [Текст] : Автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.03.07. / В.І. Носуленко. – Кіровоградський держ. техн. ун-т. – К., 1999. – 32 с.
7. Носуленко В.И. Физико-технологические особенности и классификация способов электроразрядной обработки металлов [Текст] / В.И. Носуленко, В.Н.Шмельев // Научно-теоретический и практический журнал "Современный научный вестник". Серия "Технические науки. Современные информационные технологии". – №19 (215) – Белгород. – 2014. – С. 56-62.
8. Носуленко В.И. О качестве источников тепла на электродах в условиях процесса размерной обработки электрической дугой [Текст] / В.И. Носуленко, В.Н.Шмельев // Научно-теоретический и практический журнал "Оралдын гылым жаршысы". Серия "Технические науки. Физика. Современные информационные технологии". – № 8 (87) – Казахстан – 2014. С. 61-68.
9. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям [Текст] / Под ред. М. О. Штейнберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.
10. Солонин Н. С. Математическая статистика в технологии машиностроения [Текст] / Н. В. Солонин – М.: Машиностроение, 1972. – 216 с.
11. Сергеев Н. В. Плотность тока электродных пятен дуги с металлическими электродами [Текст] / Н. В. Сергеев, Г. А. Шепель // Журнал инженерной физики. – 1969. – Т.17. – №6. – С. 1041-1049.
12. Кесаев И. Г. Катодные процессы ртутной дуги и вопросы её устойчивости [Текст] / И. Г. Кесаев // Труды ВЭИ. – 1961. – Вып. 67. – С. 312-316.

References

1. Mazel, A.G. (1969). *Tekhnologicheskie svoystva elektrosvarochnoy dugi [Technological properties of electric-welding arc]*. Moscow: Mashinostroenie.
2. Kesaev, I. G. (1968). *Katodnye protsessy elektricheskoy dugi [Cathodic processes of an electric arc]*. Moscow: Nauka.
3. Samervill, Dzh. M. (1962). *Electric arc*. L. Yu. Abramovicha (Ed.). (K. L. Greben, Trans). Moscow; Leningrad: Gosenergoizdat.
4. Ekker, G. (1973). Sovremennoe razvitie teorii prielektroodnykh oblastey elektricheskoy dugi [Modern development of the theory of near-electrode regions of the electric arc]. *Teplofizika vysokikh temperatur – Thermal physics of high temperatures*, Vol. 2, 4, 865-870.
5. Nosulenko, V. I. (1998). Pro yakistj dzherel tepla na elektrodakh i poljarnistj elektrychnoji eroziji pry ROD [On the quality of heat sources on the electrodes and the polarity of electric erosion with dimensional arc machining]. *Zbirnyk naukovykh pracj KISHM – Collection of scientific works of the Kirovograd Institute of Agricultural Engineering*, 2, 141-147.
6. Nosulenko, V. I. (1999). Rozmirna obrobka metaliv elektrychnoji dughoju [Size machining of metals by electric arc]. *Extended abstract of Doctor's thesis*. Kyiv.
7. Nosulenko, V.I. & Shmelev, V.N. (2014). Fiziko-tehnologicheskie osobennosti i klassifikatsiya sposobov elektrorazryadnoy obrabotki metallov [Physical Technological features and classification of methods of electric discharge processing of metals]. *Nauchno-teoreticheskij i prakticheskij zhurnal "Sovremennyy nauchnyy vestnik". Seriya "Tekhnicheskie nauki. Sovremennye informatsionnye tekhnologii" – Scientific-theoretical and practical journal "The modern scientific bulletin". A series of "Technical Sciences. Modern Information Technologies"*, 19 (215), 56-62.
8. Nosulenko, V.I. & Shmelev, V.N. (2014). O kachestve istochnikov tepla na elektrodakh v usloviyakh protsessu razmernoy obrabotki elektricheskoy dugoy [On the quality of heat sources at the electrodes under the conditions of dimensional processing the electric arc]. *Nauchno-teoreticheskij i prakticheskij zhurnal "Oraldyn gylm zharshysy". Seriya "Tekhnicheskie nauki. Fizika. Sovremennye informatsionnye tekhnologii". "Oral kalasi" – Scientific-theoretical and practical journal "Scientific-research organization". A series of "Technical Sciences. Physics and Modern Information Technologies"*, № 8 (87), 61-68.
9. Idelchik, I. Ye. (1992). *Reference book on hydraulic resistance*. (M. O. Shteynberga Ed.). (3d ed.). Moscow: Mashinostroenie.
10. Solonin, N. S. (1972). *Matematicheskaya statistika v tekhnologii mashinostroeniya [Mathematical statistics in technology of mechanical engineering]*. Moscow: Mashinostroenie.
11. Sergeev, N. V. & Shepel, G. A. (1969). Plotnost toka elektrodnykh pyaten dugi s metallicheskimy elektrodami [Current density of electrode spots arc with metal electrodes]. *Zhurnal inzhenernoy fiziki – Journal of Engineering Physics*, Vol.17, 6, 1041-1049.
12. Kesaev, I. G. (1961). Katodnye protsessy rtutnoy dugi i voprosy ee ustoychivosti [Cathode processes of mercury arc and problems its stability]. *Trudy VEI – Treatise of the All-Union Electrotechnical Institute*, 67, 312-316.

Victor Nosulenko, Prof., DSc., Vitaliy Shmelyov, Assos. Prof., PhD tech. sci.

Centralukrainian National Technical University, Kropivnitsky, Ukraine

Qualitative Characteristics of Heat Sources on Steel Electrodes

The electric arc is considered as the sum of three independently operating heat sources at the cathode, anode and arc column. At the same time, the qualitative characteristics (quality) of the heat source at the cathode determine the possibility and the qualitative side of the cathode erosion process, and the qualitative characteristics (quality) of the heat sources at the anode are the possibility and the qualitative side of the anode erosion process (treatment). Comparative quantitative and qualitative estimates of heat sources at the cathode and anode, in turn, allow us to draw conclusions about the polarity of electrical erosion, since, as is known, the effect of electric erosion is polar, that is, both quantitatively and qualitatively the erosion of the cathode and anode differ.

Create a reliable energy balance for the cathode region and separately for the anode region of the arc, that is, to give a quantitative and qualitative characterization of heat sources separately at the anode and separately at the cathode, using existing classical concepts of elementary processes in the arc, at the present time is impossible. The quality of the heat sources on the electrodes is described by the volume density of thermal power in the cathode and anode heat sources, which, in turn, is determined by the current density and the electric field strength, respectively, in the cathode and anode regions of the arc.

The qualities and qualitative and quantitative characteristics of the process of dimensional processing by an electric arc are determined by the qualitative characteristics (quality) of the heat sources on the electrodes,

first of all, by the volume density of the thermal power. The latter, in turn, is determined by the dynamic pressure of the flow of the working fluid, as well as, in certain limits, by the polarity of the electrodes. In this connection, it is possible to easily control the quality of the heat sources on the electrodes, and consequently the quality of the erosion process, performing processing irrespective of the current in a wide range of modes, beginning from rough sized melting and to prevailing thin dimensional evaporation.

The physical process of electric erosion during dimensional processing by electric arc is characterized by a continuous supply of energy to the treatment zone, continuous burning of the arc and the continuous existence of heat sources at the electrodes. So the thermal effect of the discharge on the electrodes is continuous and the process of erosion is continuously proceeding.

Described according to the existing ideas in the field of the physics of thermal processes, some qualitative characteristics of heat sources on electrodes under conditions of dimensional processing by an electric arc and their correspondence to experimental data for electrodes from iron and steels.

electric arc, anode, cathode, arc column, source of heat, working fluid, current density

Одержано (Received) 06.06.2018

УДК 621.179.14

Oleksandr Mazheyka, prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian national technical university, Kropyvnickiy, Ukraine

E-mail: profkom551124@ukr.net

Improved quality control of welded joints

In this work, the magnetic field was reconfigured to control the suture. A computational model with a layout scheme for the horizontal and vertical magnetic fields of the seam bead with reference to the Cartesian coordinate system is proposed. The magnetic charges for a given welding roller are calculated. The topography of the defect field on the surface of the butt weld has been estimated. The results of the calculation of the tangential component of the field of convexity of the weld are obtained when the object is magnetized at an angle to the surface by the primary. The results of theoretical and experimental studies have shown high consistency, it is established that when the object is magnetized simultaneously perpendicular and parallel to its surface, the tangential component of the field The convexity of the seam is skew-symmetric, reminiscent of a sinusoid. The change in the convexity parameters of the weld does not change the field in the plane of its symmetry.

control, quality, object, welding compound, roller, topography, field, reliability, joint welding joint, defect, surface, magnet, Cartesian coordinate system

А.И. Мажейка, проф., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, г. Кропивницький, Україна

Повышение контроля качества сварных соединений

В работе проведено перестроение магнитного поля для контроля сварочного шва. Предложена расчетная модель со схемой расположения горизонтального и вертикального магнитных полей валика шва с привязкой к декартовой системе координат. Произведен расчет магнитных зарядов для заданного сварочного валика. Оценена топография поля дефекта на поверхности стыкового сварного шва. Получены результаты расчета тангенциальной составляющей поля выпуклости шва при намагничивании объекта под углом к поверхности первичным. Результаты теоретических и экспериментальных исследований показали высокую согласованность, установлено, что когда объект намагничен одновременно перпендикулярно и параллельно его поверхности, тангенциальная составляющая поля выпуклости шва является кососимметричной, напоминающей синусоиду. Изменение параметров выпуклости шва не приводит к изменению поля в плоскости его симметрии.

контроль, качество, объект, сварочное соединение, валик, топография, поле, надежность, стыковой сварочный шов, дефект, поверхность, магнит, декартова система координат

© Oleksandr Mazheyka, 2018

Statement of the problems. Welding works occupy a significant share in the production of machine building and construction. An important factor in increasing the service life of welded joints is improving the control of welded joints. To increase the reliability of the magnetographic inspection of butt welded joints, it is necessary to rebuild from the fields due to the presence of the convexity of the welded seam.

Analysis of recent researches and publishing. The results of theoretical and experimental studies of magnetostatic fields on the surface of the convexity of the seam during magnetization by a field directed parallel to the surface of the controlled article are given in [1-3]. To extend the capabilities of the magnetographic method of control allows the use of a permanent small-sized magnet in the form of a parallelepiped, which is moved directly above the controlled surface on which the magnetic tape is laid, and a face with one pole facing it, to magnetize instead of an electromagnet [4]. In this case, the primary field $\vec{H}_0$ in the control zone becomes inhomogeneous and contains both normal and tangential components. An investigation of the magnetostatic field of the convexity of the welded joint was carried out in [5] for the case when the primary field is directed normally to the surface of the article.

The main material. The task of this work was to study the topography of the magnetostatic field caused by a defect-free welded roller on the surface of a welded joint under the action of a normal H_{0y} and the tangential H_{0x} of the components of the primary field.

Let's assume that the welded seam is made on the surface of a ferromagnetic plate made of low-carbon steel, which makes it possible to neglect the influence of chemical and structural inhomogeneities on the magnetic properties of the weld and the weld zone. Let the height of the seam bead c , width b (Fig. 1). The external field is directed at an angle to the surface of the plate. The position of the Cartesian coordinate system is shown in Fig. 1. In this case, the Z axis is directed along the longitudinal axis of the seam.

Since the value of the normal component H_{0y} of the primary field under the magnet pole can be regarded as a first approximation in the constant

Dividing the reinforcement height of the seam by planes parallel to XZ into $(c/c_1) \cdot n$ equal parts, where $c_1 = 1$ mm, we use for analysis the approximation of the surface of reinforcement of the seam by the broken surface $ABCDE$ [1] (Fig. 1). When a perpendicular plate is magnetized by an external field on its surface ($|x| > b/2$) and on all planes of a broken surface parallel to XZ , negative bound "magnetic charges" with density $\sigma_1 = k \cdot H_{0y} = \sigma \cdot \sin \beta$. Since the value of the normal component H_{0y} of the primary field under the magnet pole can be regarded as a constant in the first approximation, then the value of σ_1 can be assumed unchanged on all horizontal areas. On all vertical faces of the broken surface parallel to YZ , positive "charges" arise with a surface density $\sigma_{2k} = k \cdot H_{0xk} = \sigma \cos \beta$, the value of which depends on the distance b_k from the Y axis to the k -th pad, since the value of the tangential component of the primary field H_{0x} varies linearly with respect to the width of the pole and is zero for $x = 0$.

The calculation procedure is similar to [1, 5].

The tangential H_x and normal H_y components of the field strength at an arbitrary point are determined by summing, respectively, H_{xi} and H_{yi} of the field components from the action of the "magnetic charges" of each of the sections of the computational model [1, 5]. The components of the field strength, due to the charge density σ_1 on the horizontal sections of the plate at $-\infty \leq x_1 \leq -b/2$ and $b/2 \leq x_1 \leq \infty$, are defined as

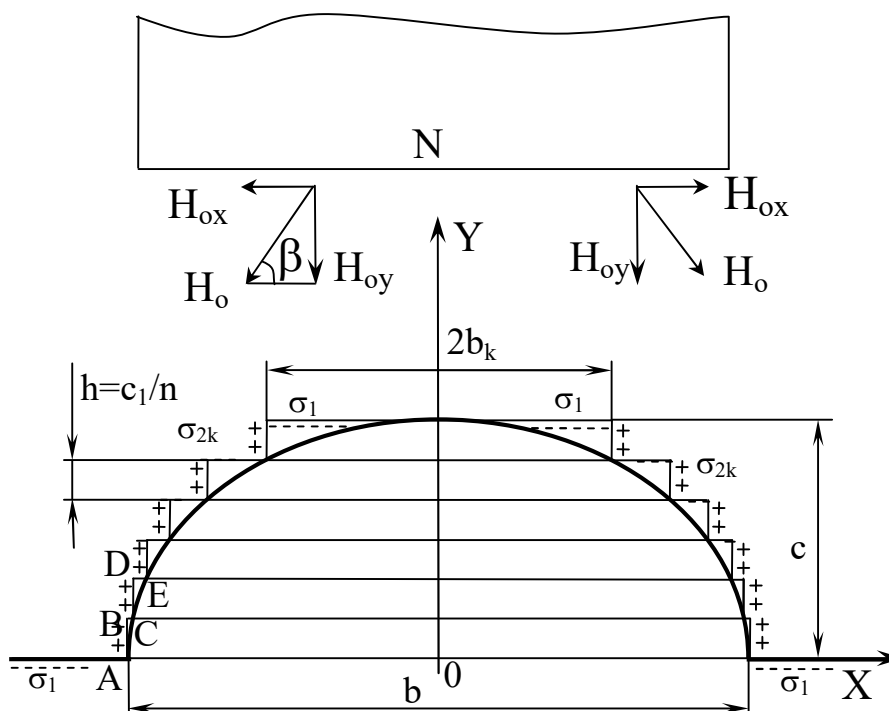


Figure 1 – Calculation model

$$dH_{x_1} = -2\sigma_1 \frac{x - x_1}{(x - x_1)^2 + y^2} dx_1; \quad (1)$$

$$dH_{y1} = -2\sigma_1 \frac{y}{(x-x_1)^2 + y^2} dx_1. \quad (2)$$

From the charged element dx_{2k} k- th horizontal platform for $-b_k \leq x_{2k} \leq -b_{k+1}$ и $b_{k+1} \leq x_{2k} \leq b_k$

$$dH_{x_{2k}} = -2\sigma_1 \frac{x - x_{2k}}{(x - x_{2k})^2 + (y - y_k)^2} dx_{2k}; \quad (3)$$

$$dH_{y_{2k}} = -2\sigma_1 \frac{y - y_k}{(x - x_{2k})^2 + (y - y_k)^2} dx_{2k}. \quad (4)$$

From the charged element $d\eta$ k- th vertical platform left for $-\frac{b}{2} \leq x_{2k} \leq 0$

$$dH_{x3k}^{je\varphi} = 2\sigma_{2k} \frac{x+b_k}{(x+b_k)^2 + (y-y_k+\eta)^2} d\eta; \quad (5)$$

$$dH_{y3k}^{neq} = 2\sigma_{2k} \frac{y - y_k + \eta}{(x + b_k)^2 + (y - y_k + \eta)^2} d\eta. \quad (6)$$

From the charged element $d\eta$ k- th vertical platform on right for $0 \leq x_{2k} \leq \frac{b}{2}$

$$dH_{x3k}^{np} = 2\sigma_{2k} \frac{x - b_k}{(x - b_k)^2 + (y - y_k + \eta)^2} d\eta; \quad (7)$$

$$dH_{y3k}^{np} = 2\sigma_{2k} \frac{y - y_k + \eta}{(x - b_k)^2 + (y - y_k + \eta)^2} d\eta, \quad (8)$$

where

$$y_k = k \frac{c_1}{n}, \text{ at } |x| < b/2; \quad y_k = -k \frac{c_1}{n}, \text{ at } |x| \geq b/2.$$

After integration of expressions (1) - (4) with respect to x in the indicated limits, and expressions (5) - (8) with respect to η in the range from 0 to h and their summation, we obtain:

$$H_{x\odot} = \sigma_1 \left\{ \ln \frac{(x + b/2)^2 + y^2}{(x - b/2)^2 + y^2} + \sum_{k=1}^{k=c \cdot \frac{n}{c_1}} \ln \frac{[(x + b_{k+1})^2 + (y - y_k)^2] \cdot [(x - b_k)^2 + (y - y_k)^2]}{[(x + b_k)^2 + (y - y_k)^2] \cdot [(x - b_{k+1})^2 + (y - y_k)^2]} \right\} +$$

$$+ 2 \sum_{k=1}^{k=c \cdot \frac{n}{c_1}} \sigma_{2k} \left[\operatorname{arctg} \frac{\frac{c_1}{n} (x + b_k)}{(x + b_k)^2 + (y - y_k)(y - y_k + \frac{c_1}{n})} + \operatorname{arctg} \frac{\frac{c_1}{n} (x - b_k)}{(x - b_k)^2 + (y - y_k)(y - y_k + \frac{c_1}{n})} \right]; \quad (9)$$

$$H_{y\odot} = \sigma_1 \left\{ \operatorname{arctg} \frac{b \cdot y}{y^2 + x^2 - b^2/4} + 2 \sum_{k=1}^{k=c \cdot \frac{n}{c_1}} \left[\operatorname{arctg} \frac{(b_{k+1} - b_k)(y - y_k)}{(y - y_k)^2 + (x + b_{k+1})(x + b_k)} + \operatorname{arctg} \frac{(b_{k+1} - b_k)(y - y_k)}{(y - y_k)^2 + (x - b_{k+1})(x - b_k)} \right] \right\} +$$

$$+ \sum_{k=1}^{k=c \cdot \frac{n}{c_1}} \sigma_{2k} \ln \frac{[(x + b_k)^2 + (y - y_k + \frac{c_1}{n})^2] \cdot [(x - b_k)^2 + (y - y_k + \frac{c_1}{n})^2]}{[(x + b_k)^2 + (y - y_k)^2] \cdot [(x - b_k)^2 + (y - y_k)^2]}. \quad (10)$$

If the weld surface in the plane, normal longitudinal axis of the weld, is approximated by a parabola, then b_k and b_{k+1} are determined according to [1] as

$$b_k = x|_{y=y_k} = \frac{b}{2} \sqrt{1 - k \frac{c_1}{c \cdot n}} \quad (11)$$

and correspondingly

$$b_{k+1} = x|_{y=y_{k+1}} = \frac{b}{2} \sqrt{1 - (k+1) \frac{c_1}{c \cdot n}}. \quad (12)$$

The dependences (9) and (10) make it possible to determine the tangential $H_{x\odot}$ and the normal $H_{y\odot}$ components of the magnetic field strength outside the seam, since in this case the axes τ and n coincide with X and Y . On the surface of the welded joint ($|x| < b/2$), the axis τ is tangential to the convexity of the seam [1, 5] and forms the angle $\alpha(x)$ with the X axis. In this case, the tangential and normal components of the joint convexity field on the joint surface are determined from the expressions:

$$H_{\tau\odot} = H_{x\odot} \cos \alpha(x) - H_{y\odot} \sin \alpha(x); \quad (13)$$

$$H_{n\odot} = H_{x\odot} \sin \alpha(x) - H_{y\odot} \cos \alpha(x). \quad (14)$$

The results of calculating the tangential component of the field of convexity of the seam when the object is magnetized at an angle to the surface by the primary field are shown in Fig. 2.

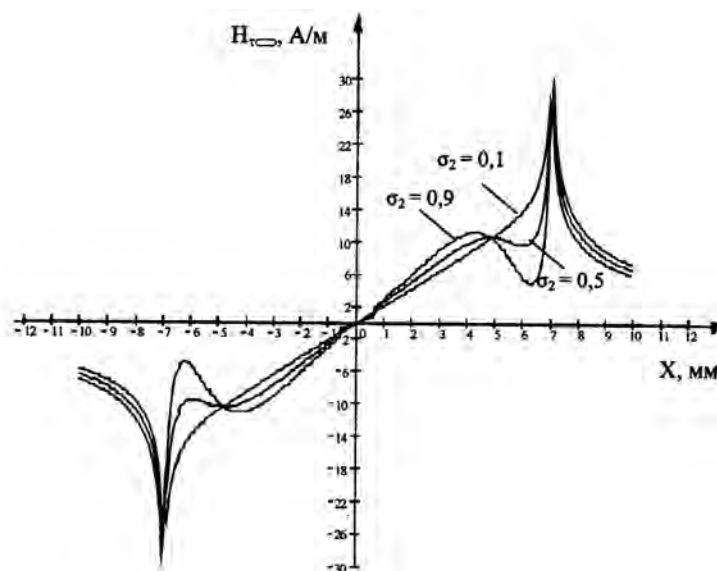


Figure 2 - Dependence of the tangential component on the surface of the welded joint on the magnetization conditions $b = 14$ mm, $c = 2$ mm, $\sigma_1 = 1.5$ A / m, $\sigma_2 = 0.1; 0.5; 0.9$ A / m

To assess the analytical dependencies obtained, experimental studies of the topography of the tangential component of the magnetic field strength on the surface of the welded surface of the weld have been carried out, since it is this field component that is recorded on the magnetic tape. To create a magnetizing field directed at an angle to the surface of the test sample, a permanent magnet was used. The sample was made in the form of a steel plate with a welded bead on its surface. To measure the magnetic field strength, a millislotometer ION-3 was used. The results of the measurements are shown in Fig. 3.

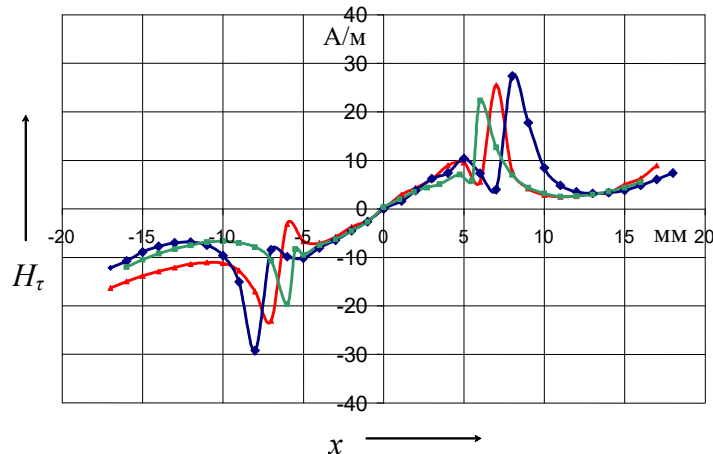


Figure 3 – Experimental topography of the tangential component of the field of convexity of the seam, caused by the normal and tangential components of the external magnetic field: 1) $b = 11$ mm; $c = 1.5$ mm; 2) $b = 12.5$ mm; $c = 1.7$ mm; 3) $b = 14$ mm; $c = 3$ mm

Conclusion. Thus, based on the results of calculation and experiment, it is established that when the object is magnetized simultaneously perpendicularly and parallel to its surface, the tangential component of the field of convexity of the seam is skew-symmetric, resembling a sinusoid. The change in the parameters of the convexity of the seam does not lead to a change in the field in the plane of its symmetry. An increase in the horizontal component of the primary field, which is equivalent to an increase in σ_2 , leads to an increase in the modulus of tension $H_{\tau_{\square}}$ in the middle part of the seam (but not in the plane of symmetry) and to a decrease in the approach to the edges of the seam.

References

1. Mazheika, A.I. Application of combined laser treatment for hardening of critical parts: abstracts of papers and program of the fourth international conference [Text]/ [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.
2. Кашуба Л.А. Чувствительность магнитографического метода контроля сварных швов [Текст]// Сб. Контроль качества сварных соединений. М.: ЦЕТИ. - 1968. - С. 74 - 79.
3. Новиков В. А. Особенности формирования магнитостатического поля валика шва на поверхности стыкового сварного соединения [Текст]/ В. А. Новиков // Диагностика и проектирование разрушения сварных конструкций. – 1988. – № 6. – С. 53-60.
4. Шарова, А. М. Топография поля дефекта на поверхности стыкового сварного шва [Текст]/ А. М. Шарова, В. А. Новиков // Дефектоскопия. – 1981. – № 5. – С. 71-78.
5. Шур, М. Л. Теоретическое и экспериментальное исследование тангенциальной составляющей поля валика усиления сварного шва [Текст]/ М. Л. Шур, С. Л. Ваулин, В. Е. Щербинин // Дефектоскопия. – 1981. – № 10. – С. 59-71.

References

1. Mazheika, A.I. (2009). Application of combined laser treatment for hardening of critical parts: abstracts of papers and program of the fourth international conference [Text]/ [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.
2. Kashuba, L.A. (1968). *Chuvstvitel'nost' magnitograficheskogo metoda kontrolja svarnyh shvov* [Sensitivity of magnetographic control method of weld seams]. Moscow: CETI.
3. Novikov, V.A. (1988). Osobennosti formirovaniya magnetostatsicheskogo polja valika shva na poverhnosti stykovogo svarnogo soedinenija [Features of formation of a magnetostatic field of a roll of a seam on a surface of a joint welding compound]. *Diagnostika i proektirovanie razrushenija svarnyh konstrukcij – Diagnostics and design of welded structures fracture*, 6, 53-60.
4. Sharova, A.M. & Novikov, V.A. (1981). Topografija polja defekta na poverhnosti stykovogo svarnogo shva [Topography of the defect field on the surface of the joint weld]. *Defektoskopija – Defectoscopy*, 5, 71-78.
5. Shur, M. L., Vaulin, S. L. & Shherbinin, V. E. (1981). Teoreticheskoe i jeksperimental'noe issledovanie tangencial'noj sostavl'jajushhej polja valika usilenija svarnogo shva [Theoretical and experimental study of the tangential component of the weld reinforcement roller field]. *Defektoskopija – Defectoscopy*, 10, 59-71.

О.Й. Мажейка, проф., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

Підвищення контролю якості зварних з'єднань

Для достовірності та підвищення якості магнітографічного контролю проведено дослідження магнітного поля зварювальних швів на поверхні опуклості шва. Метою даної роботи є аналіз існуючих методів магнітного контролю зварних швів і підвищення якості контролю зварних з'єднань шляхом формування магнітостатического поля в зоні зварного з'єднання при намагнічуванні полем, спрямованим паралельно і перпендикулярно поверхні контролюваного виробу.

Для підвищення надійності магнітографіческіе контролю стикових зварних з'єднань, необхідно перебудувати магнітні поля через наявність опуклості зварного шва. Запропоновано розрахункову модель зі схемою розташування горизонтального і вертикального магнітних полів валика шва з прив'язкою до декартової системи координат. Зроблено розрахунок магнітних зарядів для заданого зварювального валика. Оцінена топографія поля дефекту на поверхні стикового зварного шва. Отримано результати розрахунку тангенціальної складової поля опуклості шва при намагнічуванні об'єкта під кутом до поверхні первинним полем. **Для оцінки отриманих аналітичних залежностей були проведені експериментальні дослідження топографії тангенціальної складової напруженості магнітного поля на поверхні опуклості зварного шва. Для вимірювання напруженості магнітного поля використовували сучасне обладнання.** Результати теоретичних і експериментальних досліджень показали високу узгодженість.

Виходячи з результатів розрахунку і експерименту, встановлено, що коли об'єкт намагнічений одночасно перпендикулярно і паралельно його поверхні, тангенціальна складова поля опуклості шва є кососиметричною, що нагадує синусоїду. Зміна параметрів опуклості шва не призводить до зміни поля в площині його симетрії.

контроль, якість, об'єкт, зварювальне з'єднання, валик, топографія, поле, надійність, стиковий зварювальний шов, дефект, поверхня, магніт, декартова система координат

Одержано (Received) 07.06.2018

УДК 621.9.048.4

О. Ф. Сіса, доц., канд. техн. наук, В.В. Пукалов, доц., канд. техн. наук, В.В. Свяцький, доц., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м.Кропивницький, Україна, E-mail: sisaoleh@gmail.com

Розмірна обробка електричною дугою бічної поверхні напрямного ролика з композиційного матеріалу на основі реліту

Виконано обґрунтування технологічної схеми формоутворення зовнішньої бічної поверхні напрямного ролика, 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 твердого сплаву «Реліт» з режимами обробки і геометричними параметрами.

електрична дуга, ролик, твердий сплав, реліт, технологія, обладнання

О. Ф. Сиса, доц., канд. техн. наук, В.В. Пукалов, доц., канд. техн. наук, В.В. Свяцкий, доц., канд. техн. наук

Центральноукраинский национальный технический университет, г. Кропивницкий, Украина

Размерная обработка электрической дугой боковой поверхности направляющего ролика с композиционного материала релит

Выполнено обоснование технологической схемы формообразования внешней боковой поверхности направляющего ролика, 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 твердого сплава «Релит» с режимами обработки и геометрическими параметрами.

электрическая дуга, ролик, твёрдый сплав, релит, технология, оборудование

Постановка проблеми. Напрямні ролики у ввідних роликових коробках дрібносортових дротяних станів експлуатуються в складних напружених і температурних умовах, при цьому плинуть постійні і циклічні термічні напруження, які виникають при багатократному нагріванні в процесі експлуатації. Вплив стаціонарного і нестаціонарного теплового режиму приводе до значної зміни структури і властивостей матеріалу. В результаті відбувається загальне розміцнення матеріалу, а значить зношування ролика, тому особлива увага приділяється матеріалам наплавлення поверхневого шару, а також способам їх обробки. Проблема зумовлена, необхідністю знімання доволі великого припуску (до 2 мм) важкооброблюваного композиційного матеріалу, що має підвищену твердість, специфікою технології обробки бічної поверхні ролика.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основним напрямленням підвищення зносостійкості поверхневих шарів є нанесення високоміцних зносостійких матеріалів. При напавленні міцної зносостійкої поверхні тривалість роботи напрямних роликів коробок дрібно сортових дротяних станів збільшується у 3...5 рази. Для наплавлення роликів застосовується наплавочний порошковий дріт ВЕЛТЕК-620,

Нп-70Х5Г3МЗСФР, наплавочний композиційний порошок ПС-12НВК-01, який складається з суміші порошків карбіду вольфраму (35 % по масі) і порошка ПГ-10Н-01 (65 % по масі), забезпечуючи твердість наплавленого металу HRC 62...65, також реліту.

Реліт уявляє собою евтектичний сплав моно - і полукарбіду вольфраму $WC+W_2C$ (20...22 % WC + 78...80 % W_2C) [1], який має високу зносостійкість. Застосовують у якості наплавочної присадки – стрічковий реліт для формування зносостійкої поверхні. Стрічковий реліт – пруток плоского перерізу з осередком розкислюючих, легуючих і флюсоутворюючих компонентів, а також часток карбідів вольфраму (реліту) при мікротвердості HV 2000...2200, який отриманий подрібненням зливків. Основними способами отримання зносостійкого покриття з використанням стрічкового реліту є аргонодугова, плазмова, плазмово-порошкове і ацетиленно-кисневе наплавлення. В металі який наплавляється відсутні пори, тріщини та інші дефекти. Стрічковий реліт добре тече по поверхні яка наплавляється, що забезпечує формування зносостійкого шару.

При виконанні механічної обробки наплавлених деталей напрямних роликів, окрім поліпшення обробки, необхідно вирішувати дві задачі:

- швидко продуктивне видалення великих припусків, яке визвано нерівностями і похибками форми після наплавлення;
- швидке підвищення точності і якості обробки поверхонь на чистових операціях після чорнових.

Обробка високоміцних матеріалів різанням характеризується малою пластичною деформацією, відсутністю наросту на ріжучій частині інструменту, низької теплопровідності, підвищенням температури в зоні різання, підвищення витираючої здібності, яка обумовлена наявністю карбідних включень. Ці частки діють на інструмент подібно абразиву і призводять до збільшенню зносу інструменту.

В якості зносостійкої складової композиційного сплаву реліт застосовують литі карбіди вольфраму. Як відомо, що найменшою оброблюваністю різанням мають вольфрам і його сплави. Вагомий вплив оказує на оброблюваність – теплофізичні властивості вольфраму. Низький коефіцієнт теплового розширення призведе до появи невеликої величини теплового розширення в зоні різання, а величина об'ємної теплоємності досягає 69...75% об'ємної теплоємності сталі. Тому вольфрам нагрівається швидше, аніж сталь і температура обробки деталі, стружки і різця вище, аніж при різанні сталі. Час роботи ріжучого інструмента дуже обмежено і не перевищує декількох хвилин.

Дослідження [2] показали, що при точінні покриттів, які наплавлені порошковими дротами, або композиційними сплавами реліт, найбільш перспективним є інструмент, який оснащений пластинами ПСТМ кіборит або томал-10, де стійкість складає 20...25 хвилин при твердості наплавленого металу до HRC 60...65 з продуктивністю 5...10 мм³/хв для шорсткості поверхні $Ra=1,25...2,5$ мкм при режимах різання: швидкості обертання $V=24...36$ м/с; подачі $S=0,1...0,2$ мм/об; глибини різання $t=0,1...0,2$ мм.

Оброблюваність реліту можливо підвищити застосовуючи різання з підігрівом до $T=300...400$ °С, також підвищується стійкість різців, але при цьому відбувається викидання часток вольфраму з матричного матеріалу, крім цього локалізація нагрівання на окремих ділянках викликає великі залишкові напруження.

Основними факторами, які утруднюють обробку реліту, є висока хрупкість, твердість, теплостійкість і абразивний вплив на інструмент.

Оброблюваність реліту шліфуванням [3] більш низька в порівнянні з обробкою жароміцних і титанових сплавів. Напрямні ролики дрібносортових дротяних станів, які наплавлені релітом шліфуються алмазним шліфуванням. При обробці одного ролика витрачається декілька алмазних кругів. З'являються похибки форми поверхні для усунення якої необхідне вигладжування, що призведе до великих втрат часу і збільшенню алмазних кругів.

Шліфування – динамічний процес фізико-хімічного впливу на поверхневий шар деталі з термопружньопластичними деформаціями.

За час обробки ролик сприймає велику кількість силових і температурних імпульсів, при цьому температура нагрівання може досягати 500...600 °С, а амплітудні коливання змінюються в межах від 0,5...2 і до 10...20 мкм, тому поверхня шліфування знаходиться у складному напруженому стані. Шліфування включає дві технологічні операції: попередню (чорнову) обробку з застосуванням інструменту форми 1А1 високоміцних марок алмазів марок АС15 або АС20 зернистістю 250/200 і шліфуванням на глибину $t=0,2...0,3$ мм; кінцеву (чистову) обробку з застосуванням інструменту із алмазів марки АС6 зернистістю 125/100 і шліфуванням на глибину $t=0,05...0,1$ мм. Продуктивність шліфування в порівнянні з точінням пластинами ПСТМ кіборит або томал-10 зменшується 8-12 разів.

Зі зміною хвилястості робочого профілю круга і затупленням абразивних зерен змінюється деформування зовнішніх наплавлених шарів ролика, що впливає на інтенсивність теплоутворення і розвиток дифузійних окислювальних процесів. З підвищенням температури збільшується швидкість структурних змін і рухомість дислокацій. Крім цього процес шліфування характеризується великим тиском на ролик (до 350Н), а глибина шару деформування досягає 1 мм з залишковим напруженням до 400 МПа.

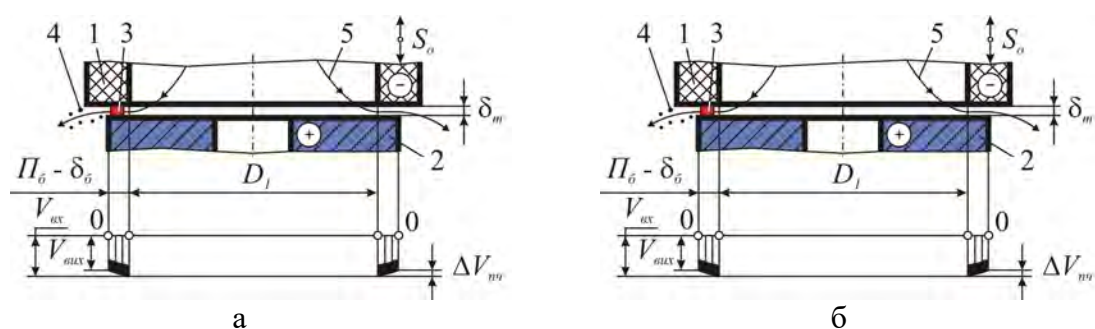
На заключних операціях механічної обробки при шліфуванні не тільки втрачається ефект зміцнення поверхневого шару, але і виникають додаткові дефекти (тріщини, прожоги і т.п.), які є джерелом руйнування деталей.

Одним з шляхів зниження трудомісткості, збільшення продуктивності і усунення недоліків є застосування електрофізичних, або електрохімічних способів обробки, що дозволяє підвищити якість обробки, збільшити стійкість деталі, значно розширити можливості обробки. Тому необхідно виготовляти зовнішній контур бічної поверхні катка, застосовуючи технології які будуть альтернативними обробці різанням.

За роботами [4,5,6,7,8] 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 [5] продуктивність обробки круглого отвору діаметром 30 мм (площа обробки 706 мм²) в матеріалі сталь 45 при силі струму $I=1000$ А, досягає 27300 мм³/хв при $Ra = 6,3$ мкм та глибині зони термічного впливу в межах кількох сотих долей міліметра. Однак, впровадження у виробництво процесу РОД напрямних роликів дрібносортових дротяних станів стримується відсутністю експериментальних даних про взаємозв'язок технологічних характеристик даного процесу з електричним і електродинамічним режимами обробки та геометричними параметрами зовнішньої бічної поверхні, яка оброблюється. Проблема ще більш загострюється при отриманні бічної поверхні з визначеною шорсткістю та механічними властивостями. Тому розробка технології і обладнання способу РОД для отримання зовнішньої бічної поверхні напрямних роликів дрібносортових дротяних станів є актуальною.

Постановка завдання. Таким чином, метою досліджень є розробка технології та обладнання способу РОД напрямних роликів дрібносортових дротяних станів, як високоефективної альтернативи традиційним способам їх обробки.

Виклад основного матеріалу. В якості технологічної схеми формоутворення вибрана схема за принципом прошивання-копіювання. 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 периферії до центру електрода-інструмента (рис.1). Предметом дослідження були такі технологічні характеристики: продуктивність обробки M , мм³/хв; питома продуктивність обробки M_a , мм³/А·хв; питома витрата електроенергії a , кВт·год/кг; бічний зовнішній МЕЗ δ , мм; відносний лінійний знос ЕІ γ , %; шорсткість обробленої поверхні R_a , мкм. Будівництво математичних моделей технологічних характеристик процесу РОД сплаву реліт 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 , мм²; напруга горіння електричної дуги U , В).



а – початкова фаза обробки; б – проміжна фаза обробки (1 – графітовий ЕІ; 2 – заготовка; 3 – електрична дуга; 4 – продукти ерозії; 5 – гідродинамічний потік)

Рисунок 1 – Технологічна схема формоутворення та епюри швидкостей потоку в торцевому МЕЗ

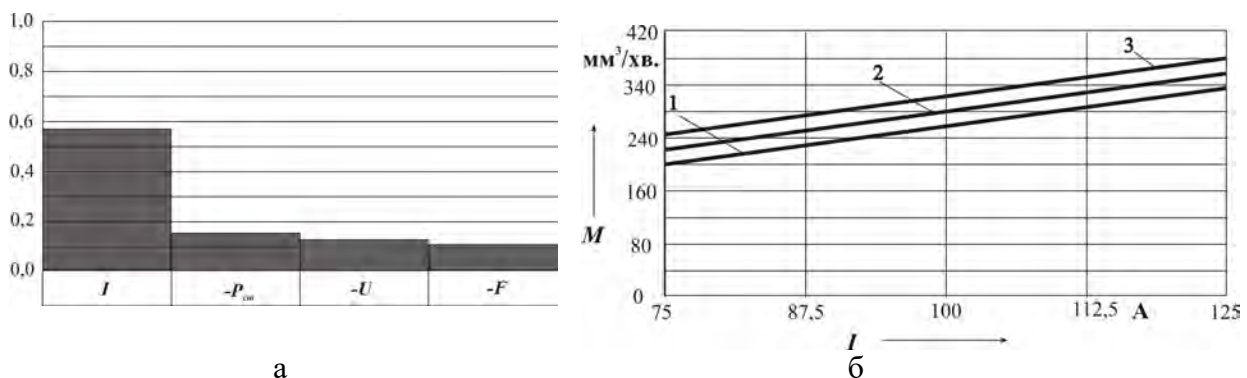
Таблиця 1 – Поліноміальні математичні моделі технологічних характеристик процесу РОД зразків наплавлених релітом

Математична модель	Масштабні співвідношення факторів
Уніполярна РОД бічної поверхні зразка за формулою «графітовий ЕІ – реліт» з використанням способу прямого прокачування	
$M = 290,88 + 65,88x_1 - 20,63x_2 - 14,13x_4 - 13,63x_3$	$x_1 = (X_1 - 100) / 25$ $x_2 = (X_2 - 1,25) / 0,25$ $x_3 = (X_3 - 120) / 40$ $x_4 = (X_4 - 30) / 5$
$M_a = 2,93 - 0,245x_2 - 0,17x_3 - 0,158x_4 - 0,073x_1$	
$a = 11,81 + 2,446x_4 + 0,88x_2 + 0,484x_3 + 0,124x_1$	
$R_a = 14,625 + 2,5x_1 - 2x_2 + 0,875x_4 + 0,375x_3$	
$\delta_o = 0,0425 + 0,00625x_4 - 0,005x_3 + 0,00375x_1$	
$\gamma_{\text{л}} = 5,849 + 0,596x_3 - 0,211x_2 + 0,109x_4 - 0,004x_1$	
де: $X_1 \rightarrow I$, А; $X_2 \rightarrow P_{cm}$, МПа; $X_3 \rightarrow F$, мм ² ; $X_4 \rightarrow U$, В	

Усі фактори задовольняють умови керованості, операціональності та однозначності. Інші параметри процесу РОД були зафіксовані на постійному рівні: робоча рідина – органічне середовище; полярність обробки – пряма; матеріал електрода-інструмента – електроерозійний графіт марки МПГ-7.

В рамках експерименту : продуктивність M процесу РОД сплаву реліт змінювалась в межах від 189 до 363 мм³/хв.; питома продуктивність обробки M_a – від 2,52 до 3,92 мм³/А·хв; питома витрата електроенергії a – 7,18 до 14,98 кВт·год/кг; шорсткість обробленої поверхні Ra – 10 до 20 мкм; бічний зовнішній МЕЗ δ – 0,025 до 0,060мм; відносний лінійний знос ЕІ γ – 5,01 до 6,85 %.

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 статичного тиску P_{cm} робочої рідини на вході потоку у міжелектродний зазор на продуктивність обробки M значно менший, але має суттєве значення, з його підвищенням продуктивність буде зменшуватись. Вплив напруги горіння електричної дуги U приблизно у 0,68 рази менше в порівнянні з статичним тиском P_{cm} робочої рідини на вході потоку у міжелектродний зазор, але має істотне значення, з підвищенням U продуктивність обробки M зменшується. Останнє пояснюється зростанням температури електричної дуги у зв'язку зі стисненням її більш динамічним потоком робочої рідини. Вплив площі обробки F на продуктивність обробки M має значення, з підвищенням F продуктивність M знижується. Це дозволяє застосовувати спосіб РОД для обробки напрямних роликів дрібносортових дротяних станів.

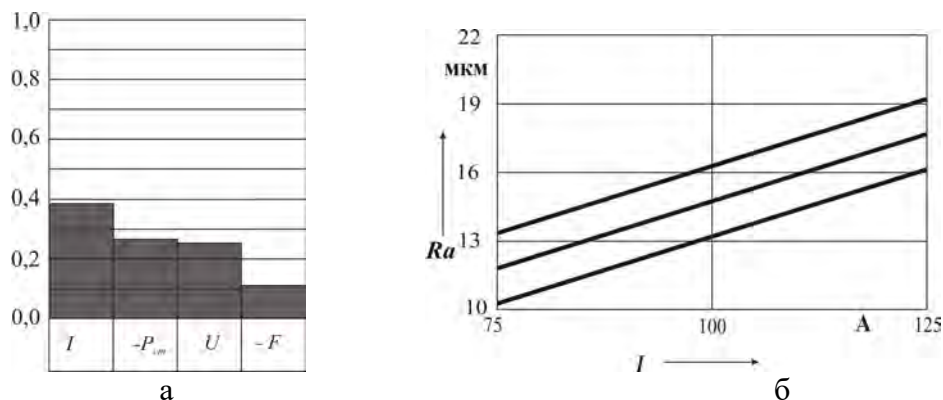


а – ступінь впливу змінних факторів; б – залежність M від I ; 1 – $P_{cm} = 1,5$ МПа;
2 – $P_{cm} = 1,25$ МПа; 3 – $P_{cm} = 1,0$ МПа

Рисунок 2 – Продуктивність M РОД бічної поверхні зразка за формулою “графітовий ЕІ- «Реліт»” з використанням способу прямого прокачування

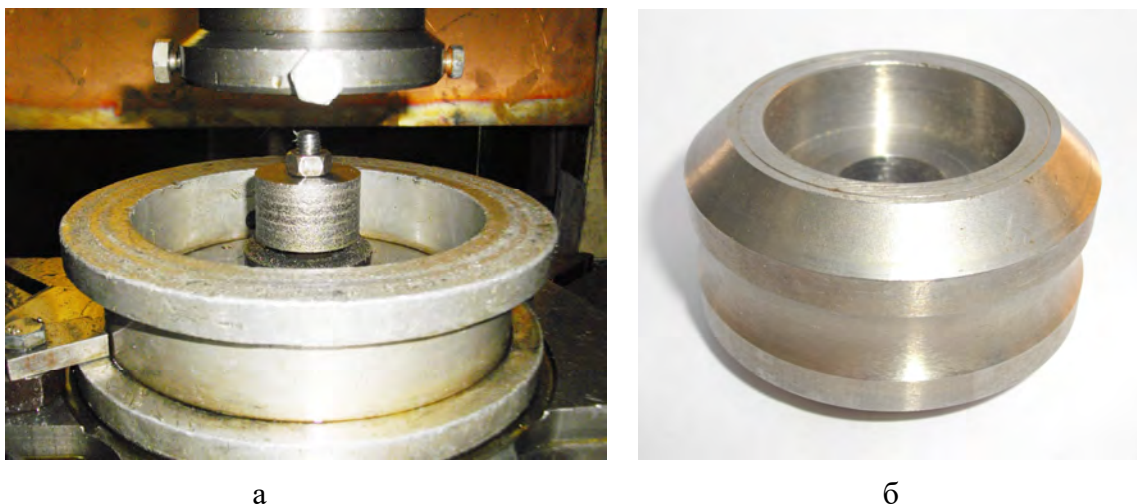
Із моделі та (рис. 3) виходить, що шорсткість обробленої поверхні Ra в повній мірі визначається силою технологічного струму I (ступінь впливу – 43,5 %) та залежить від статичного тиску P_{cm} , а також напруги горіння електричної дуги U . Із підвищенням I шорсткість поверхні підвищується. Отже, сила 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 вимірювалась на периферійній частині торцевої поверхні зразка. В умовах експерименту вона

змінювалася у межах від Ra –10 до 20 мкм. За результатами металографічних досліджень мікротріщин у поверхневому шарі зразка після РОД не виявлено.



а – ступінь впливу змінних факторів; б – залежність Ra від I ; 1 – $P_{cm} = 1,5$ МПа;
2 – $P_{cm} = 1,25$ МПа; 3 – $P_{cm} = 1,0$ МПа

Рисунок 3 – Шорсткість обробленої поверхні Ra РОД бічної поверхні зразка за формулою “графітовий ЕІ- «Реліт»” з використанням способу прямого прокачування



а – обробка заготовки ролика на електроерозійному верстаті моделі "Дуга-8Г" графітовим ЕІ ($I = 125$ А, $P_{cm} = 1,0$ МПа, $F = 160$ мм², $U = 25$ В);
б – напрямний ролик дрібносортового дротяного стану ($d = 52$ мм, $h = 30$ мм)

Рисунок 4 – Випробування способу РОД напрямного ролика дрібносортового дротяного стану

Обробку бічної поверхні, а саме фасонної циліндричної калібруючої напрямної (рис 4, б), здійснювали графітовим ЕІ марки МПГ-7 при наступному режимі обробки: сила технологічного струму $I = 125$ А, напруга на дузі $U = 25$ В, статичний тиск органічної робочої рідини на вході потоку в міжелектродний зазор $P_{cm} = 1,0$ МПа, площа обробки $F = 160$ мм², полярність обробки пряма (заготовка «мінус»), спосіб прокачування рідини крізь торцевий міжелектродний зазор – пряма (від центра до периферії отвору заготовки). В результаті обробки напрямного ролика дрібносортового дротяного стану наплавленого релітом, була зафіксована продуктивність обробки $M = 380$ мм³/хв., що в 1,4...2,6 разів перевищує продуктивність шліфування алмазними кругами.

Висновки. В результаті аналізу сучасних методів обробки напрямних роликів дрібносортового дротяного стану показано, що найбільш продуктивним, є спосіб РОД в умовах уніполярного режиму. Шляхом математичного моделювання, встановлено аналітичні зв'язки та досліджено вплив фізико-технологічних факторів, що обумовлюють режим обробки (силу струму, статичний тиск рідини, частоту зміни полярності обробки), та геометричні параметри на технологічні характеристики процесу. Отримані моделі дозволяють керувати продуктивністю та питомою продуктивністю обробки, питомою витратою електроенергії, якістю та точністю обробленої поверхні, прогнозувати та оптимізувати дані характеристики.

Таким чином, експериментально доведена доцільність використання способу РОД для високопродуктивної обробки напрямних роликів роликів коробок дрібносортового дротяного стану, що вимагає відповідно невеликих капіталовкладень в обладнання і технологію, забезпечить швидку окупність за рахунок значного збільшення строку служби ролика, призведе до помітної економії коштів на будь-якому виробництві виготовлення напрямних роликів роликів коробок дрібносортового дротяного стану.

Список літератури

1. Вайнерман А.Е. Аргонодуговая наплавка порошков на основе карбида вольфрама на сталь для получения износостойких покрытий [Текст] / А.Е. Вайнерман, Н.В.Беляев // Вопросы материаловедения. – 2002. – №2. – С.43–46.
2. Коган Б.И. Прогрессивные режущие материалы для токарной обработки восстанавливаемых поверхностей деталей машин [Текст]/ Б.И. Коган // Вестник государственного технического университета. – 2013. – №1. – С. 58–64.
3. Ткаченко В. П. Алмазная обработка твердого сплава «Релит» [Текст] / В.П Ткаченко, В.И. Сви́дeрcкий, В.И. Новиков // Вісник Інженерної Академії України. – Київ, 2000. – Спец. випуск. С. 212–214.
4. Носуленко В. И. Размерная обработка металлов электрической дугой [Текст] / В. И. Носуленко // Электронная обработка материалов. – 2005. – № 1. – С. 8–17.
5. Боков В.М. Механизм формообразования плоских поверхностей электрической дугой [Текст] / В.М. Боков, О.Ф. Сіса, В.Я. Мирзак // Электронная обработка материалов. – 2018. – Т. 54 (3). – С. 53–63. DOI: 10.5281/zenodo.1297935
6. Боков В. М. Розмірне формоутворення поверхонь електричною дугою [Текст] / В.М. Боков. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий центр ТОВ «Імекс-ЛТД», 2002. – 300 с.
7. Боков В. М. Оброблюваність матеріалів електричною дугою: монографія [Текст] / В.М. Боков, О.Ф. Сіса. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий центр ТОВ «Імекс – ЛТД», 2013. – 172 с.
8. Сіса, О. Ф. Розмірна обробка електричною дугою бічної поверхні твердосплавного прокатного валка [Текст] / О. Ф. Сіса // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. - Кіровоград: КНТУ, 2014. – Вип. 44. – С. 153–159.

Referencis

1. Vaynerman, A.Ye. & Belyaev, N.V. (2002). Argonodugovaya naplavka poroshkov na osnove karbida volframa na stal dlya polucheniya iznosostoykikh pokrytiy [Argon-arc surfacing of powders based on tungsten carbide on steel for the production of wear-resistant coatings]. *Voprosy materialovedeniya – Problems of Materials Science*, 2, 43-46.
2. Kogan, B.I. (2013). Progressivnye rezhushchie materialy dlya tokarnoy obrabotki vosstanavlivaemykh poverykhnostey detaley mashin [Прогрессивные режущие материалы для токарной обработки восстанавливаемых поверхностей деталей машин]. *Vestnik gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Bulletin of the State Technical Universit*, 1, 58-64.
3. Tkachenko, V. P., Sviderskiy, V.I. & Novikov, V.I. (2000). Almaznaya obrabotka tverdogo splava «Relit» [Алмазная обработка твердого сплава «Релит»]. *Visnik Inzhenernoї Akademії Ukraїni – Bulletin of the Engineering Academy of Ukraine*, 212-214.
4. Nosulenko, V. I. (2005). Razmernaya obrabotka metallov elektricheskoy dugoy [Dimensional treatment of metals by electric arc]. *Elektronnaya obrabotka materialov – Electronic material processing*, 1, 8-17.

5. Bokov, V.M., Sisa, O.F. & Mirzak V.Ya. (2018). Mekhanizm formoobrazovaniya ploskikh poverkhnostey elektricheskoy dugoy [Mechanism for the formation of plane surfaces by electric arc]. *Elektronnaya obrabotka materialov – Electronic material processing*, Vol. 54 (3), 53-63. DOI: 10.5281/zenodo.1297935.
6. Bokov, V.M. (2002). *Rozmirne formoutvorennja poverkhonj elektrychnoju dughoju [Dimensional shaping of surfaces by electric arc]*. Kirovograd: Polighrafichno-vydavnychyj centr TOV «Imeks-LTD».
7. Bokov, V.M. & Sisa, O.F. (2013). *Obroblyvanistj materialiv elektrychnoju dughoju: monohrafijsja [Machining of materials by electric arc]*. Kirovograd: Polighrafichno-vydavnychyj centr TOV «Imeks – LTD».
8. Sisa, O. F. (2014). Rozmirna obrobka elektrychnoju dughoju bichnoji poverkhni tverdosplavnogho prokatnogho valka [The dimensional processing of hard-alloy forming roll side surface by the electric arc]. *Zaghaljnoderzhavnyj mizhvidomchyj naukovy-tekhnichnyj zbirnyk. Konstrujuvannja, vyrobnyctvo ta ekspluatacija sil'sjkozhospodarsjkykh mashyn – National Interagency Scientific and Technical Collection of Works. Design, Production and Exploitation of Agricultural Machines*, 44, 153-159.

Oleh Sisa, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Viktor Pukalov, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Volodymyr Sviatskyi, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Dimensional Treatment by an Electric Arc of the Lateral Surface of a Guide Roller From a Composite Material Based on Relit

The article is dedicated to development of technology and equipment of rough machining method by electric arc of a guide roller side surface, as high performance alternative to traditional methods of rough machining.

During operation, the damage to the surface of the hard alloys guide roller caliber occurs by abrasion and chipping of carbide particles. The development of net shaped roll marks occurs by the occurrence of hotbeds of accelerated cluster abrasion and chipping of smaller particles with subsequent growth of these areas and unification in a closed net shaped roll marks. The turned out particles of hard alloy leave the machining marks on the wire, in such a worn the hard alloy rolling roller does not meet the specified dimensions and it is reground to a smaller diameter by grinding of diamond tool on the rough machining stage. It is proposed on the stage of rough machining to remove the worn-out profile of a guide roller side surface with help of dimensional electric arc, which allows you to remove big allowances of material at the lowest treatment costs. It is suggested to get the lateral surface by dimensional electric arc with a given roughness of $Ra = 10..20\text{mkm}$, which allows you to take great allowances material at the lowest cost processing time. In this case, the processing cycle of hard alloy side surface decreased of 1,4...2,6 times.

The justification of technical scheme of forming the guide roller side surface by electric arc sizing method is done taking into account features of physical formatting mechanism and hydrodynamic phenomena in the electrode gap. The analytical communication of technological characteristics of rough machining process by electric arc made of composite material, based on relit, with the modes of processing and geometric parameters are established. The obtained models allow to control the productivity and specific productivity, specific electricity consumption, quality and surface accuracy which is processed, predicted and optimized given characteristics. A technical solution is proposed that allows to expand the technological possibilities of processing the guide roller.

electric arc, roller, firm alloy, relit, technology, equipment

Одержано (Received) 22.05.2018

УДК 62-231:621.9.04

О.В. Шелепко, асист., А.М. Кириченко, проф., д-р техн. наук, А.І. Гречка, доц., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна,

E-mail: shelepko.o@gmail.com

Експериментальне визначення жорсткості багатогоординатного верстата паралельної структури «пентапод»

Роботу присвячено вимірюванню пружних переміщень робочого органа багатогоординатного верстата паралельної структури «пентапод» під навантаженням та експериментальному визначенню матриць просторової жорсткості та податливості. Розроблено схеми вимірювання переміщення робочого органа, який розташований вздовж осі Z при його навантаженні по осям X, Y та Z. Побудовано залежності похибки переміщення робочого органа від зміни його положення відносно осі X в діапазоні від -0,075 м до 0,075 м, $Y = 0$, $Z = 0$ при постійному навантаженні рівному 100 Н вздовж осі X, Y та Z та визначено матрицю жорсткості на основі результатів отриманих експериментальним шляхом.

верстат паралельної структури, пентапод, жорсткість, податливість, робочий орган

О. В. Шелепко, асист., А. Н. Кириченко, проф., д-р техн. наук, А.И. Гречка, доц., канд. техн. наук

Центральноукраинский национальный технический университет, г. Кропивницкий, Украина

Экспериментальное определение жесткости многокоординатного станка параллельной структуры «пентапод»

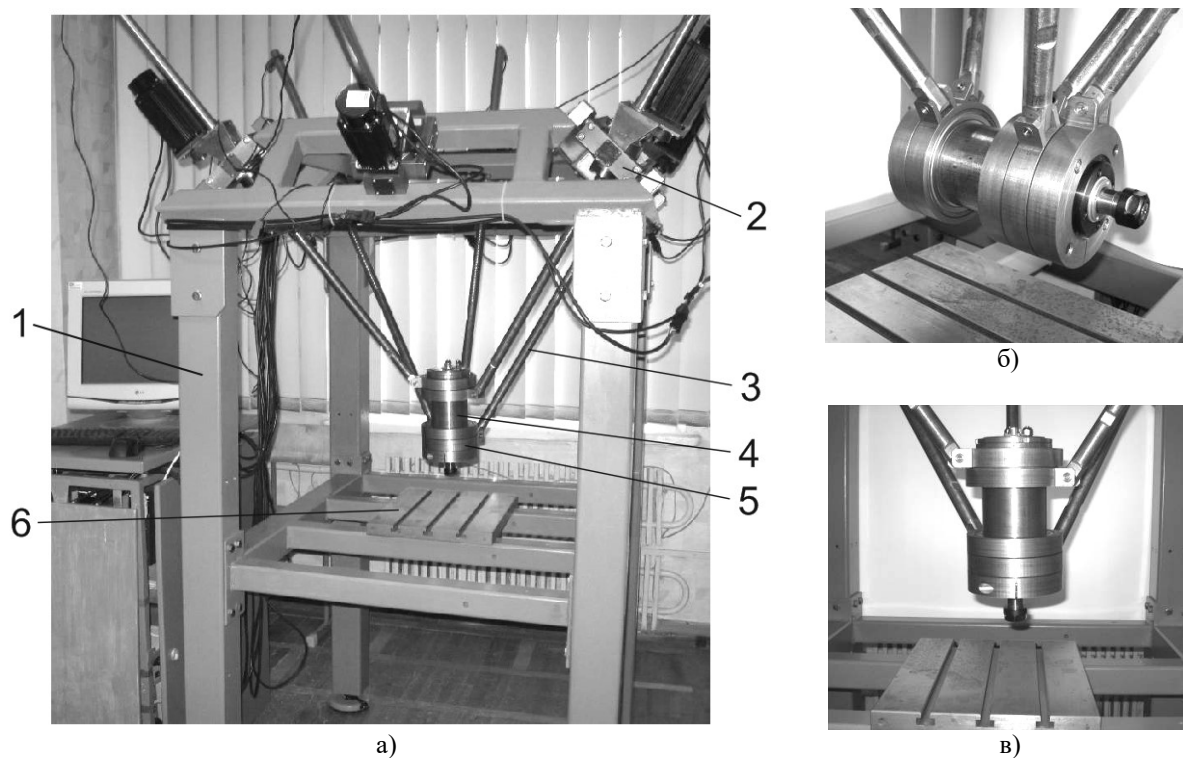
Работа посвящена измерению упругих перемещений рабочего органа многокоординатного станка параллельной структуры «пентапод» под нагрузкой и экспериментальному определению матриц пространственной жесткости и податливости. Разработаны схемы измерения перемещения рабочего органа, который расположен вдоль оси Z при его нагрузке по осям X, Y и Z. Построены зависимости погрешности перемещения рабочего органа от изменения его положения относительно оси X в диапазоне от -0,075 м до 0,075 м, $Y = 0$, $Z = 0$ при постоянной нагрузке равном 100 Н вдоль оси X, Y и Z. и определена матрица жесткости на основе результатов полученных экспериментальным путем.

станок параллельной структуры, пентапод, жесткость, податливость, рабочий орган

Постановка проблеми. Одним з перспективних напрямів розвитку верстатобудування є створення багатогоординатних верстатів паралельної структури, які характеризуються високою швидкістю переміщення при достатній жорсткості для обробки складних деталей та вузлів. До такого обладнання можна віднести багатогоординатні верстати паралельної структури «пентапод», які виконують різні види обробки, інтегрування до системи автоматизованого виробництва та швидку адаптацію до змін продукції за рахунок особливостей конструкції та використання уніфікованих вузлів, а завдяки калібруванню у просторі досягається висока точність оброблених деталей.

Проте дослідження жорсткості верстатів паралельної структури по більшій мірі присвячені верстатам-гексаподам [1-5], що не дає можливості зробити однозначні висновки про величину та характер розподілу жорсткості верстата-пентапода.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У [6] описано методику експериментального вимірювання жорсткості верстата-гексапода. Теоретичний розрахунок просторової жорсткості верстата-пентапода описано у роботі [7], дані розрахунки виконуються на основі кінематичних залежностей [8]. Для підтвердження теоретичних досліджень було спроектовано і виготовлено багатокоординатний верстат паралельної структури із ланками змінної довжини «пентапод» (рис. 1). Верстат складається з основи 1, на якій розміщено п'ять карданних шарнірів 2 з штангами змінної довжини 3. Іншим кінцем кожна штанга 3 прикріплена до робочого органа 4 через шарніри 5 таким чином, що вісь кожної штанги 3 проходить через вісь робочого органа 4. Оброблювана деталь встановлюється на стіл 6 [9]. Робочий орган верстата має здатність повертатися на кут більше 90° відносно осі Z, що дає змогу здійснювати обробку складних деталей, варіанти просторової орієнтації робочого органа представлені на рис. 1 б, в.



а) загальний вигляд; б, в) положення робочого органа
Рисунок 1 – Багатокоординатний верстат паралельної структури «пентапод»

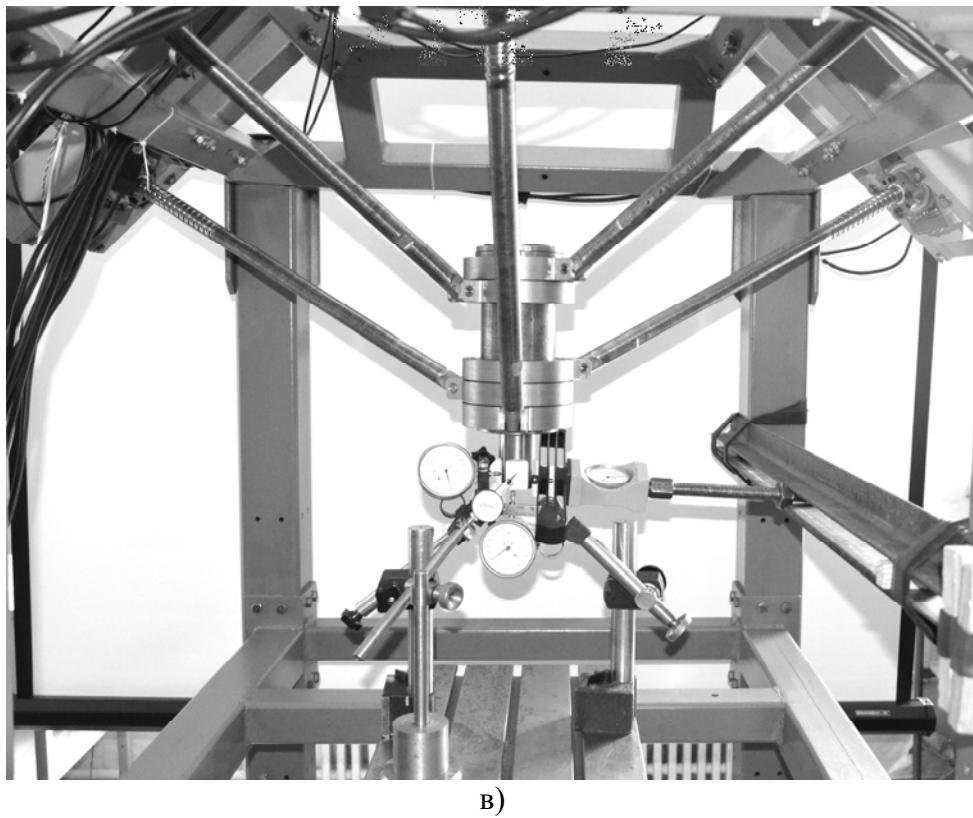
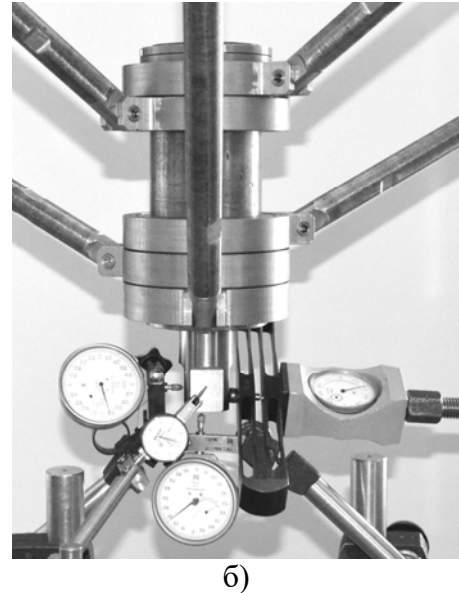
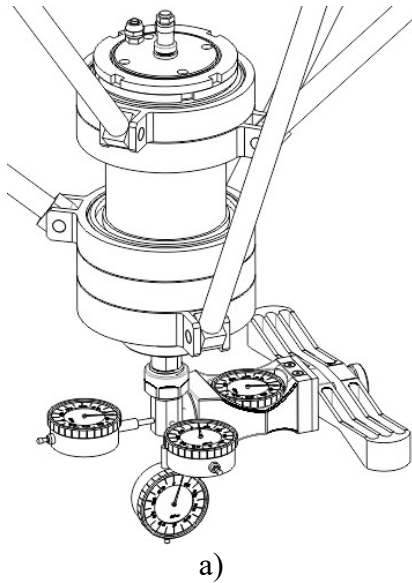
Постановка завдання. Таким чином, метою роботи є визначення просторової жорсткості робочого органа верстата-пентапода, встановлення залежності переміщень робочого органа від його положення у робочому просторі та визначення матриці жорсткості за результатами експериментальних вимірювань.

Виклад основного матеріалу. Для визначення просторової жорсткості верстата розроблено схеми вимірювання переміщень робочого органа, розташованого вздовж осі Z при його навантаженні вздовж осі X (рис. 2,а) та виготовлено стенд для експериментальних досліджень (рис. 2,б,в).

Робочий орган 1 верстата паралельної структури «пентапод» фіксується в заданому положенні вздовж осі Z завдяки подачі живлення на двигуни верстата. Навантаження робочого органа 1 відбувається за допомогою гвинта 2, який розміщується вздовж осі X, Y або Z в залежності від напрямлення дії навантаження, а

контроль величини зусилля прикладеної сили виконується динамометром 3. Величина переміщення робочого органа 1 фіксується індикаторами 4 [9].

В якості вимірювального пристрою використано індикатор Mitutoyo 513-445 (діапазон вимірювання 0,4 мм, ціна поділки 0,002 мм) та індикатори ИЧ-10 (діапазон вимірювання 0-5 мм, ціна поділки 0,01 мм). Для контролю величини навантаження використовується динамометр переносний третього розряду ДОСМ-3-0,05 (0,03...0,5 кН).



а) схема; б, в) дослідний стенд

Рисунок 2 – Вимірювання переміщень робочого органа при навантаженні вздовж осі X

Для виключення грубих помилок приймаємо 3 повтори у кожній позиції матриці експерименту [10], враховуючи попередньо наявну апріорну інформацію про характеристики експериментальної установки.

На основі отриманих результатів експериментальних вимірювань, побудовано залежності похибки переміщення робочого органа від зміни його положення відносно осі X в діапазоні від $-0,075$ м до $0,075$ м, $Y = 0$, $Z = 0$ при постійному навантаженні рівному 100 Н вздовж осі X (рис. 3, а), осі Y (рис. 3, б) та осі Z (рис. 3, в).

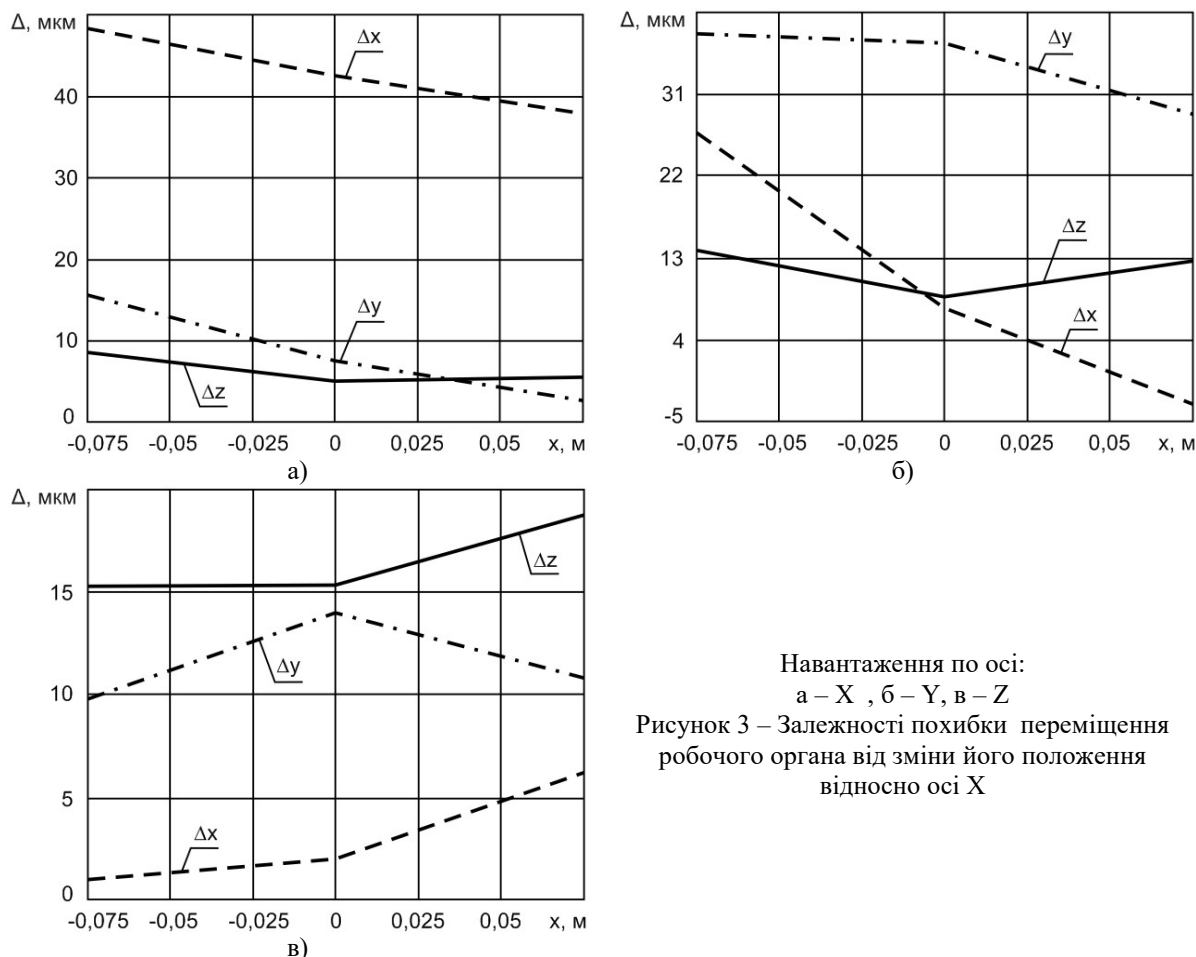


Рисунок 3 – Залежності похибки переміщення робочого органа від зміни його положення відносно осі X

Максимальні переміщення по осям співпадають із напрямком дії навантаження. При навантаженні робочого органа по осі X та Y максимальне переміщення Δx , Δy , Δz спостерігається у положенні робочого органа $X = -0,075$ м, $Y = 0$, $Z = 0$, а при навантаженні вздовж осі Z максимальне переміщення Δx та Δz спостерігається у положенні робочого органа $X = 0,075$ м, $Y = 0$, $Z = 0$, а Δy у положенні робочого органа $X = 0$, $Y = 0$, $Z = 0$.

Для розрахунку експериментальної матриці жорсткості використовуємо виміряні відхилення робочого органа Δx , Δy , Δz у заданому положенні під дією навантажувальної сили W у заданому напрямку (рис. 3).

Для визначення матриці жорсткості на основі експериментальних даних необхідно визначити найближчу симетричну позитивно визначену матрицю, оскільки матриця, обчислена за експериментальними даними буде несиметричною внаслідок похибок вимірювання та аналізу даних [6]. Таким чином, найближча симетрично позитивно визначена матриця податливості визначається за нормою Фробеніуса [1] та матиме вигляд:

$$C_{SPSD} = \frac{B + Z \cdot \text{diag}(\lambda_i) \cdot Z^T}{2}, \quad (1)$$

де $B = \frac{C_e + C_e^T}{2}$ – симетричний компонент матриці податливості $C_e = \frac{\Delta_e}{W}$; Z , λ_i – власні значення матриці C_e (стовпчики матриці Z , що у спектральному розкладі представляють собою власні вектори матриці C_e).

Таким чином матриця жорсткості на основі експериментальних даних визначається як:

$$K_e = k \cdot C_{SPSD}^{-1}, \quad (2)$$

де k – коефіцієнт, що враховує жорсткість рами верстата.

Значення експериментально визначеної матриці податливості, найближчої симетричної позитивно визначеної матриці податливості та матриця жорсткості для трьох положень робочого органа наведені у табл.1.

Таблиця 1 – Експериментально визначенні значення матриці жорсткості

Положення робочого органа у просторі (X0 Y0 Z0) ^T	Матриця податливості $C_e \cdot 10^{-6}$	Найближча симетрично позитивно визначена матриця податливості $C_{SPSD} \cdot 10^{-6}$	Матриця жорсткості $K_e \cdot 10^6$
$\begin{pmatrix} -0,075 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0,772 & 0,268 & 0,01 \\ 0,216 & 0,376 & 0,098 \\ 0,096 & 0,137 & 0,153 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0,772 & 0,242 & 0,053 \\ 0,242 & 0,376 & 0,118 \\ 0,053 & 0,118 & 0,153 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 2,125 & -1,497 & 0,414 \\ -1,497 & 5,606 & -3,788 \\ 0,414 & -3,788 & 11,261 \end{pmatrix}$
$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0,672 & 0,074 & 0,02 \\ 0,076 & 0,366 & 0,14 \\ 0,035 & 0,086 & 0,153 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0,672 & 0,075 & 0,028 \\ 0,075 & 0,366 & 0,113 \\ 0,028 & 0,113 & 0,153 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1,98 & -0,383 & -0,074 \\ -0,383 & 4,676 & -3,382 \\ -0,074 & -3,382 & 10,986 \end{pmatrix}$
$\begin{pmatrix} 0,075 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0,594 & -0,032 & 0,062 \\ 0,006 & 0,288 & 0,108 \\ 0,041 & 0,127 & 0,188 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0,594 & -0,019 & 0,051 \\ -0,019 & 0,288 & 0,117 \\ 0,051 & 0,117 & 0,188 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 2,289 & 0,545 & -0,966 \\ 0,545 & 6,189 & -4,018 \\ -0,966 & -4,018 & 9,692 \end{pmatrix}$

Висновки. На основі запропонованої методики вимірювання переміщень робочого органа розташованого вздовж осі Z при його навантаженні по осям X, Y та Z отримані залежності похибки переміщення робочого органа від зміни його положення відносно осі X. Із отриманих залежностей видно, що максимальні переміщення по осям співпадають із напрямком дії навантаження. При навантаженні робочого органа по осі X та Y максимальне переміщення Δx , Δy , Δz спостерігається у положенні робочого органа $X = -0,075$ м, $Y = 0$, $Z = 0$, а при навантаженні вздовж осі Z максимальне переміщення Δx та Δz спостерігається у положенні робочого органа $X = 0,075$ м, $Y = 0$, $Z = 0$, а Δy у положенні робочого органа $X = 0$, $Y = 0$, $Z = 0$.

Отримавши матрицю жорсткості експериментальним шляхом для різних положень робочого органа видно, що максимальна зміна жорсткості вздовж осі Y не перевищує 25%, а вздовж осей X та Z 14%.

Дослідження переміщення робочого органа у просторі під дією сили навантаження дасть змогу в подальшому встановити пріоритетні ділянки робочого простору, в яких буде спостерігатися найбільша жорсткість верстата.

Список літератури

1. Higham N.J. Computing a nearest symmetric positive semidefinite matrix [Text] / N.J. Higham // *Linear Algebra and its applications*. – 1988. – Vol. 103. – P. 103-118.
2. Кириченко, А. М. Моделювання жорсткості верстата-гексапода [Текст] / А. М. Кириченко // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград: КНТУ, 2008. – Вип. 21. – С. 122-126.
3. Струтинський, В.Б. Теоретичний аналіз жорсткості шестикоординатного механізму паралельної структури [Текст] / В.Б. Струтинський, А.М. Кириченко // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія «Машинобудування». – 2009. – №57. – С. 198–207.
4. Кириченко, А. М. Матриця жорсткості просторових механізмів паралельної структури з пружними ланками [Текст] / А. М. Кириченко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. – Кіровоград: КНТУ, 2010. – Вип. 40, ч. 1. – С. 256-262.
5. Кириченко А.М. Просторова жорсткість обладнання з паралельною кінематикою [Текст] / А.М. Кириченко, В.Б. Струтинський // Вісник ЖДТУ. – 2010. – №8. – С. 88-97.
6. Струтинський, В. Б. Експериментальне визначення матриці жорсткості моделі гексапода [Текст] / В.Б. Струтинський, А.М. Кириченко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. – Кіровоград: КНТУ, 2011. – Вип. 41, ч. 1. – С. 133-141.
7. Кириченко А.М. Просторова жорсткість верстата з механізмом паралельної структури «пентапод» [Текст] / А.М. Кириченко, О.В. Шелепко, М.І. Черновол // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Вип. 42, ч. II. – Кіровоград: КНТУ, 2012. – С. 187-190.
8. Кириченко А.М. Кінематика п'ятикоординатного верстата з паралельною структурою [Текст] / А.М. Кириченко, О.В. Шелепко, С.П. Сапон // Вісник ЧДТУ. Серія ТН. – Чернігів, 2013. – №67 (3). – С. 100-104.
9. Кириченко А.М. Експериментальне дослідження жорсткості шарнірів робочого органа багатокоординатного верстата паралельної структури «пентапод» [Текст] / А. М. Кириченко, О. В. Шелепко // Вісник Херсонського національного технічного університету. – Херсон: ХНТУ, 2015. – № 4. – С. 31-35.
10. Сиденко В.М. Основы научных исследований [Текст] / В.М. Сиденко, И.М. Грушко. – Харьков: «Вища школа», 1977. – С. 200.

Referencis

1. Higham, N.J. (1988). Computing a nearest symmetric positive semidefinite matrix. *Linear Algebra and its applications*, Vol. 103, 103-118.
2. Kyrychenko, A. M. (2008). Modeliuvannia zhorstkosti verstata-heksapoda [Modeling of the hardness of the hexapod machine]. Zbirnyk naukovykh prats' Kirovohrads'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu. Tekhnika v sil's'kohospodars'komu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia – *Collected Works of Kirovohrad National Technical University. Machinery in agricultural production, industry machine building, automation*, Vol. 21, 122-126.
3. Strutyns'kyj, V.B. & Kyrychenko, A.M.(2009). Teoretychnyj analiz zhorstkosti shestykoordynatnoho mekhanizmu paralel'noi struktury [Theoretical analysis the stiffness of six-dimensional mechanism of a parallel structure] Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu Ukrainy „Kyivs'kyj politekhnichnyj instytut” Seriya „Mashynobuduvannia” – *Journal of Mechanical Engineering NTUU “Kyiv Polytechnic Institute”. Machine Building Series*, 57, 198–207.
4. Kyrychenko, A. M. (2010). Matrytsia zhorstkosti prostorovykh mekhanizmiv paralel'noi struktury z pruzhnyimi lankamy [Stiffness matrix of spatial parallel robots with elastic links]. Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia sil's'kohospodars'kykh mashyn: zahal'noderzh. mizhvid. nauk.-tekhn. zb.– *National Interagency Scientific and Technical Collection of Works. Design, Production and Exploitation of Agricultural Machines*, Vol. 40, 1, 256-262.
5. Kyrychenko, A.M. & Strutyns'kyj, V.B. (2010). Prostorova zhorstkist' obladnannia z paralel'noiu kinematykoiu [Spatial rigidity of equipment with parallel kinematics]. *Visnyk ZhDTU – The Journal of ZSTU*, 8, 88-97.
6. Strutyns'kyj, V.B. & Kyrychenko, A.M. (2011). Eksperymental'ne vyznachennia matrytsi zhorstkosti

- modeli heksapoda [The experimental identification of stiffness matrix of hexapod]. Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia sil'skohospodars'kykh mashyn: zahal'noderzh. mizhvid. nauk.-tekhn. zb. – *National Interagency Scientific and Technical Collection of Works. Design, Production and Exploitation of Agricultural Machines, Vol. 41, 1*, 133-141.
7. Kyrychenko, A.M., Shelepko, O.V. & Chernovol, M.I. (2012). Prostorova zhorstkist' verstata z mekhanizmom paralel'noi struktury «pentapod» [Spatial rigidity of machine tool with parallel manipulator «pentapod»]. Zahal'noderzhavnyj mizhvidomchyj naukovo-tekhnichnyj zbirnyk. Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia sil'skohospodars'kykh mashyn. – *National Interagency Scientific and Technical Collection of Works. Design, Production and Exploitation of Agricultural Machines, Vol. 42, II*, 187-190.
 8. Kyrychenko, A.M., Shelepko, O.V. & Sapon, S.P. (2013). Kinematyka p'iatykoordinatnoho verstata z paralel'noiu strukturoiu [Kinematics of a five-coordinate machine with a parallel structure]. *Visnyk ChDTU. Serii TN. – Collected Works "ChSTU Bulletin. Series: Engineering"*, 67 (3), 100-104.
 9. Kyrychenko A.M. & Shelepko, O.V. (2015). Eksperymental'ne doslidzhennia zhorstkosti sharniriv robochoho orhana bahatokoordinatnoho verstata paralel'noi struktury «pentapod» [Experimental study of the stiffness joints of the working organ multi-coordinate machine of the parallel structure of "pentapod"]. *Visnyk Kherson's'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu. – Herald of Kherson national technical university*, 4, 31-35.
 10. Sydenko V.M. & Hrushko, Y.M. (1977). *Osnovy nauchnykh yssledovanyj [Fundamentals of scientific research]*. Khar'kov: "Vyscha shkola".

Olha Shelepko, applicant, Andriy Kyrychenko, Prof., DSc., Andriy Hrechka, Assoc. Prof, PhD tech. sci.
Centralukrainian National Technical University, Kropyvniysky, Ukraine

Experimental Determination of Stiffness of Pentapod Parallel Kinematics Machine

The article is devoted to determination of spatial stiffness of the end effector of a pentapod parallel machine tool and its relation to the end effector position into the machine workspace, determination of the compliance and stiffness matrices from experimental measurements data.

To study the spatial stiffness of the machine, the method for measuring the displacements of the end effector were developed and a bench for experimental research was produced. On the basis of the results of experimental measurements, the dependence of the end effector displacement upon the change of its position relative to the X axis in the range from -0,075 m to 0,075 m with a constant load equal to 100 N along the X, Y and Z axes. The compliance and stiffness matrices of the machine is calculated on the basis of experimental measurements of the displacements Δx , Δy , Δz of the end effector by computing the nearest symmetric positive definite matrix, which is determined by the Frobenius norm. The experimental stiffness matrix 3x3 is obtained for three positions of the end effector.

From the obtained dependences of the displacement of the end effector from its position relative to the X axis under constant load, the maximum displacement along the axes coincides with the direction of the load. Having obtained the compliance and stiffness matrices experimentally for different positions of the end effector, it is shown that the maximum difference in stiffness along the Y axis does not exceed 25%, and along X and Z axes is 14%. The obtained experimental results of the displacement of the end effector in machine workspace under the load force enables further establishment of the areas of the workspace in with the maximum stiffness and helps formulate guidelines to improve the pentapod machine tool spatial stiffness.

parallel kinematic machine, pentapod, stiffness, compliance, end effector

Одержано (Received) 16.06.2018

АВТОМАТИЗАЦІЯ

УДК 004:336.71

Р.О. Баглай, асп.*Київський національний торговельно-економічний університет, м. Київ, Україна**E-mail: romanbaglai@gmail.com*

Механізми управління безпекою банківських інформаційних систем

В статті проведено аналіз сучасних тенденцій щодо проблем та механізмів управління безпекою банківських інформаційних систем, на основі хмарних технологій. Розглянуто підходи до управління безпекою ІТ банківських установ для мінімізації загроз, в тому числі породжених хмарними технологіями. Запропоновано сучасний підхід до побудови механізмів забезпечення безпеки ІТ через запровадження довіреної третьої сторони, застосування єдиної авторизації в інформаційних системах (від англ. Single sign-on, надалі SSO) та федеративних сценаріїв доступу. Розглянуто майбутній обсяг покриття проблем щодо ІТ безпеки та рішення постачальників відповідного програмного забезпечення, які базуються на хмарних сервісах

архітектура ІТ банку, хмарні технології Trusted Third Party, Single sign-on, Identity as a Service

Р.О. Баглай, асп.*Киевский национальный торгово-экономический университет, г. Киев, Украина*

Механизмы управления безопасностью банковских информационных систем

В статье проведен анализ современных тенденций относительно проблем и механизмов управления безопасностью банковских информационных систем на основе облачных технологий. Рассмотрены современные подходы по управлению безопасностью ИТ банковских учреждений для минимизации угроз, в том числе пораженных облачными технологиями. Предложен современный подход построения систем с механизмами обеспечения безопасности ИТ, через внедрение доверенной третьей стороны, применение единой авторизации в информационных системах (от англ. Single Sign-on) и федеративных сценариев доступа. Рассмотрен будущий охват покрытия проблем относительно ИТ безопасности и решения от поставщиков соответствующего программного обеспечения, которое основано на облачных сервисах.

архитектура ИТ банка, облачные технологии, Trusted Third Party, Single sign-on, Identity as a Service

Постановка проблеми. При дослідженні питань безпеки інформаційних систем виникає низка нештатних ризиків та викликів переміщення до хмари, які значно знижують ефективність традиційних механізмів захисту. Зокрема, що хмарне середовище унеможливорює концепцію захисту від загроз шляхом встановлення периметра безпеки. Периметровий захист – це сукупність фізичних та програмних політик безпеки, яка забезпечує захист від віддаленої зловмисної діяльності на умовному периметрі. Традиційно вважається, що будь-який зв'язок з системами або організаціями поза межами організації надає можливість для неавторизованих осіб (персоналу або процесів) отримати доступ або втрутитись в інформаційні процеси. За цим статичним підходом до захисту встановлюються умовні кордони, в межах яких розгорнуті політики безпеки для захисту інформаційних систем. У моделі хмарних обчислень периметр стає нечітким, зводячи нанівель ефективність цієї концепції захисту [1 с. 583].

З огляду на вищезазначене для забезпечення сильної авторизації і як наслідок конфіденційності, цілісності та доступності банківських інформаційних систем (надалі ІС), ІС на основі хмарних технологій, слід використовувати інші механізми захисту, зокрема, – механізми єдиної авторизації в інформаційних системах з підтримкою федеративних сценаріїв. Крім значного підвищення рівня безпеки хмарних сервісів ці інноваційні технології також дозволяють підвищити ефективність банківських операційних процесів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми безпеки застосування хмарних технологій в різних соціально-економічних сферах досліджували вітчизняні та зарубіжні науковці Зіссіс Д., Леккас Д., Бобиль В.В., Корольов В.Ю., Кондратьєв А.А. та інші. У публікаціях Бобиль В.В [2,3] враховано специфіку банківського сектору, але не міститься конкретних рекомендацій щодо механізмів забезпечення конфіденційності, цілісності, доступності даних банківських інформаційних систем (надалі – ІС). Праці інших науковців зокрема Корольов В.Ю. [4], Кондратьєв А.А. [5] не враховують, в повній мірі, специфіку забезпечення безпеки ІТ для банківських установ. Проте, особливості діяльності банківських установ, яка регулюється нормативно-правовими актами Національного банку України, а в контексті євроінтеграції, – Європейський центральним банком, Базельським комітетом з банківського нагляду, Радою стандартів безпеки платіжних карт, Товариством всесвітніх міжбанківських фінансових телекомунікацій, та іншими міжнародними установами, зумовлюють специфіку організації системи забезпечення безпеки ІТ, що визначає необхідність вивчення механізмів захисту від загроз безпеки ІТ для банків.

Постановка завдання. Метою даної статті є дослідження перспективних технологій захисту від загроз безпеки ІТ, що дозволить здійснити впровадження хмарних технологій для банківських ІС, для скорочення витрат та підвищення ефективності підтримки ІТ для бізнес-процесів банку.

Виклад основного матеріалу. З огляду на те, що встановлення фізичного периметру безпеки за умов розгортання банківської ІС на хмарній інфраструктурі неможливе, слід застосовувати інші механізми захисту. За таких обставин, в межах хмари, ми пропонуємо визначити довірену третю сторону (надалі ДТС). Для забезпечення довіри та впровадження політики використання криптографії, гарантування конфіденційності, цілісності та автентичності даних та зв'язків, потрібно вирішити конкретні ризики та убезпечити вразливі місця безпеки.

У цьому контексті механізми SSO є незамінними, оскільки вони забезпечують засоби сильної автентифікації на різних фізичних ресурсах. У середовищі SSO користувачеві не потрібно повторно вводити паролі для доступу до ресурсів через мережу. Замість цього користувач авторизується, коли використовує пароль, смарт-картку або інший механізм автентифікації і тим самим отримує доступ до декількох ресурсів на різних пристроях. Обсяг довіри до ДТС визначається потребами щодо надання сервісів безпеки, які всеціло охоплюють процеси служб безпеки, що масштабуються, працюють на основі стандартів в різних доменах, географічних районах і враховують специфіку банківського сектора.

Принцип роботи SSO. В основі концепції SSO лежить принцип «Користувач вводить пароль лише раз за сесію», застосований при розробці протоколу Kerberos вченими Массачусетського технологічного інституту у восьмидесятих роках минулого століття. Kerberos – це вбудований протокол автентифікації Active Directory, що використовується мережами Windows. Таким чином, користувачі мають доступ до всіх сервісів, на які вони авторизовані, без потреби заново вводити пароль під час сесії. Ця властивість також відома як SSO.

Для забезпечення конфіденційності, цілісності та автентичності SSO спирається на інфраструктуру ключів, ДТС та служби каталогу облікових записів користувачів.

SSO інтегрований з Windows. Ці служби дозволяють підключатися до кількох додатків у мережі, які використовують загальний механізм автентифікації. Вони запитують та підтверджують обліковий запис користувача після входу в мережу та використовують ці облікові дані, щоб визначити дії, які користувач може виконувати на основі наданих прав. Наприклад, якщо програми інтегруються за допомогою Kerberos, після того, як система автентифікує облікові дані, користувач може отримати доступ до будь-якого ресурсу в мережі, що інтегрований з Kerberos.

Серверне SSO внутрішньої мережі. Ці служби дозволяють інтегрувати неоднорідні програмні додатки та системи в корпоративне середовище. Ці програмні додатки та системи можуть не використовувати загальну автентифікацію. Кожний програмний додаток має свій власний каталог облікових даних користувачів. Наприклад, Windows використовує службу каталогу Active Directory для автентифікації користувачів, а меншрейми комп'ютери використовують Інструмент контролю доступу до ресурсів (від англ. Resource Access Control Facility IBM (RACF) для автентифікації тих самих користувачів. В межах підприємства корпоративна шина даних інтегрує програмні додатки «фронт-ендів» (від англ. front-end) та «бек-ендів» (від англ. back-end). Корпоративний SSO дозволяє користувачам підприємства під'єднуватися як до програмних додатків «фронт-енду», так і «бек-енду», використовуючи лише один набір облікових даних. Це дає можливість при ініціації як з Windows Single Sign-on (в якому початковий запит виконується з середовища домену Windows), так і Host Initiated Single Sign-On (в якому початковий запит здійснюється з середовища, не пов'язаного з Windows) отримати доступ до ресурсу в домені Windows.

Синхронізація паролів спрощує адміністрування бази даних SSO та зберігає паролі в синхронізації через каталоги користувачів. Це можна зробити за допомогою адаптерів синхронізації паролів, які можна налаштувати та якими можна керувати за допомогою інструментів синхронізації паролів.

SSO зовнішньої мережі (Web SSO). Ці служби дозволяють отримувати доступ до ресурсів через Інтернет за допомогою єдиного набору облікових даних користувача. Користувач надає набір облікових даних для входу на різні веб-сайти, що належать різним організаціям. Прикладом цього типу SSO є мережа Microsoft Passport для додатків споживачів. Для федеративних сценаріїв служби федерації Active Directory надає Web SSO.

Одним із прикладів програмного забезпечення SSO з відкритим кодом є система Shibboleth, яка підтримує федерації хмар та ідентифікацію між багатьма сайтами, що використовують стандарт SAML. На рівні програмного забезпечення основна частина системи Shibboleth – це бібліотеки OpenSAML. Додана вартість цього програмного забезпечення полягає в підтримці конфіденційності, удосконаленні бізнес-процесів через атрибути користувачів, підтримці масштабованих політик контролю та федерацій через метадані.

Федерація – це набір груп юридичних осіб (доменів безпеки), які встановили зв'язки для безпечного обміну ресурсами. Юридичні особи, що входять до групи, поділяють набір узгоджених політик та правил доступу до онлайн-ресурсів, зокрема у відповідності до стандарту ISO 270001. Постачальник ресурсів з однієї групи може надати авторизований доступ до ресурсу, яким він розпоряджається в іншій групі, на основі запиту щодо атрибуту (такого як обліковий запис або інший визначальний атрибут користувача), які підтверджені постачальником сервісу ідентифікації користувачів (або сервісом видачі квитків безпеки). Федерація забезпечує структуру та

правову основу, яка дає змогу проводити автентифікацію та авторизацію в різних організаціях.

Федеративний сценарій особливо актуальний для великих банків, яким необхідно надати захищений доступ до даних. Такими, наприклад, можуть бути дані кредитного бюро або платіжної інфраструктури «бек-ендів» через інтерфейс програмування додатків (від англ. Application Programming Interface, API) згідно вимог оновленої директиви щодо платіжних сервісів (від англ. Revised Payment Service Directive, PSD2). В окремих випадках банку необхідно надати доступ до веб-сервісів для використання як власними співробітниками, так і уповноваженими співробітниками бізнес-партнерів, або корпоративних клієнтів. Через використання стандартних механізмів ІТ рішень щодо федеративних сценаріїв доступу, таких як WS-Federation, банк має змогу надати доступ до веб-сервісів без необхідності здійснювати адміністрування облікових записів працівників партнерів, що знижує витрати банку, адже облікові записи партнерів адмініструються самими партнерами.

Хмарна інфраструктура може бути організована у відокремлених доменах безпеки (програмний додаток або сукупність програм, які всі довіряють спільному фактору безпеки для автентифікації, авторизації або управління сесією), що дозволяє створити федеративні хмари.

Федеративні хмари – це сукупність окремих хмар, які можуть взаємодіяти, тобто обмінюватися даними та обчислювальними ресурсами через певні інтерфейси. У федерації хмар кожна окрема хмара залишається незалежною, але може взаємодіяти з іншими хмарами в федерації через стандартизовані інтерфейси.

Застосування федерацій спільно з технологією інфраструктури відкритих ключів (від англ. Public Key Infrastructure, PKI) та полегшеним протоколом доступу до каталогів (від англ. Lightweight Directory Access Protocol, LDAP) призведе до ефективних довірчих відносин між залученими суб'єктами.

Основні вимоги побудови Системи управління інформаційною безпекою та автентифікації користувачів банківських ІС

Основні вимоги та підходи до побудови визначені у стандартах Міжнародної організації зі стандартизації (від англ. International Organization for Standardization, надалі ISO) ISO 27000, 27001, 27002, 27005. Національний банк України (надалі НБУ) адаптував ці вимоги у нормативному документі «Положення про організацію заходів із забезпечення інформаційної безпеки в банківській системі України» (надалі – Положення) [6].

На рівні програмного додатку мають застосовуватись механізми захисту для забезпечення сильної автентифікації користувача, контроль цілісності та конфіденційності на всіх етапах обробки інформації.

Крім того користувачі з привілейованими правами доступу до банківських ІС (адміністратори) мають застосовувати механізм двофакторної автентифікації, для мінімізації ризику несанкціонованого доступу до даних, які становлять банківську таємницю. В Положенні зазначено, зокрема, таке: «Банк зобов'язаний використовувати механізми двофакторної автентифікації під час надання доступу до систем автоматизації банку та управління базами даних» [6].

Положення також регламентує порядок управління та блокування облікових записів користувачів, аудит подій доступу, застосування алгоритмів криптографічного захисту інформації, захисту від зловмисного коду, використання актуальних версій операційних та прикладних систем.

Світові тенденції щодо пріоритетів безпеки. Зміна пріоритетів щодо забезпечення безпеки хмарних технологій підтверджується результатами досліджень

компанії Kuppingercole [8 с. 53]. На рис. 1 графічно зображено три виміри: хмарні обчислення (моделі розгортань), соціальні обчислення (популяції користувачів), мобільні обчислення (типи пристроїв). Традиційне покриття проблем щодо безпеки ІТ, щодо хмарних обчислень, охоплює наступні моделі розгортань: встановлення банківських ІС на власних серверах в приміщеннях банку (від.англ. On-premise), аутсорсинг/оренда серверного апаратного забезпечення, приватна хмара, або використання хмарних сервісів та потужності апаратних ресурсів на власному фізичному/орендованому апаратному забезпеченні банку. В контексті соціальних обчислень традиційне покриття ІТ безпеки охоплює внутрішніх користувачів та партнерів, а контексті типів пристроїв охоплюються лише персональні комп'ютери (надалі – ПК) та ноутбуки. Автор вважає, що традиційне покриття ІТ безпеки цілком вписується в не застосовну до хмарних технологій концепцію периметрового захисту.

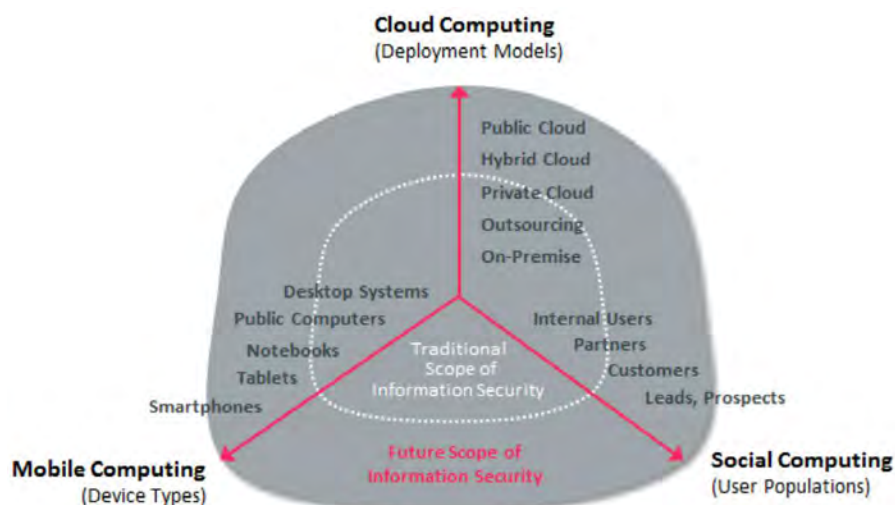


Рисунок 1 – Майбутній обсяг покриття проблем щодо ІТ безпеки [8, с. 53]

На думку автора, в умовах глобальної тенденції щодо діджиталізації, тобто масової міграції кінцевих користувачів з ПК до мобільних пристроїв, таких як планшети та телефони, біометричних методів автентифікації користувачів (відбиток пальця, обличчя тощо) відмови від використання паперових носіїв інформації (договорів, заяв, виписок, чеків та інше), до електронного документообігу слід застосовувати інші механізми забезпечення конфіденційності, цілісності, доступності банківської інформації, що відповідають сучасним (в контексті рис.1. – «майбутнім») підходам до забезпечення безпеки ІТ, таких як SSO з підтримкою федеративних сценаріїв доступу та запровадження ДТС.

Практичне застосування технологій SSO в діяльності банку. За умов гетерогенного ІТ ландшафту, що історично сформувався в більшості банківських установ, на робочих станціях операціоністів встановлено велику кількість різноманітного програмного забезпечення, від різних постачальників, яке, як правило, потребує окремої авторизації через введення логіну та паролю користувача. Це в цілому погіршує ситуацію з безпекою ІТ банківських систем, адже користувачі або встановлюють однакові паролі до кожного програмного додатку, або, в гіршому випадку, зберігають їх на паперових носіях у доступних для сторонніх осіб місцях. Крім того це негативно впливає на продуктивність працівників, адже кожен вхід до системи, введення паролю і логіну – це додатковий не ефективно витрачений час. В

масштабах великого банку з декількома десятками тисяч працівників це суттєво знижує ефективність бізнес-процесів.

Системи управління заставним майном, «фронт-енди» операціоністів по роботі з касовими операціями, проведенням скорингу та андерайтингу, системи по роботі з кредитами та депозитами, системи по роботі з картою клієнта та перевіркою на приналежність до чорних списків, системи обслуговування картових рахунків, системи видачі пластикових карток, системи з обслуговування банкоматів, системи обслуговування еквайрингових операцій, системи процесингу клієнтських заявок, системи формуванню управлінської звітності, системи клієнт-банк – це далеко не повний перелік систем, з якими доводиться працювати користувачам на робочій станції.

В середовищі SSO користувач може отримати доступ до всіх цих систем, до яких він уповноважений отримувати доступ, увівши логін і пароль лише один раз, в межах сесії. В комбінації з двофакторною авторизацією це значно підвищує як ефективність процесів, так і рівень безпеки ІТ. З точки зору графічного інтерфейсу користувача SSO реалізовується як сторінка в браузері (рис 2.), де користувач може отримати доступ до всіх необхідних систем через «тонкий» клієнт (від англ. Thin client).



Рисунок 2 – Приклад графічного інтерфейсу користувача, що забезпечує SSO [9, с.8]

Іншим перспективним напрямом застосування SSO з двофакторною біометричною автентифікацією є високо ризиковані операції в системах інтернет банкінгу клієнт-банк та відділеннях банку. Другим фактором при автентифікації клієнта може виступати відбиток пальця або сканування обличчя. Це дозволяє уникнути ризиків шахрайства при здійсненні грошових переказів, кредитних та депозитних операцій, що являють собою зону операційного ризику в діяльності банківської установи.

Крім того використання продуктів Microsoft Office 365 та Sharepoint на базі хмарних технологій, дозволяє досягти економії ліцензій та підвищити ефективність взаємодії між підрозділами банку.

Використання федеративних сценаріїв доступу до ресурсів кредитних бюро, на запит авторизованого користувача з іншого банку є ще одним перспективним напрямом застосування сучасних підходів до управління доступом та обліковими записами. Це дозволить підвищити рівень співпраці, щодо обміну інформацією по проблемним позичальникам та покращити якість кредитного портфелю, в цілому, по банківській системі.

Висновки та перспективи подальших досліджень. В умовах діджиталізації, збільшення мобільності і масового переходу кінцевих користувачів від настільних комп'ютерів і ноутбуків до мобільних пристроїв, банківським установам необхідно адаптуватись відповідно до цих викликів. Критично необхідною є своєчасна адаптація політик і засобів захисту від загроз безпеки ІТ.

Автором аргументовано, що за таких умов периметровий захист є неефективним і має бути замінений сучасними механізмами SSO та стандартами федеративного доступу. Найбільшої економічної ефективності впровадження таких рішень можна досягти за рахунок використання хмарних технологій IDaaS (від англ. Identity as a Service, IDaaS). При такій моделі розгортання програмне забезпечення управління доступом та обліковими записами користувачів використовується як хмарний сервіс. Тобто в повній мірі застосовуються всі можливості хмарних технологій – економія капітальних інвестицій, максимальна ефективність використання ресурсів, гнучка масштабованість апаратних потужностей згідно потреб.

З точки зору програмних продуктів спеціалізовані компанії надають більше функціональних можливостей щодо SSO. Не зважаючи на це, автор вважає, що продукти від глобальних корпорацій (IBM, Oracle, Microsoft) мають переваги для великих банківської установ, з огляду на можливості використання інших функціональних модулів від цих же постачальників, наявності спеціальних цінових пропозицій, що в свою чергу зменшує кількість додаткових програмних додатків і спрощує ІТ ландшафт.

Але вибір конкретного рішення залежить від ІТ стратегії і бачення директора з ІТ. У випадку наявності достатньої кількості кваліфікованих внутрішніх ресурсів можливе використання програмного забезпечення з відкритим кодом (наприклад Shibboleth) та розробка на його базі власних рішень ІТ. Автор впевнений, що такий підхід, є швидше виключенням ніж правилом. Щодо функціональності та якості продуктів управління доступом, в довгостроковій перспективі, банки не зможуть конкурувати з професійними ІТ компаніями. Крім того не має сенсу постійно інвестувати у власну ІС без наміру подальшого продажу ліцензій, що не є статутним видом діяльності банку.

Список літератури

1. Зіссіс Д. Адресуючи проблеми безпеки хмарних обчислень [Текст] / Д. Зіссіс, Д. Леккас // Комп'ютерні системи майбутнього покоління. – 2012. – № 28. – С. 583–592.
2. Бобиль В.В. Управління ризиками «хмарних» технологій в системі ризик-менеджменту банку [Текст] / В.В. Бобиль // Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Проблеми економіки транспорту. – 2014. – Вип. 7. – С. 29-36.
3. Бобиль В.В. "Хмарні" технології як фактор збільшення операційного ризику банку [Текст] / В.В. Бобиль, М.А. Дронь // Банківська справа. – 2014. – № 11/12. – С. 47-62.
4. Корольов В.Ю. Захист інформації в корпоративних USB-флеш накопичувачах для хмарних обчислень [Текст] / В.Ю. Корольов // Мат. машини і системи. – 2012. – № 2. – С. 60-69.
5. Кондратьев А.А. Разработка распределенной системы защиты облачных вычислений [Текст] / А.А. Кондратьев, И.П. Тищенко, В.П. Фраленко // Программные системы: Теория и приложения. – 2011. – № 4(8).
6. Постанова Правління Національного Банку України «Про затвердження Положення про організацію заходів із забезпечення інформаційної безпеки в банківській системі України» від 28 вересня 2017 року №95 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/v0095500-17>
7. Звіт KuppingerCole щодо управління доступом та федерацій, офіційний веб сайт Identity solutions review [Електронний ресурс]. – Режим доступу : solutionsreview.com/identity-management/kuppingercole-leadership-compass-access-management

8. Технічна документація щодо архітектури рішення IT VMWARE HORIZON 7, офіційний веб сайт Wmware [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.vmware.com/content/dam/digitalmarketing/vmware/en/pdf/techpaper/vmware-horizon-7-enterprise-validated-integration-design-reference-architecture.pdf

References

1. Zissis, D. & Lekkas, D. (2012). Addressing cloud computing security issues. *Future Generation Computer Systems*. No. 28, pp. 583–592.
2. Bobyl, V.V. (2014), «Upravlinnia ryzykamy "khmarnykh" tekhnolohii v systemi ryzyk-menedzhmentu banku» [Risk management of "cloud" technologies in the system of risk management of the bank], *Collection of scientific works of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan. Problems of transport economy*, No. 7, pp. 29-36.
3. Bobyl, V.V. (2014), «Khmarni tekhnolohii yak faktor zbilshennia operatsiinoho ryzyku banku» ["Cloud" technology as a factor in increasing the operational risk of the bank], *Banking business*, No. 11(12), pp. 47-62.
4. Korolov, V.Yu. (2012), «Zakhyst informatsii v korporatyvnykh USB-flesh nakopychuvachakh dlia khmarnykh obchyslen» [Protecting information in corporate USB flash drives for cloud computing], *Math. machines and systems*, No. 2, pp. 60-69.
5. Kondratev, A.A., Tyshchenko, Y.P. and Fralenko, V.P. (2011), «Razrabotka raspredelennoi systemy zashchyty oblachnykh vychyslenyi» [Development of a distributed system for protecting cloud computing], *Program Systems: Theory and Applications*, No. 4(8).
6. National Bank of Ukraine Board Resolution «On approval of the Regulation on measures to ensure information security in banking system of Ukraine» (2017), official Ukrainian Government web site, available at: zakon2.rada.gov.ua/laws/show/v0095500-17 (accessed 26 March 2018).
7. Kuppinger Cole Report Access Management and Federation (2016), Identity solutions review official website, available at: solutionsreview.com/identity-management/kuppingercole-leadership-compass-access-management (accessed 26 March 2018).
8. Reference architecture VMWARE HORIZON 7 (2018), Wmware official website, available at: www.vmware.com/content/dam/digitalmarketing/vmware/en/pdf/techpaper/vmware-horizon-7-enterprise-validated-integration-design-reference-architecture.pdf (accessed 26 March 2018).

Roman Baglai, postgraduate

Kyiv National University of Trade and Economics, Kyiv, Ukraine

Banking Information Systems Security Management Mechanisms

Given that the bank has the client data in its possession it needs to be protected against misappropriation, modification, or destruction at all times. The purpose of this article is present relevant approaches for protection from information security threats through the use of cloud technology which will allow to reduce costs and increase efficiency of information technology systems supporting business processes of the bank.

Global digitalization trend with mass migration of the end users from desktop to mobile devices and from paper based to digital work flows requires banks to reconsider the scope of traditional IT security. This means that the bank should review approaches to deliver high quality of service to customers at low cost and still maintaining sustainable level of security. Use-cases for implementation of Single sign-on hereinafter SSO) and Identity as a service cloud based solutions formulated in this article. Implementation will allow to address problems and to improve both security and operational efficiency of bank's work-flows. Considered future scope of information security and cloud based IT solutions of the Vendors.

State of the art mechanisms for management of banking information systems security to address respective issues were analyzed in scope of the article. Researched trends for steering of IT security to mitigate threats including those originated by cloud technology for bank entireties. Proposed modern approach for building of safety net via introduction of Trusted Third Party, implementation of SSO and federated access scenarios.

The results of the study can be validated through the implementation of relevant projects driven by challenges and trends in the banking sector, market and regulatory changes.

cloud based architecture of a Bank, Trusted Third Party, Single sign-on, Identity as a Service

Одержано (Received) 13.04.2018

УДК 004:519.216

Г.М. Дреєва, викл., О.М. Дреєв, канд. техн. наук*Центральноукраїнський національний технічний університет, м.Кропивницький, Україна**E-mail: gannadreeva@gmail.com, drey.sanya@gmail.com***О.О. Денисенко***Інженер програмного забезпечення в Eram Systems, м. Київ, Україна**E-mail: alexey.denisenko.work@gmail.com*

Визначення фрактальної розмірності числової послідовності за розподілом ймовірності значень її елементів

В роботі розглянуто фрактальну розмірність числової послідовності утвореною випадковими числами з відомим розподілом густини ймовірності. З розподілу отримано співвідношення для отримання математичного очікування фрактальної розмірності числової послідовності методом покриття прямокутниками. Наведено приклад на окремому випадку.

фрактальна розмірність, числова послідовність, розподіл ймовірності, випадковий, ергодичний, процес

Г.Н. Дреева, препод., А.Н. Дреев, канд. техн. наук*Центральноукраїнський національний технічний університет, г. Кропивницький, Украина***О.О. Денисенко***Инженер программного обеспечения в Eram Systems, г. Киев, Украина*

Определение фрактальной размерности числовой последовательности по распределению вероятности значений её элементов

В работе рассмотрена фрактальная размерность числовой последовательности, которая получена из случайных чисел с известным распределением плотности вероятности. Из распределения получено соотношение для получения математического ожидания фрактальной размерности числовой последовательности методом покрытия прямоугольниками. Приведён пример на частном случае.

фрактальная размерность, числовая последовательность, распределение вероятности, случайный, эргодический, процесс

Постановка проблеми. В сучасних роботах для оптимізації роботи телекомунікаційних систем та мереж є обов'язковим врахування фрактальної природи трафіку в Інтернет мережі [2; 4-7]. Врахування фрактальності дозволяє значно краще прогнозувати параметри системи до дійних значень, тому визначення фрактальної розмірності є актуальною та важливою задачею. Відомі критерії, за якими визначають фрактальну розмірність мають значні похибки та відхилення для окремих реалізацій, тому є доцільним отримувати нові методи оцінювання фрактальних характеристик досліджуваних сигналів, що прослідковується в ряді публікацій, наприклад в [8] наведено методи з використанням вейвлетного аналізу.

Окремі оглядові публікації, в яких розглянуто та проведено порівняння кількох методів, використовують визначення фрактальної розмірності окремих короточасних реалізацій, на основі яких визначають властивості цього сигналу [9]. Але існують випадки наявності ергодичного сигналу з відомим теоретичним обґрунтуванням його функції розподілу густини ймовірності. В таких випадках короткі реалізації мають

високу ймовірність до відхилень, але такі реалізації дозволяють оцінювати вагові коефіцієнти відомого розподілу ймовірності. Саме в таких випадках є корисним мати засоби визначення фрактальної розмірності на основі функції розподілу ймовірності що і є метою наведеного дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В процесах передачі інформації в телекомунікаційних системах та мережах широко використовують пошук фрактальної розмірності трафіку мережі. Для цього використовують різні методи та підходи, що направлені на зменшення випадкових відхилень при проведенні розрахунків на відносно малих реалізаціях числових рядів [4-9]. В умовах дефіциту вхідних даних, значно можуть покращити ситуацію додаткові дані про природу часового ряду, який досліджується. Наприклад, за допомогою теоретичних обґрунтувань для моделювання часових рядів, їх реалізацію побудовано на основі випадкових процесів з заданими розподілами ймовірності, такі як Пуасонівський процес [11, с.32], ланцюги Маркова [11, с.89], черги на основі процесу Парето [10] та інші. Кожен з розподілів має власну сферу застосування та обґрунтовується на основі прийнятих гіпотез та експериментальній перевірці на довгих реалізаціях. Проте реальні процеси мають лише наближені розподіли до теоретичних, варто лише нагадати, що теоретичне надходження кількості даних за одиницю часу обмежено пропускнуою здатністю вхідного каналу мережі. Тому покращити наближення можна врахувавши реальні розподіли ймовірності, які отримано експериментальним шляхом.

Постанова завдання. Виходячи з наведеного, метою цієї роботи є отримання математичного співвідношення для отримання очікуваного значення фрактальної розмірності числової послідовності на основі знання розподілу густини ймовірності $p(x)$.

Виклад основного матеріалу. Для розподілу густини ймовірності $p(x)$ справедливі наступні співвідношення:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} p(x)dx = 1, \quad p(x) \geq 0, \quad M(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} x \cdot p(x)dx, \quad (1)$$

де $M(x)$ – математичне очікування випадкової величини x . Числова послідовність складається з ряду реалізацій x_i , де i є порядковим номером елемента.

За означенням, розмірність Мінковського це є значення наступної межі:

$$\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\ln(N_\varepsilon)}{-\ln(\varepsilon)}, \quad \text{де } \varepsilon \text{ є діаметром елемента покриття, та } N_\varepsilon - \text{їх кількість. На практиці}$$

геометрично задачу розв'язують покриттям досліджуваної фігури квадратами (кубами), де за діаметр приймається його сторона. В [1; 9] наведено варіант, при якому покриття замінюється прямокутниками шириною ε та висотою, яка є мінімальною для покриття ділянки графічного представлення числового ряду (рис. 1):

При використанні прямокутників, кількість фігур покриття замінюється площею покриття:

$$S(\varepsilon) = \sum_{k=0}^{N_\varepsilon} h_k, \quad (2)$$

де h_k є висотою відповідного прямокутника k .

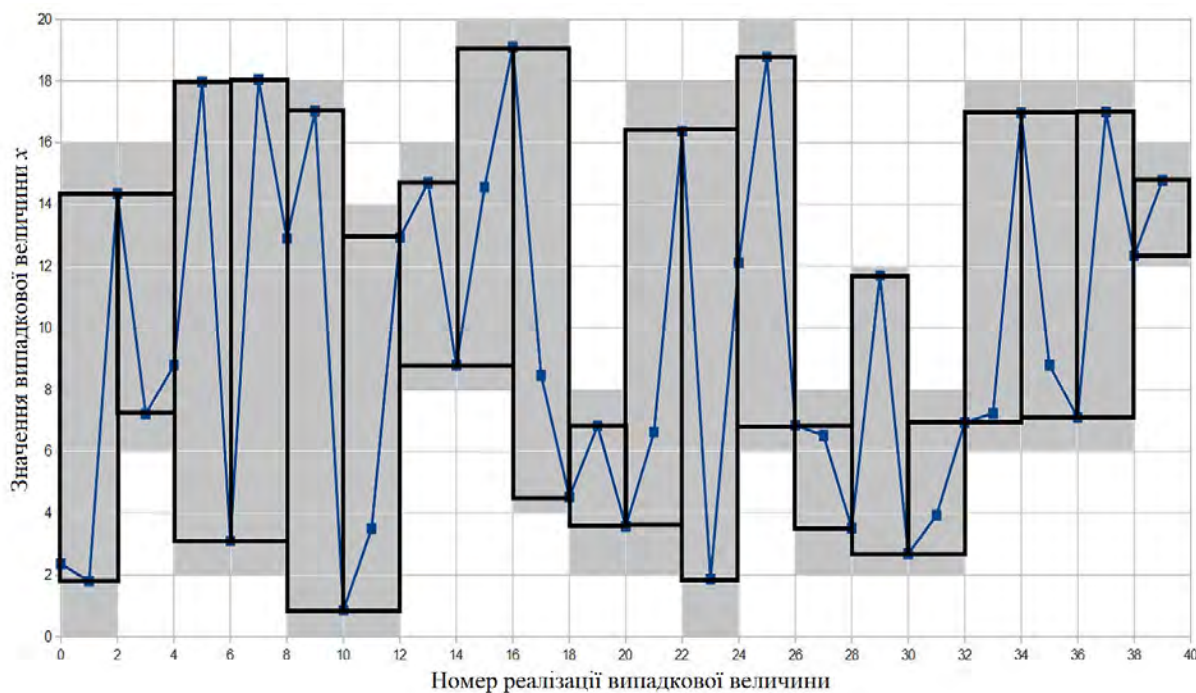
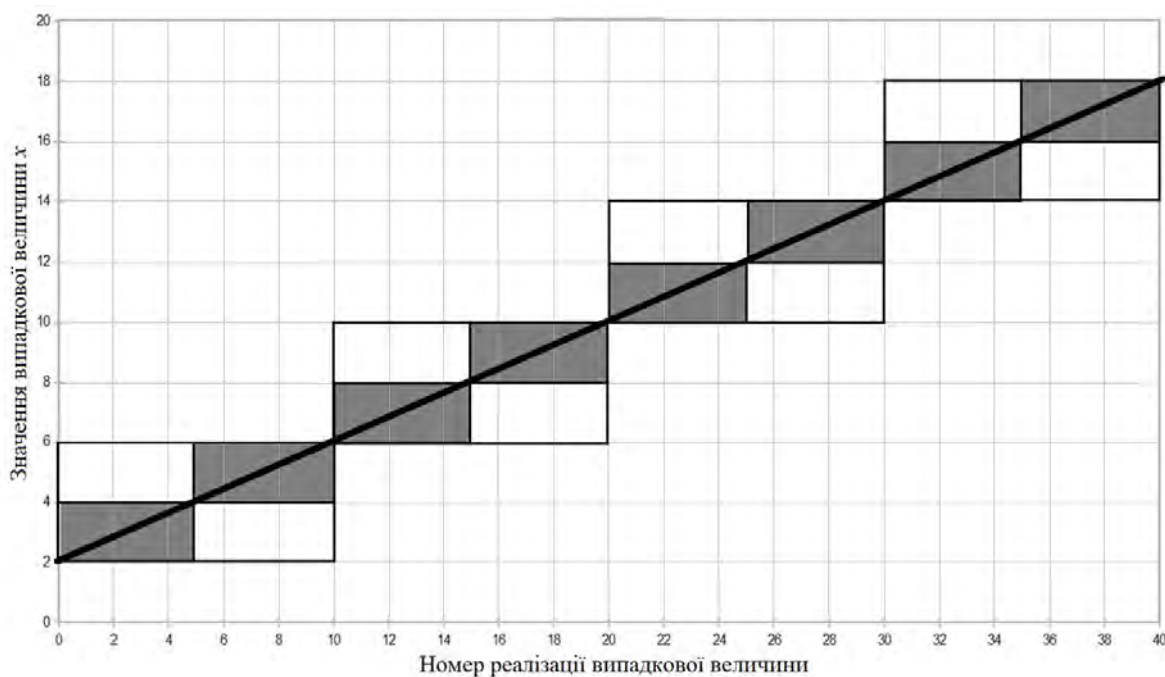


Рисунок 1 – Демонстрація результату покриття прямокутниками та квадратами

Якщо прийняти $\varepsilon > 1$ за кількість дискретних відліків числового ряду x_i , тоді h_k шукається за наступним алгоритмом:

$$h_k = \max(x_i) - \min(x_i), \text{ де } i = k\varepsilon, \dots, (k+1)\varepsilon - 1. \quad (3)$$

З рис. 2 видно, що для похилої прямої, покриття зі зменшенням ε в 2 рази зменшує площу теж в два рази. На рисунку це показано зафарбованою частиною прямокутників які утворено зменшенням діаметру покриття ε в 2 рази з 10 до 5. Це відповідає розмірності $D=1$.

Рисунок 2 – Покриття прямокутниками похилої прямої при $\varepsilon=10$ та $\varepsilon=5$

Для фігури, яка покриває площину (наприклад, крива Гільберта або Піано), при змінах ε значення площі не змінюється і покриває всю частину площини. Це відповідає фрактальній розмірності площини $D=2$. Тому фрактальна розмірність виражається через площі покриття [2, 3] за допомогою співвідношення (4), якщо ширину прямокутника змінено в γ раз:

$$D = 2 - \log_{\gamma}(S(\varepsilon \cdot \gamma) / S(\varepsilon)). \quad (4)$$

Для значної кількості відліків числової послідовності N , доступна заміна значень висот прямокутників покриття h_k на їх математичне сподівання $M(h_k)$. Але математичне очікування висоти прямокутника залежить від кількості відліків на розбиття ε , і ця залежність є нелінійною. Тому позначимо математичне сподівання висоти прямокутника в залежності від його ширини ε як $M(\varepsilon)$, де математичне очікування площі окремого прямокутника виражатиметься як добуток його ширини на очікувану висоту (5):

$$S_k(\varepsilon) = M(\varepsilon) \cdot \varepsilon. \quad (5)$$

Тоді матимемо вираз визначення фрактальної розмірності через покриття прямокутниками із формули (2) з врахуванням (5):

$$S(\varepsilon) = \sum_{k=0}^{N_{\varepsilon}} S_k(\varepsilon) \Rightarrow S(\varepsilon) = \sum_{k=0}^{N_{\varepsilon}} M(\varepsilon) \cdot \varepsilon \Rightarrow S(\varepsilon) = M(\varepsilon) \cdot \varepsilon N_{\varepsilon} \Rightarrow S(\varepsilon) = M(\varepsilon) \cdot N, \quad (6)$$

де N – загальна кількість елементів ряду, націло ділиться на ε (хоча для $N \gg \varepsilon$ цією вимогою можна знехтувати і приймати неповні останні прямокутники покриття).

Якщо використати отримане співвідношення (6) до значення розмірності, отримаємо:

$$D = 2 - \log_{\gamma} \left(\frac{M(\varepsilon \cdot \gamma)}{M(\varepsilon)} \right), \quad (7)$$

в якому кількість чисел в реалізації ряду N було скорочено і далі не використовується.

На жаль, математичне сподівання висоти прямокутника (3) не є відомим. Тому отримаємо від математичного сподівання самої величини. Для цього знайдемо ймовірність $q_{\varepsilon}(h)$ висоти прямокутника для $\varepsilon=2$:

$$q_2(h) = \int_{-\infty}^{+\infty} 2p(x) \cdot p(x+h) dx, \quad (8)$$

тут використано додатковий множник 2, бо результуюча ймовірність отримується в двох незалежних випадках, коли менше число отримано раніше та пізніше.

Загальний вираз для $q_{\varepsilon}(h)$ отримується, якщо всі наступні реалізації числа x , по кількості $\varepsilon-2$, будуть розташовані на проміжку $[x, x+h]$. Для цього ймовірність попадання в цей проміжок $\int_x^{x+h} p(x) dx$ потрібно піднести до степеню $\varepsilon-2$ та помножити на їх можливі комбінації розташування граничних значень x та $x+h$, в якості котрого виступає біноміальний коефіцієнт $C_{\varepsilon}^{\varepsilon-2} = \varepsilon(\varepsilon-1)/2$:

$$p_{\varepsilon-2}(x, x+h) = \varepsilon(\varepsilon-1) \left(\int_x^{x+h} p(t) dt \right)^{\varepsilon-2}, \quad (9)$$

Тому для $q_\varepsilon(h)$ вираз записується з (8) з врахуванням (9) як наступний інтеграл (10):

$$q_\varepsilon(h) = \varepsilon(\varepsilon-1) \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} p(x) \cdot p(x+h) \left(\int_x^{x+h} p(t) dt \right)^{\varepsilon-2} dx. \quad (10)$$

Формула (10) по факту надає інформацію про густину розподілу ймовірності висоти прямокутника покриття шириною в ε відліків. Значення виразу не є дійсним при $\varepsilon < 2$, бо при одиничній ширині прямокутника, він повинен покривати лише одну точку, тому його висота завжди матиме значення нуля. В інших випадках, нуль та менше відліків взяти не можна, бо кількість відліків ε є натуральним числом.

Тепер, коли є значення розподілу ймовірності ширини прямокутника (10), можна записати значення математичного сподівання цієї висоти (11):

$$M(\varepsilon) = \varepsilon(\varepsilon-1) \cdot \int_0^{+\infty} h \left(\int_{-\infty}^{+\infty} p(x) \cdot p(x+h) \left(\int_x^{x+h} p(t) dt \right)^{\varepsilon-2} dx \right) dh. \quad (11)$$

Для математичного сподівання $M(\varepsilon)$ межі інтегрування взято на проміжку $[0; +\infty]$, бо висота прямокутника не може мати від'ємне значення.

Остаточно, використавши отримане математичне сподівання висоти прямокутника (11) для виразу (7), матимемо оцінку фрактальної розмірності на основі густини розподілу (1):

$$D = 2 - \log_y \left(\frac{\gamma(\varepsilon \cdot \gamma - 1) \cdot \int_0^{+\infty} h \left(\int_{-\infty}^{+\infty} p(x) \cdot p(x+h) \left(\int_x^{x+h} p(t) dt \right)^{\varepsilon \cdot \gamma - 2} dx \right) dh}{(\varepsilon - 1) \cdot \int_0^{+\infty} h \left(\int_{-\infty}^{+\infty} p(x) \cdot p(x+h) \left(\int_x^{x+h} p(t) dt \right)^{\varepsilon - 2} dx \right) dh} \right). \quad (12)$$

Іноді вигідно використовувати некрратне відношення розбиття, тому більш корисним буде наступний запис виразу (12):

$$D = 2 - \log_{\varepsilon_2 / \varepsilon_1} \left(\frac{\varepsilon_2(\varepsilon_2 - 1) \cdot \int_0^{+\infty} h \left(\int_{-\infty}^{+\infty} p(x) \cdot p(x+h) \left(\int_x^{x+h} p(t) dt \right)^{\varepsilon_2 - 2} dx \right) dh}{\varepsilon_1(\varepsilon_1 - 1) \cdot \int_0^{+\infty} h \left(\int_{-\infty}^{+\infty} p(x) \cdot p(x+h) \left(\int_x^{x+h} p(t) dt \right)^{\varepsilon_1 - 2} dx \right) dh} \right). \quad (13)$$

Формула для отримання математичного сподівання фрактальної розмірності послідовності випадкових чисел з відомою густиною розподілу ймовірності (13) отримана.

Приклад. Розглянемо випадковий процес для якого можливі лише два випадки реалізації випадкового числа, це 0 та 1 з рівними ймовірностями. Для цього приймемо розподіл густини ймовірності (14):

$$p(x) = (\delta(x) + \delta(x-1))/2, \quad (14)$$

де δ є дельта-функція Дірака і має наступні властивості:

$$\delta(x) = 0, x \neq 0; \int_{-\infty}^{+\infty} \delta(x) dx = 1.$$

Тоді $p(x)=0$, крім $x=0$ та $x=1$, де функція приймає нескінченні значення, але інтегрування в цих точках дає значення 0,5. В результаті маємо процес рівноймовірної генерації значень 0 та 1.

Припустимо, що було зроблено покриття прямокутниками з шириною ε , тоді прямокутники можуть мати висоту 0 лише тоді, коли всі значення випадкової величини за ε реалізацій співпадають. Таких випадків є два: всі результати дали нуль та всі результати дали одиницю. Кортежі з реалізованих чисел 0 та 1 дають двійкове число зі ε цифр, тому кількість варіантів запису такого числа буде 2^ε , з яких лише два є кортежами лише з одиниць чи нулів. Тому ймовірність отримання прямокутника нульової та одиничної висоти складатиме:

$$Q_\varepsilon(0) = \frac{2}{2^\varepsilon}, Q_\varepsilon(1) = \frac{2^\varepsilon - 2}{2^\varepsilon}. \quad (15)$$

З ймовірностей отримання висот прямокутників покриття (15), можна записати й математичне сподівання для висоти прямокутника. Завдяки точковій природі розподілу, інтегрування зводиться до пошуку сум двох добутків, для одного з яких величина значення висоти є нульовою:

$$M(\varepsilon) = 0 \cdot \frac{2}{2^\varepsilon} + 1 \cdot \frac{2^\varepsilon - 2}{2^\varepsilon} \Rightarrow M(\varepsilon) = 1 - 1/2^{\varepsilon-1}. \quad (16)$$

Скориставшись формулою (7), матимемо вираз для обчислення фрактальної розмірності випадкової послідовності з двома результатами 0 та 1, тобто процес, який є аналогом підкидання монетки (17):

$$D = 2 - \log_{\varepsilon_2/\varepsilon_1} \left(\frac{1 - 2/2^{\varepsilon_2}}{1 - 2/2^{\varepsilon_1}} \right). \quad (17)$$

На наступному рисунку можна побачити, як змінюється фрактальна розмірність послідовності, якщо розбиття $\varepsilon_1 = \varepsilon$, $\varepsilon_2 = \varepsilon + 1$ (рис. 3).

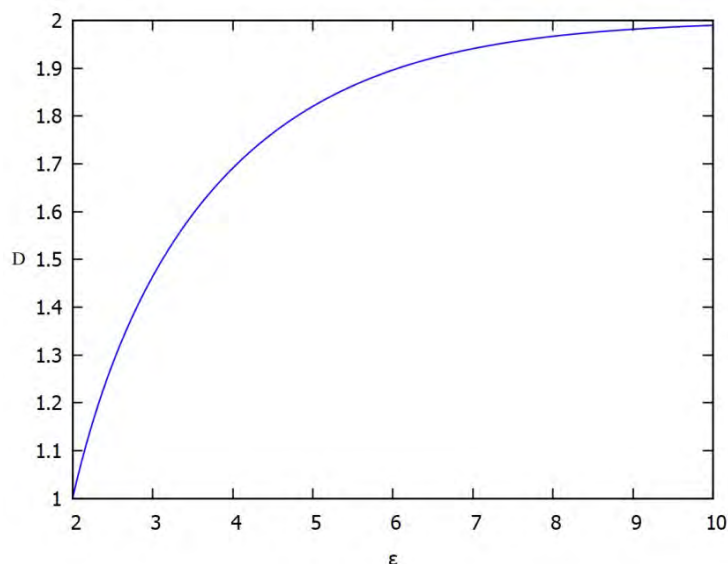


Рисунок 3 – Графік залежності отриманої фрактальної розмірності від довжини розбиття ε

Фактично, формула (17) дозволяє обирати довільне співвідношення розбиття, тому графік зміни фрактальної розмірності можна будувати й для $\varepsilon_1=2$, $\varepsilon_2=\varepsilon+1$ (рис. 4):

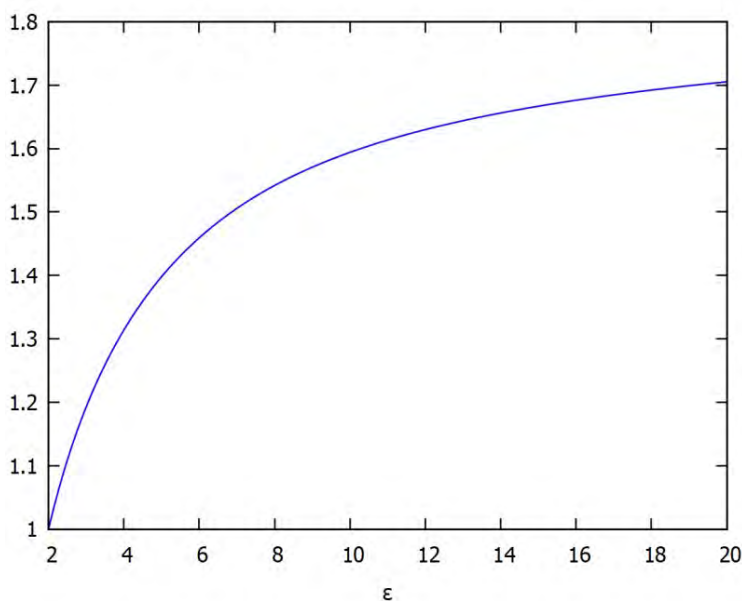


Рисунок 4 – Зростання фрактальної розмірності при фіксації одного розбиття $\varepsilon_1=2$

При цьому можна спостерігати аналогічне, але менш швидке, зростання фрактальної розмірності до межі $D=2$.

Результат практичної перевірки математичного сподівання фрактальної розмірності при різному розбитті свідчить про залежність фрактальної розмірності від масштабування розбиття. Це означає, що від обраного масштабу розбиття на прямокутники, можна отримати довільне значення розмірності від 1 до 2, що цілком істотно при розгляданні граничних випадків. Зокрема, при досить широкому розбитті, коли до прямокутника належить значна кількість елементів числової послідовності, висота прямокутника покриває майже весь дозволений діапазон реалізації випадкових значень; утворюється послідовність майже рівних по висоті прямокутників, що є аналогом двовимірної полоси, яка майже не змінює своєї ширини при збільшенні розбиття. Відповідно до логічної побудови, полоса є двовимірним об'єктом, а вихід з

полоси на практиці є заборонений фізичними реальними процесами, в яких не допускається безобмежене зростання сигналу.

Також, залежність фрактальної розмірності від діапазону розбиття означає, що кількість точок вибірки на покриття прямокутником обирається з області зацікавлення конкретної задачі, бо симетрії масштабування для обмежених в діапазоні випадкових чисел немає.

Висновки. Поставлену задачу аналітичного вираження фрактальної розмірності числової послідовності на основі її густини розподілу випадкової величини розв'язано (13). На основі побудованого підходу розглянуто конкретний випадок випадкової бінарної послідовності на якій показано наявність залежності фрактальної розмірності від ширини розбиття послідовності на прямокутники. На основі наявності такої залежності сформульовано вимогу виконувати розбиття в діапазонах, що використовуються для розв'язання конкретних задач. Результати можуть бути використані для покращення моделювання фрактальних випадкових послідовностей, систем масового обслуговування [12], імітування трафіку телекомунікаційних мереж [13].

Список літератури

1. Дубовиков М.М. Размерность минимального покрытия и локальный анализ фрактальных временных рядов [Текст] / М.М. Дубовиков, А.В. Крянев, Н.В. Старченко // Вестник РУДН, Серия Прикладная и компьютерная математика. – 2004. – Т. 3. – № 1. – С. 30–44.
2. Zmeškal Oldřich, Nežádal Martin, Komendová Barbora, Julínek Martin, Bžatek Tomáš FRACTAL ANALYSIS OF PRINTED STRUCTURE IMAGES // Institute of Physical and Applied Chemistry, of the methods used to perform analysis listed above. Brno University of Technology, Brno, Czech Republic.
3. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы [Текст] / Б. Мандельброт // Москва: Институт компьютерных исследований, 2002, 656 стр.
4. Кучук Г.А. Аналіз та моделі самоподібного трафіка [Текст] / Г.А. Кучук, О.О. Можаяев, О.В. Воробйов // Авиационно-космическая техника и технология. – 2006. – № 9 (35). – С. 173-180
5. Leland W. On the self-similar nature of IP-traffic [Text] / W. Leland, M. Taqqu, W. Willinger // IEEE/ACM Transactions on Networking. – 1997. – № 3. – Р. 423-431.
6. Кучук Г.А. Метод дослідження фрактального мережного трафіка [Текст] / ГА Кучук // Системи обробки інформації. – Х.: ХУ РС, 2005. – Вип. 5 (45). – С. 74-84.
7. Казімірова В.В. Особливості моделювання передачі інформації у комп'ютерній мережі системи автоматичної ідентифікації суден [Текст] / В.В. Казімірова, М.О. Можаяев, В.Є. Кузьменко // Системи обробки інформації. – 2014. – випуск 7 (123). – С. 83-88
8. Малинников В. А. Анализ методов формирования мультифрактальной меры, основанных на вейвлет-обработке экспериментальных данных [Текст] / В. А. Малинников, Д. В. Учаев // Известия вузов. Серия геодезия и аэрофотосъемка. – 2007. – № 6. – С. 57–61.
9. Нич Л.Я. Визначення показника герста за допомогою фрактальної розмірності, обчисленої клітинковим методом на прикладі коротких часових рядів [Текст] / Л.Я. Нич, Р.М. Каменський // Вісник Національного університету Львівська політехніка. Інформаційні системи та мережі. – 2015. – Вип. 814. – С. 100-111
10. Романенко І.О. Математична модель розподілу навантаження в телекомунікаційних мережах спеціального призначення [Текст] / І.О. Романенко, Р.М. Животовський, С.М. Петрук, А.В. Шишацький, О.О. Волошин // Системи обробки інформації. – 2017. – № 3(149). – С. 61-71.
11. Воропаєва В.Я. Теорія телетрафіку [Текст] / В.Я. Воропаєва, В.І. Бессараб, В.В. Турупалов, В.В. Червинський. – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2011. – 202 с.
12. Рыжиков Ю.П. Алгоритмический подход к задачам массового обслуживания [Текст] : монография / Ю.П. Рыжиков. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2013. – 496 с
13. Задорожный В.Н. Аналитико-имитационные исследования Больших Сетевых структур [Текст] : монография / В.Н. Задорожный. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2011. – 208 с.
14. Борисов В. Д. Метод фрактального анализа временных рядов [Текст] / Борисов В.Д., Садовой Г.С. // Авометрия. – 2000. – № 6. – С. 10–19.

Referencis

1. Dubovikov, M.M., Krjanev, A.V. & Starchenko, N.V. (2004). Razmernost' minimal'nogo pokrytija i lokal'nyj analiz fraktal'nyh vremennyh rjadov [Dimension of the Minimal Cover and Local Analysis of Fractal Time Series]. *Vestnik RUDN, Serija Prikladnaja i komp'juternaja matematika – RUDN Journal Applied and Computer Mathematics, Vol. 3, 1*, 30-44.
2. Zmeškal, Oldřich & Nežádal, Martin, Komendová, Barbora, Julínek, Martin & Bžatek Tomáš (2003). *FRactal ANALYSIS OF PRINTED STRUCTURE IMAGES*. Institute of Physical and Applied Chemistry, of the methods used to perform analysis listed above; Brno University of Technology. Brno, Czech Republic.
3. Mandel'brot, B. (2002). *Fraktal'naja geometrija prirody [Fractal geometry of nature]*. Moskva: Institut komp'juternyh issledovanij.
4. Kuchuk, H.A., Mozhaiev, O.O. & Vorobjov, O.V. (2006). Analiz ta modeli samopodibnoho trafika [Analysis and models of self-similar traffic]. *Avyatsyonno-kosmycheskaia tekhnika y tekhnologiya – Aerospace Engineering and Technology, 9 (35)*, 173-180.
5. Leland, W., Taqqu, M. & Willinger, W. (1997). On the self-similar nature of IP-traffic. *IEEE/ACM Transactions on Networking, 3*, 423-431.
6. Kuchuk, H.A. (2005). Metod doslidzhennia fraktal'noho merezhnoho trafika [The method of researching fractal network traffic]. *Systemy obrobky informatsii – Information Processing Systems*. Kharkov: KhU PS, Vol. 5 (45), 74-84.
7. Kazimirova, V.V., Mozhaiev, M.O. & Kuz'menko, V.Ye. (2014). Osoblyvosti modeliuvannia peredachi informatsii u komp'iuternij merezhi systemy avtomatychnoi identyfikatsii suden [Traffic modeling in computer network of vessel identification automatic system]. *Systemy obrobky informatsii – Information Processing Systems, Vol. 7 (123)*, 83-88.
8. Malinnikov, V.A. & Uchaev, D.V. (2007). Analiz metodov formirovanija mul'tifraktal'noj mery, osnovannyh na vejvlet-obrabotke jeksperimental'nyh dannyh [Analysis of methods for forming a multifractal measure based on wavelet processing of experimental data]. *Izvestija vuzov. Serija geodezija i ajerofotoshemka – Scientific journal Izvestia vuzov «Geodesy and aerophotography»*, 6, 57-61.
9. Nych, L.Ya. & Kamins'kyj, R.M. (2015). Vyznachennia pokaznyka hersta za dopomoho fraktal'noi rozmirnosti, obchyslenoi klitynkovym metodom na prykladi korotkykh chasovykh [Hurst exponent evaluated via calculated by box-counting method on short time series example fractal dimension]. *Visnyk Natsional'noho universytetu L'vivs'ka politehnika. Informatsijni systemy ta merezhi – Proceedings Information systems and networks of Lviv Polytechnic National University, Vol. 814*, 100-111.
10. Romanenko, I.O., Zhyvotovs'kyj, R.M., Petruk, S.M., Shyshats'kyj, A.V. & O.O. Voloshyn (2017). Matematychna model' rozpodilu navantazhennia v telekomunikatsijnykh merezhakh spetsial'noho pryznachennia [Mathematical model of load distribution in telecommunication networks of special purpose]. *Systemy obrobky informatsii – Information Processing Systems, 3(149)*, 61-71.
11. Voropaieva, V.Ya., Bessarab, V.I., Turupalov, V.V. & Chervyns'kyj, V.V. (2011). *Teoriia teletrafiku [The theory of teletraffic]*. Donets'k: DVNZ «DonNTU».
12. Ryzhikov, Ju.P. (2013). *Algoritmicheskij podhod k zadacham massovogo obsluzhivaniya [Algorithmic approach to the tasks of mass service]*. SPb.: VKA im. A.F. Mozhaevskogo.
13. Zadorozhnyj, V.N. (2011). *Analitiko-imitacionnye issledovaniya Bol'shih Setevykh struktur: monografija [Analytical simulation studies of large network structures]*. Omsk: Izd-vo OmGTU.
14. Borisov, V.D. & Sadovoj, G.S. (2000). Metod fraktal'noho analiza vremennyh rjadov [Fractal time series analysis method]. *Avtometrija – Autometry, 6*, 10-19.

Ganna Dreyeva , Olexandr Dreyev, PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

O. Denisenko

Software engineer in Epam Systems, city Kiev, Ukraine

Calculation of the Fractal Dimension of a Numerical Sequence From the Probability Distribution of the Values of Its Elements

In today's works to optimize work of telecommunication systems and networks, it is mandatory to take into account the fractal nature of traffic on the Internet. Inclusion of fractality makes it much better to predict the system parameters to the actual values, so the definition of fractal dimension is an actual and important task. Known criteria for determining the fractal dimension have significant errors and variations for individual implementations, so it is advisable to obtain new methods for evaluating the fractal characteristics of the investigated signals, which is followed in a number of publications, in which methods are presented using wavelet analysis.

The problem of analytical expression of the fractal dimension of a numerical sequence based on its distribution density of a random variable was solved. Based on the constructed approach, we consider a specific

case of a random binary sequence in which the dependence of the fractal dimension on the width of the partition of the sequence on the rectangles is shown. Based on the presence of such dependence, a requirement is made to perform partitioning in the ranges used to solve specific problems. The results can be used to improve the simulation of fractal random sequences; mass service systems; simulation of traffic of telecommunication networks.

The result of the practical verification of the mathematical expectation of fractal dimension with different partitions testifies to the dependence of the fractal dimension on the scaling of the partition. This means that from the selected scale of the partition into rectangles, it is possible to get an arbitrary value of the dimension from 1 to 2, which is quite significant when considering the limiting cases. In particular, with a fairly wide division, when a rectangle contains a large number of elements of a numerical sequence, the height of the rectangle covers almost the entire permitted range of the realization of random values; A sequence of almost equal to the height of rectangles is formed, which is an analogue of a two-dimensional strip, which almost does not change its width with increasing partition. According to the logical construction, the strip is a two-dimensional object, and the exit from the band in practice is forbidden by physical real processes in which no unlimited signal growth is allowed.

fractal dimension, numerical sequence, probability distribution, random, ergodic, process

Одержано (Received) 15.05.2018

УДК 004.41:004.056

О.В. Коваленко, доц., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м.Кропивницький, Україна, E-mail: Clashav@gmail.com

Управління ризиками розробки програмного забезпечення за умови обмеженості коштів виділених на усунення помилок безпеки

В даній роботі задача управління ризиками розробки ПЗ за умови обмеженості коштів (фінансових, технічних та ін.), виділених на усунення помилок безпеки, розглядається у вигляді напівмарківської моделі прийняття рішень для керованого процесу у безперервному часі з критерієм мінімуму витрат на усунення аномалій. Для вирішення задачі пропонується метод управління ризиками розробки ПЗ, який відрізняється від відомих використанням псевдобулевих методів бівалентного програмування з нелінійною цільовою функцією і лінійними обмеженнями для визначення оптимальної стратегії усунення експлуатаційних помилок. Як приклад розглянуті ситуації виникнення помилок безпеки ПЗ і визначена оптимальна стратегія управління для усунення вказаної аномальної ситуації.

розробка програмного забезпечення, управління ризиками, псевдобулевий метод

А. В. Коваленко, доц., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, г.Кропивницький, Україна

Управление рисками разработки программного обеспечения при условии ограниченности средств выделенных на устранение ошибок безопасности

В данной работе задача управления рисками разработки ПО при условии ограниченности средств (финансовых, технических и др.), выделенных на устранение ошибок безопасности, рассматривается в виде полумарковских моделей принятия решений для управляемого процесса в непрерывном времени с критерием минимума затрат на устранение аномалий. Для решения задачи предлагается метод управления рисками разработки ПО, который отличается от известных использованием псевдобулевых методов бивалентного программирования с нелинейной целевой функцией и линейными ограничениями для определения оптимальной стратегии устранения эксплуатационных ошибок. В качестве примера рассмотрены ситуации возникновения ошибок безопасности ПО и определена оптимальная стратегия управления для устранения указанной аномальной ситуации.

разработка программного обеспечения, управления рисками, псевдобулевый метод

© О.В. Коваленко, 2018

Постановка проблеми. Загальні процеси глобалізації економічних, фінансових, соціальних та інформаційних відносин сприяли розвитку напрямку ризик-менеджменту. Однак загальносвітові фінансові кризи показали недостатньо уважне ставлення до управління ризиками з боку більшості представників керівництва організацій, в тому числі і в Україні.

Управління ризиком розробки ПЗ полягає у завчасному виявленні пов'язаних з ризиком фінансових, технічних, психологічних та ін. небезпек, і вживанні заходів щодо зниження ризику шляхом цілеспрямованої зміни цих факторів з урахуванням ефективності вживаних заходів. Управління ризиком розробки ПЗ включає систему заходів, що здійснюються як до прояву негативної події, так і після його реалізації. Однак, як показали дослідження, превентивний аналіз і урахування більшості можливих експлуатаційних помилок дозволить знизити фінансові та ін. витрати в життєвому циклі розробки ПЗ [1-3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ряд авторів [1-6] під терміном «управління ризиком» розуміють розробку і обґрунтування оптимальних програм діяльності, покликаних ефективно реалізувати рішення в області забезпечення безпеки. При цьому головним елементом такої діяльності є процес оптимального розподілу обмежених ресурсів з урахуванням характерних експлуатаційних, економічних і соціальних факторів.

Розглядувану задачу управління ризиками розробки ПЗ при визначених обмеженнях на заходи з тестування якості та безпеки сформулюємо у вигляді напівмарківської моделі прийняття рішень для керованого марківського процесу у безперервному часі і дисконтованими доходами (з коефіцієнтом $0 < \alpha < 1$ в нормальних умовах процесу створення ПЗ) або витратами (в умовах з відхиленнями від плану, пов'язаними з нехтуванням виявлення вразливостей (помилки) безпеки). При цьому даний вид експлуатаційних ризиків ототожнюється з послідовно з'єднаними незалежними елементами, відновлюваними за кінцевий час.

Оптимальну нерандомізовану стаціонарну стратегію управління визначимо за допомогою псевдобулевих методів бівалентного програмування, знаходячи всі рішення системи обмежень. Ці рішення визначаються на основі алгоритму перетину рішень окремих нерівностей-обмежень, запропонованого в роботі [3, 7-9] для знаходження базисних рішень системи лінійних нерівностей з булевими змінними.

В таких умовах сформулюємо основну задачу. Нехай кожному стану $i \in S$, де $S = \{0, 1, 2, \dots, N\}$ розглядуваної системи управління ризиками розробки ПЗ поставлена у відповідність кінцева множина R_i рішень, елементи якої позначимо як $r = 1, 2, \dots, r_i$. Якщо система знаходиться у стані $i \in S$ і приймається рішення $r = R_i$, то її подальша поведінка визначається імовірнісним законом

$$Y_{ij}^r(t) = P_{ij}^{(r)} F_{ij}^{(r)}(t), \quad j \in S, \quad (1)$$

де $P_{ij}^{(r)}$ – імовірність переходу системи із стану i в стан j ; $F_{ij}^{(r)}(t)$ – функція розподілу часу перебування системи в стані i при прийнятті рішення r і за умови, що наступний перехід відбудеться в стан j .

При цьому зробимо припущення, що виконані наступні умови:

– стан $i = 0$ відповідає нормальному процесу розробки ПЗ, а $i \neq 0$ – ситуація помилки безпеки;

– функції $F_{0j}^{(r)}(t)$ і $F_{j0}^{(r)}(t)$, $j \in \tilde{S} = S \setminus \{0\}$, $r \in R_j$, разом зі своїми першими похідними неперервні при $t > 0$, за винятком кінцевого числа точок, і зростають відповідно до експоненціального закону розподілу;

– за одиницю часу перебування в стані i у випадку прийняття рішення r витрачається у середньому $k_i^{(r)}$ коштів (при $i \neq 0$ число $k_i^{(r)}$ від’ємне і дорівнює витратам системи за одиницю часу перебування у стані i за умови виходу із цього стану з урахуванням рішення r);

– величини $|k_i^{(r)}|$ обмежені при всіх $i \in S$, $r \in R_i$ і ймовірності $P_i^{(r)}$ задовольняють співвідношення:

$$\sum_{j \in S} P_{ij}^{(r)} = 1, \quad i \in S, \quad r \in R_i, \quad P_{ij}^{(r)} \geq 0, \quad i, j \in S, \quad r \in R_i.$$

Таким чином, у кожному стані $i \in S$ існує r_i рішень із кінцевої множини R_i . Вибір деякого рішення r із цієї множини R_i в стані $i \in S$ означає завдання величин $Y_{ij}^r(t)$, $P_{ij}^{(r)}$, $F_{ij}^{(r)}(t)$, $k_i^{(r)}$, $j \in S$.

При $i = 0$, $R_0 = \{0\}$, ймовірність $P_{0j}^{(r)} \neq 0$, $j \in S$ є ймовірністю переходу в стан j . Ймовірність $P_{0j}^{(r)} \neq 0$, $j \in S$ обчислюється на практиці як частка станів з помилками безпеки типу j у загальній сукупності вразливостей безпеки різних типів на основі даних передісторій процесу розробки ПЗ. В цьому випадку $F_{0j}^{(r)}(t)$ – функція розподілу часу тестової експлуатації ПЗ між виявленими помилками безпеки типу j .

При $i = 1, \dots, N$ для будь-якого $r \in R_i$, $P_{i0}^{(r)} = 1$, $P_{ij}^{(r)} = 0$, $j \neq 0$, функція $F_{i0}^{(r)}(t)$ це функція розподілу часу усунення вразливостей безпеки з використанням рішення r при помилці типу j .

За умови неперервності в часі досліджуваного процесу будемо користуватися переоцінкою експоненціального виду з нормою α , тобто, якщо в деякий момент часу витрати становлять якусь одиничну величину, то через час t ці затрати вже будуть $e^{-\alpha t}$ одиничних величин. Тоді, якщо k_i – витрата за одиницю часу, то сумарна витрата за час t має вигляд:

$$\int_0^t k_i e^{-\alpha \tau} d\tau = \frac{k_i}{\alpha} (1 - e^{-\alpha t}). \quad (2)$$

Позначимо i_n стан системи після n -го переходу, u_n – прийняте рішення, а τ_n – час перебування в цьому стані ($n = 0, 1, 2, \dots$), i_0 – початковий стан. Допустиму стратегію β для системи управління розробкою ПЗ визначимо як послідовність $\{\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots\}$, де $\beta_n(\bullet / z_n)$ – ймовірнісна міра, зосереджена на функції обмеження $U(S)$ на прийнятті рішення (управління), що визначаються системою нерівностей:

$$\sum_{j \in S} c_{rj} x_{rj} \leq b_r, \quad r \in R = \bigcup_{j \in S} R_j, \quad (3)$$

і яка залежить від історії керованої системи до моменту n -го переходу $z_n = (i_0, u_0, \tau_0, \dots, i_{n-1}, u_{n-1}, \tau_{n-1}, i_n)$. Міра $\beta_n(\bullet / z_n)$ задає рандомізоване правило вибору рішення u_n на основі інформації z_n . Таку стратегію β можна назвати рандомізованою.

Стратегія β є марківською, якщо $\beta_n(\bullet / z_n) = \beta_n(\bullet / i_n)$, де $n = 0, 1, 2, \dots$. Марківська стратегія називається стаціонарною, якщо $\beta_n(\bullet / i_n) = \beta(\bullet / i_n)$. Щільність міри такої стратегії при $i_n = i$, $u_n = r$, ($r \in R_i$) позначимо $d_i^{(r)}$. Якщо стратегія β – марківська стаціонарна, то керований процес є напівмарківським.

Аналіз літератури показав, що найбільш популярна інформація про напівмарківські процеси і керовані напівмарківські моделі з додатковими витратами і дивідендами викладена в роботах [7-9].

Позначимо через $g_i(t, \alpha, \beta)$ сумарну витрату системи, керованої відповідно до стратегії β , з нормою переоцінки α , за час t життєвого циклу розробки ПЗ. Обов'язковою умовою є те, що процес починається в момент $t=0$ зі стану i . Через $v_i(t, \alpha, \beta) = g_i(t, \alpha, \beta)/t$ позначимо сумарну середню витрату системи за час t за тих самих умов.

Нехай c_{rj} – витрати, пов'язані з реалізацією заходу r у випадку події порушення безпеки ПЗ r і x_{rj} – булева змінна: $x_{rj} = 1$, якщо r застосовується при події j , $x_{rj} = 0$ у протилежному випадку.

Припустимо, що загальний обсяг коштів, відпущених для усунення недоліків безпеки ПЗ (заходи типу r) обмежений константою b_r , тобто виконується нерівність (3).

Якщо витрати c_{rj} дозволяють виконати кожне з обмежень (3), то реалізована на основі (3) система визначає у просторі $\mathcal{R}^d$, $d = \dim R$, деяку кінцеву множину дискретних точок. Тоді, відповідно до робіт [7-9], існує нерандомізована стаціонарна стратегія β^* , що називається β – оптимальною, яка мінімізує сумарну середню витрату $v(\alpha, \beta)$ при довільній стратегії β і нормі переоцінки $\alpha (\alpha > 0)$. При цьому $\alpha (\alpha > 0)$ є $(N+1) \times 1$ -мірний вектор $(v_0(\alpha, \beta), v_1(\alpha, \beta), \dots, v_N(\alpha, \beta))$, де

$$v_i(\alpha, \beta) = \lim_{t \rightarrow \infty} v_i(t, \alpha, \beta), i \in S. \quad (4)$$

Необхідно знайти α -оптимальну нерандомізовану марківську стаціонарну стратегію β^* , яка мінімізує сумарну середню витрату $v(\alpha, \beta)$ при довільному початковому розподілі процесу

$$y = (y_0, y_1, \dots, y_N), \quad (5)$$

$$\sum_{i \in S} y_i = 1, y_i \geq 0, i \in S. \quad (6)$$

Не зменшуючи спільності, як початковий розподіл візьмемо вектор $y = (1, 0, \dots, 0)$, тобто початковий стан системи. На основі напівмарківської моделі прийняття рішень дану задачу приведемо до еквівалентної задачі бівалентного програмування з використанням псевдобулевих методів.

Постановка завдання. Метою роботи є розробка методу управління ризиками розробки ПЗ, за умови обмеженості коштів виділених на усунення помилок безпеки.

Виклад основного матеріалу. Імовірності переходів розглядуваного, для системи розробки ПЗ, напівмарківського процесу прийняття рішень в моменти стрибків із стану i в стан j при прийнятті рішення $r \in R_i$ визначається стохастичною $(N+1) \times (N+1)$ матрицею $P^{(r)} = \{p_{ij}^{(r)}\}$, яка задає так званий вкладений ланцюг Маркова. Елементи $p_{ij}^{(r)}$ при будь-яких $i, j \in S$ і $r \in R_i$ дозволяють визначати за формулою (1) спільну ймовірність $Q_{ij}^{(r)}(t)$ того, що тривалість перебування у стані i не перевищує час t із стану i при $r \in R_i$ процес переходить у стан j з імовірністю $p_{ij}^{(r)}$. Функції $Q_{ij}^{(r)}(t)$ у (1) задовольняють умови:

$$Q_{ij}^{(r)}(0) = 0, i, j \in S, r \in R_i, \quad (7)$$

$$\sum_{j \in S} Q_{ij}^{(r)}(\infty) = \sum_{j \in S} p_{ij}^{(r)} = 1, \quad i \in S, r \in R_i. \quad (8)$$

За допомогою матриці $Q_{ij}^{(r)}(t) = \{Q_{ij}^{(r)}(t)\}$ перехідних розподілів визначимо функцію:

$$H_i^{(r)}(t) = \sum_{j \in S} Q_{ij}^{(r)}(t), \quad i \in S, r \in R_i, \quad (9)$$

що є функцією розподілу часу перебування процесу в стані i при прийнятті рішення $r \in R_i$.

Випадковий процес $(Z_t), t \geq 0$ зі значеннями $Z_t = i$, якщо в момент t система знаходиться в стані i , є напівмарківським і задається величинами $N, y, Q_{ij}^{(r)}(t), i, j \in S, r \in R_i$.

Напівмарківський процес називається регулярним, якщо за кінцевий проміжок часу він з імовірністю $p_p = 1$ перейде у будь-який стан не більше кінцевого числа разів. Таким чином, регулярний напівмарківський процес за кінцевий проміжок часу завжди здійснює лише кінцеве число переходів. Далі у роботі будемо розглядати тільки регулярні напівмарківські процеси.

У випадку одноелементних множин рішень R_i , у результаті стандартних для теорії відновлення [7-9] міркувань отримуємо наступне рівняння відновлення

$$v_i(t) = (1 - H_i(t)) \frac{k_i}{\alpha} (1 - e^{-\alpha t}) + \sum_{j \in S} \int_0^t \left(\frac{k_i}{\alpha} (1 - e^{-\alpha t}) + e^{-\alpha t} v_j(t - \tau) \right) dQ_{ij}(\tau), \quad i \in S,$$

де $v_i(t)$ – короткий запис сумарної середньої витрати $v_i(t, \alpha, \beta)$ за час t .

У випадку кінцевих множин R_i рівняння відновлення з урахуванням імовірностей $d_i^{(r)}$ прийняття рішень r у стані i запишемо у вигляді:

$$v_i(t) = \sum_{r \in R_i} d_i^r (1 - H_i^{(r)}(t)) \frac{k_i^{(r)}}{\alpha} (1 - e^{-\alpha t}) + \sum_{j \in S} \sum_{r \in R_j} \int_0^t d_i^r \left(\frac{k_i^{(r)}}{\alpha} (1 - e^{-\alpha t}) + e^{-\alpha t} v_j(t - \tau) \right) dQ_{ij}^{(r)}(\tau), \quad i \in S, \quad (10)$$

де $k_i^{(r)}$ – витрата системи за одиницю часу перебування у стані i при рішенні $r \in R_i$; $v_j(t)$ – сумарна середня витрата з урахуванням переоцінки (2) за умови, що процес починається в момент $t = 0$ із стану j .

Величини $v_i(\alpha, \beta)$ із виразу 4 можна записати у вигляді $v_i(\alpha)$, і для цього рівняння скористатися основними положеннями рівняння (інтеграла) Лапласа-Стільтєса. Відповідно до робіт [7-9] для будь-якої функції $F(t)$, похідна $F'(t)$ якої є функцією-оригіналом, що задовольняє нерівність $F'(t) < C e^{\alpha t}$ для всіх $t < 0$, при всіх комплексних s , коли $\operatorname{Re} s > \alpha$ існує функція

$$F^*(s) = L_s^* \langle F(t) \rangle = \int_0^\infty e^{-st} dF(t), \quad (11)$$

тобто функція e^{-st} при $\operatorname{Re} s > \alpha$ є інтегрованою по функції $F(t)$. Функцію $F^*(s)$ називають перетворенням Лапласа-Стільтєса функції $F(t)$.

Із виразів 8 і 9 випливає, що $H_i^{(r)}(\infty) = 1$, $i \in S$, $r \in R_i$, тому перша сума у виразі 10 при $t \rightarrow \infty$ обертається на нуль. Інтегруючи по частинах вираз 11 для $L_s^* \langle F(t) \rangle$, отримуємо

$$sL_s^* \langle F(t) \rangle = L_s^* \langle F(t) \rangle - F(0), \quad (12)$$

де $F(s) = L_s \langle F(t) \rangle = \int_0^\infty e^{-st} F(t) dt$ є перетворенням Лапласа функції $F(t)$.

Із 12 при $s \neq 0$ знаходимо

$$L_s \langle F(t) \rangle = \frac{1}{s} (L_s^* \langle F(t) \rangle - F(0)). \quad (13)$$

Інтегруємо по частинах з урахуванням виразу 9 знаходимо

$$\sum_j \int_0^t (1 - e^{-\alpha t}) dQ_{ij}^{(r)}(\tau) = (1 - e^{-\alpha t}) \sum_j dQ_{ij}^{(r)}(\tau) \Big|_0^t - \sum_j \alpha \int_0^t e^{-\alpha t} H_i(\tau) d\tau \quad (14)$$

Проводячи перетворення, переходячи у виразі 14 до границі $t \rightarrow \infty$ і застосовуючи формулу 13 для $s = \alpha$, ($\alpha > 0$), з урахуванням співвідношень 7 і 8, отримаємо

$$\sum_j \int_0^t (1 - e^{-\alpha t}) dQ_{ij}^{(r)}(\tau) = (1 - \alpha) L_{s=\alpha} \langle H_i^{(r)}(\tau) \rangle = 1 - \alpha \frac{1}{\alpha} L_{s=\alpha}^* \langle H_i^{(r)}(\tau) \rangle = 1 - h_i^{(r)}(\alpha),$$

де $h_i^{(r)}(\alpha) = L_{s=\alpha}^* \langle H_i^{(r)}(t) \rangle$.

Застосовуючи до функції $\Phi_i^{(r)}(t) = \int_0^t e^{-\alpha t} v_j(t - \tau) dQ_{ij}^{(r)}(\tau)$ теорему про граничний перехід в інтегралі по параметру, від якого залежать границі інтегрування і підінтегральна функція [7-9], при $t \rightarrow \infty$ отримуємо

$$\Phi_i^{(r)}(\infty) = \int_0^\infty e^{-\alpha t} v_j(\alpha) dQ_{ij}^{(r)}(\tau) = v_j(\alpha) q_{ij}^{(r)}(\alpha), \quad (16)$$

де $q_{ij}^{(r)}(\alpha) = L_{s=\alpha}^* \langle Q_{ij}^{(r)}(\alpha) \rangle$.

Переходячи у виразі 10 до границі при $t \rightarrow \infty$, з урахуванням 15 і 16, отримуємо наступний аналітичний вираз:

$$v_i(t) = \sum_{r \in R_i} d_i^{(r)}(\zeta_i^{(r)}(\alpha)) + \sum_{j \in S} q_{ij}^{(r)}(\alpha) v_j(\alpha), \quad (17)$$

$$\zeta_i^{(r)}(\alpha) = \frac{k_i^{(r)}}{\alpha} (1 - h_i^{(r)}(\alpha)). \quad (18)$$

Нехай $\zeta_i(\alpha) = \sum_{r \in R_i} d_i^{(r)}(\rho_i^{(r)}(\alpha))$ і $\mathfrak{Z}(\alpha) = (\zeta_0(\alpha), \dots, \zeta_N(\alpha))^T$, $\wp(\alpha) = (v_0(\alpha), \dots, v_N(\alpha))^T$,

(T – символ транспонування матриці). Тоді

$$\wp(\alpha) = \mathfrak{Z}_0(\alpha) + q(\alpha) \wp(\alpha), \quad (19)$$

де $q(\alpha) = \{q_{ij}(\alpha)\}$, $q_{ij}(\alpha) = \sum_{r \in R_i} d_i^{(r)}(q_{ij}^{(r)}(\alpha))$.

Із виразу (19) знайдемо

$$\wp(\alpha) = \{I - q(\alpha)\}^{-1} \mathfrak{Z}_0(\alpha). \quad (20)$$

Даний вираз справедливий, оскільки при $\alpha > 0$ матриця $\{I - q(\alpha)\}$ – не вироджена, I – одинична матриця розміру $(N \times 1) \times (N \times 1)$.

Помноживши обидві частини рівності 19 зліва на вектор y , отримаємо наступне

$$y\upsilon(\alpha) = \sum_{i \in S} \sum_{j \in \tilde{S}} \sum_{r \in R_i} y_i \mu_{ij}(\alpha) \zeta_j^{(r)}(\alpha) d_i^{(r)},$$

$$\{I - q(\alpha)\}^{-1} = \{\mu_{ij}(\alpha)\}. \quad (21)$$

Величини $\mu_{ij}(\alpha)$ залежать від $d_i^{(r)}$, $r \in R_i$, $i \in S$, оскільки елементи матриці $\{I - q(\alpha)\}$ можна виразити через $d_i^{(r)}$, $r \in R_i$, $i \in S$.

Нехай $\{d_i^{(r)}\}$ ($r \in R_i$) – нерандомізована марківська стаціонарна стратегія системи розробки ПЗ у стані j - $d_j^{(r)} \in \{0,1\}$, $\sum_{j \in \tilde{S}} d_j^{(r)} = 1$, і $x_{00} = 1$, $x_{rj} = d_j^{(r)}$, $r \in R_i$, $j \in \tilde{S}$.

Мінімізація витрат (21) приводить до наступної задачі оптимізації для булевих змінних $X = \{x_{rj}\}$, $r \in R_i$, $j \in \tilde{S}$:

$$f(\alpha, X) = \sum_{i \in S} \sum_{j \in \tilde{S}} \sum_{r \in R_i} y_i \mu_{ij}(\alpha, X) \zeta_j^{(r)} x_{rj} \rightarrow \min, \quad (22)$$

$$\sum_{r \in R_i} x_{rj} = 1, j \in \tilde{S}, \quad (23)$$

$$\sum_{j \in \tilde{S}} c_{rj} x_{rj} \leq b_r, r \in R_i, j \in \tilde{S}, \quad (24)$$

$$x_{rj} \in \{0,1\}, j \in \tilde{S}, r \in R_i. \quad (25)$$

Позначимо систему 24, 25 як систему C . Вона є системою псевдобулевих нерівностей.

Підключивши далі додаткову умову 23, можна позначити систему як $\tilde{C}$. А через $X_r^{(k)} = \{x_{r1}^{(k)}, \dots, x_{rN}^{(k)}\}$, $k = 1, \dots, k_r$ – допустимі рішення r -ї нерівності системи C .

Для побудови рішень системи $\tilde{C}$ при відомих допустимих рішеннях кожної нерівності 24 застосуємо наступний підхід. Рішення системи $\tilde{C}$ знаходяться у вигляді $Z = \{s_j\}$, $j = 1, \dots, N$, де s_j – множина номерів r , для яких допустима рівність $x_{rj} = 1$. Рішення знаходяться за m кроків, де m – число обмежень 24. У початковому стані кожна із множин $s_j^{(0)}$ вектора $Z^{(0)}$ включає усі можливі значення $r \in R_i$. На r -му кроці відбувається перетин вектора $Z^{(r-1)}$ з одним із рішень r -ї нерівності. Допускаючи, що r -ій нерівності відповідає $r = r_1$, а також, що $\alpha_j \in j$ -м елементом допустимого рішення даної нерівності, $\alpha_j \in \{0,1,\varphi\}$, де φ – невизначений параметр із множини $\{0,1\}$, званий в подальшому почерком, можна сформулювати наступні правила для r -го кроку алгоритму побудови рішень системи $\tilde{C}$.

1. Якщо значення α_j не фіксоване, то $s_j^{(r)} = s_j^{(r-1)}$.
2. Якщо $\alpha_j = 1$, то при $r_1 \in s^{(r-1)}$ допускаємо $s^{(r)} = \{r_1\}$, а при $r_1 \notin s^{(r-1)}$ допускаємо $s^{(r)}$ рівне порожній множині.
3. Якщо $\alpha_j = 0$, то допускаємо $s^{(r)} = s^{(r-1)} / \{r_1\}$.

При цьому перетин сімейств рішень здійснюється з урахуванням додаткових обмежень 23.

На m -му кроці алгоритму отримується вектор $Z^{(m)} = \{\alpha_1^{(m)}, \dots, \alpha_N^{(m)}\}$, кожна компонента $\alpha_j^{(m)}$ якого є одноелементною множиною $\{r\}$, $r \in R$, $R = \{1, \dots, m\}$ і отже,

$Z^{(m)}$ є рішенням системи $\tilde{C}$. Виняток становлять випадки, коли $\tilde{C}$ являє собою деякий набір чисел r із множини R . В цьому випадку за допомогою поєднання елементів багатозначних компонент із вектора $Z^{(m)}$ можна отримати декілька рішень системи $\tilde{C}$. Потім у результаті знаходимо сукупність усіх рішень системи $\tilde{C}$, із яких вибираємо оптимальне рішення, що доставляє мінімум цільової функції $f(\alpha, X)$. Це рішення може знаходитися різними відомими методами лінійного програмування або просто шляхом безпосереднього порівняння значень $f(\alpha, X)$ при визначенні X системи $\tilde{C}$.

Чисельна реалізація викладеного методу управління ризиками безпеки індустрії програмного забезпечення для напівмарківської моделі прийняття рішень при аномальних ситуаціях безпеки представлена у наступному прикладі.

Розглянемо дві можливі ситуації помилок безпеки ПЗ: ситуація 1 – наявність функціональних помилок ПЗ (функціональні можливості ПЗ, не описані або ті, що не відповідають описаним у документації, при використанні яких можливе порушення конфіденційності, доступності або цілісності оброблюваної інформації); ситуація 2 – наявність нефункціональних помилок ПЗ (надлишкові ФО та ІО, переповнення буфера, витоки пам'яті, помилки типів даних, помилки покажчиків та ін.).

Альтернативні заходи (спрощено) у випадку першої аномальної ситуації наступні:

- відкликання ПЗ (для усунення помилок);
- декомпозиція програми і оцінка метрик складності;
- сигнатурний аналіз.

У випадку наявності нефункціональних помилок ПЗ альтернативні заходи наступні:

- відкликання ПЗ (для усунення помилок);
- аналіз показників, залежностей за даними та інтервальний аналіз.

Припустимо, що в обох ситуаціях перший захід (відкликання ПЗ) здійснюється за один і той же час $T=1$ у.е.. Тому, враховуючи низьку ціну відповідних функцій тестування в порівнянні зі збитками при простої ПЗ, можна вважати перші заходи в обох випадках однаковими за витратами.

Представимо заходи у випадку першої аномальної ситуації у вигляді $R = \{r_1; r_2; r_3\}$, а заходи для усунення другої аномальної ситуації у вигляді $R = \{r_1; r_4\}$. Тоді число елементів системи складе $N=2$, а загальне число різних заходів для їх усунення $m=4$.

Також представимо описані аномальні ситуації j по відношенню до окремих модулів і блоків ПЗ як послідовні з'єднання (за надійністю). Помилки (відмови) та їх усунення не впливають на надійність інших модулів та елементів ПЗ. Час усунення помилки не залежить від того, чи виявляються інші помилки у модулях, що залишилися. Іншими словами, кожна помилка виявляється і усувається незалежно від іншої. В цьому випадку потік помилок і заходів, що їх усувають, є сумою N незалежних процесів усунення з кінцевим часом відновлення.

Позначимо через $F_j(t)$ функцію розподілу часу експлуатації системи між двома послідовними аномальними ситуаціями типу j , а через $G_j^{(k)}(t)$ – функцію розподілу часу усунення помилки після аномальної ситуації типу j при прийнятті рішення r . Будемо вважати, що $F_j(t)$ і $G_j^{(k)}(t)$ підпорядковуються експоненціальним законам з функціями інтенсивності відповідно λ_j і $\mu_j^{(k)}$:

$$F_j(t) = 1 - e^{-\lambda_j t}, \quad G_j^{(k)}(t) = 1 - e^{-\mu_j^{(r)} t}, \quad (26)$$

де $\lambda_j = 1/T_{j1}$; $\mu_j^{(r)} = 1/T_{j2}$; T_{j1} – середній час експлуатаційного етапу життєвого циклу розробки ПЗ між двома аномальними ситуаціями типу j ; T_{j2} – середній час відновлювального етапу життєвого циклу розробки ПЗ після виявлення помилки типу j при рішенні r .

Нехай $d_i^{(k)}$ – нерандомізована стаціонарна стратегія системи у стані i ($i \in S$) при рішенні k (тобто ймовірність прийняття рішення r у стані i),

$$d_i^{(r)} \in \{0,1\}, \quad \sum_{k \in K} d_i^{(k)} \in 1, \quad i \in S. \quad (27)$$

Тоді закон розподілу експлуатації і закон розподілу усунення помилок в цілому запишемо у вигляді

$$F_j(t) = 1 - e^{-\lambda t}, \quad G_j^{(r)}(t) = 1 - e^{-\mu t},$$

$$\text{де } \lambda = \sum_{j=1}^N \lambda_j; \quad \mu = \sum_{j=1}^N \sum_{r=1}^N d_j^{(r)} \mu_j^{(r)}.$$

Нехай

$$\begin{aligned} T_{11} = 8 \text{ у.е.}, \quad T_{21} = 8 \text{ у.е.}, \quad T_{12}^{(1)} = 1 \text{ у.е.}, \quad T_{12}^{(2)} = 2 \text{ у.е.}, \quad T_{12}^{(3)} = 1 \text{ у.е.}, \\ T_{22}^{(1)} = 1 \text{ у.е.}, \quad T_{22}^{(4)} = 0,5 \text{ у.е.} \end{aligned} \quad (28)$$

Припустимо, що $i=0$ фіксує нормальний стан, $i=1$ аномальний стан (ситуація 1), $i=2$ аномальний стан (ситуація 2); $S = \{0,1,2\}$, $\tilde{S} = \{1,2\}$. Відповідно до умови 28 і враховуючи вирази 25-27, отримаємо:

$$\begin{aligned} F_0(t) = F(t) = 1 - e^{-0,25t}, \quad F_j(t) = 1 - e^{-0,125t}, \quad j = 1,2; \\ G_1^{(1)}(t) = 1 - e^{-t}, \quad G_1^{(2)}(t) = 1 - e^{-0,5t}, \quad G_1^{(3)}(t) = 1 - e^{-t}, \\ G_2^{(1)}(t) = 1 - e^{-t}, \quad G_2^{(4)}(t) = 1 - e^{-2t}. \end{aligned}$$

Нехай витрати від невиконання своїх функцій програмною системою протягом часу $T = 14$ складуть 70000 у.о.. Позначимо через $c_{k,j}$ витрати на захід k у випадку аномальної ситуації j . Тоді, нехтуючи витратами на тестування в заході $r=1$, отримуємо $c_{1,1} = c_{1,2} = c_1 = 70000$ у.о.. Нехай далі $c_{2,1} = 300, c_{3,1} = 400, c_{4,2} = 600$ у.о.. Будемо вважати, що у стані $i=0$ прийнято єдине рішення ($r=0$) – продовжити нормальне функціонування, і в цьому стані задано наступний розподіл імовірностей:

$$p_{00}^{(0)} = 0,7, \quad p_{01}^{(0)} = 0,1, \quad p_{02}^{(0)} = 0,2. \quad (29)$$

Функції (1) і (9) запишемо як

$$\begin{aligned} Q_{00}^{(0)}(t) = 0,7(1 - e^{-0,25t}), \quad Q_{01}^{(0)}(t) = 0,1(1 - e^{-0,125t}), \\ Q_{02}^{(0)}(t) = 0,2(1 - e^{-0,125t}), \quad Q_{10}^{(1)}(t) = (1 - e^{-t}), \quad Q_{10}^{(2)}(t) = (1 - e^{-0,5t}), \\ Q_{10}^{(3)}(t) = (1 - e^{-t}), \quad Q_{11}^{(k)}(t) = Q_{12}^{(k)}(t) = 0, \quad (k = 1,2,3), \\ Q_{20}^{(1)}(t) = (1 - e^{-t}), \quad Q_{20}^{(4)}(t) = (1 - e^{-2t}), \\ H_0^{(0)}(t) = 0,7(1 - e^{-0,25t}) + 0,3(1 - e^{-0,125t}), \\ H_1^{(0)}(t) = (1 - e^{-0,25t}), \quad H_1^{(2)}(t) = (1 - e^{-0,5t}), \quad H_1^{(3)}(t) = (1 - e^{-t}), \end{aligned}$$

З урахуванням позначень $x_{00} = 1, x_{k,j} = d_j^{(k)}, r \in R_j, j \in \tilde{S}$ матриця $q(\alpha, x) = [q_{i,j}(\alpha, x)] (i, j \in S)$ з елементами

$$q(\alpha, x) = \sum_{r \in R_j} x_{k,i} q_{i,j}^{(r)}(\alpha) (i, j \in S)$$

набуває вигляду

$$q(\alpha, x) = \begin{bmatrix} \frac{0,175}{\alpha + 0,25} & \frac{0,0125}{\alpha + 0,125} & \frac{0,025}{\alpha + 0,125} \\ \frac{x_{11} + x_{31}}{\alpha + 1} + \frac{x_{21}}{\alpha + 0,5} & 0 & 0 \\ \frac{x_{12}}{\alpha + 1} + \frac{x_{42}}{\alpha + 2} & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Знайдемо визначник матриці $[I - q(\alpha, x)]$:

$$D(\alpha, x) = -\frac{0,025}{\alpha + 0,125} \left(\frac{x_{12}}{\alpha + 1} + \frac{2x_{42}}{\alpha + 2} \right) + 1 - \frac{0,175}{\alpha + 0,25} - \frac{0,0125}{\alpha + 0,125} \left(\frac{x_{11}}{\alpha + 1} + \frac{x_{21}}{\alpha + 0,5} \right).$$

Матриця $[I - q(\alpha, x)]^{-1} = [\mu_{i,j}(\alpha, x)] (i, j \in S)$ має елементи

$$\mu_{00}(\alpha, x) = 0, \mu_{01}(\alpha, x) = \frac{1}{D(\alpha, x)} \frac{0,0125}{\alpha + 0,125}, \mu_{02}(\alpha, x) = \frac{1}{D(\alpha, x)} \frac{0,025}{\alpha + 0,125},$$

$$\mu_{10}(\alpha, x) = \frac{1}{D(\alpha, x)} \left(\frac{x_{11} + x_{31}}{\alpha + 1} + \frac{x_{21}}{\alpha + 0,5} \right),$$

$$\mu_{11}(\alpha, x) = \frac{1}{D(\alpha, x)} \left(1 - \frac{0,175}{\alpha + 0,25} - \frac{0,0125}{\alpha + 0,125} \left(\frac{x_{12}}{\alpha + 1} + \frac{2x_{42}}{\alpha + 2} \right) \right),$$

$$\mu_{12}(\alpha, x) = \frac{1}{D(\alpha, x)} \frac{0,025}{\alpha + 0,125} \left(\frac{x_{11} + x_{31}}{\alpha + 1} + \frac{x_{21}}{\alpha + 0,5} \right),$$

$$\mu_{20}(\alpha, x) = \frac{1}{D(\alpha, x)} \left(\frac{x_{12}}{\alpha + 1} + \frac{2x_{42}}{\alpha + 2} \right),$$

$$\mu_{21}(\alpha, x) = \frac{1}{D(\alpha, x)} \frac{0,0125}{\alpha + 0,125} \left(\frac{x_{12}}{\alpha + 1} + \frac{2x_{42}}{\alpha + 2} \right),$$

$$\mu_{22}(\alpha, x) = \frac{1}{D(\alpha, x)} \left(1 - \frac{0,0175}{\alpha + 0,25} - \frac{0,0125}{\alpha + 0,125} \left(\frac{x_{11} + x_{31}}{\alpha + 1} + \frac{x_{21}}{\alpha + 0,5} \right) \right).$$

У виразі 18 $k_i^{(r)}$ набувають наступних значень:

$$k_0^{(0)} = 70000 \text{ у.е.}, \quad k_1^{(1)} = -70000 \text{ у.е.}, \quad k_1^{(2)} = -150 \text{ у.е.}, \quad k_1^{(3)} = -400 \text{ у.е.},$$

$$k_2^{(1)} = -70000 \text{ у.е.}, \quad k_2^{(4)} = -12000 \text{ у.е.},$$

а величини $\zeta_i^{(r)}$ записуються у вигляді:

$$\begin{aligned}\zeta_0^{(0)}(\alpha) &= \frac{70000}{\alpha} \left(1 - \frac{0,175}{\alpha + 0,25} - \frac{0,0375}{\alpha + 0,125} \right), \quad \zeta_1^{(1)}(\alpha) = -\frac{70000}{\alpha} \left(1 - \frac{1}{\alpha + 1} \right), \\ \zeta_1^{(2)}(\alpha) &= -\frac{150}{\alpha} \left(1 - \frac{0,5}{\alpha + 0,5} \right), \quad \zeta_1^{(3)}(\alpha) = -\frac{400}{\alpha} \left(1 - \frac{1}{\alpha + 1} \right), \quad \zeta_2^{(1)}(\alpha) = -\frac{70000}{\alpha} \left(1 - \frac{1}{\alpha + 1} \right), \\ \zeta_2^{(4)}(\alpha) &= -\frac{1200}{\alpha} \left(1 - \frac{2}{\alpha + 2} \right).\end{aligned}$$

Знайдемо рішення системи $\tilde{C}$ за допомогою алгоритму перетину рішень окремих нерівностей (24), вважаючи, що праві частини b_k цих нерівностей задовольняють умови:

$$c_{11} < b_1 < 2c_1, \quad b_2 > c_{21}, \quad b_3 > c_{31}, \quad b_4 > c_{42}. \quad (30)$$

З урахуванням умов (30) знаходимо наступні рішення окремих нерівностей системи $\tilde{C}$:

$$\begin{aligned}r_1 &= 1:1 - (1,0); \quad 2 - (0,1), \quad 3 - (0,0); \\ r_1 &= 2:1 - (1,0); \quad 2 - (0,0); \\ r_1 &= 3:1 - (1,0); \quad 2 - (0,0); \\ r_1 &= 4:1 - (0,1); \quad 2 - (0,0).\end{aligned}$$

За наявності $Z^{(0)} = \{\{1,2,3\}, \{1,4\}\}$ на останньому кроці алгоритму отримуємо:

$$\begin{aligned}Z_{1221}^{(4)} &= \{\{1\}, \{4\}\}, \\ Z_{1222}^{(4)} &= \{\{1\}, \text{порожня множина}\}, \\ Z_{2121}^{(4)} &= \{\{2\}, \text{порожня множина}\}, \\ Z_{2122}^{(4)} &= \{\{2\}, \{1\}\}, \\ Z_{2211}^{(4)} &= \{\{3\}, \text{порожня множина}\}, \\ Z_{2212}^{(4)} &= \{\{3\}, \{1\}\}, \\ Z_{3121}^{(4)} &= \{\{2\}, \{4\}\}, \\ Z_{3122}^{(4)} &= \{\{2\}, \text{порожня множина}\}, \\ Z_{3211}^{(4)} &= \{\{3\}, \{4\}\}, \\ Z_{3212}^{(4)} &= \{\{3\}, \text{порожня множина}\}.\end{aligned}$$

Таким чином, рішеннями системи $\tilde{C}$ є вектори:

$$1 - \{\{1\}, \{4\}\}, \quad 2 - \{\{2\}, \{1\}\}, \quad 3 - \{\{3\}, \{1\}\}, \quad 4 - \{\{2\}, \{4\}\}, \quad 5 - \{\{3\}, \{4\}\}.$$

Їм відповідають наступні значення булевих змінних $\{x_{k,j}\}$:

- 1) $x_{1,1} = 1, x_{4,2} = 1$;
- 2) $x_{2,1} = 1, x_{1,2} = 1$;
- 3) $x_{2,1} = 1, x_{4,2} = 1$;
- 4) $x_{3,1} = 1, x_{1,2} = 1$;
- 5) $x_{3,1} = 1, x_{4,2} = 1$.

Не вказані змінні в кожному i -му рішенні дорівнюють нулю.

З урахуванням виразів 28 і 29 $f(\alpha, x)$ при $\alpha = 0,1$, що відповідає інфляції, яка дорівнює 10%, і початковому розподілу $y = (1,0, \dots, 0)$ набуває значення:

$$f_1 = -51903; f_2 = -5329040; f_3 = -17161; f_4 = -26939; f_5 = -3325.$$

Таким чином, при $\alpha = 0,1$ і $y = (1,0,\dots,0)$ оптимальною нерандомізованою марківською стаціонарною стратегією буде стратегія $x_{1,1} = 0, x_{2,1} = 0, x_{3,1} = 1, x_{1,2} = 0, x_{4,2} = 1$, що відповідає рішенню $\{\{3\}, \{4\}\}$ системи $\tilde{C}$.

Висновки.

У роботі вирішена задача управління ризиками розробки ПЗ за умови обмеженості коштів (фінансових, технічних та ін.), виділених на усунення помилок безпеки, та удосконалено метод управління ризиками розробки ПЗ. Для вирішення задачі був запропонований метод, в основу якого була покладена напівмарківська модель прийняття рішень для керованого марківського процесу в безперервному часі. Відмінною особливістю запропонованого методу є використання псевдобулевих методів бівалентного програмування з нелінійною цільовою функцією і лінійними обмеженнями для визначення оптимальної стратегії усунення експлуатаційних помилок.

Проведені дослідження показали, що використовувані в даній роботі теоретичні положення у достатньому обсязі відображають стандарти і можливості сучасних методологій тестування ПЗ.

Як приклад розглянуті ситуації виникнення помилок безпеки ПЗ і визначена оптимальна стратегія управління для усунення вказаної аномальної ситуації.

Слід зауважити, що представлений у роботі метод доцільно використовувати не тільки при управлінні ризиками безпеки ПЗ, але і при функціональному, навантажному, стресовому та інших видах тестування для запобігання можливих витрат.

Подальші дослідження направлені на алгоритми тестування на вразливість до одних із найбільш розповсюджених видів атак на web-додаток - DOM XSS та SQL ін'єкції.

Список літератури

1. Krishnan M. Soumya Software Development Risk Aspects and Success Frequency on Spiral and Agile Model [Text] / M. Soumya Krishnan // International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering (An ISO 3297: 2007 Certified Organization) Vol. 3, Issue 1, January 2015. – P.301-310.
2. Zeng Y. Risk Management For Enterprise Resource Planning System Implementations in Project-Based Firms : dis. for the degree of PhD [Text] / Zeng Yajun, Maryland, 2010 – P. 210.
3. Бриткин А.И. Риски, связанные с внедрением технологий, в проектах разработки программного обеспечения [Текст] / А. Бриткин // Социально-экономические и технические системы. – 2007. – № 8 (42).
4. Коваленко А.В. Задачи распознавания ситуаций в ERP системах [Текст] / А.В. Коваленко, А.А. Смирнов, А.С. Коваленко // Збірник наукових праць "Системи обробки інформації". – Вип. 4(120). – Х.: ХУПС, 2014. – С. 161-164.
5. Коваленко А.В. Методы качественного анализа и количественной оценки рисков разработки программного обеспечения [Текст] / А.А. Смирнов, А.В. Коваленко // Збірник наукових праць "Системи обробки інформації". – Вип. 5(142). – Х.: ХУПС, 2016. – С. 153-157.
6. Метод количественной оценки рисков разработки программного обеспечения [Текст] / А.А. Смирнов, А.В. Коваленко, Н.Н. Якименко, А.П. Доренский // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – 2016. – № 2. – С. 128-133.
7. Будников С.А. Полумарковская модель сложного конфликта радиоэлектронных систем [Текст] / Методы и средства управления технологическими процессами: материалы V Международной конференции (19 – 21 ноября 2009 года). – Саранск, 2009. – С. 201-223.
8. Литвиненко К.В. Полумарковский гиперслучайный подход к оценке рисков систем [Текст] / К.В. Литвиненко // Збірник наук. праць ОДАТРА. – 2014. – №1(4). – С.77-80
9. Гнеденко Б.В. Введение в теорию массового обслуживания . – изд. 3-е, испр. и доп. [Текст] / Б.В. Гнеденко, И.Н. Коваленко. – М.: КомКнига, 2005. – 400 с

References

1. Krishnan, M. (2015). Soumya Software Development Risk Aspects and Success Frequency on Spiral and Agile Model. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering* (An ISO 3297: 2007 Certified Organization), 3 (1), 301-310.
2. Zeng, Y. (2010). Risk Management For Enterprise Resource Planning System Implementations in Project-Based Firms. *Candidate's thesis*. Maryland.
3. Britkin, A.I. (2007). Riski, svjazannye s vnedreniem tehnologij, v proektah razrabotki programmnogo obespechenija [Risks associated with the introduction of technology in software development projects]. *Social'no-jekonomicheskie i tehicheskie sistemy – Socio-economic and engineering systems*, 8 (42), 156-168.
4. Kovalenko, O.V., Smirnov, O.A. & Kovalenko, A.S. (2014). Zadachi raspoznavanija situacij v ERP sistemah [Problem recognition situations in ERP systems]. *Sistemi obrobki informacii – Information Processing Systems*, 4(120), 161-164.
5. Kovalenko, O.V. & Smirnov, A.A. (2016). Metody kachestvennogo analiza i kolichestvennoj ocenki riskov razrabotki programmnogo obespechenija [Methods of qualitative analysis and quantitative risk assessment software development]. *Sistemi obrobki informacii – Information Processing Systems*, 5(142), 153 - 157
6. Kovalenko, O.V., Smirnov, O.A., Jakimenko, N.N. & Dorenskij, O.P. (2016). Metod kolichestvennoj ocenki riskov razrabotki programmnogo obespechenija [Method of quantitative risk assessment software development]. *Zbirnik naukovih prac' Harkivs'kogo universitetu Povitranijh Sil – Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, 2 (47), 128-133.
7. Budnikov, S.A. (2009). Polumarkovskaja model' slozhnogo konflikta radiojelektronnyh sistem [The semi-Markov model of a complex conflict of electronic systems]. *Technological process control methods and tools '9: V Mezhdunarodna konferencia (19-21 nojabrja 2009 hoda.) – 5 International Conference* (pp. 201-223). Saransk.
8. Litvinenko, K.V. (2014). Polumarkovskij gipersluchajnyj podhod k ocenke riskov sistem [The Semi - Markov hyper casual approach to the estimation of risks of systems]. *Zbirnik naukovih prac' ODATRJa – Collection of scientific works of the OSATRQ*, 1(4), 77-80.
9. Gnedenko, B.V. & Kovalenko, I.N. (2005). *Introduction to queuing theory*. (3d ed.). Moscow: Komkniga.

Oleksandr Kovalenko, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytsky, Ukraine,

Risk Management Software Development, Subject to the Limited Funds Allocated to the Elimination of Security Errors

The conducted researches showed that risk management of software development consists in the early detection of financial, technical, psychological and other related risks. hazards, and taking measures to reduce the risk by deliberately changing these factors, taking into account the effectiveness of the measures taken. Risk management software development includes a system of measures that are carried out both to the occurrence of a negative event and after its implementation. However, as studies have shown, preventive analysis and taking into account the majority of possible operational errors will reduce financial and other issues. expenses in the life cycle of software development.

The purpose of the work is to develop a method for managing the risks of software development, provided that the funds allocated to eliminate security errors are limited.

In this paper, the problem of risk management of software development on the condition of limited funds (financial, technical, etc.), allocated for the elimination of security errors, is considered as a semi-Markov decision making model for a managed process in a continuous time with a criterion for minimizing the cost of eliminating anomalies. To solve the problem, we propose a method for managing the risks of software development, which differs from the known use of pseudo-Boolean methods of bivalent programming with a nonlinear target function and linear constraints to determine the optimal strategy for eliminating operational errors. As an example, situations of software security error occurrence are considered and an optimal management strategy is identified for eliminating this abnormal situation.

The conducted studies have shown that the theoretical positions used in this paper adequately reflect the standards and capabilities of modern software testing methods. It should be noted that the method presented in the work should be used not only in the management of software security risks, but also in functional, load, stress and other types of testing to prevent possible costs.

software development, risk management, pseudo-Boolean method

Одержано (Received) 31.05.2018

УДК 681.513.5

Oleksij Lobok, PhD phys.&math. Sci., Boris Goncharenko, Prof., DSc.*National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine***Larisa Vihrova, Prof., PhD tech. sci.,***Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine***Marina Sych, PhD tech. sci.***National University of Bioresources and Natural Resources of Ukraine, Kyiv*

Synthesis of Modal Control of Multidimensional Linear Systems Using Linear Matrix Inequalities

The paper gives a solution to the problem of constructing modal regulators for linear multidimensional systems that provide D -stability (asymptotic stability) of the control object. The control is represented as regulators providing feedback on the output of the control object, and uses the full and low order observers of Luenberger. To calculate the matrices of the regulators, we use the technique of linear matrix inequalities and generalize the Lyapunov stability concept (D - stability). The theorems are given which give necessary and sufficient conditions for D - stability of the controlled system.

The constructive solution of the synthesis problem D - stabilizing (modal) regulators according to the measured output of the control object, based on the construction of observers of the state of the object of the complete and reduced order, is given. The solution is based on the use of the theory of linear matrix inequalities (LMI). For numerical simulation of the resulting modal regulators you can use effective methods of convex optimization and corresponding software that is included in a number of application packages, in particular, in the MatLab system. In this paper we describe methods for solving not only the direct problem of modal control, when the choice of parameters of a regulator is ensured by the coincidence of the roots of the characteristic equation of a closed system with a predefined set of complex numbers located on the left side of the complex plane, but also other problems of modal control, in which the requirement the exact placement of the roots in the left integrated half-plane is not superimposed, but only their membership in certain specified areas is required. Such areas, described by a system of linear matrix inequalities (LMI), are called LMI domains.

dynamical system, modal control, regulators, D - stability, Luenberger observers, linear matrix inequalities, kroneker product of matrices

А.П. Лобок, канд. физ.-мат. наук, Б.Н. Гончаренко, проф., д-р техн. наук*Національний університет пищевых технологий, г.Київ, Україна***Л.Г. Вихрова, проф., канд. техн. наук***Центральноукраїнський національний технічний університет, г.Кропивницький, Україна***М.А. Сыч, канд. техн. наук***Національний університет биоресурсов и природопользования Украины, г. Киев, Украина*

Синтез модального управления многомерными линейными системами с использованием линейных матричных неравенств

Дается решение задачи построения модальных регуляторов для линейных многомерных систем, обеспечивающих D - устойчивость (асимптотическую устойчивость) объекта управления. Управление представлено в виде регуляторов, обеспечивающих обратную связь по выходу объекта управления, и использует наблюдатели Луенбергера полного и пониженного порядка. Для вычисления матриц регуляторов используется техника линейных матричных неравенств и обобщение понятия устойчивости по Ляпунову (D - устойчивость). Приведенные теоремы дают необходимые и достаточные условия D - устойчивости управляемой системы.

В работе дается конструктивное решение задачи синтеза D - стабилизирующих (модальных) регуляторов по измеряемому выходу объекта управления, основанного на построении наблюдателей состояния объекта определенного порядка. Решение получено на основе использования теории линейных матричных неравенств (LMI). Для численного моделирования полученных модальных регуляторов можно использовать методы выпуклой оптимизации и соответствующее программное обеспечение, которое входит в ряд пакетов прикладных программ, в частности, в систему MatLab.

© Oleksij Lobok, Boris Goncharenko, Larisa Vihrova, Marina Sych, 2018

Описаны методы решения не только прямой задачи модального управления, когда выбором параметров регулятора обеспечивается совпадение корней характеристического уравнения замкнутой системы с предварительно заданным набором комплексных чисел, расположенных в левой части комплексной плоскости, но и других задач модального регулирования, в которых требование точного размещения корней в левой комплексной полуплоскости уже не накладывается, а нужна только их принадлежность к некоторым заданным областям, описываемым системой линейных матричных неравенств и называемых LMI- областями.

динамическая система, модальное управление, регуляторы, D - устойчивость, наблюдатели Луенбергера, линейные матричные неравенства, кронекерово произведение матриц

Introduction. Often, in control tasks from the set of stabilization controls, it is necessary to select a subset, which provides for the system additional properties. Such property may be, for example, the location of the roots of the characteristic polynomial of a closed system in a given region of the complex plane. Control having such additional properties is called modal control, and the regulator that provides it is considered modal. Modal control relates to the root methods of linear ACS synthesis, in which, based on the desirable indicators of the quality of control, the desired characteristic polynomial is constructed, and hence the location of the roots of the characteristic equation is determined. Characteristic values of the roots of Latin are called modes, hence the name of the regulator and control - modal.

Formulation of the problem. The following statement of the problem is possible: the choice of control parameters provides for the exact coincidence of the roots of the characteristic equation of a closed system with a predefined set of complex numbers located on the left side (condition of stability) of the complex plane. Such a task is sometimes called the direct task of modal control. In this paper, we describe the following methods for solving other problems of modal regulation, in which the requirement of the exact placement of the roots in the left integrated half-plane is not superimposed, but only their membership in a given domain is required. As noted above, the task of modal control is related to the construction of a regulator, in which the poles of the closed system are located at given points or given areas of the complex plane. The values of such characteristics of a closed system as the transition time, damping, the velocity of transient processes in the regulator, and others are determined by the arrangement of the eigenvalues of the matrix of the closed system in certain areas of the complex plane.

The purpose of the article is to consider the problem of modal control in such areas, which can be described by a system of linear matrix inequalities - these areas will later be called LMI-domains [1,3,4,5]. It can be shown that these areas include vertical and horizontal bands, circles, conical sectors, as well as sections of these areas.

Presenting main material. One of the effective methods for solving problems of modulation control synthesis is connected with the use of Lyapunov quadratic functions and the technique of linear matrix inequalities.

The general approach to the modal control synthesis is based on the use of LMI. It turns out that the domains of a certain type on the complex plane in which it is necessary to place the eigenvalues of a matrix of a closed linear system can be described by linear matrix inequalities, that is, as LMI-regions, first recording the necessary inequalities with respect to the variables, and then executing their replacement on some matrices by a special substitution.

In the general case, consider the formal procedure for obtaining linear matrix inequalities that determine the criteria for placing all eigenvalues of the matrix of the control object in the required LMI domain. Note that for numerical solution of the obtained linear matrix inequalities, existing effective algorithms that are implemented in some mathematical packages, in particular MatLab [1.8], can be used.

In the general case, consider the formal procedure for obtaining linear matrix inequalities that determine the criteria for placing all eigenvalues of the matrix of the control object in the required LMI domain. Note that for numerical solution of the obtained linear matrix inequalities, existing effective algorithms that are implemented in some mathematical packages, in particular MatLab [1.8], can be used.

Let's introduce the concept of LMI-area. Let D be some area of the left integrated half-plane. A dynamical system will be called D -stable if all its poles, that is, all the eigenvalues of the matrix, lie in the domain D . In this case, the matrix A will also be called D -stable. In a particular case, when D coincides with the entire left-most complex half-plane, D -stability is reduced to asymptotic stability, which is characterized by the Lyapunov inequality, which is a linear matrix inequality. Namely, the matrix A is asymptotically stable if and only if there exists a symmetric matrix X satisfying the inequalities

$$AX + XA^T < 0, \quad X > 0.$$

Define a class of domains that are characterized in terms of linear matrix inequalities. To do this, we introduce the matrix functions of the complex variable into consideration $z \in C$ (C – a set of complex numbers) that take values in the space of self-connected Hermitian $(m \times m)$ - matrices (Hermit Charles, 1822 - 1901)

$$f_D(z) = P + zG + \bar{z}G^T, \quad (1)$$

where $P = P^T \in R^{m \times m}$ and $G \in R^{m \times m}$ – given matrices ($R^{m \times m}$ – set of real matrices of dimension $m \times m$), $\bar{z}$ – combined complex number.

Domain

$$D = \{z \in C : f_D(z) < 0\} \quad (2)$$

called LMI-domain generated by the function $f_D(z)$, which is often called the characteristic function of the domain D .

From this definition it follows that the LMI-domain is a subset of a complex plane that is represented by a linear matrix inequality with respect to variables $x = \text{Re}(z)$ and $y = \text{Im}(z)$. Consequently, the LMI-domain is convex. Also, because of any $z \in D$ takes place $f_D(\bar{z}) = \bar{f}_D(z) < 0$, then the LMI-domain is symmetric with respect to the actual axis.

The most important property of LMI domains is that they are completely determined in terms of linear matrix inequalities with respect to some symmetric positively defined matrix. In order to get these inequalities, we will match the function $f_D(z)$ the next $(m \times m)$ -block matrix

$$M(A, X) = P \otimes X + G \otimes (AX) + G^T \otimes (XA^T), \quad (3)$$

where " $\otimes$ " – the operation of the kronecker product of matrices (Kronecker Leopold, 1823 - 1872).

Recall that the kronecker product matrix is called block matrix, formed by multiplying each element a_{ij} of the matrix A on the matrix B [2]. Given this, note that blocks of the matrix $M(A, X)$ can be written in the form

$$M_{ij}(A, X) = p_{ij}X + g_{ij}AX + g_{ji}XA^T, \quad i, j = 1, 2, \dots, m, \quad (4)$$

where p_{ij} , g_{ij} – the elements of the matrices P and G , respectively.

To construct modal regulators that provide the stability of control objects, it is important to prove Theorem 1 of stability [3.5,7].

Let D – LMI-domain. Then the matrix A is D - stable if and only if there is a matrix $X = X^T$ which satisfies the linear matrix inequalities

$$M(A, X) < 0, \quad X > 0. \quad (5)$$

If the matrix (5) is multiplied left and right on the matrix $E \otimes Y$, where E – unit matrix, $Y = X^{-1}$, then taking into account the properties of the operation of the kronecker product after a series of transformations we obtain the criterion D - stability of the matrix A

$$L(A, Y) = P \otimes Y + G \otimes (YA) + G^T \otimes (A^T Y) < 0, \quad Y = Y^T > 0. \quad (6)$$

On the basis of Theorem 1 one can propose the following algorithm for constructing LMI - domains that determine the D -stability criterion of the system $\dot{x}(t) = Ax(t)$:

1. A characteristic function $f_D(z)$ of the form (1) is constructed so that the set D generated by it has the desired form.
2. Using substitution $(1, z, \bar{z}) \leftrightarrow (X, AX, XA^T)$ the function $f_D(z)$ of the block matrix $M(A, X)$ of the form (3) are brought into conformity.
3. A system of matrix inequalities of the form (5) (or (6)) is formed and is solved with respect to the matrix X (or Y).
4. In accordance with the above theorem 1 we conclude that D is the stability of a multidimensional linear system $\dot{x}(t) = Ax(t)$.

Note one important property of the LMI - domains: LMI - the domains are locked in relation to the intersection operation, that is, the intersection of the LMI - the domains will also be LMI- domain.

Consider some important examples of constructing an LMI domain.

As a first example, consider the set $D_1 = \{z \in \mathbb{C} : \operatorname{Re}(z) < -\mu\}$ (Fig.1.a) which corresponds to asymptotically stable systems with a degree of stability no less μ . Obviously, this domain generates a function $f_{D_1}(z) = z + \bar{z} + 2\mu$, and according to Theorem 1, the matrix A is asymptotically stable with a degree of stability not less μ if and only if there is a matrix $X = X^T$, which satisfies the linear matrix inequalities of the form (5)

$$AX + XA^T + 2\mu X < 0, \quad X > 0.$$

Another example of the LMI domain is $D_2 = \{z \in \mathbb{C} : |z + q| < r\}$ – inside the circle with a radius r centered at the point $(-q, 0)$ (Fig.1.b). For this domain

$$f_{D_2}(z) = \begin{pmatrix} -r & q + z \\ q + \bar{z} & -r \end{pmatrix} < 0,$$

and the linear matrix inequalities (5) characterizing this region take the form

$$\begin{pmatrix} -rX & qX + AX \\ qX + XA^T & -rX \end{pmatrix} < 0, \quad X > 0.$$

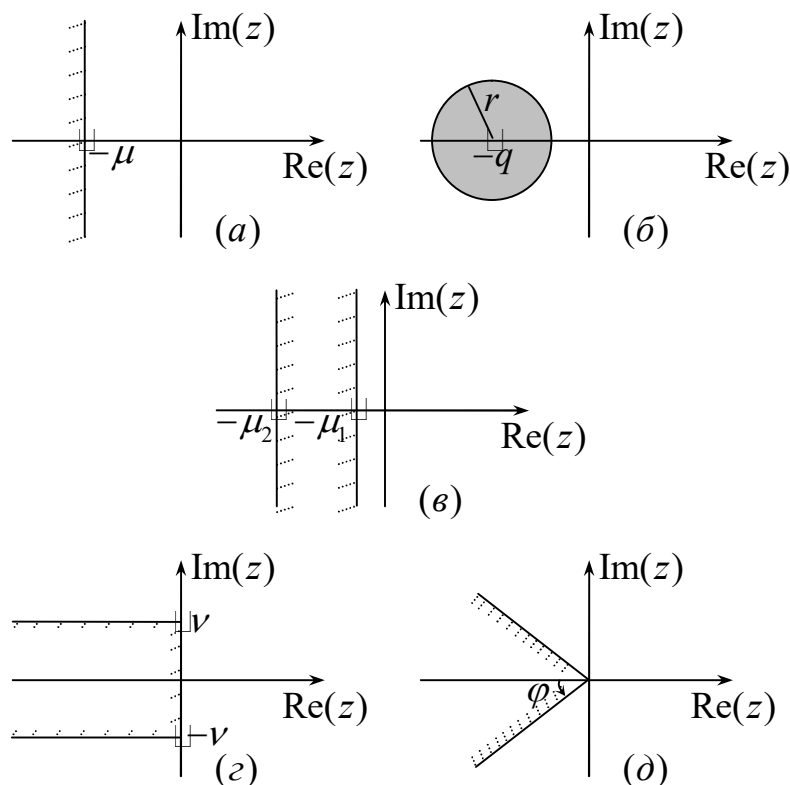


Figure1 - Examples of LMIs are domains of stability

Vertical strip $D_3 = \{z \in \mathbb{C} : -\mu_2 < \operatorname{Re}(z) < -\mu_1\}$ (Fig.1.c) matches the function

$$f_{D_3}(z) = \begin{pmatrix} (z + \bar{z}) + 2\mu_1 & 0 \\ 0 & -(z + \bar{z}) - 2\mu_2 \end{pmatrix}$$

and, respectively, linear matrix inequalities

$$\begin{pmatrix} AX + XA^T + 2\mu_1 X & 0 \\ 0 & -AX - XA^T - 2\mu_2 X \end{pmatrix} < 0, \quad X > 0.$$

Horizontal half-strip $D_4 = \{z \in \mathbb{C} : \operatorname{Re}(z) < 0, -\nu < \operatorname{Im} z < \nu\}$ (Fig.1.d) corresponds to the characteristic function

$$f_{D_4}(z) = \begin{pmatrix} -2\nu & z - \bar{z} \\ -(z - \bar{z}) & -2\nu \end{pmatrix}$$

and linear matrix inequalities

$$\begin{pmatrix} -2\nu X & AX - XA^T \\ -AX + XA^T & -2\nu X \end{pmatrix} < 0, \quad X > 0.$$

Finally, to the conic sector $D_5 = \{z \in \mathbb{C}: \operatorname{Re}(z)\operatorname{tg}\varphi < |\operatorname{Im}z|\}$ (Fig.1.e) corresponds the function

$$f_{D_5}(z) = \begin{pmatrix} (z + \bar{z})\sin\varphi & (z - \bar{z})\cos\varphi \\ -(z - \bar{z})\cos\varphi & (z + \bar{z})\sin\varphi \end{pmatrix}$$

and linear matrix inequalities

$$\begin{pmatrix} (AX + XA^T)\sin\varphi & (AX - XA^T)\cos\varphi \\ -(AX - XA^T)\cos\varphi & (AX + XA^T)\sin\varphi \end{pmatrix} < 0, \quad X > 0.$$

Apply now to the apparatus for synthesizing modal control of the linear system for a given LMI- domain. The classical approach to the synthesis of linear feedback (regulators) in the state space is associated with the canonical representation of the controlled object and the construction of a modal control (controller) that provides the given eigenvalues (mods) of the matrix of a closed system. Then the construction of the modal control reduces to the finding of the characteristic polynomial of the matrix A , the choice of the canonical basis, and the solution of the system of linear equations. At the same time, an alternative way of synthesizing stabilizing regulators is possible, based on the application of the theory of linear matrix inequalities and effective algorithms for their solution, implemented, for example, in the MatLab package [6,8].

Let the control object be described by the equation

$$\frac{dx(t)}{dt} = Ax(t) + Bu(t), \quad (7)$$

Where $x(t) \in R^n$ – state of the regulator, $u(t) \in R^m$ – control.

The task is to choose the law of management $u(t)$ from the class of linear feedback on the state of the form

$$u(t) = Kx(t), \quad (8)$$

where K – the matrix of the parameters of the regulator corresponding to the order in which the matrix of the closed system (7), (8) will be D -stable, that is, all its eigenvalues of the roots lie in the given LMI- domain.

According to Theorem 1, the problem of D -stability is reduced to the finding of the matrices $X=X^T>0$ and K , satisfying inequality $M(A+BK, X)$, which is nonlinear in relation to these matrices. However, if you enter the notation $Z=KX$, then the last inequality can be imagined as a linear matrix inequality of the form

$$\begin{aligned} M(A+BK, X) &= P \otimes X + G \otimes ((A+BK)X) + G^T \otimes (X(A+BK)^T) = \\ &= P \otimes X + G \otimes (AX + BZ) + G^T \otimes (AX + BZ)^T = P \otimes X + G \otimes (AX) + G \otimes (BZ) + \\ &+ G^T \otimes (AX)^T + G^T \otimes (BZ)^T = M(A, X) + G \otimes (BZ) + G^T \otimes (BZ)^T < 0 \end{aligned}$$

on unknown matrices K and Z . After these matrices are found, the desired matrix of the parameters of the regulator is like $K=ZX^{-1}$.

Let's consider another approach to the synthesis of D -stabilizing regulators based on the measured output, based on the construction of observers of the state of the object. Let's start with Luenberger's observers in complete order.

For a controlled object

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \\ y(t) = Cx(t), \end{cases} \quad (9)$$

(where $x(t) \in R^n$ – state of the regulator, $u(t) \in R^m$ – control, $y(t) \in R^p$ – the measured output of an object) we choose a regulator in the form of an observer of the state of Luenberger of complete order

$$\begin{cases} \dot{x}_r(t) = Ax_r(t) + Bu(t) + L(Cx_r(t) - y(t)), \\ u(t) = Kx_r(t), \end{cases} \quad (10)$$

where $x_r(t) \in R^n$ – state of the regulator.

It is necessary to define matrices and so that the closed system (9), (10) is D-stable.

We introduce the vector of inconsistency $e(t) = x(t) - x_r(t)$ and as a state of a closed system we choose a vector $(x^T(t), e^T(t))^T$, which satisfies the generalized equation

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} x(t) \\ e(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A+BK & -BK \\ 0 & A+LC \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x(t) \\ e(t) \end{pmatrix}.$$

Obviously, for D - stability of this system, it is necessary and sufficient that the matrices $A + BK$ and $A + LC$ be D - stable. Applying now to the matrix $A + BK$ of Theorem 1, in which the criterion of D -stability is given in the language of linear matrix inequalities, we arrive at the following form of LMI

$$\begin{aligned} M(A+BK, X_1) &= P \otimes X_1 + G \otimes ((A+BK)X_1) + G^T \otimes (X_1(A+BK)^T) = \\ &= M(A, X_1) + G \otimes (BX_1) + G^T \otimes (Z_1^T B^T) < 0, \end{aligned} \quad (11)$$

where $Z_1 = KX_1$

Applying to the matrix criterion D - stability in the form of inequality (6), we obtain another LMI

$$\begin{aligned} L(A+LC, X_2) &= P \otimes X_2 + G \otimes (X_2(A+LC)) + G^T \otimes ((A+LC)^T X_2) = \\ &= L(A, X_2) + G \otimes (Z_2 C) + G^T \otimes (C^T Z_2^T) < 0, \end{aligned} \quad (12)$$

where $Z_2 = X_2 L$.

Thus, we arrive at the necessity of derivation of Theorem 2.

It is necessary and sufficient that the linear matrix inequalities (11) and (12) be solved with respect to the variables in order for the object (9) to be D -stabilized by means of the controller at the output of the form (10) $X_1 = X_1^T > 0$, Z_1 and $X_2 = X_2^T > 0$, Z_2 . In the case of the possibility of solving these inequalities, the parameters of the regulator are as follows

$$K = Z_1 X_1^{-1}, \quad L = X_2^{-1} Z_2.$$

We now synthesize a regulator based on the Luangenberger observer of incomplete order [1,5]. Suppose that in the control object (9) the rank of the matrix C is ($p < n$). Consider an observer

$$\frac{dz(t)}{dt} = Fz(t) + TBu(t) + Qy(t), \quad (13)$$

where $z(t) \in R^l$, $l = n - p$ – observer state, $y(t)$ and $u(t)$ – the measured output and control in the object (9), and the matrices F , T and Q satisfy the matrix equation

$$TA - FT = QC. \quad (14)$$

Re-enter the vector of inconsistency $e(t) = z(t) - Tx(t)$ and note that due to the equations of the object and the observer for him equality is fulfilled

$$\frac{de(t)}{dt} = Fe(t).$$

Thus, if the matrix F is a D -stable, then the vector $z(t)$ asymptotically tracks the vector $Tx(t)$ and in combination with the vector $y(t)$ gives an estimate of the state vector of the object.

To simplify, but not diminishing the generality, we will accept $C = (E_p 0_{p \times l})$, where E_p – unit matrix of dimension p . Note that this can be achieved by replacing the variables accordingly. We break the matrix A and B into blocks

$$A = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} B_1 \\ B_2 \end{pmatrix},$$

в яких $A_{11} \in R^{p \times p}$, $B_1 \in R^{p \times m}$ – (the orders of other blocks are determined in an obvious manner).

Choose the matrices F , T , and Q , which satisfy the equation (14), in the following way

$$F = A_{22} + LA_{12}, \quad T = \begin{pmatrix} L & E_l \end{pmatrix}, \quad Q = A_{21} + LA_{11} - (A_{22} + LA_{12})L, \quad (15)$$

where the matrix L should be determined from the condition that the matrix F be D -stable.

In accordance with the chosen choice, we introduce the equation of the regulator (control) in the

$$\text{form } \frac{dx_r(t)}{dt} = (A_{22} + LA_{12})x_r(t) + (B_2 + LB_1)u(t) + [A_{21} + LA_{11} - (A_{22} + LA_{12})L]y(t),$$

$$u(t) = K_1 x_r(t) + K_2 y(t), \quad (16)$$

where the matrices K_1 and K_2 must be determined from the condition of the D -stability of the closed system (9), (16). Substituting the equation of control into the output system and taking into account that $x_r(t) = Tx(t) + e(t)$, we will get

$$\begin{cases} \frac{dx(t)}{dt} = (A + BK)x(t) - BK_1 e(t), \\ \frac{de(t)}{dt} = Fe(t), \end{cases}$$

where $K = (K_2 + K_1 L \quad K_1)$.

Thus, the matrix K is based on the condition that the matrix $A + BK$ is D -stable, and then, taking into account the already found matrix L , the matrices of the regulator K_1 and K_2 are determined. Applying now Theorem 1 and the technique of derivation of Theorem 2, we arrive at the following theorem 3.

In order for an object described by system (9) to be D -stabilized by means of a regulator on the output of the reduced order of form (16), it is necessary and sufficient that the linear matrix inequalities

$$\begin{aligned} M(A + BK, X_1) &= M(A, X_1) + G \otimes (BZ_1) + G^T \otimes (Z_1^T B^T) < 0, \\ L(A_{22} + LA_{12}, X_2) &= L(A_{22}, X_2) + G \otimes (Z_2 A_{12}) + G^T \otimes (A_{12}^T Z_2^T) < 0 \end{aligned}$$

were solved with respect to matrix variables $X_1 = X_1^T > 0$, Z_1 and $X_2 = X_2^T > 0$, Z_2 , where the matrix $M(A, X_1)$ and $L(A_{22}, X_2)$ are determined by formulas (3) and (6) respectively. In the case of the possibility of solving these inequalities, the parameters of the regulator are as follows

$$K_1 = H_2, \quad K_2 = H_1 - H_2 L,$$

where

$$H = \begin{pmatrix} H_1 & H_2 \end{pmatrix} = Z_1 X_1^{-1}, \quad H_1 \in R^{m \times p}, \quad H_2 \in R^{m \times l}, \quad L = X_2^{-1} Z_2.$$

Conclusion. Thus, the use of the Luenberger observers allows for the synthesis of D -stable regulators for the complete and reduced order of the Leuvenberger observers on the basis of solving only linear matrix inequalities.

Reference

1. Баландин Д.В. Синтез законов управления на основе линейных матричных неравенств [Текст] / Д.В.Баландин, М.М. Коган //– М.: Физматлит, 2007. – 281 с.
2. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц [Текст] / Ф.Р. Гантмахер. – М.: Физматлит, 2004. – 560 с.
3. Поляк Б.Т. Управление линейными системами при внешних возмущениях: Техника линейных матричных неравенств [Текст] / Б.Т.Поляк, М.В. Хлебников. – М.: ЛЕНАНД, 2014. – 560 с.
4. Якубович В.А. Решение некоторых матричных неравенств, встречающихся в теории автоматического регулирования [Текст] / В.А. Якубович // ДАН СССР. – 1962. – Т. 143. – №6. – С. 1304-1307.
5. Boyd S., El Ghaoui L., Feron E., Balakrishnan V. LinearMatrix Inequalities in System and Control Theory [Text] / S. Boyd, El L.Ghaoui, E. Feron, V. Balakrishnan. – Philadelphia: SIAM, 1994, 193 p.
6. Chilali M. H^∞ design with pole placement constraints: An LMI approach. IEEE Trans. [Text] / M.Chilali, P. Gahinet. – Automat. Contr., 1996, vol.41, pp. 358–367.
7. Ghaoui L.E. Advances in linear matrix inequality methods in control. Advances in Design and Control. [Text] / L.E.Ghaoui, S.I. Niculescu. – Philadelphia, PA: SIAM, 2000, 372 p.
8. Masubuchi I., Ohara A., Suda N. LMI-based controller synthesis: A unified formulation and solution. [Text] / I. Masubuchi, A. Ohara, N. Suda. –Int. J. Robust Nonlinear Contr., 1998, vol. 8, pp. 669–686.

Reference

1. Balandin, D.V. & Kogan, M.M. (2007). Sintez zakonov upravleniya na osnove linejnyh matrichnyh neravenstv [Synthesis of control laws based on linear matrix inequalities]. Moscow: Fizmatlit.
2. Gantmaher, F.R. (2004). Teorija matric [Теория матриц]. Moscow: Fizmatlit.
3. Poljak, B.T. & Hlebnikov, M.V. (2014). Upravlenie linejnymi sistemami pri vneshnih vozmushhenijah: Tehnika linejnyh matrichnyh neravenstv [Control of linear systems under external disturbances: Technique of linear matrix inequalities]. Moscow: LENAND.
4. Jakubovich, V.A. (1962). Reshenie nekotoryh matrichnyh neravenstv, vstrechajushhihsja v teorii avtomaticheskogo regulirovanija [The solution of some matrix inequalities encountered in the theory of automatic regulation]. DAN SSSR – DAN SSSU, Vol. 143, 6, 1304-1307.
5. Boyd, S., El Ghaoui, L., Feron, E. & Balakrishnan, V. (1994). *LinearMatrix Inequalities in System and Control*. Philadelphia: SIAM.
6. Chilali, M. & Gahinet, P. (1996). H^∞ design with pole placement constraints: An LMI approach. IEEE Trans. *Automat. Contr.*, vol.41, 358-367.
7. Ghaoui, L.E. & Niculescu, S.I. (2000). *Advances in linear matrix inequality methods in control. Advances in Design and Control*. PA: SIAM.
8. Masubuchi, I., Ohara, A. & Suda, N. (1998). LMI-based controller synthesis: A unified formulation and solution. *Int. J. Robust Nonlinear Contr.*, Vol. 8, 669–686.

А.П. Лобок, канд. фіз.-мат. наук, Б.Н. Гончаренко, проф., д-р техн. наук

Національний університет харчових технологій, м.Київ, Україна

Л.Г. Віхрова, проф., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м.Кропивницький, Україна

М.А. Сич, канд. техн. наук

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

Синтез модального керування багатовимірними лінійними системами з використанням лінійних матричних нерівностей

Дається розв'язок задачі побудови модальних регуляторів для лінійних багатовимірних систем, що забезпечують D -стійкість (асимптотичну стійкість) об'єкта керування. Керування представлено у вигляді регуляторів, що забезпечують зворотний зв'язок за виходом об'єкта керування, і використовує спостерігачі Луенбергера повного і зниженого порядку. Для обчислення матриць регуляторів використовується техніка лінійних матричних нерівностей і узагальнення поняття стійкості за Ляпуновим (D - стійкість). Наведені теореми, що дають необхідні і достатні умови D - стійкості керованої системи.

В роботі дається конструктивний розв'язок задачі синтезу D - стабілізуювальних (модальних) регуляторів за вимірюваним виходом об'єкта керування, заснований на побудові спостерігачів стану об'єкта певного порядку. Розв'язок отримано на основі використання теорії лінійних матричних нерівностей (LMI). Для чисельного моделювання отриманих модальних регуляторів можна використовувати ефективні методи опуклої оптимізації і відповідне програмне забезпечення, яке входить до ряду пакетів прикладних програм, зокрема, в систему MatLab.

Описуються методи розв'язання не тільки прямої задачі модального керування, коли вибором параметрів регулятора забезпечується збіг коренів характеристичного рівняння замкненої системи з попередньо заданим набором комплексних чисел, розташованих в лівій частині комплексної площини, але і інших задач модального регулювання, в яких вимога точного розміщення коренів в лівій комплексної півплощині вже не накладається, а потрібна лише їх приналежність до деяких заданих областей. Такі області, описані системою лінійних матричних нерівностей, називаються LMI-областями.

динамічна система, модальне керування, регулятори, D - стійкість, спостерігачі Луенбергера, лінійні матричні нерівності, кронекеровий добуток матриць

Одержано (Received) 19.04.2018

УДК 681.536.54

Д.М. Лужков, асп., С.І. Осадчий, проф., д-р техн. наук, О.К. Дідик, доц., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна, E-mail: srg2005@ukr.net

Ідентифікація лінеаризованої моделі динаміки контролера та терморегулювального вентиля фірми Danfoss за даними пасивного експерименту

Мета статті полягає у забезпеченні конструкторів та дослідників роботи систем автоматизації процесу керування холодильним обладнанням з одним терморегулювальним вентилям вихідними даними про лінеаризовану модель динаміки контролера разом з регулювальним органом. Ідентифікація виконана у три етапи. На першому етапі на основі даних пасивного експерименту одержані спектральні та взаємні спектральні щільності сигналів. На другому етапі, на основі результатів першого, визначені передаточні функції елементів системи та формуючого фільтру завод. На третьому етапі виконана верифікація результатів ідентифікації, при якій використовувались експериментальні дані та одержані передаточні функції на другому етапі.

хладагент, випарник, структурна схема, вектор, збурення, регулятор

© Д.М. Лужков, С.І. Осадчий, О.К. Дідик, 2018

Д.М. Лужков, асп., С.И. Осадчий, проф., д-р техн. наук, А.К. Дидык, доц., канд. техн. наук
 Центральноукраїнський національний технічний університет, г. Кропивницький, Україна

Идентификация линеаризованной модели динамики контроллера и реморегулирующего вентиля фирмы Danfoss по данным пассивного эксперимента

Цель статьи заключается в обеспечении конструкторов и исследователей работы систем автоматизации процесса управления холодильным оборудованием с одним терморегулирующим вентилем исходными данными о линеаризованной модели динамики контроллера вместе с регулирующим органом. Идентификация выполнена в три этапа. На первом этапе на основе данных пассивного эксперимента полученные спектральные и взаимные спектральные плотности сигналов. На втором этапе, на основе результатов первого, определены передаточные функции элементов системы и формирующего фильтра помех. На третьем этапе выполнена верификация результатов идентификации, при которой использовались экспериментальные данные и полученные передаточные функции на втором этапе.

хладагент, испаритель, структурная схема, вектор, возмущение, регулятор

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивчення публікацій [1-4], результати якого представлені у статті [5], показало, що визначення меж підвищення ефективності сучасного холодильного обладнання вимагає застосування положень системного підходу [6]. Такий підхід, з одного боку вимагає розглядати ефективність холодильного устаткування у комплексі з холодильною камерою, яка завантажена відповідними продуктами, та знаходиться під дією різноманітних зовнішніх та внутрішніх впливів, а з іншого потребує наявності моделей динаміки усіх елементів замкненої системи «об'єкт - регулятор».

Вивчення технічної документації [7] дозволило у статті [5] скласти структурну схему системи керування холодильним обладнанням фірми Danfos, яке знаходиться у торговому приміщенні супермаркету, визначити на ній місця дії збурень в реальних експлуатаційних умовах та обґрунтувати необхідність визначення лінеаризованої моделі динаміки контроллера разом з терморегулювальним вентилем. Визначена модель динаміки, з одного боку, повинна досить точно характеризувати процеси, які відбуваються у системі керування, а з іншого повинна мати мінімальну складність [8].

Досягнення такого компромісу можливе [9], якщо модель динаміки елементу або системи визначена в результаті структурної ідентифікації за даними відповідним чином поставленого експерименту.

Постановка проблеми. Виходячи з цього проблема дослідження полягає у тому, щоб за даними пасивного експерименту про зміну сигналів на вході та виході контролеру та терморегулювального вентиля знайти передатну функцію системи «контролер-вентиль» та спектральну щільність збурень, які супроводжують процес формування керувальної дії.

Постановка завдання. Мета статті полягає у забезпеченні конструкторів та дослідників роботи систем автоматизації процесу керування холодильним обладнанням з одним терморегулювальним вентилем вихідними даними про лінеаризовану модель динаміки контроллера разом з регулювальним органом.

Виклад основного матеріалу. Вивчення технічної документації [7] та ознайомлення з конструкцією холодильного устаткування з одним TRV фірми Danfoss дозволили визначити [5], що мікроконтролер АК-СС 550 та терморегулювальний вентиль належать до нелінійних елементів.

В результаті застосування принципу визначення лінеаризованої моделі динаміки нелінійного елементу за експериментальними даними, викладеного у статті [10], побудована структурна схема (рис. 1) з'єднання контроллера з вентилем та системи збору та обробки сигналів. На вході схеми діє сигнал зміни температури повітря холодильної камери x , а на виході сигнал про положення регулювального вентиля u .

Процес формування сигналу зміни положення вентилію у згідно із описом [6] має нелінійний характер. При зростанні температури x вище за задане значення плюс допуск Δ мікроконтролер АК-СС 550 формує сигнал y на відкриття вентилію. При зменшенні температури нижче за уставку формується сигнал y на закриття вентилію.

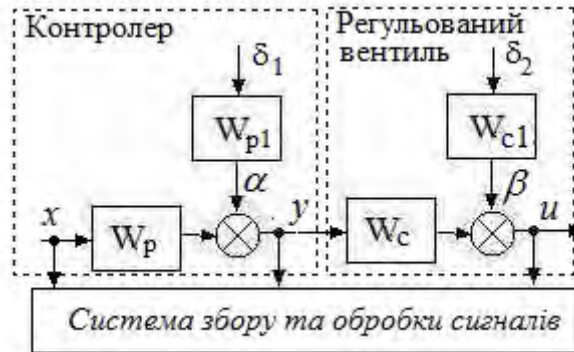


Рисунок 1 – Функціональна схема системи з одним ТРВ

Внаслідок наявності зони нечутливості сигнал y спотворюється дією завад α , які не можуть бути вимірними. Сигнал y з виходу контролеру подається на вхід вентилію та викликає зміну його положення u . Зміна положення вентилію супроводжується дією неконтрольованого збурення β .

Будемо вважати, що сигнали x , y , u вимірюються з допомогою відповідних датчиків, які подають сигнали на входи системи збору та обробки інформації (рис. 1), та являють стаціонарні випадкові процеси. Припустимо також, що завади α та збурення β також є стаціонарними центрованими випадковими процесами, які формуються з некорельованих білих шумів одиничної інтенсивності δ_1 та δ_2 з допомогою формуючих фільтрів W_{p1} та W_{c1} .

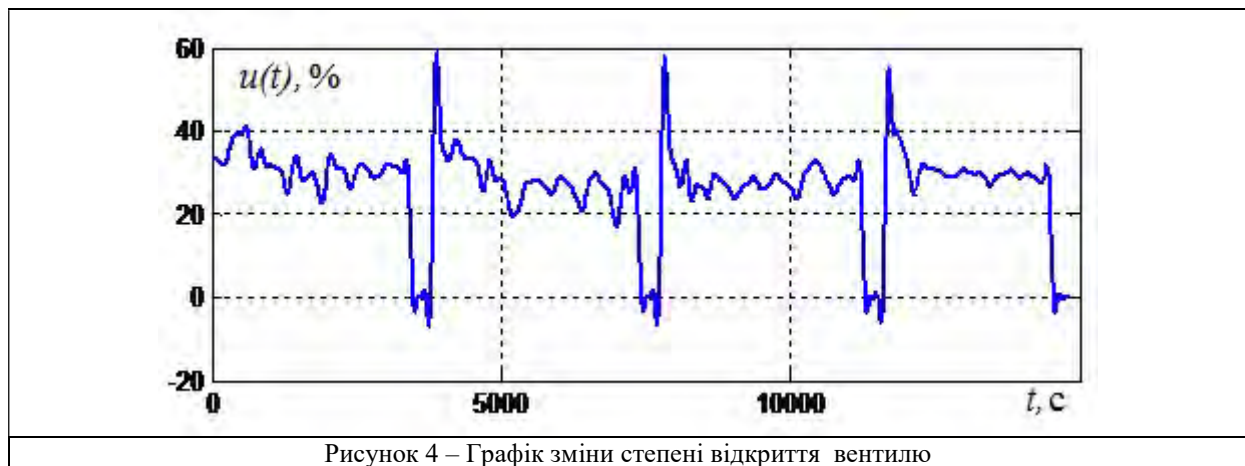
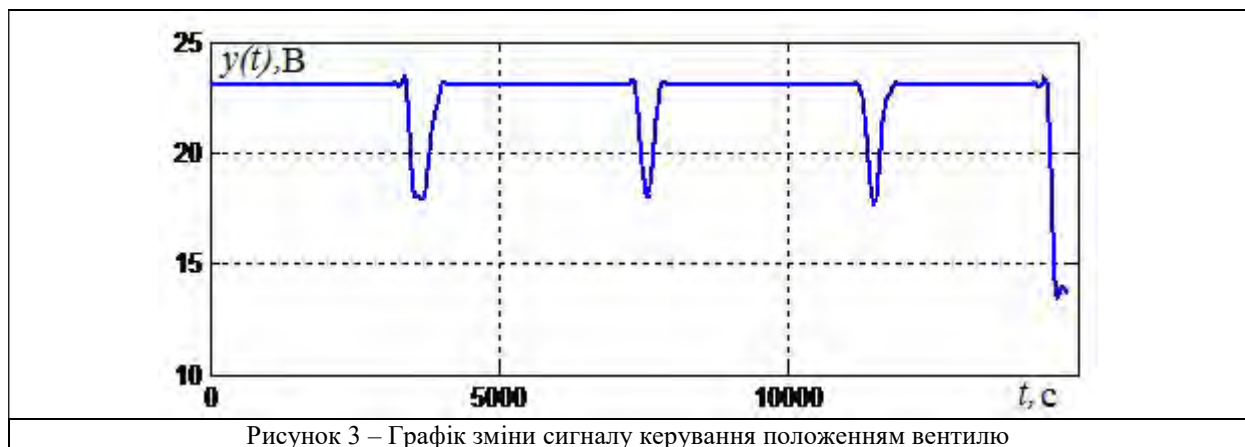
Задача ідентифікації полягає у тому, щоб за відомими записами сигналів x , y , u знайти передаточні функції W_p , W_c , які характеризують динаміку керованої частини контролеру та вентилію, та передаточні функції формувальних фільтрів W_{p1} та W_{c1} , які є слушними та мінімізують дисперсію похибки ідентифікації.

Для розв'язання поставленої задачі у відповідності з базовим методом [10] розроблено алгоритм ідентифікації, який включає виконання декількох взаємозв'язаних етапів дослідження.

Перший етап є допоміжним. Його мета полягає у первинній обробці експериментальних даних та оцінці спектральних та взаємних спектральних щільностей сигналів x , y , z . Для його виконання використані записи сигналів, отримані в результаті спостереження за роботою холодильного обладнання фірми Danfoss в умовах супермаркету. Аналіз фрагментів записів сигналів x , y , u рис. 2 – рис. 4 показує наявність в них регулярної та випадкової складових, тому [10] для оцінювання спектральних та взаємних спектральних щільностей зазначених сигналів з записів сигналів x , y , u необхідно виділити випадкові складові. Обробка випадкових складових сигналів x , y , u методом Блекмена-Тьюки [11] дозволила знайти оцінки спектральних щільностей зміни температури повітря у камері S_{xx} , зміни сигналу керування вентилем S_{yy} , зміни положення вентилію S_{uu} , а також оцінки взаємних спектральних щільностей між випадковими складовими зазначених сигналів S_{xy} та S_{yu} (рис. 5-рис.9).

Апроксимація отриманих оцінок методом типових логарифмічних характеристик на класі дробово-раціональних функцій комплексного аргументу $s=j\omega$

дозволила знайти необхідні для ідентифікації спектральні та взаємні спектральні щільності



$$S_{xx} = \frac{2.38 \cdot 10^{-4} |s + 0.0004|^2}{\left| s^2 + 2 \cdot 0.4 \cdot 1.65 \cdot 10^{-3} s + (1.65 \cdot 10^{-3})^2 \right|^2}, \quad (1)$$

$$S_{yy} = \frac{0.064 (s + 0.0009)(s + 0.0015)(s + 0.06)(s + 0.07)(s^2 + 0.12s + 0.04)^2}{\left| (s^2 + 0.0064s + 0.008^2)(s^2 + 1.32 \cdot 10^{-3}s + 0.00165^2)(s^2 + 0.014s + 0.028^2) \right|^2}, \quad (2)$$

$$S_{uu} = \frac{2.14(s + 0.0015)(s + 0.0025)(s + 0.007)(s + 0.06)(s + 0.2)(s^2 + 0.12s + 0.04)^2}{((s + 0.03)(s^2 + 0.0064s + 0.008^2)(s^2 + 1.32 \cdot 10^{-3}s + 0.00165^2)(s^2 + 0.014s + 0.028^2))^2}, \quad (3)$$

$$S_{xy} = \frac{1.13 \cdot 10^{-5}(-s + 0.0004)(-s + 0.0005)(s + 0.00375)(s + 0.005)}{((s^2 + 0.0064s + 0.008^2)(s^2 + 1.32 \cdot 10^{-3}s + 0.00165^2))^2(s + 0.015)}, \quad (4)$$

$$S_{yu} = \frac{0.28(s - 0.0003)(s + 0.0015)(s + 0.0009)(s + 0.07)(s + 0.06)(s^2 + 0.12s + 0.04)^2}{(s + 0.0002)((s^2 + 0.0064s + 0.008^2)(s^2 + 1.32 \cdot 10^{-3}s + 0.00165^2)(s^2 + 0.014s + 0.028^2))^2}. \quad (5)$$

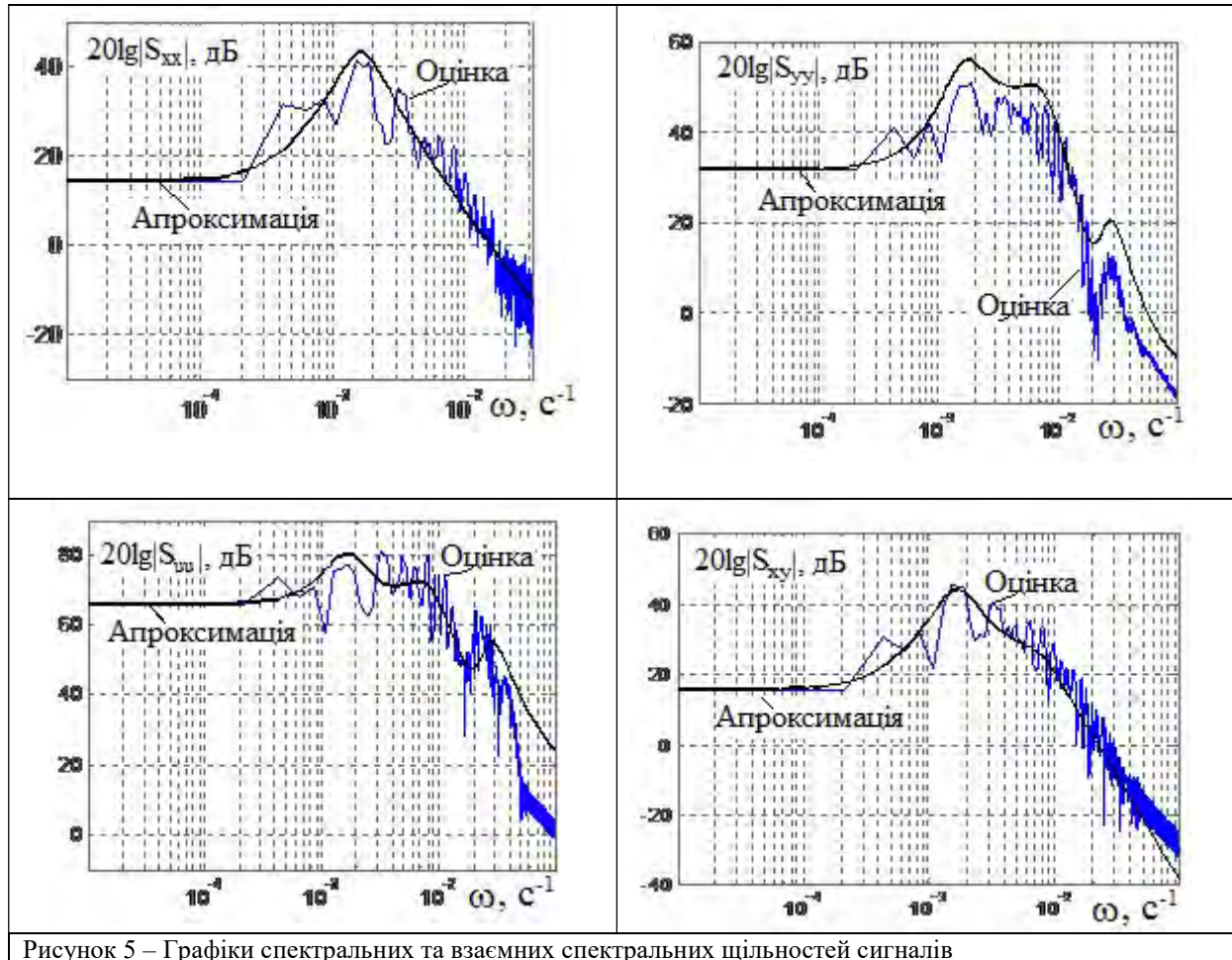


Рисунок 5 – Графіки спектральних та взаємних спектральних щільностей сигналів

За теоремою Вінера-Хінчина [12] зв'язок між входом x та виходом y динамічного об'єкту характеризує взаємна спектральна щільність S_{xy} , яка з урахуванням схеми (рис. 1) дорівнює

$$S_{xy} = W_p S_{xx}, \quad (6)$$

при умові відсутності кореляції між сигналами x та α . Оскільки джерела сигналів зміни температури у камері та завади перетворення є різними, то зазначена умова виконується. Розв'язок рівняння (6) відносно передаточної функції W_p при відомих спектральних щільностях (1), (4) має вигляд

$$W_p = \frac{0.05(-s + 0.0005)(s + 0.0038)(s + 0.005)}{(s + 0.0004)(s + 0.015)(s^2 + 0.0064s + 6.4 \cdot 10^{-5})}. \quad (7)$$

Пошук передаточної функції W_{p1} здійснюється [12] в результаті факторизації спектральної щільності завади $S_{\alpha\alpha}$, яку доцільно знаходити з визначеного за структурною схемою (рис. 1) рівняння зв'язку

$$S_{\alpha\alpha} = S_{yy} - S_{yx} W_p, \quad (8)$$

де S_{yx} – дробово-раціональна функція, знайдена у результаті комплексного спряження функції (4). Підстановка до рівняння (8) даних з виразів (2), (4) та (7) забезпечила можливість визначити, що

$$S_{\alpha\alpha} = \frac{|0.37(s+0.08)(s+0.04)(s+0.02)(s^2+0.002s+1.3 \cdot 10^{-6})(s^2+0.007s+0.0003)|^2}{|(s+0.015)(s^2+0.0064s+0.008^2)(s^2+1.32 \cdot 10^{-3}s+0.00165^2)(s^2+0.014s+0.028^2)|^2}. \quad (9)$$

Факторизація функції (9) дозволяє визначити передаточну функцію формувального фільтру W_{p1}

$$W_{p1} = \frac{0.37(s+0.08)(s+0.04)(s+0.02)(s^2+0.002s+1.3 \cdot 10^{-6})(s^2+0.007s+0.0003)}{(s+0.015)(s^2+0.0064s+0.008^2)(s^2+1.32 \cdot 10^{-3}s+0.00165^2)(s^2+0.014s+0.028^2)}.$$

Ідентифікацію моделі динаміки регульованого вентиля (рис. 1) здійснено аналогічно з пошуком передаточних функцій контролеру W_p та W_{p1} . В результаті застосування співвідношень (6) та (7) до спектральних щільностей (2), (3) та (5) ідентифіковані наступні передаточні функції

$$W_c = \frac{2(s-0.0003)}{(s+0.0002)}, \quad (10)$$

$$W_{c1} = \frac{1.25(s+0.2)(s+0.06)(s+0.0015)(s+0.00019)(s^2+0.007s+1.7 \cdot 10^{-5})}{(s^2+0.0064s+0.008^2)(s^2+1.32 \cdot 10^{-3}s+0.00165^2)(s^2+0.014s+0.028^2)} \times \frac{(s^2+0.012s+0.0004)}{(s+0.03)(s+0.00078)}. \quad (11)$$

Для верифікації отриманих лінеаризованих моделей динаміки контролеру та вентиля використано метод імітаційного моделювання та створена SIMULINK модель (рис.6). Вона включає два джерела білого шуму, необхідних для формування завади α та збурення β , два блоки «Зміна температури повітря» та «Зміна положення вентиля»,

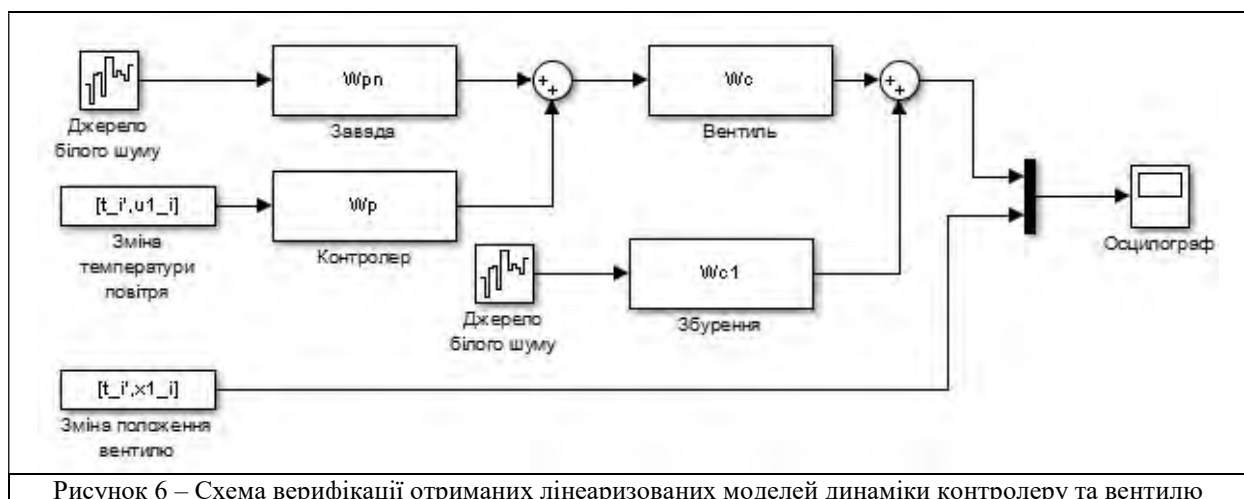
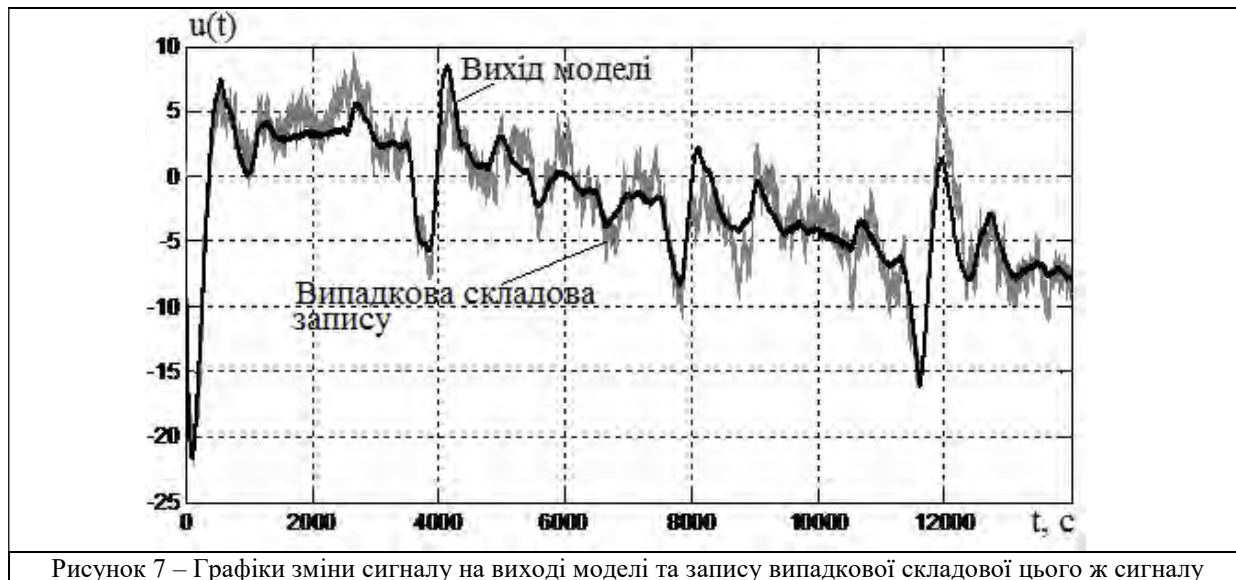


Рисунок 6 – Схема верифікації отриманих лінеаризованих моделей динаміки контролеру та вентиля

призначених для подачі на вхід моделі випадкових складових сигналів x та u . Блоки W_p та W_{p1} моделюють роботу контролеру та посиляються на передаточні функції W_p і W_{p1}

відповідно. З допомогою блоків W_c та W_{c1} відбувається моделювання роботи регульованого вентиляю.

В результаті подачі на вхід моделі відповідних випадкових складових сигналів на екрані осцилографу отримані графіки зміни сигналу на виході моделі та запису випадкової складової цього ж сигналу (рис.7).



Як видно з рисунку 1 визначена модель відповідає експериментальним даним, тому її прийнято як остаточну.

Таким чином, завдання ідентифікації виконано.

Висновки.

Розділення записів сигналів, які діють на входах та виходах контролеру АК-СС 550 та терморегульовального вентиляю фірми Danfoss, дозволяє визначати лінеризовану модель динаміки зазначених елементів, яка відповідає режиму роботи цих елементів під час запису сигналів.

Для ідентифікації зазначеної моделі достатньо скористатися випадковими складовими сигналів «вхід-вихід»

Отримані нові передаточні функції складають основу для адаптації відомих методів синтезу систем керування до визначення структури та параметрів закону керування, який спрямований на забезпечення підвищення ефективності використання холоду в реальних експлуатаційних умовах.

Список літератури

1. Мизин В.А. Инновационные методы повышения эффективности существующих типов кожухотрубных аппаратов [Текст] / В.М. Мизин, А.А. Цветков // Научн. журнал НИУ ИТМО. Серия «Холодильная техника и кондиционирование». – 2014. – №3. – С.71-77
2. Корнивец Д.В. Повышение эффективности холодильных установок с компрессорами «Битцер» [Текст] / Д.В. Корнивец // Холодильная техника. – 2011. – №10. – С.22-26
3. Катраев М.Ю. Повышение эффективности работы холодильной установки. Выбор алгоритма управления терморегулирующим вентилем [Текст] / Ю.М. Катраев // Холодильная техника. – 2011. – №4. – С.4-5
4. Эрлихман В.Н. Разработка принципов повышения эффективности технологических процессов холодильных производств [Текст] : автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.04, 05.18.12 / Эрлихман Владимир Наумович; Калининградский гос. техн. ун-т. – Калининград, 2005. – 49 с.
5. Шляхи модернізації систем автоматики холодильного устаткування з одним терморегульовальним вентилем [Текст] / С.І. Осадчий, Д.М. Лужков // Збірник наукових праць Кіровоградського

- національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – 2017. – Вип. 30. – С. 160-167.
6. Згуровський М.З. Основи системного аналізу [Текст] / М.З. Згуровський, Н.Д. Панкратова. – К.: Видавнича група BHV, 2007. – 544с.
 7. Контроллер испарителя АК-СС 550 для управления холодильными установками. Руководство пользователя. – Danfoos – RS.8E.N1.50. – 44с.
 8. Азарсков В.Н. Методология конструирования оптимальных систем стохастической стабилизации: Монография [Текст] / В.Н. Азарсков, Л.Н. Блохин, Л.С. Житецкий ; под ред. Блохина Л.Н. – К.: Книжное издательство НАУ, 2006. – 440с.
 9. Блохін Л.М. Методологічні основи та етапи забезпечення конкурентноздатності процесів стабілізації існуючих рухомих об'єктів [Текст] / Л.М. Блохін, С.І. Осадчий, О.П. Кривоносенко // Вісник НАУ. – 2009. – №2. – С. 61-68.
 10. Блохин Л.Н. Нелинейные оптимальные системы стохастической стабилизации [Текст] / Л.Н. Блохин, Л.С. Житецкий // Кибернетика и вычислительная техника. – 2003. – Вып. 139. – С.12-23.
 11. Прикладой анализ временных рядов. Основне методы [Текст] : монографія / Р. Отнес, Л. Энноксон; пер. с англ. В.И. Хохлова. – М.: Мир, 1982. – 428с. – Библиогр.: с.410-415.
 12. Статистична динаміка систем управління [Текст] : підручник / Л.М. Блохін, М.Ю. Буриченко, Н.В. Білак [та ін.]. – К.: НАУ, 2014. – 300с.

Referencis

1. Mizin, V.A. & Cvetkov, A.A. (2014). Innovacionnye metody povysheniya jeffektivnosti sushhestvujushhih tipov kozhuhotrubnyh apparatov [Innovative methods to improve efficiency existing types of shell-and-tube devices]. *Nauchn. zhurnal NIU ITMO. Serija «Holodil'naja tehnika i kondicionirovanie» – Scientific journal NRU ITMO Series "Refrigeration and Air Conditioning"*, 3, 71-77.
2. Kornivec, D.V. (2011). Povyshenie jeffektivnosti holodil'nih ustanovok s kompressorami «Bitcer» [Improving the efficiency of refrigeration systems with compressors "Bitzer"]. *Holodil'naja tehnika – Kholodil'naja Tekhnika*, 10, 22-26.
3. Katraev, M.Ju. (2011). Povyshenie jeffektivnosti raboty holodil'noj ustanovki. Vybora algoritma upravlenija termoregulirujushhim ventilem [Improving the efficiency of the refrigeration unit. Selection of control algorithm thermostat valve]. *Holodil'naja tehnika – Kholodil'naja Tekhnika*, 4, 4-5.
4. Jerlihman, V.N. (2005). Razrabotka principov povysheniya jeffektivnosti tehnologicheskikh processov holodil'nyh proizvodstv [Development of principles for improving the efficiency of technological processes of refrigeration production]. *Doctor's thesis. Kaliningradskij gos. tehn. un-t. Kaliningrad*.
5. Osadchyj, S.I. & Luzhkov, D.M. (2017). Shliakhy modernizatsii system avtomatyky kholodyl'noho ustatkuvannia z odnym termorehuliuval'nym ventylem [Paths of Modernization of Automation Systems of the Refrigeration Equipment with a Single Thermal Adjusting Valve]. *Zbirnyk naukovykh prats' Kirovohrads'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu. Tekhnika v sil's'kohospodars'komu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia* – Collected Works of KNTU: Machinery in Agricultural Production, industry machine building, automation, Vol. 30, 160-167.
6. Zghurov's'kyj, M.Z. & Pankratova, N.D. (2007). *Osnovy systemnoho analizu [Basics of system analysis]*. Kyiv: Vydavnycha hrupa BHV.
7. *AK-SS 550 Evaporator Controller for controlling refrigeration units. User's Guide*. Danfoos, RS.8E.N1.50.
8. Azarskov, V.N., Blohin, L.N. & Zhiteckij L.S. (2006). *Methodology for constructing optimal stochastic stabilization systems*. L.N. Blohina (Ed.). Kiev: Knizhnoe izdatel'stvo NAU.
9. Blokhin, L.M., Osadchyj, S.I. & Krivonosenko, O.P. (2009). Metodologichni osnovy ta etapy zabezpechennia konkurentnozdatnosti protsesiv stabilizatsii isnuuiuchykh rukhomykh ob'ektiv [Methodological principles and stages of competitive processes of stabilization of existing moving objects]. *Visnyk NAU – Proceedings of the NAU*, 2, 61-68.
10. Blohin, L.N. & Zhiteckij, L.S. (2003). Nelinejnye optimal'nye sistemy shasticheskoy stabilizatsii [Nonlinear optimal systems of shechastic stabilization]. *Kibernetika i vychislitel'naja tehnika – Cybernetics and Computer Engineering*, Vol. 139, 12-23.
11. Otnes, R. & Jenokson, L. (1982). *Applied time series analysis. Basic methods*. (V.I. Hohlova, Trans). Moscow: Mir.
12. Blohin, L.M., Burichenko, M.Ju., Bilak, N.V. & et.al. (2014). *Statistichna dinamika sistem upravlinnja: pidruchnik [Statistical dynamics of control systems.]*. – Kyiv: NAU.

Dmytro Luzshkov, postgraduate, Sergiy Osadchy, Prof., DSc., Olexandr Didyk, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropivnitsky, Ukraine

Identification of the Linearized Model of Controller Dynamics and Danfoss Temperature Control Valve According to the Passive Experiment

Main purpose of the article is to provide designers and researchers with a dynamics models of a controller for refrigerating equipment with one thermal control valves in conjunction with a regulatory body..

This article is devoted to an analysis of the trends improve refrigeration efficiency by upgrading the control system of a thermostatic expansion valve. It is shown that Danfoss refrigeration equipment increases the efficiency of the formation of the cold due to changes in the evaporator superheat setting. The main idea of upgrading is to use a systems approach to the consideration of refrigeration equipment in conjunction with the cooling chamber and the products which are stored in it. To realize this idea one has developed a new block diagram of the cooling system as a multidimensional follow-up system that operates in conditions of air temperature changes in the refrigerating chamber and fluctuations of the refrigerant temperature and its pressure. The definition of a linearized model took place in three stages. In the first stage, based on the data of the passive experiment, spectral and cross spectral densities of signals are obtained. In the second stage, based on the results of the first, the transfer functions of the system elements and the filtering block are defined. In the third stage, the verification of the identification results, which used experimental data and received transfer functions in the second stage, was performed.

The separation of the signal records that are active at the inputs and outputs of the AK-CC 550 controller and Danfoss thermostat valve allows you to determine the linearized pattern of the dynamics of the specified elements, which corresponds to the mode of operation of these elements during the recording of signals. The new transfer functions obtained form the basis for adapting the known methods of synthesis of control systems to the definition of the structure and parameters of the law of control, which is aimed at improving the efficiency of the use of cold in real operating conditions.

a refrigerant, an evaporator, a block diagram, a vector, a disturbance, a regulator

Одержано (Received) 05.02.2018

УДК 62:374:004.231.3

Ю.Б. Паладійчук, доц., канд. техн. наук, В.С. Руткевич, канд. техн. наук, М.В. Зінєв, асист.

Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця, Україна

І.О. Лісовий, канд. техн. наук

Уманський національний університет садівництва, м. Умань, Україна

Перспективи використання відкритого програмного комплексу arduino для вивчення технічних дисциплін

Стаття присвячена питанню підвищення рівня якості навчання технічним дисциплінам у вищих навчальних закладах освіти, за рахунок впровадження в навчальний процес апаратної платформи Arduino UNO. В статті проаналізовано сучасний стан проблеми підготовки технічних фахівців, методи їх підготовки в найбільш розвинених країнах світу, можливі напрямки вирішення існуючої проблеми за рахунок використання інноваційних методів навчання технічним дисциплінам, з використанням програмованої апаратної платформи Arduino UNO. Для обґрунтування запропонованої методики виконано порівняльний аналіз ряду популярних програмних платформ з наведеною Arduino UNO,

© Ю.Б. Паладійчук, В.С. Руткевич, М.В. Зінєв, І.О. Лісовий, 2018

представлено основні технічні характеристики найбільш розповсюджених платформ серед модельного ряду марки Arduino. Наводиться функціональний опис та технічні характеристики Arduino UNO, методи програмування та можливі варіанти апаратних модулів для компонування з Arduino UNO. Наведено приклади використання Arduino UNO в системах автоматичного керування та в навчальному процесі під час підготовки інженерів спеціальності «Агроінженерія», та електротехніків спеціальності «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

програмний комплекс, мікропроцесорна техніка, автоматизована система керування, мікроконтролер

Ю.Б. Паладійчук, доц., канд. техн. наук, В.С. Руткевич, канд. техн. наук, М.В. Зинев, асист.

Винницький національний аграрний університет, г. Вінниця, Україна

И.А. Лесовой, канд. техн. наук

Уманський національний університет садівництва, г. Умань, Україна

Перспективы использования открытого программного комплекса arduino для изучения технических дисциплин

Статья посвящена вопросу повышения уровня качества обучения техническим дисциплинам в высших учебных заведениях, за счет внедрения в учебный процесс аппаратной платформы Arduino UNO. В статье проанализировано современное состояние проблемы подготовки технических специалистов, методы их подготовки в наиболее развитых странах мира, возможные направления решения существующей проблемы за счет использования инновационных методов обучения техническим дисциплинам с использованием программируемой аппаратной платформы Arduino UNO. Для обоснования предложенной методики выполнен сравнительный анализ ряда популярных программных платформ приведенной Arduino UNO, представлены основные технические характеристики наиболее распространенных платформ среди модельного ряда марки Arduino. Приводится функциональное описание и технические характеристики Arduino UNO, методы программирования и возможные варианты аппаратных модулей для компоновки с Arduino UNO. Приведены примеры использования Arduino UNO в системах автоматического управления и в учебном процессе при подготовке инженеров специальности «Агроинженерия», и электротехников специальности «Электроэнергетика, электротехника и электромеханика».

программный комплекс, микропроцессорная техника, автоматизированная система управления, микроконтроллер

Постановка проблеми. Стрімкі темпи розвитку науки і техніки викликають необхідність щоденного освоєння значних об'ємів інформації. Така тенденція спричиняє появу нових дисциплін, що в свою чергу викликає необхідність зміни навчальних програм та адаптації їх під сучасні вимоги. Важливим питанням в процесі підготовки технічних спеціалістів, є забезпечення якості підготовки майбутніх фахівців. Підґрунтям для забезпечення високого рівня знань майбутніми фахівцями є інтеграція інформаційних технологій в основу технічних та інженерних дисциплін.

Сьогодні форма освіти, що реалізується в вищих аграрних навчальних закладах, представлена лабораторними та практичними роботами, що зазвичай проводяться на морально і технічно застарілих агрегатах та стендах, а вивчення сучасних інформаційних та технічних дисциплін обмежується вивченням інформатики, комп'ютерної техніки, систем САПР на базовому рівні.

Широке розповсюдження електроніки та мікропроцесорної техніки, викликає необхідність освоєння основ програмування, отримання базових знань електроніки та мікропроцесорної техніки. Низький рівень впровадження профільних дисциплін даного напрямку сповільнюється через відсутність у більшості викладачів необхідних досвіду та знань. В США, Японії, та багатьох інших країнах Європи та світу починають вивчати основи робототехніки та програмування ще з молодших класів школи, учні створюють свої проекти, навчаються вирішувати складні технічні завдання.

Для підтримки талановитої молоді у більшості обласних центрів України створені – своєрідні стартові майданчики, що надають необхідну науково-технічну базу для подальшого фахового розвитку та становлення майбутніх технічних фахівців [1].

Для майбутнього фахівця галузі аграрного виробництва актуальним є освоєння основ електроніки та мікропроцесорної техніки, в зв'язку з масовою інтеграцією даних пристроїв в виробничий процес. Знання основ програмування, структури та методів створення електронних пристроїв, вивчення схем сучасних автоматизованих систем методами наочного вивчення дозволить вітчизняним фахівцям бути конкурентоспроможними не лише на внутрішньому, а й на зовнішньому ринку праці.

Однак, як показує практика, освоєння цих дисциплін якщо і проводиться то на прикладі застарілих лабораторних пристроїв типу «Мікролаб КР 580 ИК80», в основу яких входить мікропроцесор КР 580 ИК80, що по суті є вітчизняним аналогом мікропроцесора Intel i8080A. Мікропроцесор КР 580 ИК80 випускався вітчизняною промисловістю з 1977 р. по середину 1990-х років [2].

Аналіз досліджень та публікацій. Питанням впровадження сучасних електронних пристроїв в навчальний процес свого часу займалось багато вчених, педагогів та науковців. Питанням розвитку інженерного мислення в майбутніх фахівців технічних спеціальностей розглядали такі науковці: Tod E. Kurt [5], Massimo Banzi [6], Brian W. Evans [7], Кривонос О.М., Кузьменко С.В. [1]. Їх роботи присвячені теоретичному та практичному використанню інформаційних технологій у підготовці майбутнього фахівця.

Такі всесвітньо відомі вчені як Tod E. Kurt, Massimo Banzi, Brian W. Evans основну увагу приділяли саме опанування практичних навиків у використанні сучасної інформаційної техніки, вони розглядають питання створення автоматизованих систем керування, робото-технічних систем, систем контролю та індикації. Їх роботи направлені на розвиток у майбутнього інженера нестандартних підходів до розв'язання складних технічних задач.

Серед вітчизняних вчених варто відмітити роботу Кривоноса О.М. та Кузьменка С.В., щодо перспектив використання відкритої програмної платформи Arduino Nano 3 у навчальному процесі вищої школи [1].

Метою статті є аналіз відкритої програмної платформи Arduino UNO та її апаратної частини, ознайомлення з її функціональними можливостями та технічними характеристиками, здійснення порівняльної характеристики найбільш популярних програмних платформ та визначення перспектив застосування даного пристрою для вивчення технічних дисциплін.

Постановка завдання. Основними методами дослідження використаними в даній роботі були методи порівняння, аналізу та систематизації отриманої інформації. В процесі дослідження було проведено порівняльний аналіз найбільш поширених програмних платформ та мікропроцесорних пристроїв, що широко використовуються в різних сучасних електронних системах. Узагальнено та систематизовано вітчизняний та зарубіжний досвід по використанню та впровадженню інноваційних технологій в навчальний процес з використанням Arduino UNO.

Виклад основного матеріалу. На сьогоднішній день на ринку України присутня велика кількість програмних платформ, що здатні реалізовувати управління фізичними процесами на рівні достатньому для їх використання не лише в навчальному процесі, але й для автоматизації досить складних технологічних процесів. Найбільш поширені програмні платформи та мікропроцесорні пристрої показані в табл. 1 [3,4].

Таблиця 1 – Поширені програмні платформи та мікропроцесорні пристрої

	
Raspberry Pi 3 Model B.	Orange Pi PC Plus
	
ODROID-C2	pcDuino v.3 Sparkfun
	
Intel Genuino 101	Миникомп'ютер NanoPI M1
	
Arduino Uno Rev3	Iskra neo – Аналог arduino-leonardo

Arduino – невелика за розмірами плата мікроконтролера з роз'ємом USB для підключення до комп'ютера та низкою контактів для з'єднання проводами із зовнішніми пристроями, таких як електроприводи, реле, фотоелементи, світлодіоди, гучномовці, мікрофони та інше. Платою можна керувати з комп'ютера, або запрограмувати її, а після від'єднання від комп'ютера вона буде працювати автономно.

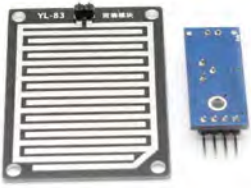
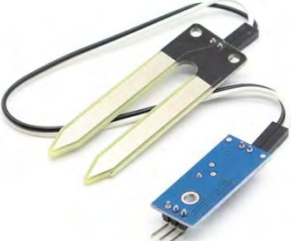
Модель Arduino Uno R3 вважають базовою платою Arduino.

Arduino UNO універсальний засіб автоматизації, вона може працювати як в симбіозі з ПК так і самостійно від незалежного джерела живлення. Завдяки різноманіттю апаратного та програмного забезпечення призначеного для роботи з Arduino UNO, а це більше 50 різноманітних датчиків та модулів (табл.3), ми можемо створити майже будь-яку автоматизовану інтелектуальну систему.

Таблиця 2 – Технічні характеристики популярних платформ Arduino

Назва	Мікроконтролер		Flash-пам'ять	Оперативна пам'ять	Аналогові входи	Цифрові входи та виходи		ШІМ
	Марка	Частота, МГц	КБ	КБ				
Arduino UNO	ATmega328	16	32	2	6	14(6 ШІМ)		
Arduino Leonardo	ATmega32u4	16	32	2.5	12	20		7
Arduino Mini	ATmega328	16	32	2	8	14(6 ШІМ)		
Arduino Nano	ATmega168 (328)	16	16/32	1	8	14(6 ШІМ)		
Arduino Mega 2560	ATmega2560	16	256	8	16	54(14 ШІМ)		

Таблиця 3 – Датчики та модулі для використання з Arduino UNO

		
Датчик дощу	Датчик вологості та температури	Датчик вологості ґрунту
		
Датчик руху	Датчик відстані	Реле

Базовим середовищем для роботи з Arduino є Arduino IDE, його робота заснована на мові програмування Processing, але завдяки значній популярності сьогодні працювати з Arduino можна використовуючи і інші програмні платформи наприклад [9, 10]:

- FLProg програмування відбувається за допомогою графічних мов FBD і LAD, що використовують для програмування промислових контролерів.

- Fritzing – програма для прототипування проектів на Arduino та інших популярних платформах. Перевагою даної платформи є наявність великої бібліотеки

принципових елементів електронних схем. Дана програма доступна у безкоштовній та платній формах. Розроблений проект можна одразу перенести на друковану плату.

- Minibloq – це графічне середовище розробки для Arduino та інших платформ. Його основна мета полягає в наданні допомоги в навчанні програмуванню. Орієнтована на використання в робототехніці для навчання студентів початкових, середніх та вищих навчальних закладів. Широко використовується в Аргентині, де тільки в провінції Сан-Луїс, більше 60000 дітей були навчені за допомогою цього програмного забезпечення в державних школах. Доступна версія Minibloq v 0.82. Beta.

- Онлайн ресурс Tinkercad.com дозволяє спроектувати та провести симуляцію робочого процесу розробленого проекту, також є можливість розробки 3D моделей деталей які в подальшому можуть бути використані для реалізації проекту, деталі можна роздрукувати на 3D принтері.

На базі апаратної платформи можна реалізувати як прості так і більш складні системи автоматизації, вирішувати задачі управління об'єктами, здійснювати дистанційний збір і обробку технологічних параметрів і багато чого іншого. Наприклад нами дана платформа використовується для вивчення основ автоматичного керування, принципів роботи датчиків та методів їх підключення і використання в технологічних процесах. Розроблено ряд лабораторних робіт, що дозволяють на простих та зрозумілих прикладах опанувати основи автоматичного керування, регулювання та ін.

Висновок. Низька ціна, доступність, можливість реалізації складних інженерних задач автоматизації, прості та зрозумілі пересічній людині методи програмування, низька в порівнянні з іншими промисловими зразками вартість реалізації проектів дозволяють зробити висновок, що впровадження Arduino в навчальний процес, дасть можливість підвищити якість підготовки майбутніх спеціалістів не лише аграрної галузі, а й інших технічних спеціальностей.

Список літератури

1. Кривонос О.М. Огляд та перспективи використання платформи ARDUINO Nano 3.0 у вищій школі [Текст] / О.М. Кривонос, Є.В. Кузьменко, С.В. Кузьменко / Інформаційні технології і засоби навчання. – 2016. – Т. 56. – №6. – С. 77-87.
2. KP580BM80A [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/KP580BM80A>.
3. Інтернет-магазин «Ардуіно в Україні» продаж Arduino, Raspberry Pi мікропроцесорів в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduino-ua.com>.
4. Iskra-Neo [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://amperka.ru/product/iskra-neo>.
5. Tod E. Kurt. Arduino and bionic / Tod E. Kurt / Machineproject – November 2007.
6. Massimo Banzì. GETTING STARTED WITH ARDUINO / Massimo Banzì. – М.: Рид Групп, 2012. – 128 с.
7. Brian W. Evans. Arduino Programming Notebook / Brian W. Evans / California USA 2007 – 40 p.
8. Arduino [Електронний ресурс] / Інформаційний Інтернет ресурс // Режим доступу: <https://www.arduino.cc/>
9. Заїка В.І. Застосування платформи ARDUINO для навчання, практична реалізація проектів автоматизації / В.І. Заїка, О.В. Макєєв, М.О. Машенцов // Матеріали Науково-методичного Інтернет-семінару «Актуальні проблеми підготовки фахівців з автоматизації виробництва», 27 квітня 2015 р. [Електронний ресурс] – К: НУХТ, 2015. – 55 с. – Режим доступу: <http://nuft.edu.ua/page/view/konferentsii>
10. Іванов М.І. Експериментальний стенд для дослідження системи гідравлічних приводів блочно-порційного відокремлювача консервованого корму [Текст] / М.І. Іванов, С.А. Шаргородський, В.С. Руткевич // Промислова гідравліка і пневматика. – 2016. – №1 (51). – С. 77-84.

References

1. Kryvonos, O.M. & Kuzmenko, YE.V. & Kuzmenko, S.V. (2016). Ohlyad ta perspektyvy vykorystannya platformy ARDUINO Nano 3.0 u vyshchiiy shkoli [Survey and prospects of arduino nano 3.0 platform use in high school]. *Informatsiyni tekhnolohiyi i zasoby navchannya – Information technologies and learning tools*, Vol. 56, 6, 77-87.
2. KR580VM80A. *ru.wikipedia.org*. Retrieved from <https://ru.wikipedia.org/wiki/KR580VM80A>.
3. Internet-mahazyn «Arduino v Ukraini» prodazh Arduino, Raspberry Pi mikroprotsesoriv v Ukraini [Arduino-Ukraine online store selling Arduino, Raspberry Pi microprocessors in Ukraine]. *arduino-ua.com*. Retrieved from <https://arduino-ua.com>.
4. Iskra-Neo. *amperka.ru*. Retrieved from <http://amperka.ru/product/iskra-neo>.
5. Tod, E. Kurt (2007). *Arduino and bionic*. Machineproject.
6. Massimo, Banzhi (2012). *GETTING STARTED WITH ARDUINO*, Moscow: Ryd Hrapp.
7. Brian W. Evans (2007). *Arduino Programming Notebook*. California USA.
8. Arduino. *arduino.cc*. Retrieved from <https://www.arduino.cc/>
9. Zayika, V.I., Makyeyev, O.V. & Mashentsov, M.O. (2015). Zastosuvannya platformy ARDUINO dlya navchannya, praktychna realizatsiya proektiv avtomatyzatsiyi [Application of the ARDUINO platform for training, practical implementation of automation projects]. Actual problems of training specialists in automation of production '15. *Naukovo-metodychnyi Internet-seminar (27 kvitnya 2015 roku) – Scientific-methodical Internet-seminar (55 p.)*. Kyiv: NUKHT. Retieved from <http://nuft.edu.ua/page/view/konferentsii>
10. Ivanov, M.I., Sharhorodskii, S.A. & Rutkevich, V.S. (2016). Eksperymentalnyi stend dlia doslidzhennya systemy hidravlichnykh pryvodiv blochno-portsiinoho vidokremlivacha konservovanoho kormy [Experimental model for the study of hydraulics actuators block separator portion of canned feed]. *Promyslova gidravlika i pnevmatika – Industrial hydraulics and pneumatics*, 1 (51), 77-84.

Yuriy Palyadichuk, Assoc. Prof., Phd tech. sci., Volodymyr Rutkevych, Phd tech. sci., Mykhailo Zinev
Vinnitsia national agrarian university, Vinnitsia, Ukraine

Ivan Lisovoy, Phd tech. sci.

Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine

The Prospects of Using the Arduino Open Software Package for Studying Technical Courses

The article is devoted to the issue of improving the quality of training in technical disciplines in higher educational institutions, due to the introduction of the Arduino UNO hardware platform.

The article analyzes the current state of the problem of preparation of technical specialists, methods of their preparation in the most developed countries of the world, possible directions for solving the existing problem by using innovative methods of training in technical disciplines, using the programmable hardware platform Arduino UNO. To substantiate the proposed method, a comparative analysis of a number of popular software platforms provided by Arduino UNO has been made, the main technical characteristics of the most widely used platforms among the Arduino brand range are presented. The Arduino UNO functional descriptions and technical specifications, programming methods and possible variants of hardware modules for layout with Arduino UNO are provided. Examples of using Arduino UNO in the systems of automatic control and in the educational process during preparation of engineers of the specialty «Agroengineering» and electricians of the specialty «Power engineering, electrical engineering and electromechanics» are given.

The prospects of application of this device for studying a number of technical courses are considered.
software complex, microprocessor technology, automated control system, microcontroller

Одержано (Received) 09.11.2017

УДК 004.9

О.С. Улічев, асп.*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна, E-mail: askin79@gmail.com*

Математична модель поширення інформаційно-психологічних впливів у сегменті соціальної мережі

Метою роботи є опис результатів дослідження в напрямку моделювання процесів розповсюдження інформаційних впливів в сегменті соціальної мережі. В основі дослідження лежить запропонована автором математична модель та підходи до реалізації окремих етапів моделювання. Зокрема виділяється 3 основних етапи: моделювання структури мережі, формальний опис вузла мережі, реалізація процесу розповсюдження інформації.

Метод генерування структури мережі базується на використанні параметризованих кластерів трьох типів: кліка, група, лідерська група. Процес розповсюдження інформації запропоновано представляти ітераційним процесом, в ході якого вузли здійснюють інформаційні впливи на інші вузли, через розповсюдження інформаційних повідомлень. В статті запропоновано поняття поведінкових стратегій, що визначають критерії вибору вузла для атаки. Запропоновано їх формальне представлення.

програмна модель, інформаційний вплив, методи генерування мережі, моделі розповсюдження інформації в мережі, поведінкові стратегії

А.С. Уличев, асп.*Центральноукраинский национальный технический университет, г. Кропивницкий, Украина*

Математическая модель распространения информационно-психологических воздействий в сегменте социальной сети

Целью работы является описание результатов исследования в направлении моделирования процессов распространения информационных воздействий в сегменте социальной сети. В основе исследования лежит предложенная автором математическая модель и подходы к реализации отдельных этапов моделирования. В частности выделяется 3 основных этапа: моделирование структуры сети, формальное описание узла сети, реализация процесса распространения информации.

Метод генерирования структуры сегмента сети базируется на использовании параметризованных кластеров трех типов: клика, группа, лидерская группа. Процесс распространения информации предложено представлять итерационным процессом, в ходе которого узлы осуществляют информационные влияния на другие узлы, через распространение информационных сообщений. В статье предложено понятие поведенческих стратегий, определяющих критерии выбора узла для атаки. Предложено их формальное представление.

программная модель, информационное воздействие, методы генерирования сети, модели распространения информации в сети, поведенческие стратегии

Постановка проблеми. Інформаційні впливи завжди були дієвим інструментом для маніпуляцій людьми та навіювання певних ідей. Перші методики інформаційних впливів розроблені досить давно. В останній час підходи набули особливого значення і отримали суттєвий приріст ефективності, це пов'язано з розвитком мережі Інтернет та щільним повсякденним використанням користувачами різноманітних соціальних мережеских сервісів. Реєструючись в соціальних мережах користувач потенційно стає об'єктом інформаційних атак різноманітної направленості. Мета інформаційних атак може бути абсолютно різною: від маркетингових і рекламних кампаній до політичної боротьби та інформаційної війни, як засобу створення відповідного ідейного підґрунтя для реальних бойових дій або військових переворотів. Відтак зростає інтерес до використання існуючих СЦ для інформаційних впливів. Факт використання сервісів для деструктивних інформаційних впливів вимагає вироблення методів та засобів

протистояння таким впливам. Ефективний спротив повинен передбачати: дослідження проблеми та аналіз мети впливу, виявлення зон впливу, прогнозування наслідків, вироблення методів пасивного та активного інформаційного захисту.

Одним з підходів в комплексі спротиву інформаційним впливам та атакам є моделювання поширення інформаційно-психологічних впливів у соціальних мережах з метою прогнозування їх наслідків та розробки рекомендацій для протидії ним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сьогодні багато вчених, як вітчизняних так і закордонних розглядають проблему моделювання розповсюдження інформації в мережі. Зокрема існують вже класичні моделі, найбільш відомі з них наступні.

Модель SIR детермінована модель епідемії. Модель епідемії була сформульована в роботі [1], основна ідея полягає в розподілі користувачів на групи: уразливі, заражені, не сприймаючі (користувачі з імунітетом). В [1] пропонують розглядати ймовірності потрапляння користувачів в кожен з груп та параметри: частота зараження й швидкість одужання. В цілому модель описується системою диференціальних рівнянь. Пізніше була запропонована розширена модель епідемії, доповнення полягали в тому, що в мережі постійно спостерігається динаміка наявності учасників, якісь користувачі включаються в мережу, інші покидають її. Введення даних параметрів в модель і стало розширеною SIR моделлю. А в 1965 році була сформульована модель Далея-Кендалла [2] для опису поширення чуток. Модель виявилась досить вдалою і до сих пір використовується в деяких симуляторах та програмних моделях. Моделі, що базуються на SIR, націлені на кількісну оцінку розповсюдження і не враховують канали зв'язку та структуру мережі.

Пізніше деякими авторами було запропоновано клітинні автомати, на думку авторів [3, 4] такі моделі більш точно відображають процес, бо враховують стани навколишніх клітин, що досить близько по суті до соціальної мережі.

Більш сучасні ідеї пропонують іноземні вчені, наприклад, Губанов Д.А. в [7], його ідеї полягають в застосуванні у дослідженнях процесів розповсюдження інформації теорії ігор, та вітчизняні вчені, зокрема Ланде Д.В., Грайворонська А.М. [8, 9], які розглядають мультиагентну модель розповсюдження з параметрами впливу лайк/дислайк, репост та іншими. Врахування даних параметрів дозволяє наблизити модель до сучасного поняття соціальної мережі як веб-сервісу.

Серед розглянутих моделей не виявлено прикладів моделей, які б враховували поведінку окремого вузла, стратегію розповсюдження інформації, яку обирає вузол в процесі інформаційного впливу.

Постановка завдання. Метою даної роботи є розробка математичної моделі поширення інформаційно-психологічних впливів у сегменті соціальної мережі, як бази для створення програмної моделі для моделювання та дослідження різноманітних ситуацій та варіативних змін.

Задача моделювання соціальної мережі (сегменту мережі) полягає в дослідженні впливу різноманітних факторів на швидкість розповсюдження інформації та динаміки інформаційного впливу. Використовуючи модель планується досліджувати наступні фактори впливу: структуру сегменту мережі, що моделюється; щільності зв'язків в сегменті мережі; початкове положення вузла – розповсюджувача інформації; поведінкові стратегії, які застосовує активний вузол. При цьому об'єктом дослідження є не лише соціальні мережі в їх електронному варіанті реалізації як веб-сервісів мережі, поняття розглядається в широкому змісті. Соціальна мережа – це структура, що складається з масиву вузлів, які представлені соціальними об'єктами (людьми, групами

або організаціями) та взаємозв'язками між ними. В якості зв'язків розглядаються будь-які засоби комунікацій та інформаційного обміну.

Виклад основного матеріалу. Одним з підходів, в дослідженні соціальних мереж, є моделювання. Зокрема для дослідження можуть використовуватись програмні моделі, в яких моделюють структуру частини соціальної мережі та інформаційні процеси, що протікають в часі. Програмна модель базується на певній математичній моделі та системі допущень і спрощень.

Створення моделі поширення інформаційно-психологічного впливу у сегменті соціальної мережі можна розбити на декілька етапів:

1. Вибір підходу до моделювання структури.
2. Представлення і формальний опис вузла.
3. Математична формалізація інформаційної взаємодії, математичний опис поведінкових стратегій.

Загалом структура мережі, з точки зору інформаційних зв'язків та інформаційного обміну, може розглядатися як граф. В якості вузлів графа виступають суб'єкти інформаційного обміну, а ребрами є наявні інформаційні зв'язки:

$$G(V, E), \quad (1)$$

де V – множина вузлів; E – множина ребер.

Для моделювання конкретних структур фрагменту мережі обрано наступні типи кластерів: група, кліка, лідерська група. Окрім цього варто зауважити, що при моделюванні розглядаємо лише сталі, двосторонні зв'язки. Тобто – якщо вузол $V_i \rightarrow V_j$, то і $V_j \rightarrow V_i$. Далі розглянемо самі кластери, на основі яких моделюється структура.

Група (**Г**) – граф з таким набором зв'язків, що дозволяє встановити зв'язок між будь-якими двома вузлами графу напряду або використовуючи проміжні вузли.

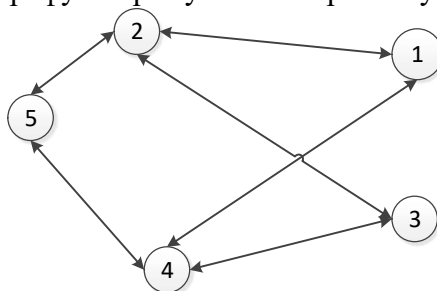


Рисунок 1 – Підмножина типу «Група»

Формальний опис такого кластеру може виглядати так:

$$G_{група} = (V_n \mid \forall V_i, V_j : i, j, k_i \leq n \exists \{E_{ik1}, E_{k1,k2}, E_{k2,k3} \dots E_{kn,j}\}), \quad (2)$$

Фактично група є зв'язним графом, матриця суміжності може мати різний вигляд (залежить від щільності зв'язків), а обов'язковою є умова зв'язності – існування шляху між будь-якими вибраними вершинами кластеру.

Кліка (**К**) – граф в якому кожен вузол зв'язаний з кожним, або, іншими словами – всі вершини графа суміжні.

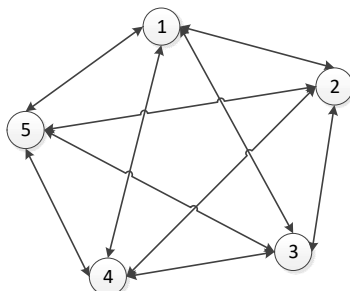


Рисунок 2 – Підмножина типу «Кліка»

Формальний опис кліки:

$$G_{clika} = (V_n \mid \forall V_i, V_j : i, j \leq n \exists E_{ij}), \quad (3)$$

матриця суміжності для кліки буде мати вигляд:

i \ j	1	2	3	...	n
1	0	1	1	1	1
2	1	0	1	1	1
3	1	1	0	1	1
...	1	1	1	0	1
n	1	1	1	1	0

Лідерська група (ЛГ) – підвид групи з одним або кількома вираженими вузлами, що мають зв'язки з усіма іншими вузлами групи.

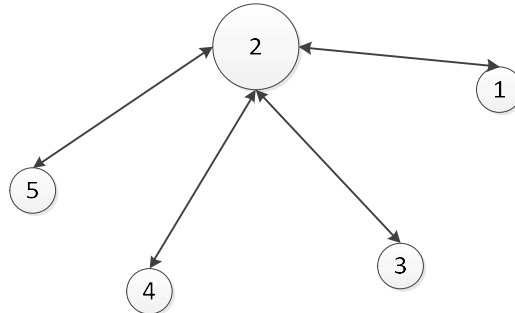


Рисунок 3 – Підмножина типу «Лідерська група»

Формальний опис лідерської групи:

$$G_{lid_grup} = (V_n \mid \exists i \leq n, \forall j \leq n \exists E_{ij}), \quad (4)$$

Матриця суміжності для лідерської групи буде характеризуватись наявністю стовпчика та рядка повністю заповнених 1 (окрім діагонального елементу), матриця матиме вигляд:

i \ j	1	2	3	...	n
1	0	1	x	x	x
2	1	0	1	1	1
3	x	1	0	x	x
...	x	1	x	0	x
n	x	1	x	x	0

Тут вузол з індексом 2 є лідером, елементи *x* в матриці суміжності означає, що інші вузли можуть мати і інші зв'язки, але вони не є обов'язковими для ідентифікації фрагменту мережі як кластера типу «лідерська група»

Задавання структури матрицею суміжності є досить ефективним способом, але для експериментів та візуального сприйняття структури доречним є реалізація в програмній моделі візуального конструктора, що базується на використанні набору базових кластерів з можливістю їх параметризації. Доречною функцією програмної моделі є також можливість внесення «ручних» коректив в структуру: додавання та вилучення вузлів/зв'язків.

Запропонований підхід до генерування структури мережі дозволяє генерувати сегменти мереж з досить різноманітною топологією, а можливість внесення коректив в ручному режимі забезпечує можливість локально змінити структуру та наблизити мережу в моделі до реальної структури мережі, що є об'єктом дослідження.

Запропонований підхід має свої переваги та недоліки.

Переваги:

1. Можливість частково автоматизованого генерування структур з різною топологією:

- мережі внутрішньо корпоративних зв'язків;
- мережі міжкорпоративних зв'язків;
- замкнені мережі організацій;
- ситуативні утворення (об'єднання людей спільною ідеєю, подією);
- сегменти соціальних Інтернет мереж.

2. Наявність можливості редагування зв'язків дозволяє суттєво підвищити варіативність.

3. Можливість детального моделювання структури в мережі в околі досліджуваного вузла.

Недоліки:

1. Структура зв'язків і особливості внутрішньої будови кластерів носить випадковий характер.

2. Необхідність ручного регулювання за умови більш точного відтворення наявної структури.

Наявність випадковості в структурі мережі є відносним недоліком, в деяких випадках моделювання певний ступінь стохастичності є обов'язковою умовою. З іншого боку недолік може бути частково компенсований введенням параметрів при генеруванні базових кластерів.

Вузол мережі характеризується певним набором параметрів, що визначають його поведінку і поточний стан. При виборі параметрів – характеристик вузла необхідно намагатись мінімізувати їх кількість при цьому не втративши адекватності моделі, модель має давати наближені до реальності результати.

В моделі вузол описується наступними характеристиками:

$$V_i = \langle Av_i, Rv_i, O\alpha v_i, \{V_{j_i}\} \rangle, \quad (5)$$

де (*A*) **Active** – активність користувача, кількість активних діалогів (звернень до інших користувачів) за одну ітерацію моделі.

(*R*) **Reputation** – репутація користувача, вплив інформаційного посилю, сила переконання.

(*O*) **Opposite** – інформаційний спротив, критичність по відношенню до ідеї, що розповсюджується.

(*I*) **Involvement** – ступінь залученості до ідеї, рівень довіри.

$\{V_{j_i}\}$ - множина контактів, вузлів з якими існує інформаційний обмін, вузла V_i .

Серед вузлів мережі виділимо окремі вузли – генератори ідеї. Дані вузли є активними вузлами і саме вони являються осередками розповсюдження інформаційного посилю. Модель розглядає розповсюдження ідеї конкретного змісту чи спрямування, далі будемо позначати її α -ідея. Модель може передбачати наявність генераторів контрідії, позначимо її ($-\alpha$), тобто ідея протилежна до α .

Генератор формально описується так:

$$Gen_{\alpha i} = \langle Vi | Av_i \sim 1, I\alpha v_i = Ig \rangle, \quad (6)$$

Тобто, генератори – вузли з високою активністю, ступінь залученості до α -ідеї максимальний. Всі генератори сегменту мережі утворюють множину генераторів - *Gen*

Основна ідея моделі полягає в формалізації поведінкових стратегій активних вузлів сегменту мережі. Вузол починає активну діяльність за умови його залученості до ідеї $I\alpha v_i > 0,5I g$. Тут Ig – це залученість до ідеї рівня генератора. Величина даного параметра

визначається особливостями, метою та контекстом інформаційного впливу. Наприклад, існують дослідження (проводились на замовлення радіостанцій), що визначають необхідну кількість прослуховувань пісні аби вона відкладалась в пам'яті слухача і стала популярною. Дослідження встановили, що після 8 прослуховувань пісні на протязі короткого періоду пересічний слухач запам'ятовує мелодію і починає підсвідомо підспівувати при перших акордах мелодії. Тобто в даному випадку, підспівуючи пісню, слухач фактично починає поширювати інформацію, а $I_g=8$.

Кількість інформаційних посилів вузлам з множини доступних вузлів (контакти V_i) за одну ітерацію моделі пропорційна активності вузла - $|\alpha_i| \sim Av_i$.

Процес інформаційного обміну в моделі можна представляти ітераційним процесом, де кожна окремо взята ітерація відповідає певному часовому дискрету (наприклад: 1 ітерація = 1 уявний день)

Розповсюдження інформаційної ідеї в мережі можна оцінювати за інтегральним критерієм, що визначається як:

$$I\alpha(G) = \sum_{i=1}^n I\alpha v_i. \quad (7)$$

Залученість до α -ідеї окремого вузла визначається за адитивним принципом. Показник залученості рівний сумі накопичених α -посилів на поточну ітерацію:

$$I\alpha v_j = \sum_{m=1}^x \sum_{i=1}^n k_{ij} * \alpha_i, \quad (8)$$

де $I\alpha v_j$ – рівень залученості j -го вузла до α -ідеї,

x – поточна ітерація моделювання,

n – кількість контактів j -го вузла,

α_i – повідомлення від i -го вузла, фіксує наявність повідомлення

$$\alpha_i = \begin{cases} 1, & \alpha\text{-посил від } V_i \text{ був} \\ 0, & \alpha\text{-посилу від } V_i \text{ не було} \end{cases}, \quad (9)$$

k_{ij} – коефіцієнт інформаційного впливу, що визначається співвідношенням (10):

$$k_{ij} = \frac{Rv_i}{\alpha\alpha v_j} \quad (10)$$

У випадку наявності в мережі конргенераторів необхідно враховувати їх впливи і тоді формула (8) прийме вигляд:

$$I\alpha v_j = \sum_{m=1}^x \left(\sum_{i=1}^n k_{ij} * \alpha_i + \sum_{i=1}^n k_{ij} * (-\alpha_i) \right). \quad (11)$$

Більшість існуючих моделей для моделювання розповсюдження інформації та інформаційних впливів не розглядають поведінку окремих вузлів, хоча поведінка може мати суттєвий вплив на кінцевий результат та швидкість розповсюдження.

Перед суб'єктом, що виступає генератором в мережі, виникає задача вибору цілі для інформаційної атаки. Ціль інформаційної атаки обирається на основі поведінкової стратегії. Поведінкова стратегія генератора може бути представлена як:

$$\langle F(P_1 P_2 \dots P_i) | V_{j_g} \rangle, \quad (12)$$

де $F(P_1 P_2 \dots P_i)$ – функція, що визначає поведінкову стратегію;

V_{j_g} – множина доступних генератору вузлів, тобто – підмножина вузлів всієї мережі, що входить до кола спілкування генератора;

$P_1 P_2 \dots P_i$ – набір поведінкових критеріїв.

Серед поведінкових стратегій можна виділити окремі групи:

– стратегії без аналізу, що базуються на масовості інформаційних посилів в околі генератора;

– стратегії на основі аналізу показників доступних вузлів, базуються на виборі найбільш вразливого чи корисного (з точки зору подальшого розповсюдження інформації) вузла з множини доступних (аналіз вузлів в околі генератора);

– стратегії на основі аналізу структури чи положення вузла, базуються на аналізі структури в околі вузла або наявній інформації про ключове значення вузла (аналіз вузлів поза околom генератора).

В найпростішому випадку генератор обирає вузли для атаки випадковим чином. Тоді поведінкова стратегія (умовно назовемо її «кущ») може бути описана як:

$$P_{bush} = \{u_i \in U_g \mid i = \text{random}(U_g), |u| \leq Act_g\}, \quad (13)$$

де $u_i \in U_g$ – доступні генератору користувачі;

$i = \text{random}(U_g)$ – випадковий вибір номера користувача для атаки;

$|u| \leq Act_g$ – кількість обраних користувачів (кількість інформаційних посилів за одну ітерацію моделі) не перевищує показника активності генератора.

На відміну від простих стратегій можуть існувати й більш складні багатокритеріальні поведінкові стратегії. Ймовірним є той факт, що більш складна стратегія, яка використовує певний аналіз і вибір вузлів може показувати кращу ефективність. Але реалізація складних стратегій в реальній мережі вимагає певного аналізу, а відповідно і часу. Однією з цілей моделювання є проведення експерименту залежності ефективності різних поведінкових стратегій від структури сегменту мережі та початкового положення генератора в мережі.

Можливі і інші поведінки, коли цілі інформаційної атаки обираються не випадково, а з урахуванням певних характеристик. Найпростішою з точки зору аналізу та доступності характеристикою вузла для атаки є кількість його зв'язків (з точки зору соціальної мережі – кількість друзів). Логічно припустити, що вузли з великою кількістю контактів є більш перспективними для атаки і подальшого розповсюдження ідеї. У випадку вдалої атаки і переконання такого вузла канал передачі значно розширюється. Але в цьому випадку генератору необхідно затрачати певний час для аналізу – вибір вузла для атаки, відповідно кількість активних діалогів має бути зменшена по відношенню до поведінки описаної співвідношенням (13). Обравши перспективний вузол для атаки, генератор намагається залучити його до ідеї першочергово – тому зосереджує увагу саме на цьому вузлі (вузлах). В реальності така стратегія визначається повторюваністю звернень до одного вузла на протязі однієї ітерації. Кількість вузлів обраних для атаки наступними генераторами (залученими до ідеї) може збільшуватись, враховуючи збільшення носіїв ідеї в мережі і сумарний вплив на атакований вузол.

У випадку цієї поведінкової стратегії (назовемо її умовно «дерево»), вона може бути описана наступним чином:

$$P_{tree} = \{u_i \in U_g \mid |U_{ui}| \rightarrow \max, |u| = 2^{l-g}, |u| \leq K * Act_g, u_i \notin Gen\}, \quad (14)$$

де $u_i \in U_g$ – доступні генератору користувачі

$|U_{ui}| \rightarrow \max$ – кількість вузлів, доступних атакованому вузлу, обирається за ознакою «максимальна з наявних»

$|u| = 2^{l-g}$ – кількість вузлів для атаки залежить від рівня генератора (l_g), починаючи від початкового генератора $l_g = 0$.

$|u| \leq K * Act_g$ – кількість обраних користувачів не перевищує показника активності генератора з деяким коеф., певний час витрачається генератором на аналіз і пошук вузла для атаки.

$u_i \notin Gen$ – атака на вузол продовжується до тих пір поки вузол сам не стане генератором.

Особливості структури сегменту мережі та інші показники можуть вимагати вибору інших поведінкових стратегій. Наприклад – застосування поведінкової стратегії «дерево» з використанням в якості критерію показника кількості контактів потенційної цілі можуть призводити до колізій. Так обраний для атаки вузол може мати найбільшу кількість контактів, але водночас високий рівень інформаційного спротиву. В цьому випадку на залучення до ідеї даного вузла генератором буде витрачено багато часу, що в критичному випадку не призведе до очікуваного результату. Виходом з даної ситуації є зміна критерію вибору вузла, тоді поведінкова стратегія може бути описана як:

$$P_{tree} = \left\{ u_i \in U_g \mid Op_{ui} \rightarrow \min, |u| = 2^{l-g}, |u| \leq K * Act_g, u_i \notin G \right\}. \quad (15)$$

В порівнянні з (14) змінено лише критерій вибору вузла – обираються вузли з мінімальним рівнем спротиву.

Багатокритеріальні поведінкові стратегії природно повинні мати вищу ефективність, але виникає питання про баланс затраченого часу на аналіз критеріїв і приріст ефективності інформаційного впливу.

Висновки. Запропонована математична модель може використовуватись як базис для створення програмної моделі для проведення експериментів та отримання різного роду статистик. Основною перевагою запропонованої моделі є можливість дослідження впливу на розповсюдження інформації поведінки окремого вузла, чого не передбачають інші досліджені моделі. Окрім безпосередньо поведінкової стратегії активного вузла модель дозволяє проводити дослідження залежності розповсюдження інформації від початкового положення вузла та структури найближчого околу активного вузла-генератора.

Модель передбачає варіанти мережі з пасивним інформаційним спротивом, тобто коли в мережі відсутні генератори контр ідеї і мережі з активним інформаційним спротивом – в мережі наявні генератори протилежної за змістом ідеї (контрідія).

Цікаві результати можуть давати експерименти з дослідження протистояння генераторів ідеї та контрідії, що діють відповідно до різних поведінкових стратегій.

Список літератури

- 1 Kermack, W.O., McKendrick, A.G. A Contribution to the Mathematical Theory of Epidemics // Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. 115 (772): 700, 1927.
- 2 Daley D.J., Kendall D.G. Stochastic rumors // J. Inst. ath. Appl, 1965, Vol. 142, pp.42-55.
- 3 John Von Neumann J., Burks A.W. Theory of Self-Reproducing Automata; University of Illinois, Urbana and London, 1966, pp. 297-302.
- 4 Горковенко Д.К. Сравнительный анализ моделей эпидемии и клеточного автомата при моделировании распространения информации в социальных сетях / Д.К. Горковенко // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2017. – Т. 10, № 3. – С.103-113. doi: 10.18721/jcscs.10309
- 5 Губанов Д.А. Обзор онлайн-систем репутации/доверия [Текст] / Д.А. Губанов // Интернет-конференция по проблемам управления. – М.: ИПУ РАН, 2009. – 25 с.
- 6 Суслова В.А. Методы моделирования социальных сетей [Электронный ресурс] / В.А. Суслова, А.А. Городов // Решетневские чтения. – 2015. – №19. – С. 133-134. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/metody-modelirovaniya-sotsialnyh-setey>.

- 7 Губанов Д.А. Модели влияния в социальных сетях [Электронный ресурс] / Д.А. Губанов, Д.А. Новиков, А.Г. Чхартишвили // УБС. – 2009. – №27. 205-281– Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/modeli-vlianiya-v-sotsialnyh-setyah>
- 8 Грайворонська А.М., Ланде Д.В. Дослідження інформаційних потоків як динамічних мультиагентних систем // Системний аналіз та інформаційні технології: матеріали міжнародної науково-технічної конференції SAIT 2015, Київ – К.: УНК «ИПСА» НТУУ «КПІ», 2015. – С. 62-63.
- 9 Ланде Д.В. Мультиагентна модель розповсюдження інформації в соціальній мережі [Текст] / Д.В. Ланде, А.М. Грайворонська, Б.А. Березін // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2016. – Т.18, №1. – С. 70-77.

References

1. Kermack, W.O. & McKendrick, A.G. (1927). A Contribution to the Mathematical Theory of Epidemics . Proceed- ings of the Royal Society A: *Mathematical, Physical and Engineering Sciences* (115 (772): 700)
2. Daley, D.J. & Kendall, D.G. (1965). Stochastic rumors. *J. Inst. ath. Appl*, Vol. 142, 42-55 .
3. John Von Neumann J., Burks A.W. (1966). *Theory of Self-Reproducing Automata*. University of Illinois, Urbana and London.
4. Gorkovenko, D.K. (2017). Sravnitel'nyj analiz modelej jepidemii i kletochnogo avtomata pri modelirovanii rasprostraneniya informacii v social'nyh setjah [Comparison of epidemic models and cellular automata in modeling of diffusion of information in social]. *Nauchno-tehnicheskie vedomosti SPbGPU – Scientific and technical statements SPbGPU*, Vol.10, 3, 103-113. doi: 10.18721/jstcs.10309
5. Gubanov, D.A. (2009). Obzor onlajnovykh sistem reputacii/doverija [Review of online reputation / trust systems]. Management problems: *Internet-konferencija – Internat Conference* (25 p.). Moscow: IPU RAN.
6. Suslova, V.A. & Gorodov, A.A. (2015). Metody modelirovaniya social'nyh setej [Methods of modeling social networks]. *Reshetnevskie chtenija – Reshetnev readings*, 19. 133-134. Retrieved from <http://cyberleninka.ru/article/n/metody-modelirovaniya-sotsialnyh-setej>.
7. Gubanov, D.A., Novikov, D.A. & Chhartishvili, A.G. (2009). Modeli vlijaniya v social'nyh setjah [Models of influence in social networks]. *UBS – UBS*, 27. 205-281. Retrieved from <http://cyberleninka.ru/article/n/modeli-vlianiya-v-sotsialnyh-setyah>
8. Hrajvorons'ka, A.M. & Lande, D.V. (2015). Doslidzhennia informatsijnykh potokiv iak dynamichnykh mul'tyahentnykh system [Investigation of information flows as dynamic multi-agent systems]. System analysis and information technology '15. *Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsia – International Scientific and Technical Conference* (pp.62-63). Kyiv: UNK «YPSA» NTUU «KPI».
9. Lande, D.V., Hrajvorons'ka, A.M. & Berezin, B.A. (2016). Mul'tyahentna model' rozpovsiudzhennia informatsii v sotsial'nij merezhi [A multi-agent model of information dissemination in social networks]. *Reiestratsiia, zberihannia i obrobka danykh – Registration, storage and processing of data*, Vol.18, 1, 70-77 .

Ulichev Oleksandr, postgraduate

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Mathematical Model of Dissemination of Informational and Psychological Influences in the Social Network Segment

The purpose of the article is to describe the results of research in the direction of modeling the processes of disseminating information influences in the social network segment. The basis of the research is the proposed mathematical model and approaches to the implementation of individual stages of simulation on the basis of the proposed MM in the programmatic form. In particular, there are 3 main stages: modeling the structure of the network, formal description of the network node, implementation of the process of disseminating information.

The method for generating a network structure is based on the use of parametric clusters of three types: a click, a group, a leader group. This approach allows you to model a wide range of network segments that are diverse in topology. The network node that simulates the state of the subject in the network is proposed to represent as a class with a fixed set of fields, types of fields and their purpose is justified in the text of the article. The process of dissemination of information is proposed to represent an iterative process in which nodes carry out information impacts on other nodes through the dissemination of information messages. The article proposes the concept of behavioral strategies that determine the criteria for selecting a node for an attack. But there are a few examples of possible behavioral strategies. In the text of the article the key points of the program implementation are described, a diagram of the main classes of the program is presented. The series of

experiments were conducted on the program model, the results of which show the adequacy of the model's response to changes in the parameters of individual nodes and network structure.

The article presents the results of experiments: the dependence of the rate of propagation on the density of links, the comparison of selected behavioral strategies, the evaluation of the effectiveness of strategies, depending on the number of nodes-generator links.

software model, information influence, methods of network generation, models of distribution of information in the network, behavioral strategies

Одержано (Received) 07.06.2016

УДК 004.056.5

В.Д. Хох, асп.

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна, E-mail: vd.khokh@gmail.com

Автоматизована система проведення аудиту інформаційної безпеки комп'ютерних систем та мереж

У статті розглядається розроблювана в рамках дисертаційного дослідження система для проведення аудиту інформаційної безпеки комп'ютерних систем та мереж. Пропонується вирішення проблем, що виникли під час розробки системи та розглянуто механізми, що було розроблено та інтегровано у розроблювану систему.

інформаційна безпека, аудит, нечітка логіка, експертні системи, автоматизація

В.Д. Хох, асп.

Центральноукраїнський національний технічний університет, г. Кропивницький, Украина

Автоматизированная система проведения аудита информационной безопасности компьютерных систем и сетей

В статье рассматривается разрабатываемая в рамках диссертационного исследования система для проведения аудита информационной безопасности компьютерных систем и сетей. Предлагается решение проблем, возникших при разработке системы и рассмотрены механизмы, которые были разработаны и интегрированы в разрабатываемую систему.

информационная безопасность, аудит, нечеткая логика, экспертные системы, автоматизация

Постановка проблеми. Ситуація, що склалася в нашій країні з початком агресії Російської Федерації, загострює проблему захисту інформаційних систем, оскільки у РФ є великий досвід у проведенні різноманітних операцій із залученням спеціалістів з комп'ютерної та інформаційної безпеки. Наприклад, під час загострення відносин Естонії та РФ у 2007 році на фоні конфлікту, спричиненого переносом пам'ятника «Бронзовий Солдат», було виведено з ладу багато урядових сайтів Естонії, а також деяких банківських установ. Експерти, у тому числі і з ООН відмітили, що це була найбільш організована та добре спланована кібератака [1]. І хоча доказів того, що атака була організована саме РФ, Естонія не змогла надати, згодом, того ж року депутат Державної думи Росії Сергій Марков визнав на прес-конференції, що один з його помічників є організатором цієї атаки [1]. Вже через рік РФ продемонструвала

ефективність координованих кібератак під час військового конфлікту з Грузією 1 серпня 2008 року. Під час цього конфлікту урядові сайти, і не лише, були не тільки виведені з ладу, а й за допомогою них поширювалася спотворена, небезпечна інформація, метою якої була з однієї сторони деморалізація населення, з іншої – консолідація сепаратистів. Воєнні дії, що мали місце під час Російсько-Грузинської війни у кіберпросторі, було названо початком так званої «iWar» [2]. Під час анексії Криму Росією, інформаційна війна також мала своє продовження. Вразливістю, що була використана РФ, є історичні або інші умови, що спричинили глибоке проникнення інформаційного поля однієї країни до іншої. Завдяки цьому у РФ було підконтрольне інформаційне поле, яке було використано. І завдяки дезінформації та пропаганді, було досягнуто збудження сепаратистських настроїв, що дало змогу ввести війська та анексувати півострів. На сході нашої країни проникнення інформаційного простору РФ було не таким сильним, а регіони були не так сильно ізольовані від всієї країни, тому сепаратистські настрої збудити вдалося, але не так ефективно, як на півострові Крим. Але РФ знає та розуміє ефективність та важливість проведення подальшої інформаційної війни проти України, тому поглиблює свій інформаційний вплив на тимчасово окупованих територіях, а також продовжує проводити операції по викраденню особистої інформації деяких громадян України. Прикладом поглиблення контролю за особистою інформацією людей, у тому числі і іноземних громадян, інформаційне поле країн, яких історично перетинається з інформаційним полем РФ, є постанова уряду РФ від 8 квітня 2015 року №327 «Про затвердження правил контролю за діяльністю організаторів розповсюдження інформації в Інтернеті». Ця постанова надає «Роскомнадзору» право доступу до особистої переписки та особистих даних користувача, що є в розпорядженні соціальної мережі або будь-якого дата-центру, що працює на території РФ та за законами РФ. На сьогоднішній день агресія продовжується і основ для того щоб можливо було казати про її завершення – немає. Тому важливо щоб системи управління інформаційною безпекою (СУІБ) були готові адекватно реагувати на можливі атаки з боку агресора. Підтримання актуального стану СУІБ можливо у разі регулярного або поточного аудитування її систем.

Виходячи з вище сказаного, виникає необхідність у розробці систем, що могли б надавати інформацію про поточний стан захищеності системи та надавали рекомендації щодо усунення тих чи інших вразливостей, знайдених у досліджуваній системі або мережі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Було розглянуто існуючі на сьогоднішній день системи для проведення аудиту інформаційної безпеки, з яких, слід виділити систему SaaS [3]. Ідея системи SaaS полягає у наданні аудиту інформаційної безпеки як сервісу, основна відмінність від розроблюваної системи є необхідність встановлення додаткового агента на стороні системи що підлягає аудиту. Також до увагу було взято систему що описано у роботі [4], дана система також використовує нечітку логіку для вирішення поставлених задач у галузі інформаційної безпеки, але використовує обмежений логічний апарат на відміну від розроблюваної системи.

Розроблювана система використовує парадигму безперервного аудиту, що описано у роботі [5]. Перед тим як використовувати дану парадигму аудиту як, основу для системи було проведено аналіз та порівняння у статті [6].

Процес аудиту СУІБ згідно керівництва по тестуванню та оцінці інформаційної безпеки [7] передбачає проведення ряду заходів по тестуванню, експертизі та інтерв'юванню. Ці методи націлені на збір так званих свідощів аудиту – термін, що використовується у міжнародному стандарті ISO 19011:2011 і визначається як

протоколи, факти або інша інформація, що стосується критеріїв аудиту, і найголовніше – може бути перевірена [7].

Постановка завдання. Метою даної роботи є розробка програмної системи тестування СУБ на основі експертної системи з використанням продукційного представлення знань та методів нечіткої логіки.

Виклад основного матеріалу. Архітектурно система розділяється на три частини. Перша частина – це контрольний центр системи, з яким безпосередньо працює оператор, аудитор. Друга частина – це база знань, яка представлена у системі як SQL-сервер. Третя частина – це пристрій або вузол – провайдер інструментів аудиту, або атакуючий модуль. Розглянемо частини системи окремо.

Контрольний центр є основним і контролює всі інші вузли, з ним безпосередньо працює персонал. Контрольний центр повинен бути з'єднаний з сервером баз даних, на якому знаходиться база знань, а також повинно бути надане з'єднання з модулем – провайдером інструментів. Для з'єднання з SQL-сервером використовується MDAC (Microsoft Data Access Components) компоненти, вони дозволяють отримати уніфіковані засоби доступу до різноманітних реляційних та не реляційних джерел даних, термін MDAC є загальним для усіх розроблених компанією Microsoft технологій пов'язаних з базами даних. З'єднання з модулем – провайдером інструментів відбувається за протоколом SSH. SSH – це мереживий протокол рівня застосунків, що дозволяє проводити віддалене управління комп'ютером і тунелювання TCP-з'єднань, наприклад, для передачі файлів. На відміну від схожих по функціоналу протоколів – Telnet та rlogin, SSH шифрує весь трафік, а відтак і паролі передані за його допомогою, до того ж протокол є алгоритмoneзалежним, що дозволяє погодити його використання з політикою безпеки організації або законодавчими нормами в рамках яких функціонує організація.

База знань у системі представлена реляційною базою даних SQL, яка знаходиться на сервері Microsoft SQL server 2014. Цей тип бази даних було обрано через поширеність, легкість у використанні, доступність зручних інструментів для використання. Сервер, на якому було розгорнуто базу знань, було обрано через відносні захищеність та стабільність роботи. Сервер підтримує можливість шифрування трафіка за допомогою SSL і підтримує автентифікацію за допомогою протоколу Kerberos.

База знань (база даних) має одну таблицю з шістьма стовпчиками:

- id – унікальний ідентифікатор для кожної продукції, обчислювальний ключовий стовпчик, що забезпечує зручність навігації;
- nameSpace – стовпчик, що визначає область застосування продукції, на кшталт простору імен у Cі-подібних мовах програмування;
- useRule – правило застосування ядра продукції, визначає контекст використання продукції, тобто ті факти, які важливі при використанні продукції, а також дозволяє розрахувати релевантність продукції у поточному стані фактологічної бази;
- logicBlock – логічний блок продукції або її ядро. Являє собою логічний вираз над фактами, які можуть бути включені в фактологічну базу і можуть бути визначені в ній, якщо їх немає в фактологічній базі, або вони не визначені – такий факт приймає значення false з вагою «1» – максимальна вага;
- prodData – дані пов'язані з продукцією. Це дані, які будуть використанні у разі, якщо ядро продукції задовольнить умови експертної системи. У типовому вигляді дані у стовпчику prodData зберігаються команди терміналу, які будуть надіслані SSH серверу для подальшого виконання на провайдері інструментів аудиту;

– metaData – стовпчик, що не використовується самою експертною системою, але слугує для додавання коментарів від експерта, що працює з базою знань.

Першочергова задача провайдеру інструментів аудиту – прийняти інструкції від контрольного центру, і оскільки, контрольний центр буде намагатися зв'язатися з ним за допомогою SSH-протоколу – провайдер повинен бути здатним розгорнути SSH сервер та прийняти з'єднання. Другою задачею провайдера – є здатність виконати ті інструкції, що були згенеровані та надіслані йому експертною системою, тому наступною вимогою до провайдера є можливість запуску на ньому того програмного забезпечення, з яким готова працювати база знань, а відтак, і експертна система в цілому. Додаткові вимоги до провайдера можуть висувати аудитори, оскільки у контрольному центрі є можливість відкрити термінал і працювати з провайдером напряду, наприклад, для збору додаткових відомостей про ціль аудиту, аудитори можуть висунути свої вимоги до програмного забезпечення встановленого на провайдері.

Вся робота системи поділяється на два великі розділи:

- збір інформації: визначення області інтересів, побудова певного стану фактологічної бази;
- розробка рішення експертною системою: виконання рішення експертної системи.

На першому етапі користувач-аудитор щільно співпрацює з системою, намагаючись якомога чіткіше визначити область своїх інтересів та надати якомога точнішу і найважливішу інформацію для експертної системи.

Другий етап – це розробка рішення експертною системою. Результатом цього етапу роботи є набір інструкцій, які будуть надіслані провайдеру інструментів за допомогою SSH-протоколу. Вхідними даними на цьому етапі є фактологічна база з визначеними фактами.

Загальну функціональну схему системи яка працює з провайдером інструментів на якому для збору інформації використовуються засоби nmap та Metasploit framework, також Metasploit framework використовується для реалізації атак, зображено на рис.1.

Система розробляється таким чином, щоб виробляти рішення, щільно співпрацюючи з користувачем. Система дозволяє охопити кількість фактів, яку або не може охопити людина, або це стає незручно. Система ж не забороняє включати у розрахунок факти, які цікавлять користувача – навпаки, вона їх доповнює, у тому разі, коли включення одного користувацького факту не вплине на роботу системи, оскільки пов'язані з ним дані знаходяться поза межами поточного стану фактологічної бази, або продукції, які активно використовують цей факт, знаходяться за межами «інтересів» експертної системи при тих даних, які в неї зараз є. Ця можливість реалізована за допомогою механізму просторів імен.

Простір імен. Механізм простору імен, розроблюваної системи покликаний з одного боку – надати більше простору для творчого пошуку вирішення проблем користувачем, з іншого – збалансувати кількість продукцій, що використовуються у процесі прийняття рішення. Схему роботи механізму простору імен наведено у рис. 2. Як видно зі схеми, у тому разі, якщо продукцією буде задіяно факт, що належить до іншого простору імен, то система це визначить, віднайде факт і включить простір імен до розрахунків. Наприклад, «Продукція 1» на рисунку використовує факти, що належать до різних просторів імен, або «Продукція 3» використовує факти з усіх просторів імен, хоча сама належить до «Простору імен 2». Якщо в фактологічну базу буде додано факт, який належить до ще не включеного простору імен, його буде включено, або якщо продукція буде використовувати факти, що не належать до

включених просторів імен фактологічної бази – його буде включено. Простір імен в системі дозволяє значно зменшити кількість проходжень по базі знань, оскільки факти та продукції у просторі імен семантично з'єднані, наприклад, простір імен для певної операційної системи. Підключивши простір імен існує велика ймовірність того, що перший факт або продукція, яка слугувала приводом підключення – буде не остання.

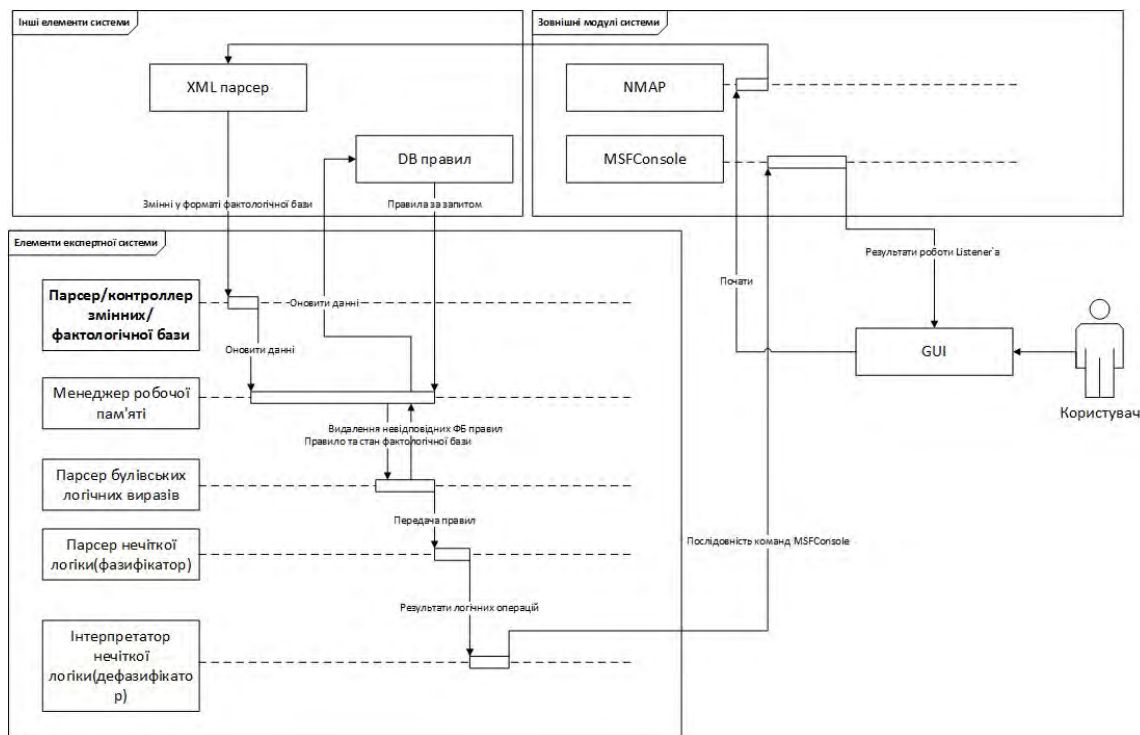


Рисунок 1 – Загальна функціональна схема системи

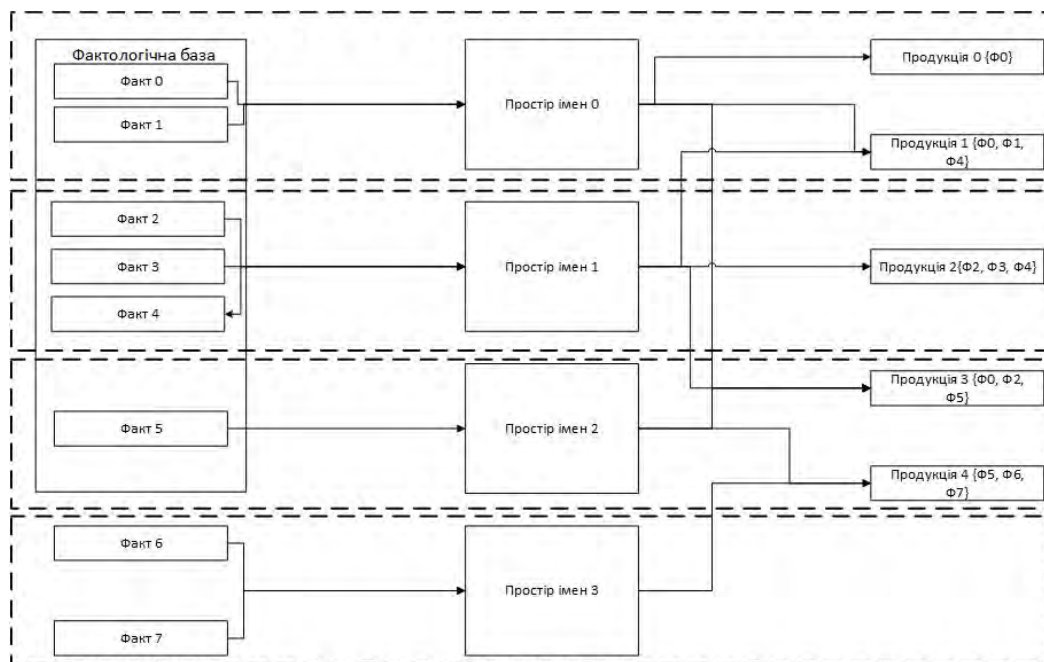


Рисунок 2 – Схема роботи механізму простору імен у системі

Один з механізмів, який дає змогу автоматизувати процес керування простором імен і зробити його більш точнішим – це механізм фактів «тригерів». Факт-тригер – це такий факт, значення якого явно вказує на певний простір імен, наприклад, якщо системі доведеться проводити аудит мережі, в якій усі пристрої використовують одну й ту ж саму операційну систему і її версію. Такий механізм значно зменшить кількість проходів по базі знань. До того ж, якщо у поточній версії фактологічної бази немає фактів з певного простору імен, а відтак усі продукції з такого простору імен будуть виключені, все ж їх варто розглянути – користувач може додати такий факт і визначити його значення як назву простору імен, яке його цікавить.

Структура продукції в рамках даної системи відповідає структурі рядку бази знань, яка згадувалась вище, у цій статті. Структурою продукції передбачені два поля з правилом – використання продукції та безпосередньо ядром продукції. Данні у цих двох блоках представляються у вигляді змінних. В рамках системи визначено три типи даних: діапазон цілих чисел, діапазон з плаваючою точкою та строкові множини. Варто зауважити, що, хоча у системі типи даних визначено по різному – для фактологічної бази та для тих, що використовуються у тілі продукції, це необхідно для внутрішніх потреб системи. Розглянемо спільні параметри для типів даних у фактологічній базі та типів даних у тілі продукції:

- NameSpace – параметр вказує на простір імен, якому належить факт;
- Name – ім'я факту у фактологічній базі;
- CurrentValue – поточне значення факту у фактологічній базі;
- Weight – визначає поточну «вагу» змінної. Використовується для зберігання ваги у фактологічній базі, а у тілі продукції використовується для тимчасового зберігання ваги під час обробки даних. Цей параметр буде використано для процесів фазифікації та дефазифікації даних.

Для типів даних, які зберігаються у фактологічній базі характерними є параметри:

- CurrentValue – зберігає поточне значення змінної у фактологічній базі, в процесі роботи з системою може бути змінено як системою так і користувачем-аудитором;
- UseAsTrigger – параметр приймає значення true або false. Приймає значення істини у тому разі, якщо значення змінної визначає ім'я простору імен, яке треба додати до фактологічної бази;
- isInLim – параметр приймає значення true або false. Приймає значення істини. Якщо значення факту знаходиться в діапазоні змінної, яка визначена серед продукцій, які відібрано для можливого застосування.

Характерними параметрами для типів даних, що визначаються у тілі продукції є:

Для чисел цілих та з плаваючою точкою:

- Min – визначає мінімальне значення діапазону;
- Max – визначає максимальне значення діапазону.

Для рядкових даних – строкових множин:

- StringSet – масив рядків, що вказують на певне значення факту;
- UseSepWeight – параметр приймає значення true або false. Приймає значення true у разі, якщо користувач-експерт хоче самостійно визначити вагу кожного рядка у множині рядків і відповідно – вказати символ, яким буде розділяти значення ваги та рядок, яка вказує на значення факту;
- SepWeightChar – символ, що буде використано для розділення значення ваги та рядка, який вказує на значення факту.

Висновки. На даний момент були розроблені дві версії системи, обидві можна вважати ранніми альфа-версіями. В першій версії була зосереджена увага на взаємодії вузлів системи та основних механізмах експертної системи. Перша версія системи була ескізним проектом, в якому була зосереджена увага на визначенні способів та алгоритмів взаємозв'язку всіх модулів та механізмів. Ця версія була необхідна для того, щоб можливо було зрозуміти, взагалі можливість функціонування системи у такому форматі. У другій версії структура системи була перероблена таким чином, щоб система стала більш гнучкою до масштабування.

Поточні версії програми демонструють адекватну відповідь на тестові дані. Однак, стала очевидною проблема надмірної гнучкості експертної системи, що робить дуже складним процес заповнення та редагування бази знань.

Список літератури

1. 2007 cyberattacks on Estonia [Електронний ресурс] // en.wikipedia.org. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: https://en.wikipedia.org/wiki/2007_cyberattacks_on_Estonia..
2. Райан Д. iWar: A new threat, its convenience and our increasing vulnerability [Електронний ресурс] // North atlantic treaty organization : сайт. – Режим доступу: <http://www.nato.int/docu/review/2007/issue4/english/analysis2.html>.
3. Frank D. Sun Behind Clouds - On Automatic Cloud Security Audits and a Cloud Audit Policy Language / D. Frank, R. Thomas. // International Journal on Advances in Networks and Services. – 2013. – №6. – С. 1–16.
4. K. Kozhakhmet. Expert System for Security Audit Using Fuzzy Logic [Text] / K. Kozhakhmet, G. Bortsova. // Kazakh-British Technical University, 2012, pp. 146-151.
5. Miklos A. Vasarhelyi. THE CONTINUOUS AUDIT OF ONLINE SYSTEMS / Miklos A. Vasarhelyi, Fern B. Halper. // Submitted to Auditing: A Journal of Practice and Theory. – 1991, 10(1)
6. Хох В. Д. Дослідження методів аудиту систем управління інформаційною безпекою [Текст] / В. Д. Хох, Є. В. Мелешко, О. А. Смірнов. // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2017. – №1. – С. 38–42.
7. Technical Guide to Information Security Testing and Assessment [Електронний ресурс] / K. Scarfone, M. Souppaya, A. Cody, A. Orebaugh. // Computer Security Division Information Technology Laboratory National Institute of Standards and Technology. – 2008. – Режим доступу: <https://doc.uments.com/h-technical-guide-to-information-security-testing-and-assessment.pdf>
8. Information technology — Security techniques — Information security management systems — Requirements (ISO/IEC 27001:2005) (Міжнародний стандарт)

Список літератури

1. 2007 cyberattacks on Estonia. en.wikipedia.org. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/2007_cyberattacks_on_Estonia..
2. Rajan, D. (2007). iWar: A new threat, its convenience and our increasing vulnerability . North atlantic treaty organization. nato.int. Retrieved from <http://www.nato.int/docu/review/2007/issue4/english/analysis2.html>.
3. Frank, D. & Thomas, R. (2013). Sun Behind Clouds - On Automatic Cloud Security Audits and a Cloud Audit Policy Language. *International Journal on Advances in Networks and Services*, 6, 1–16.
4. Kozhakhmet, K. & Bortsova, G. (2012). *Expert System for Security Audit Using Fuzzy Logic*. Kazakh-British Technical University.
5. Miklos A. Vasarhelyi & Fern B. Halper. (1991). THE CONTINUOUS AUDIT OF ONLINE SYSTEMS. *Submitted to Auditing: A Journal of Practice & Theory*, 10(1), 110-125.
6. Khokh, V.D., Meleshko, Ye.V. & Smirnov, O.A. (2017). Doslidzhennia metodiv audytu system upravlinnia informatsijnoiu bezpekoiu. *Sistemy upravlinnia, navihatsii ta zv'iazku*, 1, 38–42.
7. Scarfone, K., Souppaya, M., Cody, A. & Orebaugh, A. (2008). Technical Guide to Information Security Testing and Assessment. *Computer Security Division Information Technology Laboratory National Institute of Standards and Technology*. Retrieved from <https://doc.uments.com/h-technical-guide-to-information-security-testing-and-assessment.pdf>
8. Information technology — Security techniques — Information security management systems — Requirements . (2005). *ISO/IEC 27001:2005*. International Standard)

Vitaliy Khokh, postgraduate

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Methods of Automated Sentiment Analysis on Social Networks Automated System for Auditing Information Security of Computer Systems and Networks

The article deals with the system for the audit of information security of computer systems and networks developed within the framework of the dissertation research.

The first part of the system is the control center of the system, with which the operator, the auditor works directly. The second part is a knowledge base that is presented as a SQL server in the system. The third part is a device or node, an audit tool provider, or an attack module. The control center is the main and controls all other nodes, with it directly staff. The control center of the system must be connected to the database server, which has a knowledge base, and a connection to the module of the tools provider must be provided. The knowledge base in the system is represented by a relational database of SQL. The primary tasks of the audit tool provider are to accept and execute instructions from the control center, and since the control center will attempt to contact it using the SSH protocol, the provider must be able to deploy the SSH server and accept the connection.

The system is developed in such a way as to make decisions by working closely with the user. The system allows you to capture the number of facts that people may not reach, or it becomes inconvenient. The system does not forbid inclusion in the calculation of facts that interest the user - on the contrary, it complements them, in the event that the inclusion of one custom fact will not affect the operation of the system, because the data associated with it are outside the current state of the factual database, or Products that actively use this fact are beyond the "interests" of the expert system, with the data that it currently has.

At the moment two versions of the system have been developed, both of them can be considered as early alpha versions. In the first version, attention was focused on the interaction of nodes of the system and the main mechanisms of the expert system. In the second version, the structure of the system has been redesigned so that the system becomes more flexible to scaling.

information security, audit, fuzzy logic, expert systems, automation

Одержано (Received) 18.05.2018

УДК 004.9

Д.В. Шингалов, асп., Є.В. Мелешко, доц., канд. техн. наук, Р.М. Минайленко, доц., канд. техн. наук, В.А. Резніченко, викл.

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна, E-mail: elismeleshko@gmail.com, E-mail: dimashingalov@gmail.com

Математична модель рекомендаційної системи з врахуванням емоційного забарвлення коментарів у якості контексту

У статті пропонується математична модель рекомендаційної системи, у якій у якості контексту використовується аналіз емоційного забарвлення коментарів стосовно об'єктів рекомендацій. При відсутності явного зворотного зв'язку аналіз контексту значно підвищує точність рекомендацій та якість прогнозування вподобань користувачів.

рекомендаційні системи, сентимент-аналіз, колаборативна фільтрація, машинне навчання, інтелектуальні системи

Д.В. Шингалов, асп., Є.В. Мелешко, доц., канд. техн. наук, Р.М. Минайленко, доц., канд. техн. наук, В.А. Резніченко, преп.

Центральноукраїнський національний технічний університет, г. Кропивницький, Україна

© Д.В. Шингалов, Є.В. Мелешко, Р.М. Минайленко, В.А. Резніченко, 2018

Математическая модель рекомендационной системы с учетом эмоциональной окраски комментариев в качестве контекста

В статье предлагается математическая модель рекомендательной системы, в которой в качестве контекста используется анализ эмоциональной окраски комментариев относительно объектов рекомендаций. При отсутствии явной обратной связи анализ контекста значительно повышает точность рекомендаций и качество прогнозирования предпочтений пользователей.

рекомендационные системы, сентимент-анализ, коллаборативная фильтрация, машинное обучение, интеллектуальные системы

Постановка проблеми. Рекомендаційна система, загалом, може бути визначена як програмний засіб, який надає корисні поради користувачам для того, щоб допомогти їм прийняти рішення щодо певного товару. Рекомендаційні системи були вперше впроваджені на сайтах електронної торгівлі. При застосуванні будь-якої рекомендаційної системи важлива наявність зворотного зв'язку (подія, за якою можна напряму судити про реакцію користувача на об'єкт).

Так, наприклад, рекомендації за оцінками за п'ятибальною шкалою – приклад задачі з явним зворотним зв'язком. Рекомендаційні системи, що керуються актами покупок, відвідуванням сторінок – приклади задач з неявним зворотним зв'язком. У разі неявного зворотного зв'язку є невизначеність в тому, позитивно чи негативно користувач оцінив об'єкт, який придбав чи переглянув. Купівля товару в Інтернет-магазині може означати досягнення користувачем своєї споживчої мети (і його реакція на товар позитивна), але в той же час покупець міг після отримання товару в ньому розчаруватися і правильно було б зарахувати негативну реакцію. Очевидно, що відвідування сторінок веб-сервісу користувачами може відбуватися при абсолютно різному ступені зацікавленості користувача в контенті.

Варто відзначити досить типову ситуацію, коли рекомендаційній системі подаються на вхід виключно позитивні приклади взаємодії користувачів і об'єктів. Наприклад, веб-сервіс Twitter не має функціональності, що дозволяє користувачеві виставити негативну оцінку контенту, а присутній тільки лише спосіб «заохотити» той чи інший контент, поширивши його своїм підписникам за допомогою функції «репост». Подібний зворотний зв'язок користувача дуже надійно (у порівнянні з іншими) вказує на позитивну реакцію. Надійність «репостів» у сервісі Twitter підкріплено відповідальністю користувачів перед своїми підписниками.

Але, при дослідженні реакцій користувачів на тих чи інших сервісах, де є тільки позитивні відгуки, велика кількість користувачів є не охопленою дослідженням, тому можна вважати прогнозування рекомендацій не дуже ефективним. До того ж, не можна з упевненістю говорити про ступінь прихильності користувачів до того чи іншого об'єкту рекомендацій, тому що, по-перше відсутній альтернативний спосіб висловлення прихильності, а по-друге немає впевненості у тому, що прихильність не була обрана випадково. Для більш гнучкого аналізу прихильності та подальшого прогнозування рекомендацій доцільно застосувати аналіз емоційного забарвлення тексту коментарів, для уточнення або одержання даних про оцінки контенту (у випадку їх явної відсутності).

Вирішення проблеми якісного прогнозування вподобань, при відсутності широкого спектру інструментів для явного виявлення вподобань щодо об'єктів рекомендацій є важливою задачею при створенні ефективної, гнучкої та універсальної рекомендаційної системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботах [1, 3] систематизовано методологію отримання даних при відсутності явного виявлення вподобань користувачами соціальних мереж (оцінки, лайки, дизлайки, переходи за посиланнями)

та застосовано аналіз контекстної інформації (місце, час, вік). У [2, 4] запропоновано застосування методу пониження рангу матриці оцінок та застосування факторизації до додаткових векторів ознак, з метою прогнозування вподобань. Також у роботі [5] розглянуто аналіз хештегів для розширення аудиторії застосування рекомендаційних систем. Для аналізу емоційного забарвлення тексту коментарів найчастіше застосовуються комбіновані методи, що базуються як на спеціалізованих словниках, так і на підходах машинного навчання, як видно з джерел [6, 7, 8, 9]. Для зниження складності та пришвидшення математичних обчислень застосовується перехід до афінних перетворень [10], де навчання рекомендаційної системи можна звести до канонічної покоординатної оптимізації.

Постановка завдання. Метою даної роботи є створення математичної моделі рекомендаційної системи на основі колаборативної фільтрації з використанням аналізу емоційного забарвлення тексту коментарів для одержання уточнюючого контексту.

Для підвищення точності виявлення вподобань користувача в системах, де не передбачено негативних оцінок контенту, або для уточнення ступеню позитивної оцінки об'єкту, доцільно застосувати оцінку емоційного забарвлення текстів коментарів користувачів, як приклад врахування контексту. Також емоційне забарвлення коментарів можна використовувати замість оцінок, у випадках, коли користувач не поставив оцінку, але залишив коментар. Задачею даного дослідження є спроба на основі матричних обчислень вивести математичну модель для подальшого створення контекстно-орієнтованої рекомендаційної системи.

Виклад основного матеріалу. Одним з основних підходів до моделювання рекомендацій з врахуванням контекстної інформації є факторизаційні моделі [1]. Пропонується використовувати факторизаційні машини, після аналізу тексту коментарів, контекстну інформацію про емоційне забарвлення тексту представляти у вигляді додаткових ознак для факторизаційної машини. Пропонується кодувати контекст в додаткові координати афінора [10] оцінок, здійснювати пониження рангу афінора оцінок, також можна застосовувати попарні афінні перетворення.

Розглянемо задачу колаборативної фільтрації [2], нехай U є кінцева множина користувачів і кінцева множина об'єктів I . Нехай також є набір пар $R = \{(u, i)\} \subset U \times I$, для яких відома реакція користувача r_{ui} . Потрібно за навчальним набором $(R, \{r_{ui}, (u, i) \in R\})$ побудувати регресор $\hat{r}(u, i)$, що передбачає реакцію користувача для довільної пари $(u, i) \in U \times I$.

У разі, якщо кожен користувач $u \in U$ та кожен об'єкт $i \in I$ піддаються змістовному опису ознаковими векторами: $x(u): U \rightarrow \mathbb{R}^d$, $x(i): I \rightarrow \mathbb{R}^d$, то задачу колаборативної фільтрації можна звести до стандартної задачі навчання на прецедентах: потрібно навчити модель, яка по вектору ознак $x(u, i) = [x(u); x(i)]$ передбачає значення регресійної змінної r_{ui} . Такий підхід в рекомендаційних системах називається заснованим на описах (content-based) [5].

Для вирішення задачі колаборативної фільтрації: реакції (оцінки) користувача [3] можна записати у вигляді матриці $R \in \mathbb{R}^{|U| \times |I|}$, в якій рядки відповідають користувачам, а стовпці – об'єктам. У матриці R відомі деякі елементи, інші – пропущені. Треба побудувати правило $\hat{r}(u, i)$, навчитися відновлювати пропущені значення матриці R . Для заповнення пропусків в матриці R використовують припущення про її низький ранг та будують наближення $R \approx XY^T$, де $X \in \mathbb{R}^{|U| \times K}$, $Y \in \mathbb{R}^{|I| \times K}$, K – передбачуваний ранг матриці R . Обмеження рангу в деякому сенсі є регуляризацією, що надає пониженню рангу узагальнюючу здатність. У такому підході передбачена реакція користувача є скалярним добутком відповідних рядків матриць X та Y :

$$\hat{r}(u, i) = x_u^T y_i, x_u \in \mathbb{R}^K, y_i \in \mathbb{R}^K, \quad (1)$$

Підхід з пониженням рангу використовує виключно інформацію про пари (u, i) та відповідні до них значення реакцій. Відомо, що в рекомендаційних системах велика частина інформації міститься саме в знеособлених трійках $\{(r_{ui}, u, i)\}$ [2, 3]. Методи пониження рангу дають значно кращу точність передбачення $\hat{r}(u, i)$ у порівнянні з content-based методами. Проте, облік відомої інформації про користувача та об'єкти, доповнений пониженням рангу, дає кращу точність і дозволяє впоратися з деякими проблемами рекомендаційних систем (такими, як холодний старт). Існує велика кількість моделей для колаборативної фільтрації, заснованих на базовій ідеї пониження рангу (1), але з модифікаціями для обліку зовнішньої інформації.

Модель факторизаційних машин [2, 3] покликана узагальнити різні модифікації моделі (1). Шляхом задання відповідного вектора ознак $x(u, i) \in \mathbb{R}_u^d$ для пари користувач-об'єкт можна наводити передбачувальну модель $\hat{y}(x)$ до різних факторизаційних моделей. Відмінність факторизаційної машини від класичних алгоритмів навчання по прецедентах – моделювання взаємодій між компонентами вектора ознак, що призводить до того, що індикаторні ознаки у вхідному векторі моделі x обробляються як в моделі пониження рангу (1).

У рекомендаційних системах найчастіше має місце проблема відсутності фіксації негативних реакцій [4, 5, 6]. Це обумовлено тим, що веб-сервісам набагато простіше і надійніше накопичувати акти про позитивні реакції користувача (наприклад, «репости» в Twitter), ніж дізнаватися у користувачів про їх негативні реакції за будь-якою шкалою (наприклад, «число зірок» в Netflix). Такі дані прийнято називати даними без явного відгуку. Без залучення додаткових припущень, навчання моделі $\hat{r}(u, i)$ на таких даних немає сенсу – найкраща модель буде для будь-якої пари (u, i) передбачати позитивну реакцію користувача на об'єкт. Очевидно, така модель має погану узагальнюючу здатність.

Для роботи з даними без явного відгуку використовують припущення про те, що пропуски в матриці реакцій (оцінок) R частіше відбуваються через негативну реакцію, ніж позитивну.

В запропонованій моделі пропущені значення в матриці R замінюються на бали, отримані після аналізу емоційного забарвлення коментарів про об'єкт рекомендацій у разі наявності відповідних коментарів. Далі будується канонічне афінне розкладання афінора оцінок:

$$\hat{r} = (u, i, c_1, c_2, \dots, c_M) \approx r_{u, i, c_1, c_2, \dots, c_M}, \quad (2)$$

де $c_1 \in C_1, \dots, c_M \in C_M$, а $C_1, \dots, C_M$ – деякі кінцеві множини, як правило вони використовуються для опису контексту рекомендації (в даній моделі вони містять дані, одержані після аналізу емоційного забарвлення тексту коментарів).

Загалом задача прогнозування вподобань користувачів рекомендаційною системою зводиться до заповнення матриці R даними про реакції користувачів, уточненням їх після сентимент-аналізу коментарів та покоординатної оптимізації регуляризованих квадратичних втрат. Будується канонічне афінне розкладання рангу K , тобто кожен елемент афінора T розміром $S_I \times \dots \times S_D$ представляється у вигляді:

$$\dot{T}_{i_1, \dots, i_D} = 1^T M_{:, i_1}^{(1)} \circ M_{:, i_2}^{(2)} \circ \dots \circ M_{:, i_D}^{(D)}, \quad (3)$$

де $\{M^{(d)}\}_{d=1}^p$ – фактори канонічного розкладення, $M^{(d)} \in R^{K \times S_d}$ матриці знаходяться шляхом мінімізації зваженого квадратичного відхилення елементів афінора:

$$\mathcal{L}(M^{(1)}, \dots, M^{(D)}) = \sum_{i_1=1}^{S_1} \dots \sum_{i_D=1}^{S_D} W_{i_1, \dots, i_D} \left(\dot{T}_{i_1, \dots, i_D} - T_{i_1, \dots, i_D} \right)^2, \quad (4)$$

де W – афінор вагів, що має розмір афінора T .

Висновки. В роботі запропонована математична модель рекомендаційної системи, у якій в якості контексту використовується аналіз емоційного забарвлення коментарів стосовно об'єктів рекомендацій. Також пропонується перетворювати емоційне забарвлення коментаря в оцінку для колаборативної фільтрації з метою заповнення пустих комірок у матриці оцінок або для уточнення ступеню позитивної/негативної реакції користувача у системах з неявним зворотним зв'язком.

Список літератури

1. Bal'azs H. Fast als-based tensor factorization for context-aware recommendation from implicit feedback [Text] / H. Bal'azs, T. Domonkos // Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases – 2012. – pp. 67–82.
2. Recommender systems handbook [Text] / Editors F. Ricci, L. Rokach, B. Shapira, P. Kantor. – Berlin: Springer, 2011. – 842 pages.
3. Kolda T. Tensor decompositions and applications [Text] / T. Kolda, B. Bader. // SIAM review. – 2009. – №51(3). – pp. 455–500.
4. Zhouxiao B. Movie Rating Estimation and Recommendation [Text] / B. Zhouxiao, X. Haiying. – 2012. – pp. 1–4.
5. Cantador I. Content-based recommendation in social tagging systems. [Text] / I. Cantador, A. Bellogn, D. Vallet. // ACM RecSys. – 2010. – №10. – pp. 237–240.
6. Burke R. Hybrid recommender systems: survey and experiments [Text] / R. Burke. // User Modelling and UserAdapted Interaction, vol. 12, no. 4. – 2002. – pp. 331–370.
7. Stuart D. What are Libraries Doing on Twitter? [Text] / D. Stuart. // Online 34, no. 1. – 2010. – pp. 45–47.
8. Mitchell T. Machine Learning [Text] / T. Mitchell. – New York: McGraw-Hill, 1997. – 414 p.
9. Narayanan V. Fast and accurate sentiment classification using an enhanced naive bayes model. [Text] / V. Narayanan, I. Arora, A. Bhatia // Intelligent Data Engineering and Automated Learning IDEAL – Berlin: Springer, 2013. – (volume 8206 of Lecture Notes in Computer Science). – pp. 194–201.
10. Норден А. П. Пространства аффинной связности [Текст] / А. П. Норден. – М.: Наука, 1976. – 432 стр.

Список літератури

1. Bal'azs, H. & Domonkos, T. (2012). *Fast als-based tensor factorization for context-aware recommendation from implicit feedback*. 67–82.
2. Ricci, Editors F., Rokach, L., Shapira, B. & Kantor, P. (2011). *Recommender systems handbook*. Berlin: Springer.
3. Kolda, T. & Bader, B. (2009). Tensor decompositions and applications. *SIAM review*, №51(3), 455–500.
4. Zhouxiao, B. & Haiying, X. (2012). *Movie Rating Estimation and Recommendation*.
5. Cantador, I., Bellogn, A. & Vallet, D. (2010). Content-based recommendation in social tagging systems. *ACM RecSys*, 10, 237–240.
6. Burke, R. (2002). Hybrid recommender systems: survey and experiments. *User Modelling and UserAdapted Interaction*, vol. 12, 4, 331–370.
7. Stuart, D. (2010). *What are Libraries Doing on Twitter?* *Online* 34, 1, 45–47.
8. Mitchell, T. (1997). *Machine Learning*. New York: McGraw-Hill.
9. Narayanan, V., Arora, I. & Bhatia, A. (2013). Fast and accurate sentiment classification using an enhanced naive bayes model. *Intelligent Data Engineering and Automated Learning IDEAL*, Vol. 8206, 194–201.
10. Norden, A. P. (1976). *Prostranstva affinnoj svyaznosti [Affine Connected Spaces]*. Moscow: Nauka.

Dmitry Shyngalov, postgraduate, Yelyzaveta Meleshko, Assoc. Prof., Phd tech. sci., Roman Mynaylenko, Assoc. Prof., Phd tech. sci., Vitaliy Reznichenko, Lect.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

The Mathematical Model of the Recommendation System, Taking Into Account the Emotional Coloring of the Comments as a Context

The article proposes the mathematical model of a recommendation system, in which a sentiment-analysis of comments related to a objects of recommendations is used as the context. An attempt is made to draw the mathematical model based on matrix calculations for the further creation of a context-oriented advisory system. In addition, an analysis of the feasibility of using the factorization model method to contextual filtration is used.

The paper investigates the structure of the recommendation system, in which the analysis of the emotional color of the comments to the objects of the recommendation is taken into account as a context. In the absence of explicit feedback, context analysis greatly improves the accuracy of the recommendations and the quality of prediction of user benefits. An attempt is also to deduce a mathematical model describing the work of such a recommendation system. Row down algorithms and the use of factoring machines for data processing are considered in data conditions without explicit response. Further practical application of hybrid joint filtration is considered as a solution to the practical implementation of the system of recommendations.

Rating models have huge potential for solving common filtration tasks, as well as for other subject areas in which there are interactions between objects of different types. Also, the proposed method allows you to change the structure of the model by changing the spaces of the space. The advantage of adding attributes can be applied to real data when modeling user preferences based on the analysis of the comment text. Applying an analysis of the emotional color of the text of comments by social network users on recommended objects can greatly improve the quality of prediction recommendations, and the transition to affine transformations and matrix calculations simplifies the machine complexity of calculations and increases their speed.

recommendation systems, sentiment-analysis, collaborative filtration, machine learning, intelligent systems

Одержано (Received) 08.05.2018

ЗМІСТ

ТЕХНІКА В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ

<i>Р.Д. Іскович-Лотоцький, І.В. Коц, Я.В. Іванчук, Є.І. Івашко</i> Моделювання руху двомасового вібраційного живильника на базі гідроімпульсного привода	3
<i>С.М. Лещенко, В.М. Сало, Д.І. Петренко</i> Оцінка енергоємності глибокого обробітку ґрунту комбінованими чизельними глибокорозпушувачами	10
<i>А.Ю. Лисих</i> Розробка та розрахунок кінематичної схеми механізму для одержання короткого льоноволокна	21
<i>С.І. Павленко</i> Виробничі випробування технології механізованого компостування органічних відходів з використанням аератора-змішувача	28
<i>О.Я. Семен, Д.В. Кузенко, Я.В. Семен</i> Аналітична модель зубка часнику	40

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

<i>В.М. Боков</i> Підвищення ефективності електродугового різання бідровим електродом- інструментом	47
<i>С. М. Герук, О.М. Сукманюк</i> Особливості розвитку автоматизації зварювання і наплавлення з використанням промислових роботів	58
<i>В.М. Ломакін, В.В. Клименко, В.В. Пукалов, О.В. Кузик, В.І. Дубодєлов, М.С. Горюк</i> Дослідження процесу затвердіння та прогнозування структури литих чавунних молоткових тіл	66
<i>О.Й. Мажейка, А.М.Лутай</i> Чисельне моделювання при дослідженні процесів ультразвукової обробки сталевих деталей сільськогосподарської техніки	75
<i>В.І. Носуленко, В.М. Шмельов</i> Якісні характеристики джерел тепла на сталевих електродах	80
<i>О.Й. Мажейка</i> Підвищення контролю якості зварних з'єднань	90

О.Ф. Сіса, В.В. Пукалов, В.В. Свяцький

Розмірна обробка електричною дугою бічної поверхні прямого ролика з композиційного матеріалу на основі реліту 96

О.В. Шелепо, А.М. Кириченко, А.І. Гречка

Експериментальне визначення жорсткості багатокоординатного верстата паралельної структури «пентапод» 104

АВТОМАТИЗАЦІЯ

Р.О. Баглай

Механізми управління безпекою банківських інформаційних систем 111

Г.М. Дреєва, О.М. Дреєв, О.О. Денисенко

Визначення фрактальної розмірності числової послідовності за розподілом ймовірності значень її елементів 119

О.В. Коваленко

Управління ризиками розробки програмного забезпечення за умови обмеженості коштів виділених на усунення помилок безпеки 128

А.П. Лобок, Б.Н. Гончаренко, Л.Г. Віхрова, М.А. Сич

Синтез модального керування багатовимірними лінійними системами з використанням лінійних матричних нерівностей 141

Д.М. Лужков, С.І. Осадчий, О.К. Дідик

Ідентифікація лінеаризованої моделі динаміки контролера та терморегулювального вентиля фірми Danfoss за даними пасивного експерименту..... 150

Ю.Б. Паладійчук, В.С. Руткевич, М.В. Зінев, І.О. Лісовий

Перспективи використання відкритого програмного комплексу arduino для вивчення технічних дисциплін 158

О.С. Улічев

Математична модель поширення інформаційно-психологічних впливів у сегменті соціальної мережі 165

В.Д. Хох

Автоматизована система проведення аудиту інформаційної безпеки комп'ютерних систем та мереж 174

Д.В. Шингалов, Є.В. Мелешко, Р.М. Минайленко, В.А. Резніченко

Математична модель рекомендаційної системи з врахуванням емоційного забарвлення коментарів у якості контексту 181

CONTENT

MACHINERY IN AGRICULTURAL PRODUCTION

<i>Rostyslav Iskovych-Lototskyi, Ivan Kots, Yaroslav Ivanchuk, Yevheniy Ivashko</i> Simulation of the Motion of a Two-mass Vibrating Feeder Based on a Hydro-impulse Drive	3
<i>Sergiy Leshchenko, Vasyl Salo, Dmytro Petrenko</i> Assessment of Energy Intensity of Deep Cultivation of Soil by Combined Chisel Deep Tillers	10
<i>Alla Lisikh</i> Development and Calculation of the Kinematic Circuit of the Mechanism for Reception of a Short Flax Fiber	21
<i>Sergiy Pavlenko</i> Industrial Testing OF Technology Mechanized Composition of Organic Wastes With the Use of Aerator-Mixernull	28
<i>Oleh Semen, Dmytro Kuzenko, Yaroslav Semen</i> Analytical Model of the Garlic Clove	40

INDUSTRY MACHINE BUILDING

<i>Viktor Bokov</i> Increase of Efficiency of Electric Arc Cutting with a Bipolar Electrode Tool	47
<i>Snanislav Geruk, Olena Sukmanyuk</i> Features of the development of welding and welding automation using industrial robots	58
<i>Viktor Lomakin, Vasyl Klymenko, Viktor Pukalov, Olexandr Kuzyk, Viktor Dubodelov, Maxym Goriuk</i> Research of the Solidification Process and Prediction of the Structure of Cast Cast-iron Grinding Bodies	66
<i>Olexsandr Mazheyka, Anatoliy Lutai</i> Numerical Modeling in the Study of Ultrasonic Processing of Steel Parts of Agricultural Machinery	75
<i>Victor Nosulenko, Vitaliy Shmelyov</i> Qualitative Characteristics of Heat Sources on Steel Electrodes	80
<i>Olexsandr Mazheyka</i> Improved quality control of welded joints	90
<i>Oleh Sisa, Viktor Pukalov, Volodymyr Sviatskyi</i> Dimensional Treatment by an Electric Arc of the Lateral Surface of a Guide Roller From a Composite Material Based on Relit	96

<i>Olha Shelepko, Andriy Kyrychenko, Andriy Hrechka</i> Experimental Determination of Stiffness of Pentapod Parallel Kinematics Machine	104
---	-----

AUTOMATION

<i>Roman Baglai</i> Banking Information Systems Security Management Mechanisms	111
<i>Ganna Dreyeva, Olexandr Dreyev, O.O.Denisenko</i> Calculation of the Fractal Dimension of a Numerical Sequence From the Probability Distribution of the Values of Its Elements	119
<i>Oleksandr Kovalenko</i> Risk Management Software Development, Subject to the Limited Funds Allocated to the Elimination of Security Errors	128
<i>Oleksij Lobok, Boris Goncharenko, Larisa Vihrova, Marina Sych</i> Synthesis of Modal Control of Multidimensional Linear Systems Using Linear Matrix Inequalities	141
<i>Dmytro Luzshkov, Sergiy Osadchy, Olexandr Didyk</i> Identification of the Linearized Model of Controller Dynamics and Danfoss Temperature Control Valve According to the Passive Experiment	150
<i>Yuriy Palyadichuk, Volodymyr Rutkevych, Mykhailo Zinev, Ivan Lisovoy</i> The Prospects of Using the Arduino Open Software Package for Studying Technical Courses	158
<i>Ulichev Oleksandr</i> Mathematical Model of Dissemination of Informational and Psychological Influences in the Social Network Segment	165
<i>Vitaliy Khokh</i> Methods of Automated Sentiment Analysis on Social Networks Automated System for Auditing Information Security of Computer Systems and Networks.....	174
<i>Dmitry Shyngalov, Yelyzaveta Meleshko, Roman Mynaylenko, Vitaliy Reznichenko</i> The Mathematical Model of the Recommendation System, Taking Into Account the Emotional Coloring of the Comments as a Context.....	181

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
КІРОВОГРАДСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

ТЕХНІКА В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ, ГАЛУЗЕВЕ
МАШИНОБУДУВАННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ

В и п у с к 31

Відповідальний за випуск І.В. Шепеленко

Комп'ютерна верстка І.М. Каліч

Тиражування О. Г. Каліч

Приватне підприємство «Ексклюзив-Систем»

Свідоцтво № ДК 4470 від 17.01.2013р.

25006, м. Кіровоград, вул. Шевченка, 25

тел./факс 24-35-53

Підписано до друку 25.06.2018р. Формат 60х84/8. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman. Офсетний друк. Умов. друк. арк. 24
Тираж 300 прим. Зам. № 0235