

ISSN 2663-1334 (print)
ISSN 2663-1342 (online)

DOI: 10.31548/machenergy.2019.02.186

Machinery & Energetics

Journal of Rural Production Research

since 2010 till 2018

[Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science
of Ukraine. Series: Technique and Energy of APK.
ISSN 2222-8594 (print). ISSN 2415-7694 (online)]

Vol. 10

№ 2

(April – June)

Kyiv – 2019

Editor-in-Chief

Prof., DS, Stanislav Nikolajenko, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kiev, Ukraine

Vice-Editor

Prof. Ildus Ibatullin, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kiev, Ukraine

Prof. Valeriy Voytiuk, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kiev, Ukraine

Prof. Volodymyr Kozyrskii, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kiev, Ukraine

Assistants Editor

PhD Viktoriya Kyrylyuk, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kiev, Ukraine

PhD Ivan Rogovskii, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kiev, Ukraine

PhD Oleksandr Synyavskiy, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kiev, Ukraine

Editorial Board

Prof. Andrey Tevyashev, Kharkov National University of Radio Electronics, Ukraine

Prof. Andriy Boyko, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kiev, Ukraine

Prof. Andrzej Marczuk, University of Life Sciences in Lublin, Poland

Prof. Dainis Viesturs, Latvia University of Agriculture, Latvia

Prof. Dmytro Voytiuk, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kiev, Ukraine

Prof. Gennadiy Golub, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kiev, Ukraine

Prof. Georgiy Tayanowski, University of Agriculture in Minsk, Belarus

Prof. Henryk Sobczuk, Polish Academy of Sciences, Poland

Prof. Janusz Wojdalski, Warsaw University of Life, Poland

Prof. Leonid Aniskevych, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kiev, Ukraine

Prof. Yevgen Aftandilyants, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kiev, Ukraine

Prof. Larysa Bal-Prylypko, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kiev, Ukraine

Prof. Ludvikas Spokas, Agrarian University in Kaunas, Lithuania

Prof. Petro Yevych, Czech University of Life Sciences Prague, Czech Republic

Prof. Ondrej Savec, Czech University of Life Sciences Prague, Czech Republic

Prof. Vjacheslav Shebanin, Mykolayiv National Agrarian University, Ukraine

Prof. Povilas A. Sirvydas, Agrarian University in Kaunas, Lithuania

Prof. Stanisław Sosnowski, University of Engineering and Economics in Rzeszów, Poland

Prof. Tadeusz Złoto, Częstochowa University of Technology, Poland

Prof. Valery Adamchuk, National Scientific Centre «Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture» in Kiev, Ukraine

Prof. Vitaliy Lysenko, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kiev, Ukraine

Prof. Volodymyr Boyko, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kiev, Ukraine

Prof. Volodymyr Bulgakov, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kiev, Ukraine

Prof. Volodymyr Gorobets, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kiev, Ukraine

Prof. Volodymyr Gorobet, National Agrarian University of Moldova, Moldova Republic

Prof. Volodymyr Kravchuk, State Scientific Organization „Leonid Pogorilyy Ukrainian Scientific Research Institute of Forecasting and Testing of Machinery and Technologies for Agricultural Production”, Ukraine

Prof. Vyatcheslav Adamchuk, University McGill, Canada

Prof. Vyatcheslav Loveykin, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kiev, Ukraine

Prof. Wacław Romaniuk, Institute of Technology and Life Sciences Branch in Warsaw, Poland

Prof. Wojciech Tanaś, University of Life Sciences in Lublin, Poland

All the articles are available on the webpage: www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

All the scientific articles received positive evaluations by independent reviewers

Linguistic consultant: *Ivan Rogovskii*

Typeset: *Ivan Rogovskii*

Cover design: *Lyudmila Titova*

Photo on the cover: *Ivan Rogovskii*

© Copyright by National University of Life and Environmental Science of Ukraine, 2018

Editorial Office address

National University of Life and Environmental Science of Ukraine

Str. Heroiv Oborony, 15, Kyiv, Ukraine, 03041

e-mail: rogovskii@nubip.edu.ua

Printing

AgroMediaGroup, Novokonstantinovska Str. 4a, 04-080 Kyiv, Ukraine

Publishing Office address

AgroMediaGroup, Novokonstantinovska Str. 4a, 04-080 Kyiv, Ukraine

ISSN 2663-1334 (print)

ISSN 2663-1342 (online)

Edition 100+16 vol.

ISSN 2663-1334 (print)
ISSN 2663-1342 (online)

DOI: 10.31548/machenergy.2019.02.186

Техніка та енергетика

*Журнал наукових досліджень
сільськогосподарського виробництва*

з 2010 року до 2018 року

[Науковий вісник Національного університету біоресурсів і
природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК
ISSN 2222-8594 (print). ISSN 2415-7694 (online)]

Випуск 10

№ 2

(квітень – червень)

Київ – 2019

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. Редкол. : С. М. Ніколаєнко (відп. ред.) та ін. Київ. 2019. Вип. 10. № 2. 186 с.

Висвітлено результати наукових досліджень, проведених працівниками Національного університету біоресурсів і природокористування України і в співпраці із закордонними науковцями, працівниками навчальних закладів Міністерства освіти і науки України та науково-дослідних інститутів НАН України, НААН України і Міністерства аграрної політики та продовольства України.

Редакційна колегія: С. М. Ніколаєнко, д-р пед. наук, проф. (відповідальний редактор); І. І. Ібатуллін, д-р с.-г. наук, проф.; В. Д. Войтюк, д-р техн. наук, проф.; В. В. Козирський, д-р техн. наук, проф. (заступники відповідального редактора); В. І. Кирилюк, канд. с.-г. наук, (відповідальний секретар); І. Л. Роговський, канд. техн. наук, старший наук. співр., О. Ю. Синявський, канд. техн. наук, доц. (заступники відповідального секретаря); В. В. Адамчук, д-р техн. наук, проф.; Л. В. Аніскевич, д-р техн. наук, проф.; Є. Г. Афтандіянц, д-р техн. наук, проф.; Л. В. Баль-Прилипко, д-р техн. наук, проф.; А. В. Бойко, д-р техн. наук, старший наук. співр.; В. М. Булгаков, д-р техн. наук, проф.; Д. Г. Войтюк, канд. техн. наук, проф.; Г. А. Голуб, д-р техн. наук, проф.; В. Г. Горобець, д-р техн. наук, старший наук. співр.; М. В. Гребченко, д-р техн. наук, проф.; П. Євич, д-р техн. наук, проф.; А. В. Жильцов, д-р техн. наук, доц.; В. В. Каплун, д-р техн. наук, проф.; В. В. Коваль, д-р техн. наук, проф.; І. П. Кондратенко, д-р техн. наук, проф.; О. Б. Коршунов, канд. техн. наук, доц.; В. І. Кравчук, д-р техн. наук, проф.; В. Романюк, д-р техн. наук, проф.; В. П. Лисенко, д-р техн. наук, проф.; В. С. Ловейкін, д-р техн. наук, проф.; К. Г. Лопатько, д-р техн. наук, доц.; С. Марек, д-р техн. наук, проф.; І. І. Назаренко, д-р техн. наук, проф.; В. М. Несвідомін, д-р техн. наук, проф.; Т. Павловські, д-р техн. наук, проф.; С. Ф. Пилипака, д-р техн. наук, проф.; В. Г. Самосюк, д-р техн. наук, проф.; Г. Собчук, д-р техн. наук, проф.; О. Б. Таширев, д-р техн. наук, проф.; В. В. Теслюк, д-р с.-г. наук, проф.; С. Г. Фришев, д-р техн. наук, проф.; В. В. Харченко, д-р техн. наук, проф.; А. Хоховські, проф.; С. П. Циганков, д-р техн. наук, старший наук. співр.; С. А. Шворов, д-р техн. наук, проф.; Ю. Яцкевич, д-р техн. наук, проф.

Рекомендовано до друку Вченою радою НУБіП України, протокол № 8 від 21 червня 2019 р.

Науковий журнал «Machinery & Energetics» є правонаступником наукового видання «Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК», який згідно з наказами Міністерства освіти і науки України від 13 липня 2015 р. № 747 та від 07 травня 2019 р. № 612 внесений до переліку наукових друкованих фахових видань України, в яких можуть бути опубліковані результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступеней доктора і кандидата технічних наук.

Науковий журнал «Machinery & Energetics» внесено до бібліографічної бази даних наукових публікацій внесено до бібліографічних баз даних наукових публікацій CrossRef, РІНЦ, Ulrich's Periodicals Directory, USJ, BASE, SIS, AGRIS, індексується Google Scholar, RePEc, ResearchBib, MIAR.

Відповідальний за випуск І. Л. Роговський.

Адреса редколегії: 03041, Київ-41, вул. Героїв оборони, 15,
Національний університет біоресурсів
і природокористування України, тел. 527-82-41

© Національний університет біоресурсів і
природокористування України, 2019

УДК 621.87

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ ПУСКУ СТІЧКОВОГО КОНВЕЄРА ЗА КОМПЛЕКСНИМ КРИТЕРІЄМ

В. С. Ловейкін, Ю. О. Ромасевич, Р. А. Кульпін

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Кореспонденція авторів: lovvs@ukr.net.

Історія статті: отримано – квітень 2019, акцептовано – червень 2019.

Бібл. 13, рис. 2, табл. 1.

Анотація. У роботі проведено обґрунтування узагальненого критерію оптимізації керування рухом стрічкового конвеєра під час його пуску. Критерій представлений у вигляді суми інтегральної та термінальної згорток одиничних динамічних та енергетичних показників роботи конвеєра. Для проведення досліджень використано математичну модель електромеханічної системи стрічкового конвеєра, яка представлена системою нелінійних звичайних диференціальних рівнянь. Дана модель має механічну та електричну складові. Перша представлена рівняннями, які описують рух зведених мас стрічки, вантажу, елементів приводу конвеєра, а друга – рівняннями, які описують електродинамічні процеси асинхронного частотно-керованого електроприводу конвеєра.

Для проведення досліджень математична модель системи представлена у вигляді MISO-системи. Це дало змогу використати модифікований метаевристичний метод рою частинок для знаходження мінімуму оптимізаційного критерію. Аргументами оптимізаційної функції виступали тривалість розгону системи, початкова напруга живлення приводу конвеєра та профіль кривої наростання частоти напруги живлення приводу.

Таким чином, у роботі отримано оптимальні значення налаштувань частотно-керованого приводу стрічкового конвеєра. Розроблений підхід є універсальним і його можна використати також для мінімізації інших небажаних критеріїв.

Ключові слова: стрічковий конвеєр, динамічні навантаження, математична модель, частотно-керований привод, критерій оптимізації.

Постановка проблеми

Під час роботи стрічкових конвеєрів мають місце значні динамічні навантаження, які діють на елементи тягового органа і приводного механізму. Такі навантаження спричиняють виникнення коливальних процесів зі значною зміною швидкості та прискорення під час пуску, що призводить до передчасного руйнування і зниження надійності роботи конструкції конвеєра.

У сучасних стрічкових конвеєрах для зменшення динамічних навантажень використовують частотно-керовані приводи. Вони мають значну кількість налаштувань, змінюючи які можна впливати на енергоефективність перехідних режимів руху конвеєра. Найбільш значимими із цих налаштувань є: профіль кривої наростання та спадання частоти напруги живлення приводу, початкова напруга живлення двигуна та тривалість наростання і спадання частоти напруги живлення.

Визначення оптимальних значень налаштувань призводить до необхідності виконання досить складних розрахунків. Це, у свою чергу, не дає змогу знайти глобальний мінімум критерію оптимізації. У цьому випадку ресурси щодо покращення роботи конвеєра будуть використані не в повному обсязі. Тому використання метаевристичних методів для проведення оптимізації режимів руху конвеєра з метою підвищення ефективності його роботи є важливою науково-прикладною задачею.

Аналіз останніх досліджень

В сучасних наукових дослідженнях відображено значний досвід проектування та експлуатації стрічкових конвеєрів [1]. Значна увага приділена дослідженню динамічних навантажень під час перехідних режимів руху стрічкового конвеєра [2-5]. У роботі [6] наведено матеріал для побудови математичних моделей руху стрічкового конвеєра для виконання динамічних розрахунків. У працях [7, 8] викладено матеріал стосовно моніторингу зносу робочих органів стрічкового конвеєра, що дозволяє вчасно замінювати елементи конструкції, продовжуючи строк експлуатації транспортуючої машини. Однак ці дослідження не вирішують проблем зниження динамічних навантажень.

Основною причиною виходу з ладу сучасних стрічкових конвеєрів є розрив стрічки, знос елементів приводу та конструкції через значні динамічні навантаження протягом перехідних режимів руху. Дану проблему можна вирішити шляхом оптимального налаштування частотного перетворювача. Дійсно, стрічкові конвеєри провідних виробників Європи та України таких як FPUH Michal

Michalak (Польща), ТОВ «ВІПЛАСТ» (Україна), Dorner Mfg. Corp. (Чехія) обладнують частотними перетворювачами [11-13]. Однак, в існуючих наукових працях питанню оптимального (раціонального) налаштування частотно-керованих приводів стрічкових конвеєрів приділено мало уваги.

Мета досліджень

Мета дослідження – підвищення пускових характеристик стрічкового конвеєра завдяки зменшенню енерговитрат та динамічних навантажень, що діють на тягові елементи і привод.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати відомі науково-прикладні дослідження в області виконання динамічних розрахунків стрічкових конвеєрів та оптимізації перехідних режимів їх руху;
- на основі обраної динамічної моделі руху стрічкового конвеєра розробити його математичну модель із врахуванням електромагнітних процесів у приводному механізмі;
- розробити комплексний критерій оптимізації руху стрічкового конвеєра;
- розв'язати задачу оптимізації пуску стрічкового конвеєра та на основі отриманих результатів запропонувати рекомендації стосовно налаштувань частотно-керованого приводу конвеєра.

Результати досліджень

Для проведення досліджень взято параметри стаціонарного стрічкового транспортера КЛ 100-45-4-500-ІП. Динамічна модель стрічкового транспортера представлена на рис. 1. Всі елементи стрічкового конвеєра є абсолютно твердими тілами, крім елементів

передавального механізму і тягового органу, які володіють пружними та дисипативними властивостями. Корпус приводу конвеєра й вали закріплено абсолютно жорстко [9]. На рис.1 прийняті такі позначення: $M_{np.}$ – зведений момент приводу; $M_{on1.}$ та $M_{on2.}$ – зведені моменти опору приводного та натяжного барабанів відповідно; $c_{np.}$ – зведений коефіцієнт крутильної жорсткості приводу; $b_{np.}$ – зведений коефіцієнт дисипації приводу; $R_{б.н.}$ та $R_{б.н.}$ – радіуси приводного та натяжного барабанів відповідно; $J_{n.}$, $J_{б.н.}$, $J_{б.н.}$ – зведені моменти інерції приводу, приводного та натяжного барабанів відповідно; m_{pi} – i -та зведена маса робочої гілки транспортера із вантажем ($i = \overline{1, n}$); m_{xj} – j -та зведена маса холостої гілки транспортера ($j = \overline{1, k}$); n – кількість зведених мас робочої гілки транспортера; k – кількість зведених мас холостої гілки транспортера; c_{pi} та b_{pi} – i -ті зведені коефіцієнти жорсткості та дисипації робочої гілки транспортера відповідно; c_{xj} та b_{xj} – j -ті зведені коефіцієнти жорсткості та дисипації холостої гілки транспортера відповідно; W_{pi} та W_{xj} – i -та та j -та зведені сили тертя від обертання підтримуючих роликів (сили W_{pi} та W_{xj} прикладені не до всіх приведених мас, а лише до тих, які взаємодіють з підтримуючими роликами).

По суті, модель, яка зображена на рис. 1, представляє собою систему зведених мас, які поєднані пружно-в'язкими зв'язками. Збільшення кількості мас у моделі системи дозволить наблизити її розрахунки до тих, які проведені із використанням моделі із розподіленими параметрами. У розрахунках, які виконанні у рамках даного дослідження, прийнято $n=20$ і $k=5$. Зазначимо, що такі значення не призводять до значних похибок у розрахунках динамічних та енергетичних процесів стрічкових конвеєрів стрічкового типу. Це підтверджується результатами попередніх розрахунків [9].

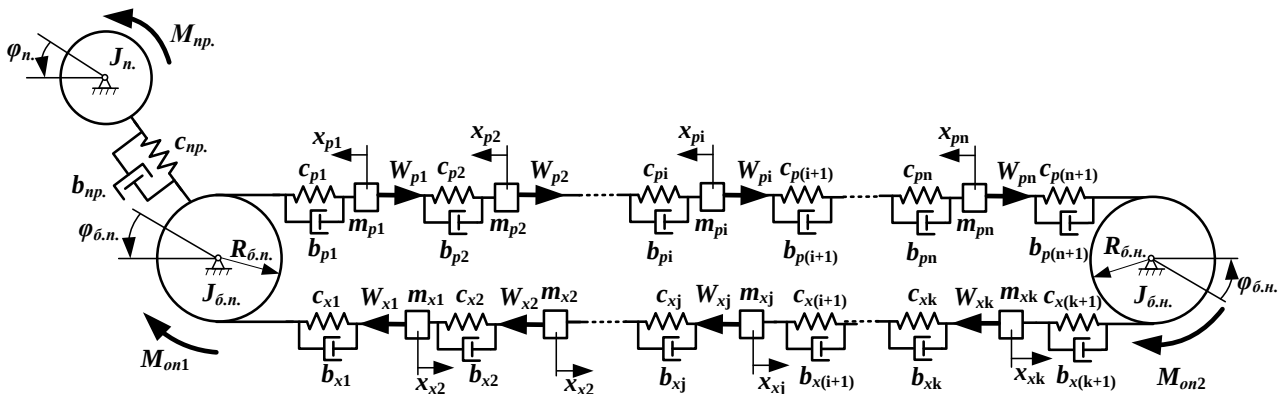


Рис. 1. Динамічна модель стрічкового конвеєра.

Fig. 1. Dynamic model of belt conveyor.

Моделі, яка показана на рис. 1, відповідає система неоднорідних звичайних диференціальних рівнянь другого порядку (1) (математична модель руху стрічкового транспортера), що описує рух зведених мас динамічної моделі конвеєра [9].

Для визначення електромагнітного моменту приводу конвеєра скористаємося рівняннями узагальненої асинхронної електричної машини. Для цього використаємо представлення диференціальних рівнянь асинхронного двигуна (2), який створює

рушійний момент системи, у нерухомій системі координат.

$$\begin{aligned}
 M_{np} &= \ddot{\varphi}_{np} J_{np} + c_{np} (\varphi_{np} - \varphi_{\delta,n}) + \\
 &+ b_{np} (\dot{\varphi}_{np} - \dot{\varphi}_{\delta,n}); \\
 c_{np} (\varphi_{np} - \varphi_{\delta,n}) + b_{np} (\dot{\varphi}_{np} - \dot{\varphi}_{\delta,n}) &= \\
 &= \ddot{\varphi}_{\delta,n} J_{\delta,n} + M_{\delta,n,1} + c_{p1} (\varphi_{\delta,n} R_{\delta,n} - x_{p1}) + \\
 &+ b_{p1} (\dot{\varphi}_{\delta,n} R_{\delta,n} - \dot{x}_{p1}) + c_{x1} (\varphi_{\delta,n} R_{\delta,n} - x_{x1}) + \\
 &+ b_{x1} (\dot{\varphi}_{\delta,n} R_{\delta,n} - \dot{x}_{x1}); \\
 c_{p1} (\varphi_{\delta,n} R_{\delta,n} - x_{p1}) + b_{p1} (\dot{\varphi}_{\delta,n} R_{\delta,n} - \dot{x}_{p1}) &= \\
 &= m_{p1} \ddot{x}_{p1} + W_{p1} + c_{p2} (x_{p1} - x_{p2}) + b_{p1} \times \\
 &\times (\dot{x}_{p1} - \dot{x}_{p2}); \\
 &\dots\dots\dots \\
 c_{pi} (x_{p(i-1)} - x_{pi}) + b_{pi} (\dot{x}_{p(i-1)} - \dot{x}_{pi}) &= \\
 &= m_{pi} \ddot{x}_{pi} + W_{pi} + c_{p(i+1)} (x_{pi} - x_{p(i+1)}) + \\
 &+ b_{p(i+1)} (\dot{x}_{pi} - \dot{x}_{p(i+1)}); \\
 &\dots\dots\dots \\
 c_{pn} (x_{p(n-1)} - x_{pn}) + b_{pn} (\dot{x}_{p(n-1)} - \dot{x}_{pn}) &= \\
 &= m_{pn} \ddot{x}_{pn} + W_{pn} + c_{p(n+1)} (x_{pn} - \varphi_{\delta,n} R_{\delta,n}) + \\
 &+ b_{p(n+1)} (\dot{x}_{pn} - \dot{\varphi}_{\delta,n} R_{\delta,n}); \\
 R_{\delta,n} (c_{p(n+1)} (x_{pn} - \varphi_{\delta,n} R_{\delta,n}) + b_{p(n+1)} \times \\
 \times (\dot{x}_{pn} - \dot{\varphi}_{\delta,n} R_{\delta,n})) &= c_{x(k+1)} (\varphi_{\delta,n} R_{\delta,n} - \\
 - x_{x(k+1)}) + b_{x(k+1)} (\dot{\varphi}_{\delta,n} R_{\delta,n} - \dot{x}_{x(k+1)}) + \\
 &+ \ddot{\varphi}_{\delta,n} J_{\delta,n} + M_{\delta,n,2}; \\
 c_{x(k+1)} (\varphi_{\delta,n} R_{\delta,n} - x_{x(k+1)}) + b_{x(k+1)} (\dot{\varphi}_{\delta,n} R_{\delta,n} - \\
 - \dot{x}_{x(k+1)}) &= W_{xk} + m_{xk} \ddot{x}_{xk} + c_{xk} (x_{xk} - \\
 - x_{x(k-1)}) + b_{xk} (\dot{x}_{xk} - \dot{x}_{x(k-1)}); \\
 &\dots\dots\dots \\
 c_{x(j+1)} (x_{x(j+1)} - x_{xj}) + b_{x(j+1)} (\dot{x}_{x(j+1)} - \\
 - \dot{x}_{xj}) &= m_{xj} \ddot{x}_{xj} + W_{xj} + c_{xj} (x_{xj} - x_{x(j-1)}) + \\
 &+ b_{xj} (\dot{x}_{xj} - \dot{x}_{x(j-1)}); \\
 &\dots\dots\dots \\
 c_{x2} (x_{x2} - x_{x1}) + b_{x2} (\dot{x}_{x2} - \dot{x}_{x1}) &= m_{x1} \ddot{x}_{x1} + \\
 &+ W_{x1} + c_{x1} (x_{x1} - R_{\delta,n} \varphi_{\delta,n}) + b_{x1} (\dot{x}_{x1} - R_{\delta,n} \dot{\varphi}_{\delta,n}).
 \end{aligned} \tag{1}$$

В якій позначимо $i_{1\alpha}$, $i_{1\beta}$ – проекції узагальненого вектора струму статора на нерухомі ортогональні координатні осі α і β ; $i_{2\alpha}$, $i_{2\beta}$ – проекції узагальненого вектора струму ротора на ортогональні координатні осі α і β ; L_1 , L_2 – індуктивності статорної та роторної обмоток; L_{12} – взаємодуктивність; k_r і k_s – коефіцієнти магнітного зв'язку ротора та статора відповідно ($k_r = L_{12} L_2^{-1}$; $k_s = L_{12} L_1^{-1}$); p – кількість пар полюсів двигуна; $u_{1\alpha}$, $u_{1\beta}$ – проекції узагальненого вектора напруги статора на координатні осі α і β ($u_{1\alpha} = U_{\max} \cos(2\pi \int f dt)$, $u_{1\beta} = U_{\max} \sin(2\pi \int f dt)$); $U_{\max}$ – амплітуда фазної напруги живлення двигуна; f – частота напруги живлення двигуна; $e_{2\beta}$, $e_{2\alpha}$ – ЕРС, що індукуються потікозчепленнями ротора по осях α і β відповідно ($e_{2\alpha} = p \omega_{\delta\theta} (L_2 i_{2\beta} + L_{12} i_{1\beta}) + i_{2\alpha} R_2$), $e_{2\beta} = p \omega_{\delta\theta} (L_2 i_{2\alpha} + L_{12} i_{1\alpha}) + i_{2\beta} R_2$); R_1 – активний опір

статорної обмотки; R_2 – зведений до статора активний опір роторної обмотки; X_1 – індуктивний опір статорної обмотки; X_2 – зведений до статора індуктивний опір роторної обмотки; δ – коефіцієнт розсіювання; $\omega_{\delta\theta}$ – кутова швидкість двигуна; u та η – передаточне число і ККД приводу конвеєра.

$$\begin{cases} \frac{di_{1\alpha}}{dt} = \frac{1}{\delta L_1} (u_{1\alpha} - i_{1\alpha} R_1 + k_r e_{2\alpha}); \\ \frac{di_{1\beta}}{dt} = \frac{1}{\delta L_1} (u_{1\beta} - i_{1\beta} R_1 - k_r e_{2\beta}); \\ \frac{di_{2\alpha}}{dt} = -\frac{1}{\delta L_2} ((u_{1\alpha} - i_{1\alpha} R_1) k_s + e_{2\alpha}); \\ \frac{di_{2\beta}}{dt} = -\frac{1}{\delta L_2} ((u_{1\beta} - i_{1\beta} R_1) k_s - e_{2\beta}); \\ M_{np} = u \eta \frac{3}{2} p L_{12} (i_{1\beta} i_{2\alpha} - i_{1\alpha} i_{2\beta}), \end{cases} \tag{2}$$

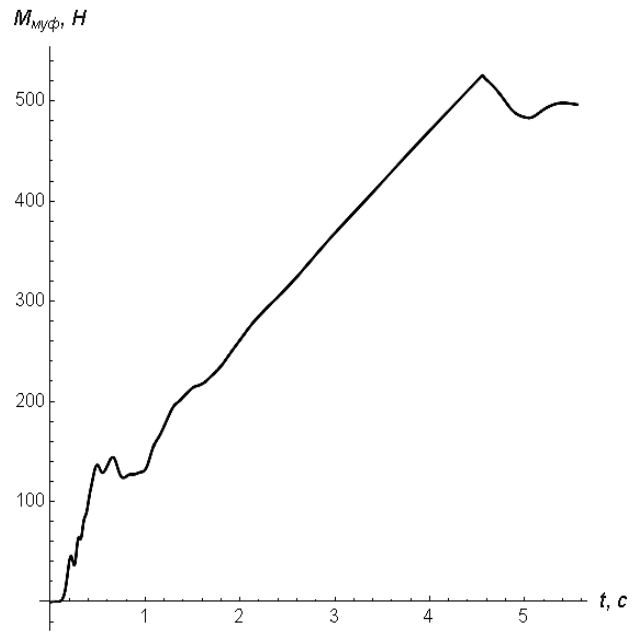
Для встановлення ефективності налаштувань частотно-керованого приводу конвеєра проведемо обґрунтування вибору оптимізаційного критерію. Подамо його у наступному вигляді:

$$\begin{aligned}
 Cr &= \sum_{i=1}^{\eta} Int_i w_i m_i + \sum_{j=1}^{\mu-\eta} Ter_j w_j + \eta m_{j+\eta}; \\
 Int &= [Int_t, Int_{d,1}, Int_{d,2}, \dots, Int_{d,k}, Int_{en,1}, Int_{en,2}]^T; \\
 Ter &= [Ter_{d,1,\max}, Ter_{d,2,\max}, \dots, Ter_{d,f,\max}, Ter_{d,1,0}, \\
 &Ter_{d,2,0}, \dots, Ter_{d,f,0}, Ter_{d,1,T}, Ter_{d,2,T}, \dots, Ter_{d,f,T}, \\
 &Ter_{en,\max}, Ter_{en,0}, Ter_{en,T}, Ter_{el,\max}, Ter_{el,0}, Ter_{el,T}]^T; \\
 Int_1 &= Int_t = \int_0^T dt; \\
 Int_2 &= Int_{d,1} = \sqrt{T^{-1} \int_0^T M_{dr}^2 dt}; \\
 Int_3 &= Int_{d,2} = \sqrt{T^{-1} \int_0^T M_{coup}^2 dt}; \\
 Int_4 &= Int_{d,3} = \sqrt{T^{-1} \int_0^T F_b^2 dt}; \\
 &\dots \\
 Int_{\eta-2} &= Int_{d,k} = \sqrt{T^{-1} \int_0^T F_{b,k}^2 dt}; \\
 Int_{\eta-1} &= Int_{e,1} = \int_0^T |P_{dr}| dt; \\
 Int_{\eta} &= Int_{e,2} = \int_0^T \Delta P_{dr} dt; \\
 Ter_{d,1,\max} &= \max(M_{dr}); \\
 Ter_{d,2,\max} &= \max(M_{coup}); \\
 Ter_{d,3,\max} &= \max(F_b); \\
 &\dots \\
 Ter_{d,f,\max} &= \max(F_f); \\
 Ter_{d,1,0} &= M_{dr}(0); \\
 Ter_{d,2,0} &= M_{coup}(0); \\
 Ter_{d,3,0} &= F_b(0); \\
 &\dots
 \end{aligned} \tag{3}$$

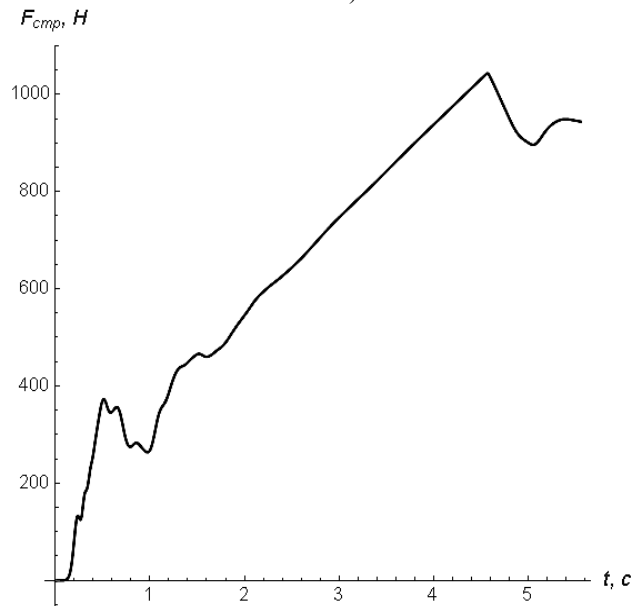
$$\begin{aligned}
 & \dots \\
 & Ter_{d,f,0} = F_f(0); \\
 & Ter_{d,1,T} = M_{dr}(T); \\
 & Ter_{d,2,T} = M_{coup}(T); \\
 & Ter_{d,3,T} = F_b(T); \\
 & \dots \\
 & Ter_{d,f,T} = F_f(T); \\
 & Ter_{en,max} = \max(P_{dr}); \\
 & Ter_{en,T} = P_{dr}(T); \\
 & Ter_{el,max} = \max(I_{dr}); \\
 & Ter_{el,T} = I_{dr}(T); \\
 & W = [w_1, w_2, \dots, w_\mu]^T; \\
 & M = [m_1, m_2, \dots, m_\mu]^T,
 \end{aligned} \tag{3}$$

де Int_i – i -тий компонент вектора інтегральних оптимізаційних критеріїв руху системи; Int_t – критерій швидкодії системи; $I_{d,1}$ – середньоквадратичне значення крутного моменту приводу машини; $I_{d,2}$ – середньоквадратичне значення крутного моменту у муфті приводу машини; $I_{d,3}$ – середньоквадратичне значення зусилля у місці набігання стрічки на приводний барабан (тут і надалі мається на увазі робоча гілка конвеєра); $I_{d,k}$ – середньоквадратичне значення зусилля у деякому k -тому перерізі стрічки; $I_{e,1}$ – витрати енергії під час керованого режиму руху конвеєра; $I_{e,2}$ – втрати енергії під час керованого режиму руху конвеєра; Ter_j – j -тий компонент вектора термінальних оптимізаційних критеріїв руху системи $Ter_{d,1,max}, \dots, Ter_{d,f,max}$ – максимальні значення відповідно крутного моменту приводу, моменту у муфті, зусилля у місці набігання стрічки на барабан та зусилля у f -тому перерізі стрічки; $Ter_{d,1,0}, \dots, Ter_{d,f,0}$ – початкові значення відповідно крутного моменту приводу, моменту у муфті, зусилля у місці набігання стрічки на барабан та зусилля у f -тому перерізі стрічки; $Ter_{d,1,T}, \dots, Ter_{d,f,T}$ – кінцеві значення відповідно крутного моменту приводу, моменту у муфті, зусилля у місці набігання стрічки на барабан та зусилля у f -тому перерізі стрічки; $Ter_{en,max}, Ter_{en,0}, Ter_{en,T}$ – максимальне, початкове та кінцеве значення потужності приводу конвеєра; $Ter_{el,max}, Ter_{el,0}, Ter_{el,T}$ – максимальне, початкове та кінцеве значення струму електроприводу конвеєра; W – вектор вагових коефіцієнтів, які показують важливість кожного компонента векторів Int та Ter , причому сума всіх компонентів w_i рівна одиниці; M – вектор коефіцієнтів, які зводять розмірності інтегральних критеріїв до безрозмірного вигляду (таким чином, критерій (3) є безрозмірним, що дозволяє провести коректну постановку задачі оптимізації); μ – розмірність векторів W та M .

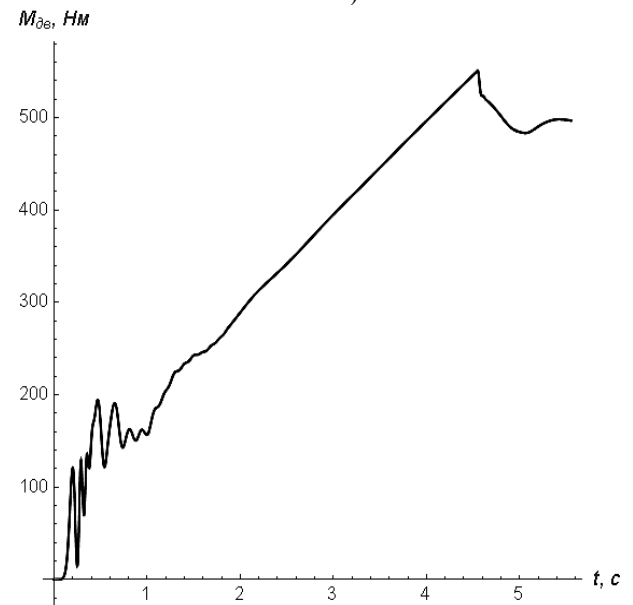
Критерій (1) відображає найсуттєвіші властивості роботи конвеєра під час керованого режиму руху: тривалість руху, динамічні та енергетичні показники його роботи. За математичним представленням вони є інтегральними та термінальними і в сукупності відображають комплекс небажаних характеристик роботи транспортуючої машини.



а)



б)



в)

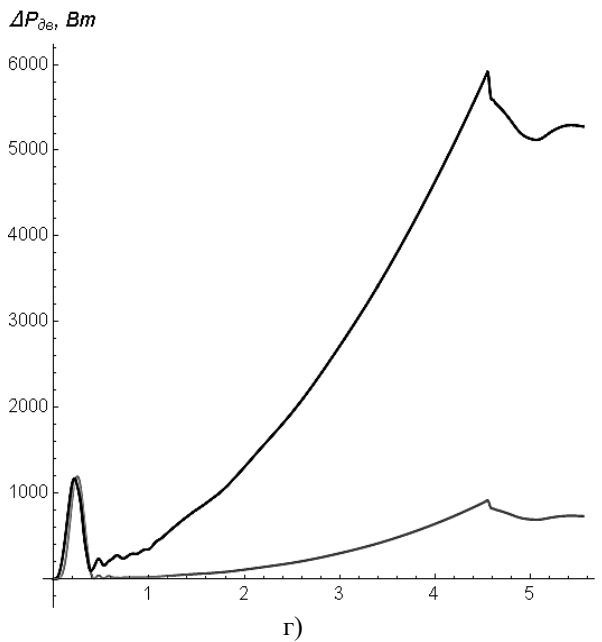


Рис. 2. Графіки динамічних та енергетичних характеристик оптимального пуску стрічкового конвеєра: а) крутний момент у муфті; б) зусилля у робочій стрічці конвеєра у місці набігання її на барабан; в) крутний момент приводу; г) витрати (чорна крива) і втрати (сіра крива) потужності під час пуску двигуна

Fig. 2. Graphics dynamic and energetic characteristics of the optimal start-up of a belt conveyor: a) torque the coupling, b) efforts in working the conveyor belt in place of nabuhanie on the drum, c) torque, d) cost (black curve) and loss (gray curve) power during engine start.

Отже, критерій (3) у процесі виконання оптимізації необхідно мінімізувати.

Мінімізація показника (3) вимагає попередніх перетворень математичної моделі динаміки руху стрічкового конвеєра (1). Для цього представимо математичну модель системи у вигляді MISO-системи де вихідною величиною є значення критерію Cr , а вхідними – наступні величини: початкове значення напруги живлення приводу конвеєра U_0 , тривалість наростання та спадання частоти напруги живлення двигуна T та профіль наростання частоти напруги живлення приводу. Інтегрування систем диференціальних рівнянь (1) та (2) виконано із використанням методу Рунге-Кутта. На основі отриманих результатів виконується розрахунок чисельного значення критерію (3).

Таким чином, виконано формалізацію задачі оптимізації динаміки пуску стрічкового конвеєра. Для її розв'язання використано метод ME-PSO [10]. У результаті роботи алгоритму отримано наступні дані: початкове значення напруги живлення рівне нулю, а тривалість розгону рівна 4,55 с – для лінійної характеристики пуску; початкова напруга живлення рівна 10% від номінальної, а тривалість наростання частоти напруги живлення складає 1,48 с – для S-подібної характеристики. Графічні залежності, які відповідають оптимальним налаштуванням частотно-керованого приводу стрічкового конвеєра, наведено на рис. 2. Крім того, розраховані енергетичні та динамічні показники пуску конвеєра при його оптимальних налаштуваннях (таблиця 1).

Таблиця 1. Значення оціночних показників для режиму частотно-керованого пуску стрічкового конвеєра.
Table 1. The values of the performance indicators for the mode of frequency-controlled start-up of a belt conveyor.

Показники		Значення
Наростання частоти напруги живлення двигуна за S-подібною характеристикою		
Момент у муфті	$K_{\max}^*$	1,16
	RMS**, Нм	468
Момент приводного двигуна	$K_{\max}$	1,51
	RMS, Нм	526
Зусилля у стрічці, що набігає на приводний барабан	$K_{\max}$	1,52
	RMS, Н	1005
Втрати енергії під час пуску двигуна	ΔE , Дж	1728
Наростання частоти напруги живлення двигуна за лінійною характеристикою		
Момент у муфті	$K_{\max}$	1,15
	RMS, Нм	347
Момент приводного двигуна	$K_{\max}$	1,16
	RMS, Нм	3947
Зусилля у стрічці, що набігає на приводний барабан	$K_{\max}$	1,11
	RMS, Н	665
Втрати енергії під час пуску двигуна	ΔE , Дж	1369

* кратність максимального значення;

** середньоквадратичне значення.

Аналіз даних, що отримані у ході проведення оптимізації показує, що доцільно використовувати незначну початкову напругу живлення при незначній тривалості перехідного режиму. Також, з наведених графічних залежностей та даних таблиці 1 можемо

прийти до висновку, що раціональною характеристикою наростання частоти напруги живлення двигуна є лінійна.

Таким чином, у роботі отримано оптимальні за енергоефективністю та динамічними навантаженнями

значення параметрів частотно-керованого пуску стрічкового конвеєра. Розроблений підхід можна використати також для мінімізації інших небажаних критеріїв.

Висновки

1. На основі обраної динамічної моделі руху стрічкового конвеєра розроблено його математичну модель із врахуванням електромагнітних процесів у приводному механізмі.

2. Проведено обґрунтування узагальненого критерію оптимізації.

3. Із використанням методу ME-PSO знайдено оптимальні налаштування частотно-керованого приводу конвеєра.

4. Проведено аналіз даних отриманих у ході моделювання оптимального пуску стрічкового конвеєра та встановлено значне зниження небажаних показників при його пуску. Наприклад, момент у муфті при лінійній частоті наростання напруги зменшився майже в два рази, зусилля у стрічці, що набігає на приводний барабан зменшилось у 1,5 рази. Це говорить про те, що при оптимальному керуванні пуском енергоефективність та довговічність роботи стрічкового конвеєра зростає.

5. Розроблений підхід щодо оптимізації частотно-керованого пуску стрічкового конвеєра можна використовувати і для інших динамічних систем.

Список літератури

1. Позынич Е. К., Позынич К. П. Расчет ленточного конвеера. Хабаровск. Издательство ДВГУПС, 2006. 70 с.
2. Ловейкін В. С., Ромасевич Ю. О. Оптимізація перехідних режимів руху механічних систем прямим варіаційним методом: монографія. Київ. Ніжин: Видавець ПП Лисенко М.М. 2010. 184 с.
3. Суглобов В. В., Власов В. Т., Гринько П. А. Экспериментальные исследования ленточных конвейеров. Университетская наука - 2016 : Междунар. науч.-техн. конф. : тез. докл. ГВУЗ «ПГТУ». Мариуполь, 2016. Т. 2. С. 56.
4. Semenchenko A., Stadnik M., Belitsky P. [and others] The impact of an uneven loading of a belt conveyor on the loading of drive motors and energy consumption in transportation. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2016. Т. 4. № 1 (82). С. 42–51.
5. Schaut S., Alt S., Sawodn O. Optimal Control for Transport Systems with multiple actuated Transportation Paths. American Control Conference Sheraton Seattle Hotel. Seattle, USA. May 24–26. 2017.
6. Семенченк А. К., Стадни М. И., Белицкий П. В., Семенченко Д. А. Математична модель цільової функції оптимізації режимів роботи приводу стрічкового конвеєра. Геотехнічна механіка. 2017. № 134.

7. Błażej R., Jurdziak L., Kozłowski T., Kirjanów A. The Use of Magnetic Sensors in Monitoring the Condition of the Core in Steel Cord Conveyor Belts – Tests of the Measuring Probe and the Design of the DiagBelt System. 2018. № 123. P. 48–53.

8. Binchao Y., Tiezhu Q., Haitao Z., Gaowei Y. Dual band infrared detection method based on mid-infrared and long infrared vision for conveyor belts longitudinal tear – Measurement. 2018. № 120. P. 140–149.

9. Ловейкін В. С., Ромасевич Ю. О., Шалатовська К. М. Математичне моделювання динаміки руху стрічкового транспортера. Підйомно-транспортна техніка. 2017. С. 86.

10. Romasevych Yu., Loveikin V. A Novel Multi-EPOCH Particle Swarm Optimization Technique. Cybernetics and Information Technologies. 2018. Vol. 18(3). P. 62–74.

11. Стрічкові конвеєри FPUH Michał Michalak, <http://michalak.co/home>, (дата звернення 01.04.2019).

12. Стрічкові конвеєри ТОВ «ВІПЛАСТ» Україна, <http://viplast.com.ua>, (дата звернення 28.03.2019).

13. Стрічкові конвеєри Dorner Mfg. Corp., <https://www.dornerconveyors.com>, (дата звернення 25.03.2019).

References

1. Poznych E. K. (2006). Calculation of the conveyor belt. Khabarovsk: Publishing house. 70.
2. Loveykin V. S., Romasevich Yu. O. (2010). Optimization of transient modes of motion of mechanical systems by a direct variational method : monograph. Kyiv. Nizhyn: Publisher PE Lysenko MM. 184.
3. Sutlovov V. V., Vlasov V. T., Grin'ko P. A. (2016). Experimental Investigations of Band Conveyors. University Science - 2016: Intern. scientific and technical conf. : theses doc. GVUZ "PSTU". Mariupol. T. 2. 56.
4. Semenchenko A., Stadnik M., Belitsky P. [and others] (2016). The impact of an uneven loading of a belt conveyor on the loading of drive motors and energy consumption in transportation. T. 4. № 1 (82). 42–51.
5. Schaut S., Alt S., Sawodn O. (2017). Optimal Control for Transport Systems with multiple actuated Transportation Paths. American Control Conference Sheraton Seattle Hotel. Seattle, USA. May 24–26.
6. Semenchenk A. K., Stadni M. I., Belitsky P. V., Semenchenko D. A. (2017). Mathematical model of the objective function of optimizing the operating modes of the drive of the conveyor belt. Geotechnical mechanics. No 134.
7. Błażej R., Jurdziak L., Kozłowski T., Kirjanów A. (2018). The Use of Magnetic Sensors in Monitoring the Condition of the Core in Steel Cord Conveyor Belts – Tests of the Measuring Probe and the Design of the DiagBelt System, №123. 48–53.
8. Binchao Y., Tiezhu Q., Haitao Z., Gaowei Y. (2018). Dual band infrared detection method based on mid-infrared and long infrared vision for conveyor belts longitudinal tear - Measurement, № 120. 140–149.

9. Loveykin V. S., Romasevich Yu. O., Shalatovskaya K. M. (2017). Mathematical modeling of the dynamics of the motion of the tape conveyor. Lifting and transport equipment. 86.

10. Romasevych Yu., Loveikin V. (2018). A Novel Multi-EPOCH Particle Swarm Optimization Technique, Cybernetics and Information Technologies, 18(3), 62-74.

11. Belt conveyors FPUH Michał Michalak, <http://michalak.co/home>, (application date 01.04.2019).

12. Belt conveyors of "VIPLAST" Ltd. Ukraine, <http://viplast.com.ua/>, (application date 28.03.2019).

13. Belt conveyors Dorner Mfg. Corp., <https://www.dornerconveyors.com>, (application date 25.03.2019).

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ ПУСКА ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА ПО КОМПЛЕКСНОМУ КРИТЕРІЮ

В. С. Ловейкін, Ю. А. Ромасевич, Р. А. Кульпін

Аннотация. В работе проведено обоснование обобщенного критерия оптимизации управления движением ленточного конвейера во время его пуска. Критерий представлен в виде суммы интегральной и терминальной сверток единичных динамических и энергетических показателей работы конвейера. Для проведения исследований использовано математическую модель электромеханической системы ленточного конвейера, которая представлена системой нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений. Данная модель имеет механическую и электрическую составляющие. Первая представлена уравнениями, которые описывают движение приведенных масс ленты, груза, элементов привода конвейера, а вторая - уравнениями, которые описывают электродинамические процессы асинхронного частотно-управляемого электропривода конвейера.

Для проведения исследований математическая модель системы представлена в виде MISO-системы. Это позволило использовать метаэвристичный метод роя частиц для нахождения минимума оптимизационного критерия. Аргументами оптимизационной функции выступали продолжительность разгона системы, начальное напряжение питания привода конвейера и профиль кривой нарастания частоты напряжения питания привода.

Таким образом, в работе получены оптимальные значения настроек частотно-управляемого привода ленточного конвейера. Разработанный подход является универсальным и его можно использовать также для минимизации других нежелательных критериев.

Ключевые слова: ленточный конвейер, динамические нагрузки, математическая модель, частотно-управляемый привод, критерий оптимизации.

OPTIMIZATION OF BELT CONVEYOR START BY COMPLEX CRITERIA

V. S. Loveikin, Yu. O. Romasevych, R. A. Kulpin

Abstract. The substantiation of the generalized criterion of a belt conveyor control optimization during its start has been carried out in the paper. The criterion was presented as the sum of the integral and terminal convolutions of single dynamic and energy indicators of the conveyor. In the research, a mathematical model of the electromechanical system of the belt conveyor has been used. It was represented as a system of nonlinear ordinary differential equations. The mathematical model has mechanical and electrical components. The first was represented by the equations which describe the motion of the reduced masses of the belt, bulk material, the elements of the conveyor drive; the second was presented by equations which describe the electrodynamic processes of the asynchronous frequency controlled electric drive of the conveyor.

In order to conduct the research, the mathematical model of the system has been presented in the form of a MISO-system. It allowed for using the modified metaheuristic particle swarm optimization method for the purpose of criterion minimization. The arguments of the function to minimize were the duration of the system's start, the initial voltage of the conveyor drive and the curve profile of the drive frequency during start.

Thus, in the work the optimal values of settings of the frequency-controlled belt conveyor drive were obtained. The developed approach is universal and can also be used for minimization of other undesirable criteria.

Key words: belt conveyor, dynamic loads, mathematical model, frequency controlled drive, optimization criterion.

В. С. Ловейкін ORCID 0000-0003-4259-3900.

Ю. О. Ромасевич ORCID 0000-0001-5069-5929.

Р. А. Кульпін ORCID 0000-0002-5388-1628.

УДК 669.019

ВПЛИВ ВОДНЮ НА ЯКІСТЬ СТАЛЕВИХ ВИРОБІВ

Є. Г. Афанділянц

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Кореспонденція автора: afteyev@yahoo.com.

Історія статті: отримано – квітень 2019, акцептовано – червень 2019.

Бібл. 6, рис. 13, табл. 2.

Анотація. З метою підвищення якості сталевих виробів проаналізовано закономірності розчинення водню в розплавах залізобуглецевих сплавів і виділення при кристалізації та фазових перетвореннях сталі. Наведено механізм накопичення водню на дефектах кристалічної будови металів і сплавів, утворення та розповсюдження тріщини під дією нормального напруження за участі кластеру водню та дислокацій, а також напрямки запобігання негативного впливу водню. Встановлено, що основною причиною утворення флокенів являється присутність в сталі підвищеної кількості водню в зонах напружень розтягування, які виникають в процесі структурних перетворень сталі, пластичній деформації, нерівномірному охолодженні, в місцях концентрації напружень, дефектах кристалічної решітки, границях зерен, неметалевих включеннях і ліквідаційних неоднорідностях. На основі встановлених закономірностей розроблені режими охолодження та витримки заготовок з буглецевих та низьколегованих сталей після гарячої обробки тиском, а також режими попередньої та кінцевої антифлокеної термічної обробки сталевих заготовок, що містять водень, які дозволяють отримати якісні сталеві вироби без флокенів.

Ключові слова: водень, сталь, флокени, напруження, термічна обробка, температура, нагрівання, охолодження, витримка.

Постановка проблеми

Вплив кисню та азоту на якість сталевих виробів відомо і докладно викладено в численних монографіях, наприклад, [1, 2]. Однак закономірності впливу водню на якість сталевих виробів і умови утворення дефектів кристалічної будови, а також методи нівелювання його негативного впливу вивчені недостатньо.

Аналіз останніх досліджень

Характерною особливістю розподілу водню в розплаві, процесі кристалізації і затвердіння стали, а також термічної обробки є його висока дифузійна рухливість. Наприклад, при температурі 1600 °С

дифузійна рухливість водню в залізобуглецевому розплаві в 29 разів більше, ніж кисню і в 64 рази більше ніж азоту [3]. У твердому стані металу таке перевищення в інтервалі температур від 500 до 700 °С становить від $8 \cdot 10^3$ до $2 \cdot 10^2$ разів у порівнянні з дифузійною рухливістю азоту, від $8 \cdot 10^4$ до $1,1 \cdot 10^3$ разів – вуглецю і від $8 \cdot 10^{11}$ до $1,3 \cdot 10^7$ разів – елементів заміщення (рис. 1).

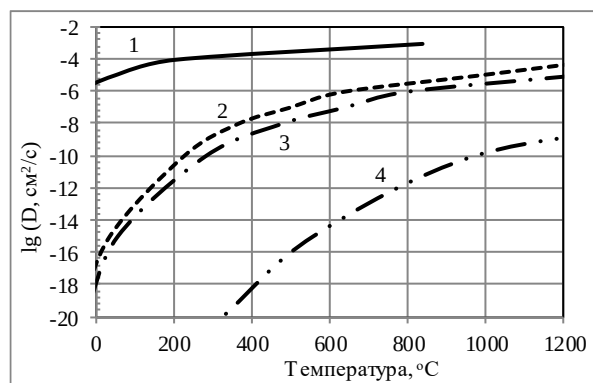


Рис. 1. Вплив температури на коефіцієнт дифузії водню (1), азоту (2), вуглецю (3) та елементів заміщення (4).

Fig. 1. The effect of temperature on the diffusion coefficient of hydrogen (1) nitrogen (2), carbon (3) and elements of substitution (4).

Це зумовлює провідну роль водню в утворенні та розвитку дефектів кристалічної будови сталевих виробів при неконтрольованому його вмісті в сталі.

При зниженні температури сталі відбувається виділення водню через зміну його розчинності, особливо інтенсивне при кристалізації сталі та її алотропних перетвореннях. При вмісті водню в сталі більше границі розчинності відбувається утворення молекул водню.

Розчинність водню в металі залежить від тиску газової фази, температури, чистоти металу, його структури, розміру зерна і характеру розподілу дефектів.

Розчинність водню в рідкому залізі при $P=0,1$ МПа в залежності від температури виражається наступним рівнянням (рис. 2):

$$\lg H_l = -464,82/t + 0,5344, \dots\dots\dots(1)$$

де Н – водень, мас. %, t-температура, °C.

При охолодженні нижче температури 1539 °C розплав заліза затвердіває з формуванням δ-заліза (δ-Fe), що існує при охолодженні до 1392 °C. Розчинність водню в δ-Fe змінюється відповідно до наступної залежності (рис. 2):

$$\lg H_{\delta-Fe} = -1,51/t + 0,0017, \dots\dots\dots(2).$$

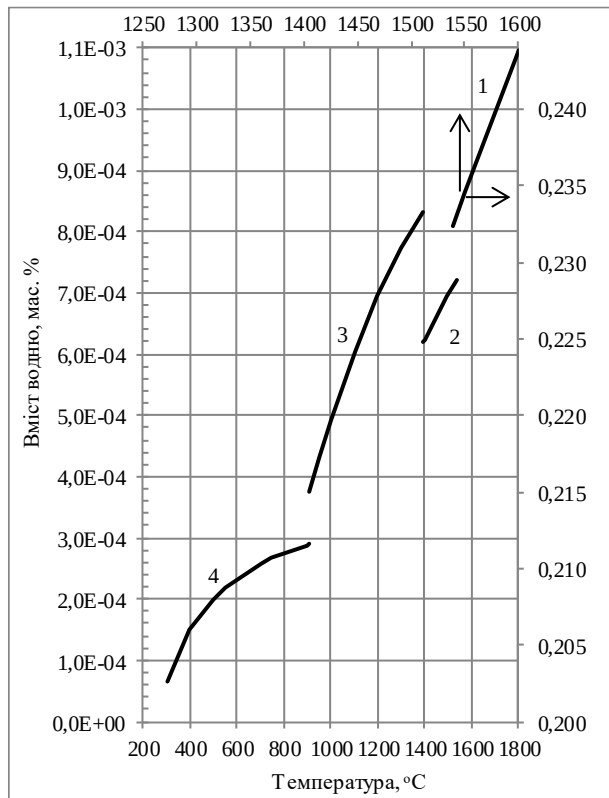


Рис. 2. Вплив температури на розчинність водню в рідкому залізі (1), δ-Fe (2), γ-Fe (3) та α-Fe (4) при тиску P=0,1 МПа.

Fig. 2. The effect of temperature on the solubility of hydrogen in liquid iron (1), δ-Fe (2), γ-Fe (3) and α-Fe (4) at pressure P=0.1 MPa.

При 1392 °C у зв'язку із перетворенням δ-Fe → γ-Fe розчинність водню в залізі змінюється та характеризується рівнянням

$$\lg H_{\gamma-Fe} = -1,21/t - 0,0017, \dots\dots\dots(3).$$

При охолодженні нижче температури 911 °C відбувається γ-Fe → α-Fe перетворення та розчинність водню в α-Fe описується наступним рівнянням (рис. 2).

$$\lg H_{\alpha-Fe} = -0,1005/t + 0,0004, \dots\dots\dots(4).$$

У роботі [4] показано, що в системі залізо-водень спостерігається декілька типів реакцій водень - метал. Газоевтектична реакція з утворенням із рідини δ-Fe фази і газових пор наповнених воднем протікає при 1532,8 °C. Інтервал кристалізації сплавів заліза з воднем 2°C. При 1401°C спостерігається газоперетектоїдна реакція δ-Fe + H₂ → γ, а при 909,3 °C – газоевтектична реакція γ → α + H₂. На границі розділу фаз формується зона, що пересичена воднем. Рух цієї зони приводить до інтенсивної деформації твердого заліза, що утворює умови для

формування дефектів кристалічної будови та руйнування.

Схема енергетичного стану системи Fe-H при взаємодії заліза з воднем (а) і форма кластера водню (б), який утворюється в залізі під дією напруги σ наведені на рис. 3.

Адсорбований атом r – типу це атом водню, який розміщений не всередині електронної хмари металу. Природа зв'язку такого атома з поверхнею металу, аналогічна звичайному ковалентному зв'язку. Атоми в стані r відштовхуються один від одного на початковій стадії адсорбції.

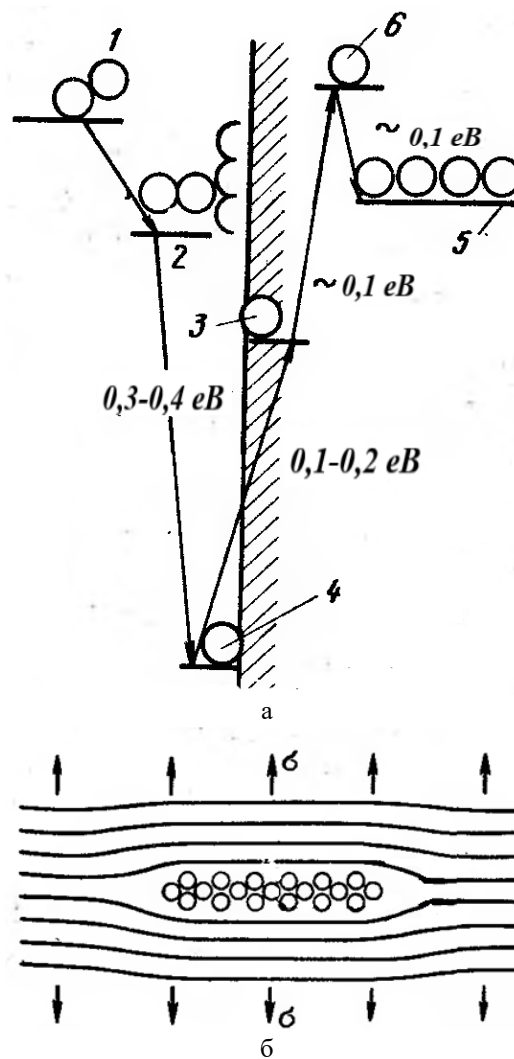


Рис. 3. Схема енергетичного стану системи Fe-H при взаємодії заліза з воднем (а) і форма кластера водню (б), який утворюється в залізі під дією напруги σ [5]: 1 – молекула водню; 2 – адсорбована молекула водню; 3 – адсорбований атом s-типу; 4 – адсорбований атом r-типу; 5 – кластер водню; 6 – атом водню у міжвузлі.

Fig. 3. A diagram of the energy state of the system Fe-H in the interaction of iron with hydrogen (a) and the shape of the cluster of hydrogen (b), which is formed in the gland under the tension.

Адсорбований атом s-типу, це атом водню розчинений в металі та дисоційований на протон і електрон в зоні провідності. S – атоми, це атоми, що

впроваджені в електронну хмару, та вони переважають на більш пізніших стадіях адсорбції.

Таблиця 1. Класифікація місць накопичення (колекторів) водню на дефектах кристалічної будови заліза та сталі [5].

Table 1. Classification of storage locations (reservoirs) of hydrogen at defects of the crystal structure of iron and steel [5].

Клас дефекту	Природа дефекту	Розміри	Місця накопичення водню	Енергія зв'язку, eV
Точкові	Атоми заміщення	Декілька між-атомних площин	Ni, Mn, Cr	0,08-0,1
			Ti	0,27
	Атоми впровадження		C	0,03
			N	> 0,13
Лінійні	Ядро дислокації	0,06 нм	Ядро змішаної дислокації	0,61
	Крайові дислокації	3 нм	Пружне поле	0,10-0,47
	Гвинтові дислокації	0,06 нм	Ядро	0,21-0,31
	Дислокаційні порогови	-	Пороги	-
Двомірні	Між зеренні границі	3 нм	Середня границя	0,27
			Висококутова границя	0,55-0,61
	Між фазні границі	Діаметр частинки	TiC (некогерентна)	0,8-0,98
	Когерентні границі		Інтерметаліди	0,4
	Двійникові границі	Декілька міжатомних площин	-	-
Внутрішні вільні поверхні	Адсорбований шар	Поверхня	-	
Об'ємні	Області об'ємного розтягу	Розмір областей	Метал на поверхні мікротріщин	0,26 — 0,43
			Мартенситний кристал	
	Скупчення дислокацій	Розмір скупчень	Скупчення	0,373
	Пори та мікротріщини	Розмір пор чи тріщин	Об'єм пор і мікротріщин	-

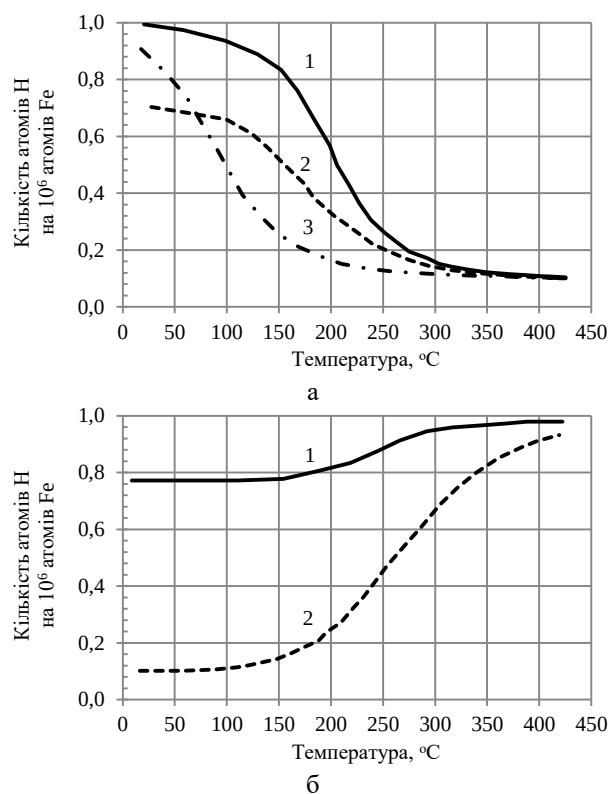


Рис. 4. Вплив температури відпуску на концентрацію водню в колекторах (а) та матриці (б) заліза загартованого від 427 °С: а (крива 1); б (крива 1) – густина колекторів водню $9 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$; а (криві 2, 3); б (крива 2) – густина колекторів водню 10^{17} см^{-3} ; а (криві 1, 2); б – замкнута система (обмін атомами водню між зовнішнім середовищем і металом відсутній); а (крива 3) – відкрита система (вільна взаємодія водню, що знаходиться у металі, з зовнішнім середовищем).

Fig. 4. The influence of the tempering temperature of the hydrogen concentration in reservoirs (a) and matrix (b) iron tempered 427 °C.

Водень, адсорбований металом, може розчинятися в металі, сегрегувати на дефектах кристалічної будови, адсорбуватися на поверхні мікронерівностей і частинках вторинних фаз, накопичуватися в мікропорах у молекулярній формі, утворювати гідриди з основним металом, вступати в реакцію з легуючими елементами і вторинними фазами. Між воднем, який знаходиться в різних станах, існує динамічна рівновага.

Класифікація місць накопичення (колекторів) водню в металах, тобто ділянок металу, у яких атоми водню мають понижено вільну енергію в порівнянні з нормальними їх позиціями у кристалічній ґратці, показана в таблиці 1.

Розрахунки показують, що із збільшенням температури металу і кількості колекторів, вміст водню в них зменшується (рис. 4а), при цьому спостерігається збільшення кількості водню в матриці (рис. 4б).

По часу утворення в сталях колектори водню розподіляються на три групи [6]:

1. Колектори, що утворюються при виплавки та кристалізації сталі. До них відносяться сульфідні та

оксиди, а також інші неметалеві включення, газові пори; усадочні дефекти та гарячі кристалізаційні тріщини.

2. Холодні тріщини, які утворюються протягом обробки тиском або термічної обробки.

3. Тріщини – колектори водню для нових тріщин, які утворилися шляхом поєднання мікротріщин і є колекторами водню та прискорюють утворення нових мікротріщин, тобто процес зростання крихких всерединізеренних ділянок.

У виробничих умовах по кількості випадків неметалеві включення (одиничні та скупчені), як колектор водню, займають перше місце, а на другому місці – усадочні дефекти.

Насичення металу воднем, наприклад, при взаємодії пару води з розплавленою сталлю, супроводжується виділенням розчиненого водню в молекулярній формі в процесі охолодження виливка, зменшення вільної енергії системи та утворенням умов для зародження та росту тріщин. Внутрішні та зовнішні напруження інтенсифікують процес тріщиноутворення (рис. 5).

Наведені на рис. 5 дані показують, що при відсутності напруження (крива 1) формування кластерів водню в залізі ускладнено, оскільки потрібно подолати великий потенційний бар'єр у розмірі 4,3 еВ, при критичному радіусу кластеру $\approx 11,6 \cdot 10^{-8}$ см.

При напруженні 1000 МПа енергія активації процесу розвитку кластера знижується до 0,8 еВ (крива 2), а критичний розмір до $7,8 \cdot 10^{-8}$ см. При напрузі 2000 МПа (крива 3) кластер може розвиватися безперешкодно, тому що енергія активації практично відсутня.

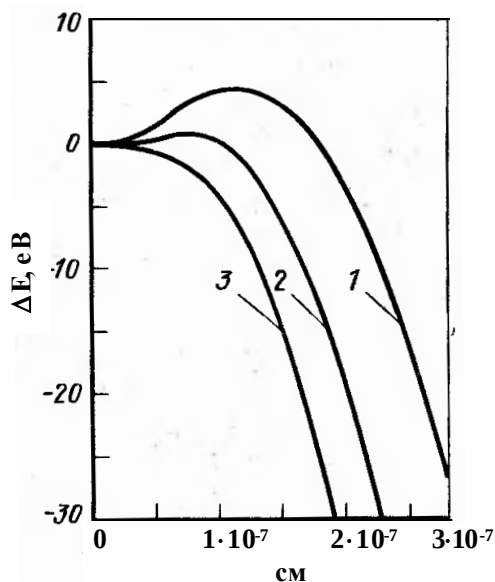


Рис. 5. Вплив напруження на вільну енергію системи Fe-H та критичний радіус кластера водню [5]: 1 – напруження (σ) немає; 2 – $\sigma = 1000$ МПа; 3 – $\sigma = 2000$ МПа.

Fig. 5. Effect of voltage on the free energy of the system Fe-H and the critical cluster radius of hydrogen [5].

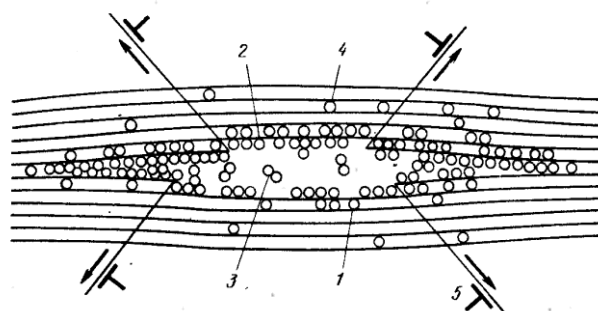


Рис. 6. Схема розміщення адсорбованих атомів водню s – (1) і r – (2) типу та молекул водню (3) при розкритті тріщини в залізі [5], 4 – між вузлові атоми водню; 5 – дислокації.

Fig. 6. The layout of adsorbed hydrogen atoms s – (1) and r – (2) type and hydrogen molecules (3) the crack opening in the gland [5], 4 – between the nodal atoms of hydrogen, 5 – deployment.

У матеріалі без напружень кластери водню формуються на дислокаціях. Концентрація водню на дислокаціях настільки велика, що виникають гідридоподібні комплекси залізо-водень. Кластери водню можуть утворюватися в скупченні дислокацій, що транспортують атоми водню.

При збільшенні напруги кластер розвивається в мікротріщину за схемою, що наведена на рис. 6. Спочатку формується структура, що відповідає адсорбованим атомам s-типу. Мінімальна енергія атомів водню реалізується у випадку коли електронні хмари цих атомів лежать всередині решітки металу поверхневого шару. Наступним кроком є перехід атомів водню в r-стан, в якому електронні хмари атомів водню розташовані поза ґратками металу та розкриття тріщина. частково Атоми водню надходять у порожнину тріщини, рекомбінують в молекули, створюють в ній внутрішній тиск і утворюють умови для розкриття тріщини.

Розповсюдження тріщини починається з накопчення водню та формування водневого кластеру перед тріщиною, гирло якої може потім генерувати дислокації і сприяти збільшенню радіуса вершини тріщини (рис. 7).

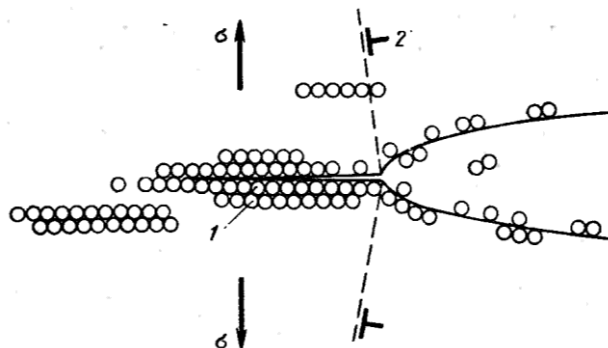


Рис. 7. Механізм розповсюдження тріщини під дією нормального напруження (σ) за участі кластеру водню (1) та дислокацій (2) [5].

Fig. 7. The mechanism of crack propagation under the action of normal stresses (σ) with the participation of the cluster of hydrogen (1) and dislocations (2) [5].

Тріщини, що виникають в наслідок дії водню називають флокенами (нім. Flocken – пластівці). На протравлених шліфах флокени виявляються в виді тонких тріщин, а на зламі загартованих зразків – овальних кристалічних плям срібно-білого кольору в виді пластівців (рис. 8).

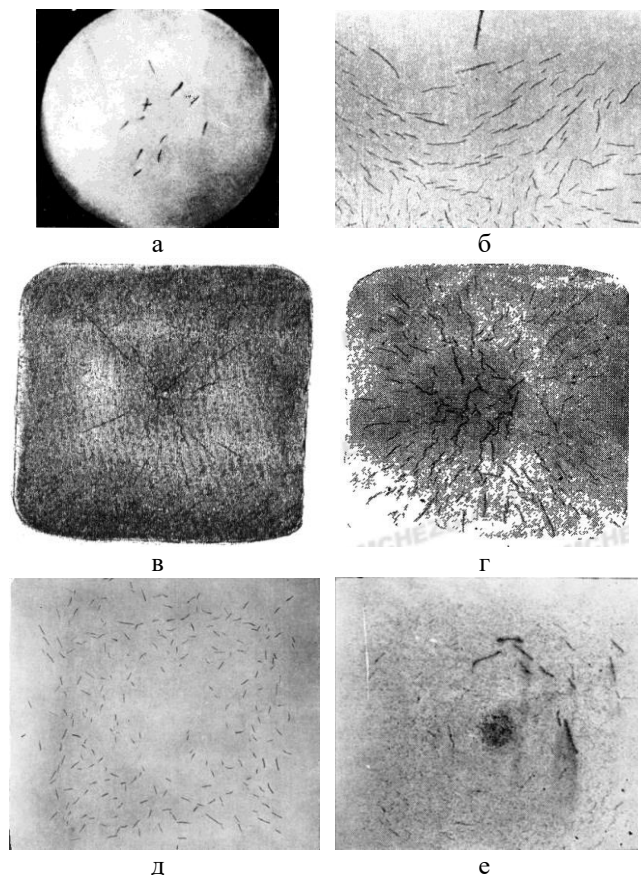


Рис. 8. Флокени на макрошліфах вирізаних із різних ділянок сталевих виробів.

Fig. 8. The flocs on macrostep cut from different areas of the steel products.

Флокени є небезпечними дефектами, оскільки їх присутність в сталі призводить до зниження механічних властивостей і інтенсифікації процесу руйнування.

Флокени виникають при високій швидкості охолодження заготовки після гарячої деформації або в процесі термічної обробки, коли не достатньо часу для виходу водню з металу.

Найбільшу схильність до ураження флокенами мають вуглецеві сталі і леговані сталі мартенситного та перлітного класів.

Основною причиною утворення флокенів являється присутність в сталі підвищеної кількості водню в зонах напружень розтягування, які виникають в процесі структурних перетворень сталі, пластичній деформації, нерівномірному охолодженні, в місцях концентрації напружень, дефектах кристалічної решітки, границях зерен, неметалевих включеннях і ліквацийних неоднорідностях.

При експлуатації виробу, молекулярний водень, який знаходиться в колекторах, а також експлуатаційні циклічні та динамічні напруження,

можуть призвести до утворення експлуатаційних флокенів і зародження на них тріщин в процесі експлуатації.

Мета досліджень

Метою даної роботи є визначення умов утворення воднем флокенів в сталі та розробка методів отримання високоякісних сталевих виробів без флокенів.

Результати досліджень

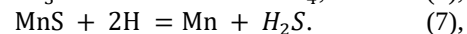
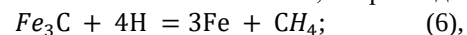
Аналіз результатів досліджень і публікацій показав, що видалення водню з сталі до рівня при якому флокени не утворюються можливо тільки у випадку, коли тиск водню в металі буде більше ніж зовнішнього середовища (рис. 9).

Результати розрахунків показують, що тільки при вмісті нижче 0,001% водень знаходиться в молекулярному стані, та не буде виділятися в виді газових бульбашок із рідкої сталі (рис. 9). Однак цього вмісту водню достатньо для того, щоб у твердому стані тиск виділення водню досягав значень порівнянних з границю міцності та текучості сталі, що сприяє утворенню тріщин в сталі. При вмісті водню більше 0,001%, тиск його виділення інтенсивно зростає поблизу інтервалу затвердіння, що супроводжується «водневим кипінням» сталі, яке уражає виливок або зливки газовими раковинами.

Тільки дуже низька концентрація водню (< 0,001%) і максимально можлива повна дифузія і десорбція водню в атомарному стані при охолодженні можуть захистити виливок або зливку від утворення газових раковин, локальних напружень і тріщин.

Атомарний водень в твердій сталі при зростанні температури або часу витримки виробу при термічній обробці дифундує на вільну поверхню. При контакті з колектором, атомарний водень може асоціюватися в молекули, що передбачає завершення дифузії. Дифузія додаткових атомів водню в цей колектор і їх асоціація в молекули приводить до збільшення локального тиску до 1000–1800 МПа, що може перевищувати границю міцності сталі, викликати додаткові напруження та утворення локальних тріщин.

Формування молекулярного газу із атомарного водню можливе також в результаті реакції з карбідами та неметалевими включеннями, наприклад:



Утворенні молекулярні водневі сполуки, так як і молекулярний водень, не розчиняються в металі та не дифундують. Це приводить до розвитку в середині металу великих напружень та їх релаксації шляхом руйнування металу, тобто утворення тріщин.

Тиск водню досягає максимуму біля 200 °С, а інтервал 400–200 °С являється небезпечним для утворення флокенів.

Десорбція атомарного водню може протікати при нормальній температурі, однак для цього процесу

потребується дуже довгий час. Швидкість процесу десорбції атомарного водню значно збільшується при нагріві сталі до 200–300 °С внаслідок зростання дифузійної рухливості водню. Ефективність десорбції водню зростає при витримці протягом від 6 до 20 год.

Аналіз впливу легування на флокенестійкість сталі показує, що зі збільшенням ступеня легування процес утворення флокенів сповільнюється. Наприклад, при вмісті водню в кількості 0,00027% мас. умови для утворення флокенів в сталі 35 реалізуються при температурі 250 °С, а в сталі 38ХНЗМФА – 190 °С (рис. 9).

В литому металі завдяки великій кількості пор в виливку, скупчення молекулярного водню розподіляється і його тиск в локальних ділянках

зменшується. В поковках, через ущільнення металу, тиск водню більше ніж в виливках.

Вуглецеві, низьколеговані та середньолеговані сталі розподіляються за флокеночутливістю на наступні 4 групи (табл. 2):

1 група – низько флокенечутливі вуглецеві і леговані марганцем і кремнієм сталі, з вмістом вуглецю до 0,35%;

2 група – малофлокенечутливі вуглецеві і леговані марганцем і кремнієм сталі, з вмістом вуглецю більше 0,35%;

3 група – хромисті та хромомолибденові флокеночутливі сталі;

4 група – хромонікельвольфрамові та хромонікельмолибденові сталі підвищеної флокеночутливості.

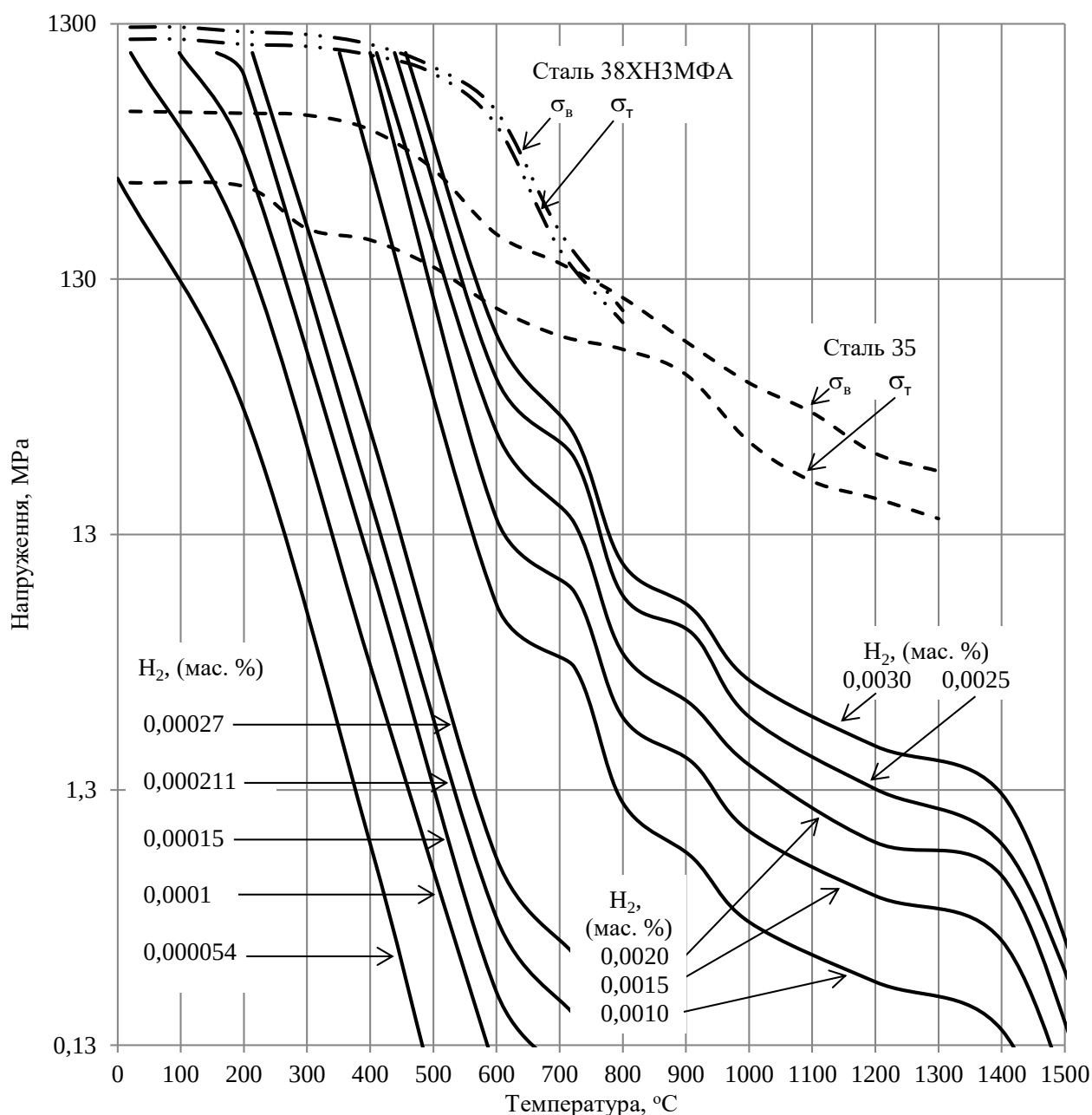


Рис. 9. Тиск виділення водню при охолодженні сталі із рідкого стану та межа міцності (σ_B) і текучості (σ_T) сталей 35 і 38ХНЗМФА.

Fig. 9. The pressure of hydrogen during cooling of steel from the liquid state, and tensile strength (σ_B) and yield strength (σ_T) steels 35 and 38ХНЗМФА.

Таблиця 2. Розподіл сталей за флокеночутливістю.

Table 2. The distribution of the steels according placentula.

Група	Клас сталі	Марка сталі
I	Вуглецеві	35
II	Низьколеговані	40, 40ХА
III		35ХНМА, 35ХМ, 34ХМА, 25ХМФА
IV	Середньолеговані	35ХНЗМА, 20ХЗМВФА, 25ХНЗМФА, 35ХНЗМФА, 35ХН2М, 35Х2НЗМ, 25Х2Н4МФА, 27ХНЗМФА, 38ХНЗМФА

Найбільш ефективним методом запобігання утворення флокенів в сталі є термічна обробка. Антифлокена термічна обробка сталевих заготовок складається з їх охолодження після гарячої обробки тиском за певними режимами, спеціальної попередньої та кінцевої термічної обробки.

Антифлокена термічна обробка сталевих заготовок після гарячої обробки тиском.

Для попередження флокенів, охолодження після кування проводять по режимах, які забезпечують видалення та рівномірний розподіл водню.

Обробка заготовок з вуглецевих та низьколегованих сталей.

Результати дослідів показують, що заготовки із вуглецевих та низьколегованих сталей після гарячої обробки тиском потрібно охолоджувати на повітрі до 600–640 °С з наступною швидкістю ($V_{600-640}$, °С/год) (рис. 10):

$$V_{600-640} = 40,305 \exp(-0,0004d), R = 0,786, \quad (8)$$

де d – максимальний розмір поперечного перерізу заготовки, мм; R – коефіцієнт кореляції.

В залежності від максимального розміру поперечного перерізу заготовки витримують (τ , год) при температурі 600–640 °С у відповідності із наступною формулою:

$$\tau = 0,023d^{1,0661}, R = 0,999, \quad (9).$$

Після витримки при 600–640 °С поковки охолоджуються до 400 °С зі швидкістю (V_{400} , °С/год).

$$V_{400} = 80,241 \exp(-0,001d), R = 0,999, \quad (10),$$

а від 400 до 250 °С

$$V_{250} = 19,721 \exp(-0,0004d), R = 0,934, \quad (11)$$

Обробка заготовок з середньо легуваних сталей.

Середньолеговані сталі (IV група флокеночутливості) характеризуються більш високою стійкістю аустеніту, ніж вуглецеві та низьколеговані сталі. Швидкість дифузії водню в аустеніті значно нижче, ніж у фериті. Тому при охолодженні заготовок після гарячої обробки тиском утворюють умови для розпаду аустеніту, а потім ізотермічною витримкою забезпечують видалення водню. Найбільш повний і прискорений розпад аустеніту в цих сталях досягається переохолодженням до 280–300 °С і наступним нагрівом до 600–650 °С.

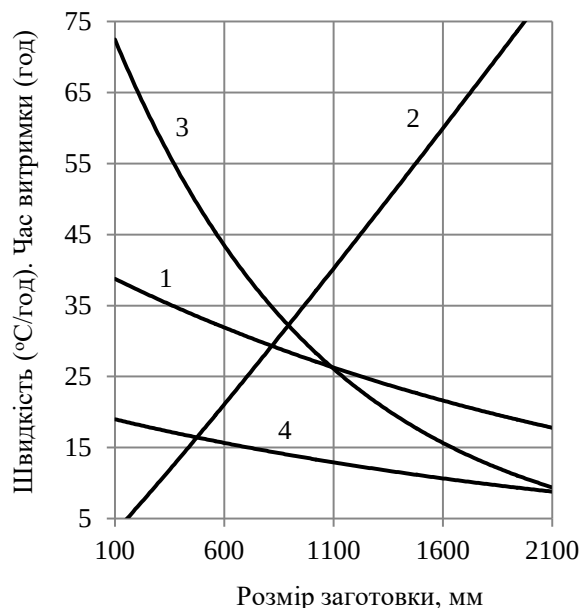


Рис. 10. Режими охолодження та витримки заготовок з вуглецевих та низьколегованих сталей після гарячої обробки тиском. 1 – швидкість охолодження заготовок на повітрі від температур закінчення гарячої обробки тиском до 600–640 °С; 2 – час витримки заготовок при 600–640 °С; 3 – швидкість охолодження заготовок з 600–640 °С до 400 °С; 4 – швидкість охолодження заготовок від 400 °С до 250 °С.

Fig. 10. Cooling and aging of billets of carbon and low-alloy steels after hot forming.

Аналіз результатів досліджень показав, що оптимальними режимами охолодження заготовок із середньолегованих сталей після гарячої обробки тиском є їх охолодження на повітрі до температури 600–640 °С, потім з певною швидкістю до 280–320 °С, витримка, нагрівання до 630–650 °С, витримка, охолодження з певною швидкістю до 400 °С, а потім до температури закінчення охолодження.

Розрахунками встановлено, що оптимальні параметри охолодження заготовок із середньолегованих сталей після гарячої обробки тиском визначаються наступними рівняннями:

1. Швидкість охолодження (°С/год) заготовок з 600–640 °С до 280–320 °С

$$V_{280-320} = 55,815 \exp(-0,0005d), R = 0,999, \quad (12)$$

2. Час витримки (год) при 280–320 °С

$$\tau = 1,2513d^{0,3123}, R = 0,999, \quad (13)$$

3. Швидкість нагрівання (°С/год) від 280–320 °С до 630–650 °С

$$V_{280-320}^{630-650} = 46,728 - 0,012d, R = 0,993, \quad (14)$$

4. Час витримки (год) при 630–650 °С

$$\tau = 8,1404d^{0,3717}, R = 0,999, \quad (15)$$

5. Швидкість охолодження (°С/год) заготовок з 630–650 °С до 400 °С

$$V_{400} = 55,965 \exp(-0,0004d), R = 0,999, \quad (16)$$

6. Температура закінчення охолодження (°С)

$$t_{\text{ко}} = 106,7 - 0,012d, R = 0,993, \quad (17)$$

7. Швидкість охолодження (°С/год) заготовок з 400 °С до температури закінчення процесу

$$V_{400-t_{ko}} = 27,557 \exp(-0,002d), R = 0,999, \quad (18)$$

Результати розрахунків наведені на рис. 11.

Попередня антифлокена термічна обробка сталевих заготовок.

В залежності від максимального розміру перерізу заготовок їх попередня термічна обробка складається з наступних етапів:

1. Нагрів від кінцевої температури антифлокеної обробки після кування (t_{ko}) до 650–670 °C зі швидкістю (°C/год)

$$V_{650-670} = 19,262 - 0,0055d, R = 0,977, \quad (19)$$

2. Витримка при 650–670 °C на протязі

$$\tau_{650-670} = 0,286d^{0,6527}, R = 0,997, \text{ год}; \quad (20)$$

3. Нагрів від 650 – 670 °C до температури t_{Ac3} сталі + (30–50 °C) із швидкістю (°C/год)

$$V_{t_{Ac3}} = 11,732 - 0,0035d, R = 0,975, \dots (21)$$

4. Витримка при t_{Ac3} + (30–50 °C) °C на протязі

$$\tau_{t_{Ac3}} = 0,0242d^{1,0106}, R = 0,993, \text{ год}; \quad (22)$$

та охолодження на повітрі від t_{Ac3} + (30–50 °C) °C до 200–250 °C;

5. Витримка при 200–250 °C за формулою (20).

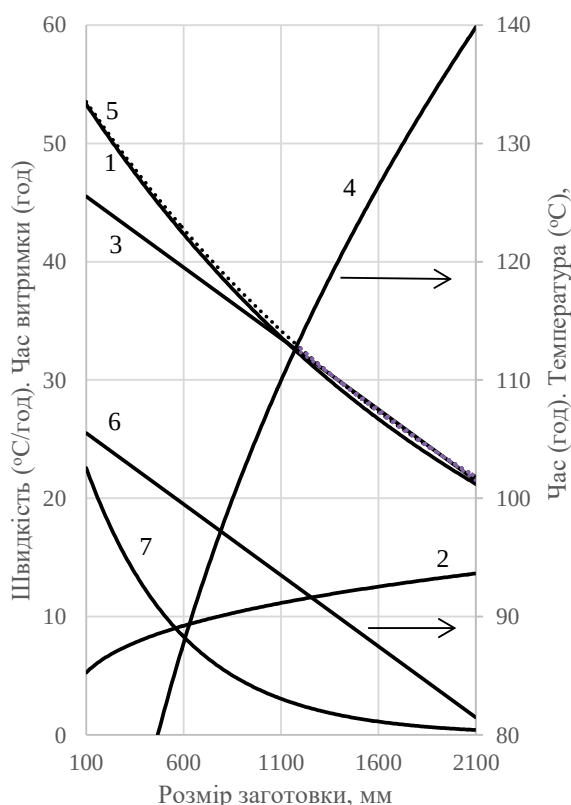


Рис. 11. Режими охолодження та витримки заготовок з середньолегованих сталей після гарячої обробки тиском. 1 – швидкість охолодження заготовок з 600–640 °C до 280–320 °C; 2 – час витримки при 280–320 °C; 3 – швидкість нагрівання від 280–320 °C до 630–650 °C; 4 – час витримки при 630–650 °C; 5 – швидкість охолодження заготовок з 630–650 °C до 400 °C; 6 – температура закінчення охолодження; 7 – швидкість охолодження заготовок з 400 °C до температури закінчення процесу.

Fig. 11. Cooling and aging of workpieces made of medium alloy steels after hot forming.

6. Нагрів від температури 200–250 °C до температури більше температури роботи заготовки t_{pp} + (30–50 °C), але менше температури t_{Ac1} сталі зі швидкістю відповідно до рівняння (19).

7. Витримка при температурі більше температури роботи заготовки t_{pp} + (30–50 °C), але менше температури t_{Ac1} сталі протягом

$$\tau_{(t_{pp} < t_{Ac1})} = 2,273d^{0,4895}, R = 0,998, \text{ год}; \quad (23)$$

та наступне охолодження на повітрі до 200 °C.

Витримка при 200 °C за формулою (20).

Повторний нагрів від температури 200 °C до температури більше температури роботи заготовки t_{pp} + (30–50 °C), але менше температури t_{Ac1} сталі із швидкістю розрахованою за формулою (19).

Повторна витримка при температурі більше температури роботи заготовки t_{pp} + (30–50 °C), але менше температури t_{Ac1} сталі, за формулою (23) та охолодження на повітрі до 200 °C.

Результати розрахунків за формулами (19)–(23) наведені на рис. 12.

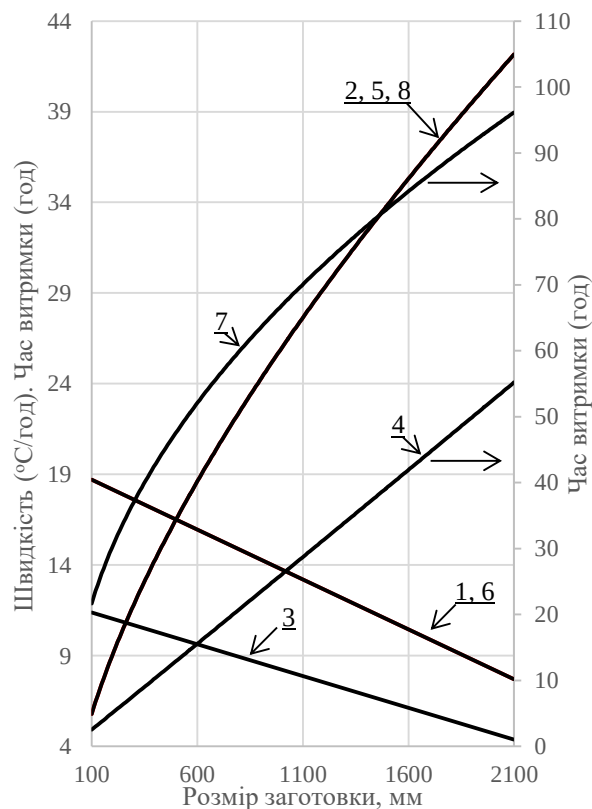


Рис. 12. Режими попередньої антифлокеної термічної обробки сталевих заготовок. 1, 6 – швидкість нагрівання від кінцевої температури антифлокеної обробки після кування (t_{ko}) до 650–670 °C та від температури 200–250 °C до температури більше температури роботи заготовки t_{pp} + (30–50 °C), але менше температури t_{Ac1} сталі, відповідно; 2, 5, 8 – витримка при 650–670 °C, 200–250 °C та 200 °C, відповідно; 3 – швидкість нагрівання від 650–670 °C до температури t_{Ac3} сталі + (30–50 °C); 4 – витримка при t_{Ac3} + (30–50 °C) °C; 7 – витримка при температурі більше температури роботи заготовки t_{pp} + (30–50 °C), але менше температури t_{Ac1} сталі.

Fig. 12. The modes of the previous antifrogen heat treatment of steel billets.

Кінцева термічна обробка сталевих заготовок

Кінцева термічна обробка заготовок включає наступні операції:

1. Нагрів від 200 °C до 630–650 °C зі швидкістю $V_{630-650} = 19,262 - 0,0055d$, $R = 0,977$, (24)

2. Витримка при 630–650 °C на протязі $\tau_{630-650} = 0,286d^{0,6527}$, $R = 0,997$, год; (25)

3. Нагрів від 630–650 °C до температури t_{Ac3} сталі + (30–50 °C) зі швидкістю

$$V_{t_{Ac3}} = 73,127 - 0,0182d, R = 0,982, \quad (26)$$

4. Витримка при $t_{Ac3} + (30-50)$ °C на протязі $\tau_{t_{Ac3}} = 0,0239d^{1,0122}$, $R = 0,993$, год; (27)

5. Охолодження від $t_{Ac3} + (30-50)$ °C до 650 °C зі швидкістю

$$V_{t_{Ac3}-650} = 65,044 \exp(-0,0009d), R = 0,934, \quad (28)$$

6. Охолодження від 650 °C до 240–280 °C зі швидкістю

$$V_{650-240} = 87,278 - 0,1307d + 7 \cdot 10^{-5}d^2 - 1 \cdot 10^{-8}d^3, R = 0,999, \quad (29)$$

7. Витримка при 240–280 °C за формулою (25).

8. Нагрів від температури 240–280 °C до температури 640–660 °C зі швидкістю

$$V_{240-660} = 48,893 - 0,0156d, R = 0,971, \quad (30)$$

9. Витримка при температурі 640–660 °C на протязі

$$\tau_{640-660} = 2,273d^{0,4895}, R = 0,998, \text{ год}; \quad (31)$$

10. Охолодження від 640–660 °C до 200 °C зі швидкістю розрахованою за формулою (29).

Результати розрахунків за формулами (24)–(31) наведені на рис. 13.

Висновки

1. В результаті проведених досліджень з метою підвищення якості сталевих виробів проаналізовано закономірності розчинення водню в розплавах залізовуглецевих сплавів і виділення при їх кристалізації та фазових перетвореннях.

2. Наведено механізм накопичення водню на дефектах кристалічної будови металів і сплавів та утворення флокенів, а також напрямки запобігання негативного впливу водню.

3. Розроблені режими термічної обробки заготовок, що містять водень, які дозволяють отримати якісні сталеві вироби без флокенів.

Список літератури

1. Явойский В. И., Блиznyukov С. А., Вишкарёв А. Ф. Включения и газы в сталях. Москва. Металлургия, 1979. 272 с.
2. Аверин В. В., Ревякин А. В., Федорченко В. И., Козина Л. Н. Азот в металлах. Москва. Металлургия, 1976. 224 с.
3. Андронов В. Н., Чекин Б. В., Нестеренко С. В. Жидкие металлы и шлаки. Справочник. Москва. Металлургия, 1977. 128 с.
4. Банных О. А., Будберг П. Б., Алисова С. П. Диаграммы состояния двойных и многокомпонентных систем на основе железа: Справ. изд. Москва. Металлургия. 1986. 440 с.
5. Колачев Б. А. Водородная хрупкость металлов. Москва. Металлургия, 1985. 216 с.
6. Дурынин В. А., Солнцев Ю. П. Исследование и совершенствование технологии производства с целью повышения ресурса стальных изделий из крупных поковок ответственного назначения. Санкт-Петербург. Химиздат, 2006. 272 с.

References

1. Yavoisky V. I., Bliznyukov S. A., Vishkarev A. F. (1979). Inclusions and gases in steels. Moscow. Metallurgy.
2. Averin V. V., Revyakin A. V., Fedorchenko V. I., Kozina L. N. (1976). Nitrogen in metals. Moscow. Metallurgy.
3. Andronov V. N., Chekin B. V., Nesterenko S. V. (1977). Liquid metals and slags. Handbook. Moscow. Metallurgy.
4. Banny O. A., Budberg P. B., Alisova S. P. (1986). State diagrams of binary and multicomponent iron-based systems: Ref. ed. Moscow. Metallurgy.

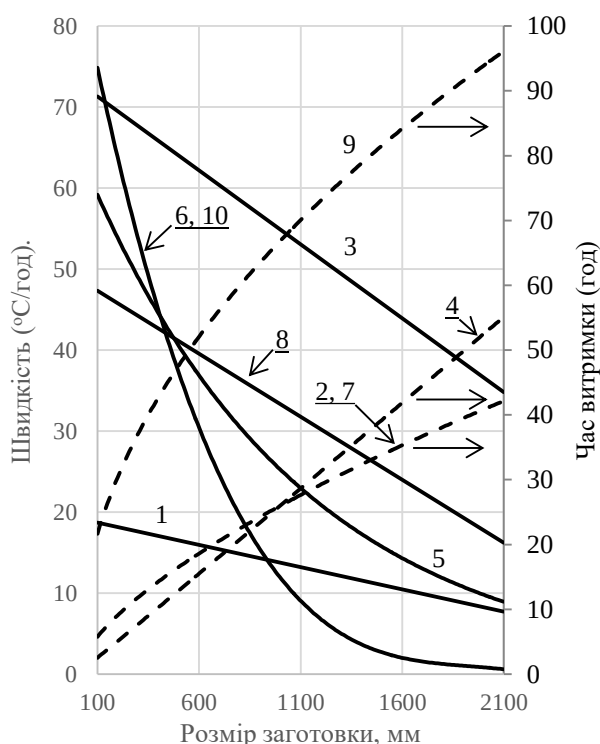


Рис. 13. Режими кінцевої термічної обробки сталевих заготовок. 1 – нагрів від 200 °C до 630–650 °C; 2, 7 – витримка при 630–650 °C та 240–280 °C, відповідно; 3 – нагрів від 630–650 °C до температури t_{Ac3} сталі + (30–50 °C); 4 – витримка при $t_{Ac3} + (30-50)$ °C; 5 – охолодження від $t_{Ac3} + (30-50)$ °C до 650 °C; 6, 10 – охолодження від 650 °C до 240–280 °C та від 640–660 °C до 200 °C, відповідно; 8 – нагрів від температури 240–280 °C до температури 640–660 °C; 9 – витримка при температурі 640–660 °C.

Fig. 13. Modes final heat treatment of steel billets.

5. Kolachev B. A. (1985). Hydrogen fragility of metals. Moscow. Metallurgy.

6. Durynin V. A., Solntsev Yu. P. (2006). Research and improvement of production technology with the aim of increasing the resource of steel products from large forgings of responsible purpose. Sanct-Peterburg: Himizdat.

ВЛИЯНИЕ ВОДОРОДА НА КАЧЕСТВО СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Е. Г. Афтанділянц

Аннотация. С целью повышения качества стальных изделий проанализированы закономерности растворения водорода в расплавах железоуглеродистых сплавов и выделения при их кристаллизации и фазовых превращениях. Приведены механизм накопления водорода на дефектах кристаллического строения металлов и сплавов, образования и распространения трещин под действием нормального напряжения при участии кластера водорода и дислокаций, а также направления предотвращения негативного влияния водорода. Установлено, что основной причиной образования флокенов является присутствие в стали повышенного количества водорода в зонах растягивающих напряжений, которые возникают в процессе структурных преобразований стали, пластической деформации, неравномерном охлаждении, в местах концентрации напряжений, дефектах кристаллической решетки, границах зерен, неметаллических включениях и ликвационных неоднородностях. На основе установленных закономерностей разработаны режимы охлаждения и выдержки заготовок из углеродистых и низколегированных сталей после горячей обработки давлением, а также режимы предварительной и конечной антифлокенной термической обработки стальных заготовок, содержащих водород, которые позволяют получить качественные стальные изделия без флокенов.

Ключевые слова: водород, сталь, флокены, напряжение, термическая обработка, температура, нагрев, охлаждение, выдержка.

HYDROGEN INFLUENCE OF STEEL PRODUCT QUALITY

Ye. G. Aftandiliants

Abstract. In order to improve the quality of steel products, patterns of hydrogen dissolution in molten iron-carbon alloys and isolation during their crystallization and phase transformations are analyzed. The mechanism of hydrogen accumulation on the defects of the crystal structure of metals and alloys, the formation and propagation of cracks under the action of normal stress with the participation of a hydrogen cluster and dislocations, as well as the directions of preventing the negative effect of hydrogen are given. It has been established that the main reason for the formation of flocs is the presence of increased amounts of hydrogen in steel in tensile stress zones that occur during steel structural transformations, plastic deformation, uneven cooling,

stress concentration sites, lattice defects, grain boundaries, non-metallic inclusions and segregation non homogeneities. Based on the established regularities, the modes of cooling and holding of blanks from carbon and low-alloyed steels after hot working by pressure, as well as preliminary and final anti-flocking heat treatment of steel blanks containing hydrogen, which allow to obtain high-quality steel products without flocs, are developed.

Key words: hydrogen, steel, flocs, stress, heat treatment, temperature, heating, cooling, exposure.

Є. Г. Афтанділянц ORCID 0000-0002-0317-7683.

УДК 631.51.014

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОПЕРЕЧНОЇ НЕРІВНОСТІ СМУГОВОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

Г. А. Голуб¹, А. В. Дворник²

¹Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

²Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України «Ніжинський агротехнічний інститут», Україна.

Кореспонденція авторів: gagolub@ukr.net, a.dvornyk@ukr.net.

Історія статті: отримано – квітень 2019, акцептовано – червень 2019.

Бібл. 4, рис. 12, табл. 1.

Анотація. Для виконання смугового обробітку ґрунту на кожній секції агрегату закріплені робочі органи, призначені для зміни фізико-механічного складу ґрунту. Зміна параметрів розміщення робочих органів зумовлюється досягненням мети – відповідної якості обробітку ґрунту із середньою поперечною нерівністю обробленої смужки в межах до 15 % відповідно до методу видовження шнура. Представлено результати експериментальних досліджень залежності поперечної нерівності обробленої смужки від зміни взаємного розміщення переднього диска, долота та бокових відрізних дисків секції агрегату для смугового обробітку ґрунту.

За результатами візуальної оцінки якості обробітку ґрунту та вимірювань дослідних смужок визначено, що оптимальна відстань від осі переднього диска до долота є 55 см. Підтверджено результати попередніх досліджень, що відстань від долота до осі відрізних дисків повинна бути 50 см. Глибина обробітку долотом від 20 см до 27 см. Подальші дослідження потребують детальнішого вивчення впливу на поперечну нерівність зміни конфігурації розміщення робочих органів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту, а також визначення енергетичних показників роботи, таких як витрата палива.

Ключові слова: передній диск, долото, відрізний боковий диск, якість обробітку, глибина обробітку, відстань від долота до осі відрізних дисків, відстань від осі переднього диска до долота.

Постановка проблеми

Якість підготовки ґрунту відіграє важливу роль на формування насінневого ложа, сходи рослин та отримання урожаю. Саме визначення поперечної нерівності оброблених смужок при смуговому обробітку є одним з основних якісних показників. Дослідження зміни параметрів розміщення робочих органів на секції агрегату для смугового обробітку ґрунту є важливим, тому що відхилення одного з параметрів може суттєво впливати на стан поперечної нерівності.

Аналіз останніх досліджень

Питання розміщення робочих органів і впливу їх на ґрунт присвячені дослідження А. С. Кушнар'ова, П. В. Сисоліна, А. М. Панченка, В. О. Дубровіна, В. І. Кравчука, М. Л. Новохацького, Л. П. Шустіка, А. І. Мороза та інших. Аналіз наукових досліджень агрегатів для смугового обробітку ґрунту, дозволив зробити висновок, що для забезпечення якісно обробленої смужки необхідно здійснювати зміну конструктивних та технологічних параметрів взаємного розміщення робочих органів на секції агрегату [1, 2, 3, 4].

Мета досліджень

Дослідити залежність поперечної нерівності обробленої смужки від зміни взаємного розміщення переднього диска, глибини обробітку долотом та бокових відрізних дисків секції агрегату для смугового обробітку ґрунту.

Результати досліджень

Для проведення досліджень використано загальну схему (рис. 1: 1 – передній диск; 2 – долото; 3 – відрізи бокових дисків; 4 – прикочуючий коток. H – глибина обробітку долотом; L – відстань від осі переднього диска до долота; C – відстань від долота до осі відрізних дисків) розміщення робочих органів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту.

Експериментальні дослідження проводилися на полі із стернею після озимої пшениці без соломи, у господарстві «Іскра» с. Талалаївка, Ніжинського району в Чернігівській області. Ґрунт важкий ущільнений суглинок сформований відповідними погодними умовами: температурою 18-24°C вдень, 10-16°C вночі, без опадів.

Для дослідження залежності поперечної нерівності обробленої смужки від зміни взаємного розміщення переднього розрізного диска, глибини обробітку долотом та бокових відрізних дисків секції агрегату для смугового обробітку ґрунту розроблено

експериментальну установку (рис. 2): трактор Т-40 із трикутною навіскою та секція агрегату для смугового обробітку ґрунту. Ширину між боковими відрізними дисками, відповідно до даних попередніх досліджень, приймаємо сталою, рівною 30 см.

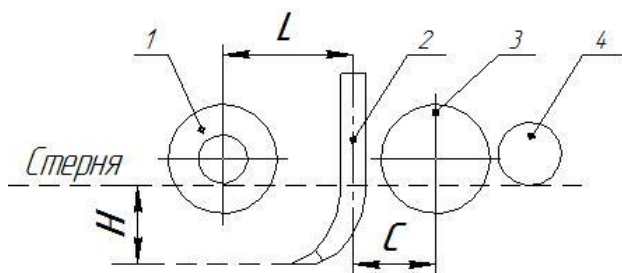


Рис. 1. Загальна схема розміщення робочих органів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту. Джерело. Розроблено автором.

Fig. 1. General scheme of placing working bodies of section of assembly for expanded cultivation of soil.

Для дослідження вибрано рівномірну, без схилів та долинок ділянку поля розміром 30 м×140 м. Довжина гонів розділялася на три частини: зона для розгону трактора і тримання усталеного рівномірного режиму роботи; досліджувана частина довжиною 100 м; та зона гальмування. Агрегат починав рух із однієї сторони і рухався з рівномірною середньою швидкістю від 3 до 3,2 км/год.

Основним визначальним показником якості роботи було обрано поперечну нерівність, середнє значення якої повинно становити не більше 15 %, а максимальне відхилення одного із замірів не повинно перевищувати 25 %. Поперечну нерівність поверхні смужки вимірювали методом видовження шнура при копіюванні рельєфу ґрунту [1].

Адекватність моделей експериментальним даним визначали за критерієм Фішера, статистичну значущість коефіцієнтів рівнянь регресії – за критерієм Ст'юдента. Аналіз отриманих математичних моделей проводився із використанням методу побудови поверхонь відгуку.

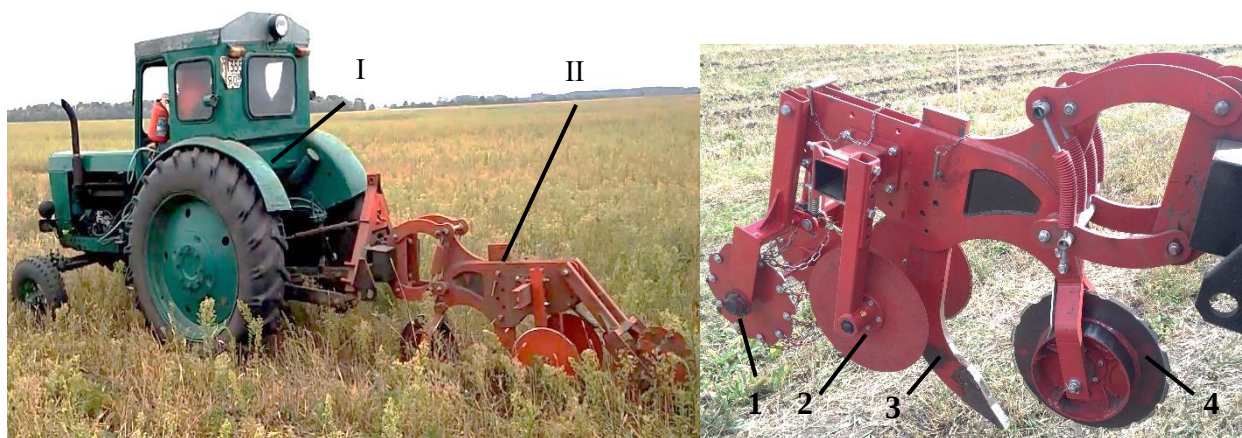


Рис. 2. Експериментальна установка. Джерело: Розроблено автором.

Fig. 2. Experimental setup.

Таблиця 1. План експерименту за методом Бокса-Бенкіна.

Table 1. Plan of experiment according to method of Box-Banka.

№ досліду	Глибина обробітку долотом H		Відстань від осі переднього диска до долота L		Відстань від долота до осі відрізнних дисків C		Фактична поперечна нерівність B_{ϕ} , %		
	код	см	код	см	код	см	Y1	Y2	Y3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	+1	27	+1	60	0	50	7,69	7,89	8,82
2	-1	13	-1	50	0	50	20,00	27,03	27,78
3	+1	27	-1	50	0	50	9,76	10,81	13,89
4	-1	13	+1	60	0	50	13,51	17,95	22,22
5	+1	27	0	55	+1	62	7,50	13,51	14,58
6	-1	13	0	55	-1	38	14,29	19,44	25,00
7	+1	27	0	55	-1	38	2,70	2,86	10,81
8	-1	13	0	55	+1	62	9,52	25,00	25,71
9	0	20	+1	60	+1	62	14,63	17,95	19,05

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	0	20	-1	50	-1	38	8,82	10,81	19,44
11	0	20	+1	60	-1	38	2,78	10,81	13,89
12	0	20	-1	50	+1	62	6,52	6,98	15,56
13	0	20	0	55	0	50	2,50	5,00	7,69
14	0	20	0	55	0	50	2,44	2,50	5,00
15	0	20	0	55	0	50	2,44	5,00	5,13

Факторами, що впливають на поперечну нерівність обробленої смужки при смуговому обробітку ґрунту є: глибина обробітку долотом H , см; відстань від осі переднього диска до долота L , см; відстань від долота до осі відрізних бокових дисків C , см. Розроблено план трьох-факторного експерименту за методом Бокса-Бенкіна (табл. 1) згідно якого отримано блок експериментальних даних.

Результати візуальної оцінки стану якості обробітку смужки розділено на групи (за подібністю).

До першої групи відносяться дослід № 1, 7, 11, 14, 15 (з оцінками 4 та 4+), які характеризуються рівномірною поперечною нерівністю вздовж всієї досліджуваної смужки. Рослинні рештки рівномірно зароблені. Форма смужки має невелику заглибину всередині. Ґрунт розпушений. Ґрунтові агрегати знаходяться в межах смужки, деякі мають розмір більше 10 см, що зумовлено значною твердістю ґрунту та недосконалою роботою прикочуючого котка. Дані грудки впливають на відхилення значення поперечної нерівності. Смужка може використовуватись для осіннього внесення добрив і весняного посіву.

До другої групи відносяться дослід № 3, 4, 9, 10, 12, 13 (з оцінками 3 та 3+) із поперечною нерівністю без значних перепадів вздовж всієї дослідної смужки.

Ширина смужки майже однорідна, посередині розміщена борозенка, іноді ґрунт просто підірваний без зміщення і не подрібнений, на поверхні залишена певна кількість рослинних решток. Деякі грудки закинуті за межі смужки. Спостерігаються ґрунтові агрегати більше 10 см. Грудкуватість рівномірна по всій довжині. Смужки можуть використовуватись лише для осіннього обробітку та внесення добрив. За умови зменшення розмірів грудок у межах вимірювань якісним спрацюванням прикочуючого котка, можливе використання смужок і при весняному посіві.

До третьої групи відносяться дослід № 2, 5, 6, 8 (з оцінками 2 та 2+). Для смужки характерним є глибока борозна посередині. Смужка насичена великими брилами розміри 10 см і більше, які хаотично нерівномірно розкидані вздовж смужки. Багато підірваних але не перевернутих плах. Місцями смужку погано видно. Нерівномірність розподілу ґрунту по ширині та довжині із значними перепадами поперечної нерівності від 3 до 26 % і більше, унеможливує використання даної смужки.

На рисунку 3 приведені фото зразків відповідних груп після візуальної оцінки: смужка № 1 відноситься до першої групи, дослід № 12 – другої групи, а № 5 – до третьої.



Рис. 3. Фото зразків кожної групи за даними візуальної оцінки.

Fig. 3. Photo samples of each group according to visual estimation.

Статистичною обробкою отриманих сукупностей встановлювалась кількісна залежність поперечної нерівності обробленої смужки від зміни взаємного розміщення робочих органів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту: переднього диска, глибини обробітку долотом та бокових відрізних дисків:

$$B_{\phi} = 829,6071 - 6,2821H - 23,1627L - 4,8207C + 0,1367H^2 + 0,189L^2 + 0,0233C^2 + 0,0475LC$$

де B_{ϕ} – поперечна нерівність, %; H – глибина обробітку долотом, см; L – відстань від осі переднього диска до долота; C – відстань від долота до осі відрізних дисків, см.

Графіки залежності поперечної нерівності від зміни глибини обробітку долотом при відстані від долота до осі відрізних дисків 50 см, мають параболічну залежність (рис. 5), яка із збільшенням глибини обробітку спочатку зменшується до позначки 22 см, а потім поступово збільшується. Штрихована лінія, що характеризує відстань від осі переднього диска до долота 55 см, знаходиться нижче всіх, тобто значення поперечної нерівності найменше серед отриманих.

Пунктирна лінія 60 см відстані від осі переднього диска накладається на суцільну лінію 50 см, що характеризується однаковими середніми значеннями поперечної нерівності. Отже згідно даних графіків можемо зробити висновок, що при зміні

глибини обробітку долотом від 13 до 27 см поперечна нерівність змінюється і раціональна відстань від осі переднього диска до долота становить 55 см з дотриманням заданих межах поперечної нерівності 15 % при глибині обробітку долотом від 15 см.

Графіки залежності поперечної нерівності від осі переднього диска до долота (рис. 6) при відстані від долота до осі відрізних дисків 50 см, мають плавну параболічну залежність із вершинами на відстані від осі переднього диска до долота 55 см. Лінії глибини обробітку долотом 20 см та 27 см знаходяться в межах 15% поперечної нерівності, що відповідає вимогам, а суцільна лінія 13 см знаходиться вище зазначеної межі. Отже, при зміні відстані від осі переднього диска до долота від 50 см до 60 см поперечна нерівність змінюється за параболічною функцією з оптимальним найменшим значенням 55 см при глибині обробітку долотом від 20 см.

Графік залежності (рис. 7) поперечної нерівності від глибини обробітку долотом та від відстані від осі переднього диска до долота при відстані від долота до осі відрізних дисків 50 см показує, що впливовим фактором є зміна глибини обробітку та із її збільшенням до 20 см покращується поперечна нерівність, тобто зменшується, а при збільшенні до 27 см – збільшується. Оптимальним значенням відстані від осі переднього диска до долота приймаємо 55 см.

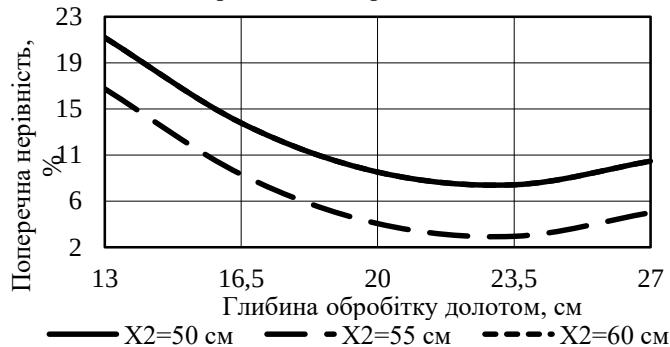


Рис. 4. Залежність поперечної нерівності від глибини обробітку долотом при відстані від долота до осі відрізних дисків 50 см.

Fig. 4. The dependence of the unevenness of the depth of the treatment a bit when the distance from the bit to the axis of the cutting disc 50 cm.

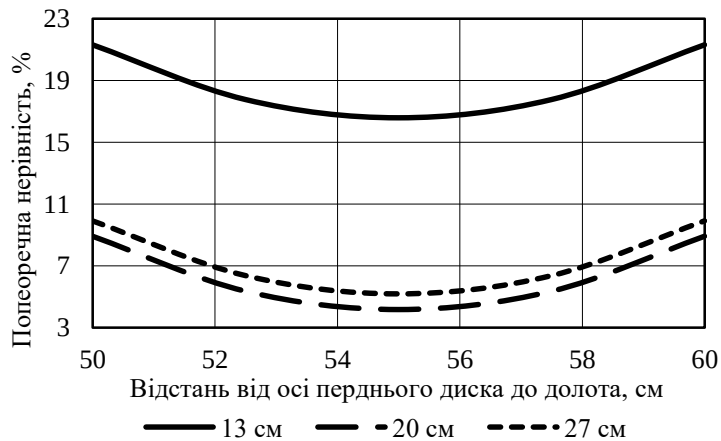


Рис. 5. Залежність поперечної нерівності від відстані від осі переднього диска до долота при відстані від долота до осі відрізних дисків 50 см.

Fig. 5. Dependence of unevenness of distance from axis of front drive to bit when distance from bit to axis of cutting disc 50 cm.

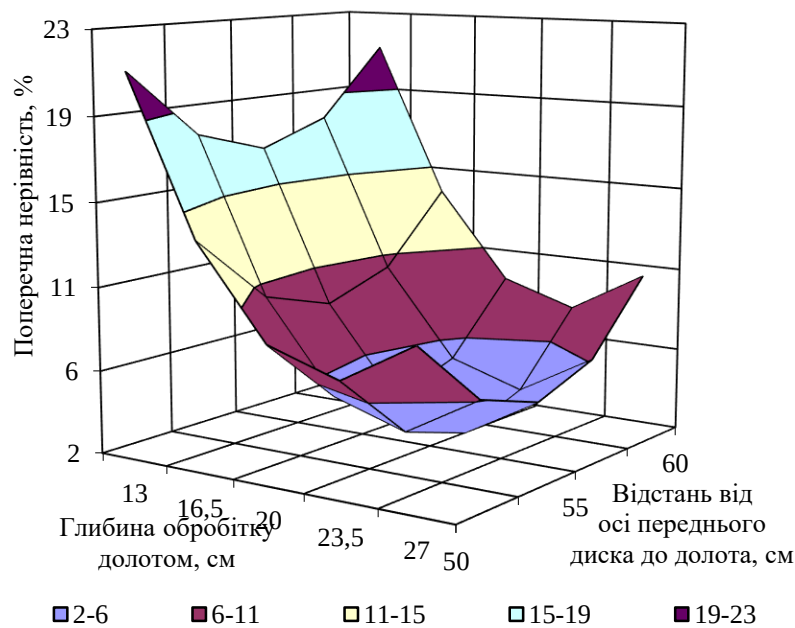


Рис. 6. Залежність поперечної нерівності від глибини обробітку долотом та від відстані від осі переднього диска до долота при відстані від долота до осі відрізних дисків 50 см.

Fig. 6. The dependence of the unevenness of the depth of the treatment chisel and the distance from the axis of the front drive to the bit when the distance from the bit to the axis of the cutting disc 50 cm.

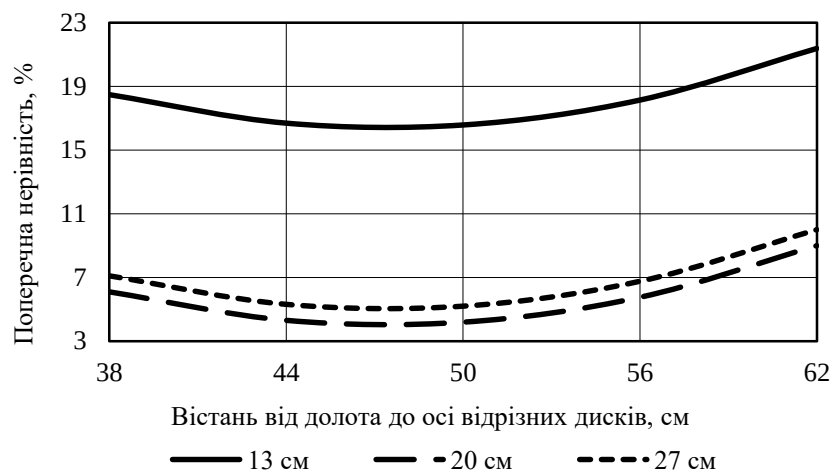


Рис. 7. Залежність поперечної нерівності від відстані від долота до осі відрізних дисків при відстані від осі переднього диска до долота 55 см.

Fig. 7. The dependence of the unevenness of the distance from the bit to the axis of the cutting disks at a distance from the axis of the front drive to the bit 55 cm.

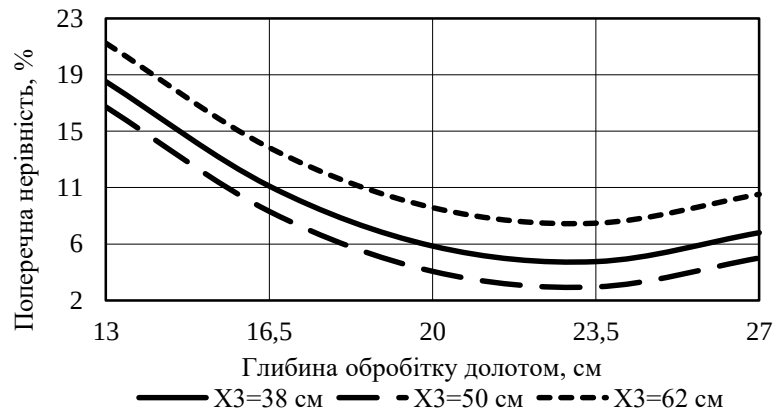


Рис. 8. Залежність поперечної нерівності від глибини обробітку долотом при відстані від осі відрізного диска до долота 55 см.

Fig. 8. The dependence of the unevenness of the depth of the treatment a bit with the distance from the axis of the cutting disc to the bit 55 cm.

Графіки залежності поперечної нерівності відстані від долота до осі відрізних дисків (рис. 8) при відстані від осі переднього диска до долота 55 см, мають вигляд паралельних парабол. Аналізуючи дані графіки можна зробити висновок, що глибина обробітку долотом 13 см (суцільна лінія) знаходиться за допустимою межею поперечної нерівності 15 %, тоді як 20 см та 27 см повністю знаходяться в заданих межах. Зі зміною відстані від долота до осі відрізних дисків поперечна нерівність змінюється неоднозначно. Спочатку зі збільшенням відстані від долота до осі відрізних дисків поперечна нерівність зменшується, досягає значень від 44 до 50 см, а потім збільшується при збільшенні відстані. Мінімальне значення поперечної нерівності отримано при відстані від долота до осі відрізних дисків від 44 до 50 см.

Графіки залежності поперечної нерівності від глибини обробітку долотом (рис. 9) при відстані від

осі переднього диска до долота 55 см, мають вигляд плавної параболічної залежності.

Графік (рис. 9) показує, що мінімальна глибина обробітку долотом, яка може використовуватись становить 15 см. Відстань від долота до осі відрізних дисків із найменшим відсотковим значенням поперечної нерівності позначено штрих-пунктирною лінією і становить 50 см. Значення відстані від долота до осі відрізних дисків 38 см та 62 см паралельні лінії 50 см, але знаходяться вище і входять у межі агротехнічних вимог поперечної нерівності 15 %. Можна зробити висновок, що значення відстані від долота до осі відрізних дисків для забезпечення агротехнічних вимог і використання при різних глибинах обробітку становить 50 см.

Графік залежності поперечної нерівності від глибини обробітку долотом та відстані від долота до осі відрізних дисків при відстані від осі переднього диска до долота 55 см показано на рис. 10.

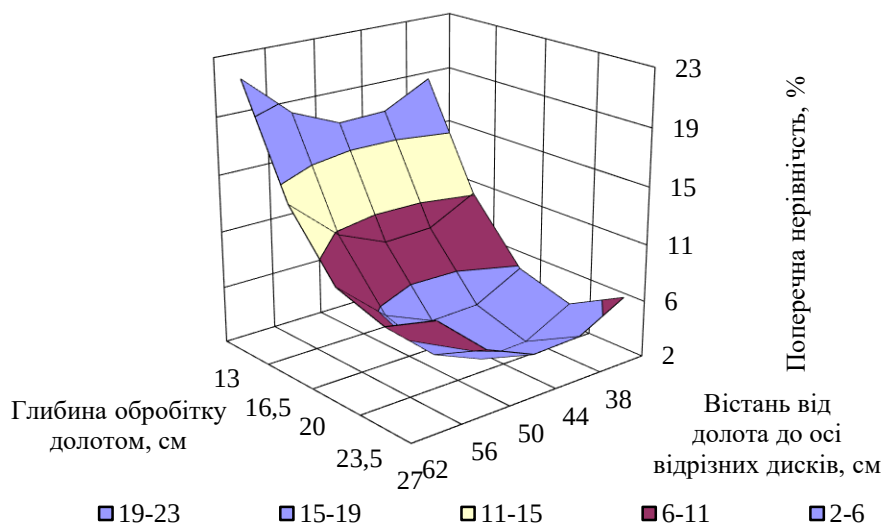


Рис. 9. Залежність поперечної нерівності від глибини обробітку долотом та відстані від долота до осі відрізних дисків при відстані від осі переднього диска до долота 55 см.

Fig. 9. The dependence of the unevenness of the depth of the treatment chisel and the distance from the bit to the axis of the cutting disks at a distance from the axis of the front drive to the bit 55 cm.

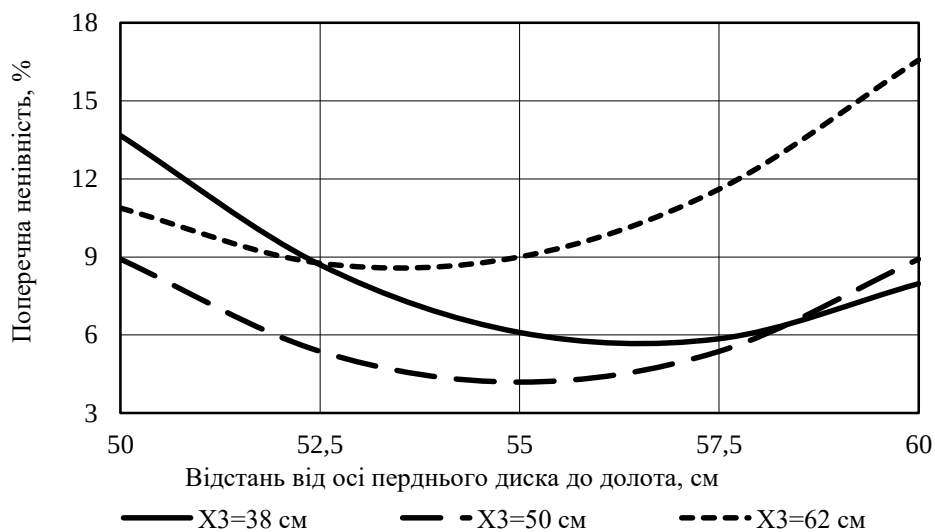


Рис. 10. Залежність поперечної нерівності від відстані від осі переднього диска при глибині обробітку долотом 20 см.

Fig. 10. The dependence of the unevenness of the distance from the axis of the front drive when the depth of tillage with a chisel 20 cm.

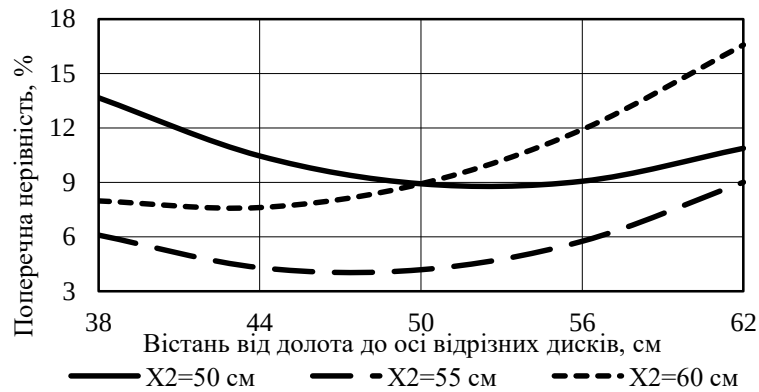


Рис. 11. Залежність поперечної нерівності від відстані від долота до осі відрізних дисків при глибині обробітку долотом 20 см.

Fig. 11. The dependence of the unevenness of the distance from the bit axis to the cutting discs with a depth of treatment chisel 20 cm.

Графік (рис. 10) показує, що впливовим фактором є зміна відстані від долота до осі відрізних дисків в межах 44-50 см, з мінімальним значенням поперечної нерівності при відстані від долота до осі відрізних дисків 50 см. При збільшенні глибини обробітку долотом до 20 см, поперечна нерівність зменшується, а при збільшенні від 24 см поступово збільшується.

Графіки залежності поперечної нерівності від відстані від осі переднього диска при глибині обробітку долотом 20 см (рис. 11), мають гіперболічні залежності. Штрих-пунктирна лінія, що відповідає 50 см відстані від долота до осі відрізних дисків, із всіма значеннями поперечної нерівності знаходиться в межах норми 15 %. Лінія рівномірно параболічна з вершиною на позначці 55 см відстані від осі переднього диска до долота. Суцільна лінія, яка відповідає відстані від долота до осі бокових дисків 38 см, спочатку спадає до значення 56 см, а далі

зростає. Значення пунктирної лінії (62 см) зменшується до відстані від осі переднього диска до долота 54 см, потім збільшується і після 59 см виходить за задані межі поперечної нерівності 15 %.

Графіки залежності поперечної нерівності від відстані від долота до осі відрізних дисків при глибині обробітку долотом 20 см (рис. 12), мають параболічну залежність з перехресними значеннями.

Відстань від осі переднього диска до долота із найменшими відсотками поперечної нерівності позначено штрихованою параболічною лінією і становить 55 см із вершиною у значенні 48 см. Суцільна лінія (50 см) параболічна, спочатку залежність зменшується до 52 см, а потім збільшується. Штрихована лінія (60 см) навпаки прямує від меншого до більшого, при чому у точці рівній відстані від долота до осі відрізних дисків 50 см. Отже, оптимальним значенням відстані від долота до осі відрізних дисків буде 50 см.

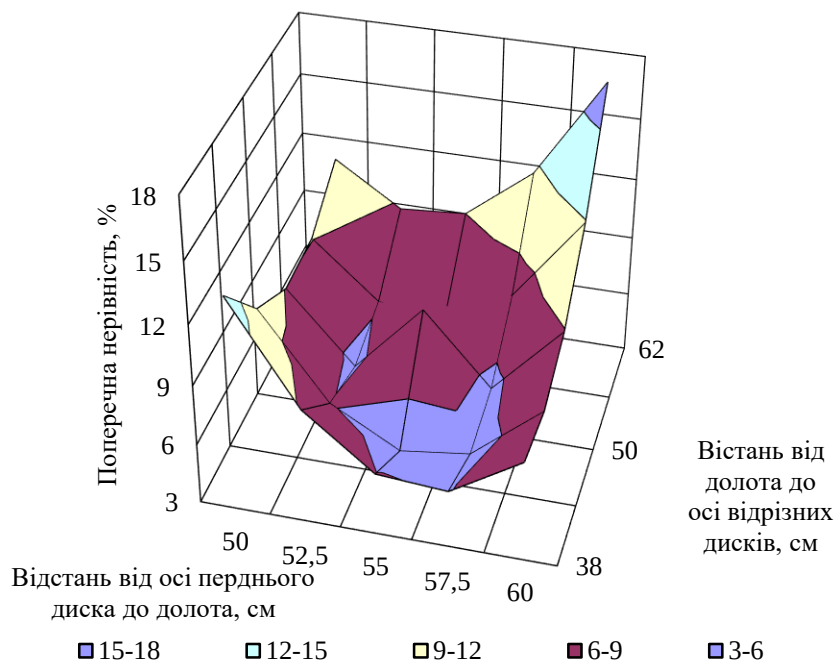


Рис. 12. Залежність поперечної нерівності від відстані від переднього диска та відстані від долота до осі відрізних дисків при глибині обробітку долотом 20 см.

Fig. 12. The dependence of the unevenness of the distance from the front of the disk and the distance from the bit axis to the cutting discs with a depth of treatment chisel 20 cm.

Графік залежності (рис. 13) поперечної нерівності від відстані від осі переднього диска та відстані від долота до осі відрізних дисків при глибині обробітку долотом 20 см показує, що оптимальна відстань від осі переднього 55 см, тоді як відстань від долота до осі відрізних дисків в межах від 48 до 50 см.

Висновки

За результатами візуальної оцінки якості обробітку ґрунту та вимірюваннями, встановлено, що секція агрегату для смугового обробітку ґрунту має мінімальну поперечну нерівність обробленої смужки в межах допустимих 15 % при значенні відстані від осі переднього диска до долота 55 см, відстані від долота до осі відрізних дисків – 50 см та глибини обробітку долотом від 20 до 27 см.

Список літератури

1. Голуб Г., Дворник А. Обґрунтування показників якості та агрономічних вимог до смугового обробітку ґрунту. Наукові горизонти. Науковий журнал. 2018. № 12 (73). С. 37–44.
2. Лебедев С., Коробко А., Козлов Ю. До питання оцінювання точності вимірювань під час випробувань сільськогосподарських машин. Техніка і технологія. 2017. № 10 (97). С. 22–25.
3. Спосіб смугового обробітку ґрунту і пристрій для його здійснення: патент на корисну модель 3102 Україна: МПК А01В 79/00, А01В 13/16. №2004010550; заявл. 26.01.2004, опубл. 15.10.2004, Бюл. №10. 2 с.
4. Спосіб смугового обробітку ґрунту за допомогою систем ґрунтообробних пристроїв: патент 25742 Україна: МПК А01В 49/02; А01В 79/02. №111055; заявл. 28.09.2015, опубл. 10.03.2016, Бюл. №5.

References

1. Golub G., Dvornik A. (2018). Reference of quality and hornomic requirements for groundwater protection indicators. *Scientific Horizons. Scientific Journal*. Zhytomyr, 12 (73), 37-44.
2. Lebedev S., Korobko A., Kozlov Yu. (2017). On the measurement of accuracy of measurements during tests of agricultural machines. *Technics and technology*, 10 (97), 22–25.
3. Ovcharenko A. S., Ovcharenko A. A. (2004). Method of belt soil cultivation and device for its implementation. Patent of Ukraine for utility model. A01B 79/00, A01B 13/16. № 2004010550 declared 26.01.2004; published 15.10.2004, № 10.
4. Ponomar Yu. V., Kornishyn V. M., Datko V. D., Ponomar M. Yu., Palahniuk A. A., Lukashenko R. M. (2016). The method of strip tillage with the help of systems of soil-working devices. Patent of Ukraine for invention. A01B 49/02; A01B 79/02. № 111055 declared 28.09.2015; published 10.03.2016, № 5.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОПЕРЕЧНОЙ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ПОЛОСОВОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

Г. А. Голуб, А. В. Дворник

Аннотация. Для выполнения полосовой обработки на каждой секции агрегата закреплены рабочие органы, предназначенные для изменения физико-механического состава почвы. Изменение параметров размещения рабочих органов обусловлено достижением цели – соответствующего качества обработки со средней поперечной неравномерностью обработанной полосы в пределах до 15% в соответствии методу удлинения шнура. Представлены результаты экспериментальных исследований зависимости поперечной неравномерности обработанной полосы от изменения взаимного расположения переднего диска, долота и боковых отрезных дисков секции агрегата для полосовой обработки почвы.

По результатам визуальной оценки качества обработки, а также измерений исследуемых полосок определено, что оптимальное расстояние от оси переднего диска к долоту является 55 см. Подтверждено результаты предыдущих исследований, расстояние от долота к оси отрезных дисков должна быть 50 см. Глубина обработки долотом от 20 см до 27 см. Дальнейшие исследования требуют более детального изучения влияния на поперечную неравномерность изменения конфигурации размещения рабочих органов секции агрегата для полосовой обработки почвы, а также определения энергетических показателей работы, таких как расход топлива.

Ключевые слова: передний диск, долото, отрезной боковой диск, качество обработки, глубина обработки, расстояние от долота к оси отрезных дисков, расстояние от оси переднего диска к долоту.

STUDY OF TRANSVERSE NEGATIVITY OF STRIP TILLING SOIL

G. A. Golub, A. V. Dvornik

Abstract. To perform band processing on each section of the unit, working bodies are fixed, designed to change the physical and mechanical composition of the soil. Changing the parameters of the placement of the working bodies due to the achievement of the goal - the appropriate quality of processing with an average transverse unevenness of the treated strips up to 15% in accordance with the method of cord elongation. The results of experimental studies of the dependence of the transverse non-uniformity of the treated strip on the change in the relative position of the front disc, chisel and side cutting discs of the section of the unit for strip tillage are presented.

According to the results of visual evaluation of processing quality, as well as measurements of the test strips, it was determined that the optimal distance from the axis of the front disc to the bit is 55 cm. The results of previous studies were confirmed, the distance from the bit to the axis of the cutting discs should be 50 cm. up to 27 cm. Further studies require a more detailed study of the influence on the transverse non-uniformity of changes in

the configuration of the placement of the working bodies of the section of the unit for strip tillage, as well as energy performance indicators, such as fuel consumption.

Key words: front disc, chisel, cutting side disc, processing quality, depth of processing, distance from the bit to the axis of the cutting discs, distance from the axis of the front disc to the bit.

Г. А. Голуб ORCID 0000-0002-2388-0405.

А. В. Дворник ORCID 0000-0002-4119-0520.

UDC 339.13:656.025.4/.6(477)

ANALYSIS OF FREIGHT TRANSPORT MARKET IN UKRAINE

O. M. Zagursky

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

Corresponding authors: zagurskiy_oleg@ukr.net.

Article history: Received: March 2019. Received in the revised form: April 2019. Accepted: June 2019.

Bibl. 7, fig. 3, tabl. 5.

Abstract. Transport organizations act in the commodity sector markets as entities offering specific goods such as transport services that form their own freight transport market, which is imposed on other markets. The state of the freight transport market in Ukraine depends on three main factors. They are foreign trade turnover, gross domestic product and production. When all these indicators grow, logistics also develops along with transport in the line of ascent.

The article provides a comprehensive analysis of the freight market in Ukraine. The statistical survey of transportation of products of the economic sectors shows that the distance of cargo transportation is determined by the nature of spatial distribution of specific types of cargo turnover production, as an indicator of the total movement of goods, taking into account their weight and transportation distances.

The results of the freight market analysis indicate that it is heterogeneous and can be segmented by quantity, cargo turnover and transportation distance.

Key words: cargo, transportation, market, commodity turnover, transport services.

Introduction

Commodity sector markets are formed both by the products of relevant branches of national economies and transnational corporations, with freight transport being the constituent part and the connecting link in many cases.

Formulation of problem

Transport organizations act in the commodity sector markets as entities offering specific goods such as transport services that form their own freight transport market, which is imposed on other markets. Moreover, unlike other services, transport services cannot be exported, they can be provided only in a certain territory. Therefore, the spectrum of transport service market problems is much wider, and the task of creating the necessary infrastructure is much more complicated than for other sector markets.

Analysis of recent research results

Some aspects of the analysis and evaluation of sector markets and the transport market are also reflected in the works of J. Allen, M. Brown, T. Cherret [1], M. Girskey [2], V. Zamlynsky, V. Koval, V. Kotlubay [3] A. Efimenko [4], O. Parubets [6], P. Popovych, O. Shevchuk, A. Matviishyn, V. Lototska [7] and other authors.

However, the breadth of tasks that are allotted to the freight transport market and the complexity of their solution require further research in this direction.

Purpose of research

The aim of the work is to assess the level of demand and supply in Ukrainian freight transport market and to analyze cargo transportation in Ukraine.

Results of research

The structure of the freight transport service market is influenced by three groups of factors associated with globalization trends and inter-sectoral and intra-economic factors of economic development.

The first group includes indicators related to the liberalization of trade and economic relations, from the simplification of international trade by reducing domestic tariffs, up to the complete elimination of customs barriers in mutual trade. Globalization of markets and integration at the mega-level and, accordingly, the emergence of transnational companies (TNCs), generally eliminate or significantly reduce competition between business entities. The second group is represented by macroeconomic factors of the development of the national economy, quantitative and qualitative indicators of the level of demand for freight transport services of the national economy sectors. They directly affect the level of consumer activity – economic agents and households.

The third group is a set of indicators that characterize the level of satisfaction of goods and services manufacturers with transport services available in the market for goods transportation and the conditions

for interaction between market entities. When exploring sector markets, it should be born in mind that companies that offer their products to them in many other circumstances are influenced by at least two forces: direct competitors and consumers. Therefore, in the analysis it is fair to use exactly the asymmetry of information between the seller and the buyer on the parameters of the market. As only in this scenario it is possible to conduct a comprehensive market analysis and to develop an effective state policy on the competitive interaction of business entities. In the analysis of the freight transport market in the transport system, the following modes of transport are distinguished:

- railway,
- road,
- marine,
- river,
- pipeline,
- air.

Each of these modes of transport has its advantages and disadvantages, which depend on economic factors and conditions both in a particular country and in the world economy. The share of transport in world GDP varies from 4 to 9%. Annually, over 100 billion tons of cargo and more than 1 trillion passengers are transported by all modes of transport in the world. Except marine transport, more than 650 million cars, 10 thousand airplanes, 200 thousand locomotives [5] take part in the transportation mentioned. Therefore, the assessment of the transport market state is done with all modes of transport taken into account.

The estimation of the number of transported cargoes by modes of transport in million tons (Table 1), shows the total predominance of road transport over other types (the share of automobile transport in the total number of transported cargoes during the years of analysis from 67 to 71%).

Table 1. Transportation of goods by modes of transport (million tons).

	2013	2014	2015	2016	2017
Transport total	1802	1623	1474	1543	1582
railway	436	386	350	343	339
marine	3	3	3	3	2
river	3	3	3	4	4
road	1236	1131	1021	1086	1122
air	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
pipeline	125	100	97	107	115

Source: Transport and communications in Ukraine, 2017: collected papers, ed. by O.O. Karmazin. Kyiv: State Statistics Service of Ukraine, 2018. p. 154.

However, weighing on the fact that the product of the freight transport is the finite specific cargo transportation at specific distances, the traffic volume indicator in tons cannot serve as an unambiguous assessment of a particular mode of transport in the freight transport market. An adequate assessment of the freight transport market can be given only by the indicator of cargo turnover, as an indicator of the total cargo transportation, taking into account their weight and transportation distances.

Analysis of the transport market by the cargo turnover indicator (Table 2) shows that the cargo transportation market in the years 2013-2017 is close to the oligopolistic market, where railway transport is a key element with its share in the total cargo turnover ranging from 54 to 59%, pipeline (23-29%) and road (14-17%) modes of transport are regarded as competitors. The contribution of other modes of transport in this indicator of the market is insignificant.

Table 2. Cargo turnover by modes of transport (billion tkm).

	2013	2014	2015	2016	2017
Transport total	393,3	353,6	334,7	344,2	364,2
railway	219,5	210,2	195,1	187,6	191,9
marine	3,2	4,1	3,9	2,5	2,9
river	1,4	1,3	1,6	1,5	1,4
road	57,4	56,0	53,3	58,0	62,3
air	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3
pipeline	111,4	81,8	80,7	94,4	105,4

Source: Transport and communications in Ukraine, 2017: collected papers, ed. by O.O. Karmazin. Kyiv: State Statistics Service of Ukraine, 2018. p. 154.

By transportation distances (Table 3), an absolute leader is air transport (48-53% of the total distance travelled) followed by sea (14.5-22.9%) and pipeline (12.9-15.8%).

However, to explain the share of the mode of transport d_{pl} in the freight transport market, equation (1)

should be considered as an information model, and d_p and β_l as factors that determine it.

$$d_{pl} = d_p \times \beta_l, \quad (1)$$

where: d_p is the share of the mode of transport in the total volume of transportation; β_l is the relative average transportation distance, which is the ratio of the average

transportation distance of the mode of transport to the total average distance of all transportation.

Table 3. Average distance of transportation of a ton of cargo by separate mode of transport (km).

	2013	2014	2015	2016	2017
Transport total	5621	6342	6163	5770	6519
railway	506	544	557	546	565
marine	941	1452	1173	837	1264
river	488	432	498	402	391
road	47	49	52	53	56
air	2753	3044	3053	3048	3325
pipeline	886	821	830	884	918

Source: Transport and communications in Ukraine, 2017: collected papers, ed. by O.O. Karmazin. Kyiv: State Statistics Service of Ukraine, 2018. p. 56.

Therefore, when comparing the structure of the turnover index with the structure of the indicator of transportation of products in the freight transport market, it is important to consider the following relationships:

- the share of a specific mode of transport in the total volume of cargo turnover (Table 4).

- the relative level of the average distance the transportation was carried out (Table 5).

Table 4. Fraction of the transport mode in the total volume of transportation (d_p), %.

	2013	2014	2015	2016	2017
Transport total	100	100	100	100	100
railway	55,8	59,4	58,3	54,5	52,6
marine	0,8	1,1	1,1	0,7	0,8
river	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4
road	14,6	15,8	15,9	16,9	17,1
air	0	0	0	0	0
pipeline	28,3	23,1	24,1	27,4	105,4

Source: compiled based on Table 2.

Table 5. Relative level of average transportation distance (β_1).

	2013	2014	2015	2016	2017
Transport total, km on average	937	1057	1027	962	1087
railway	0,54	0,51	0,54	0,57	0,52
marine	1,0	1,37	1,11	0,87	1,16
river	0,52	0,41	0,48	0,42	0,36
road	0,05	0,05	0,05	0,06	0,6
air	2,94	2,88	2,97	3,17	3,06
pipeline	0,95	0,78	0,81	0,92	0,84

Source: compiled based on Table 3.

A comprehensive analysis of these relationships shows that in general, the freight transport services market consists of transportation at different distances. Therefore, it is important to distinguish the transportation market at relatively short distances $\beta_1 \leq 0,3$, the transportation market at average distances of $0,3 \leq \beta_1 \leq 0,7$ and the market for long distance transportations $0,7 \leq \beta_1 \leq 1,0$.

As you can see, road transport mainly competes in the transportation market at short distances, river and railway in the medium-distance market, and sea, air and pipelines in the market of long-haul transportation. Comparing the distance of transportation of goods by land (rail and road) shows that they differ in many ways in favour of railways. That leads to the fact that, while maintaining a certain comparative presence in the market of transportation (three times as much), the share of rail transport in the market of transportation is significantly higher (8-11 times as much):

$(55.8 / 14.6) - (0.54 / 0.05) = 3.8 \times 10.8 = 41.04$ times in 2013;

$(59.4 / 15.8) - (0.51 / 0.05) = 3.8 \times 10.2 = 38.76$ times in 2014;

$(58.3 / 15.9) - (0.54 / 0.05) = 3.7 \times 10.8 = 39.96$ times in 2015;

$(54.5 / 16.9) - (0.57 / 0.06) = 3.2 \times 9.5 = 30.4$ times in 2016;

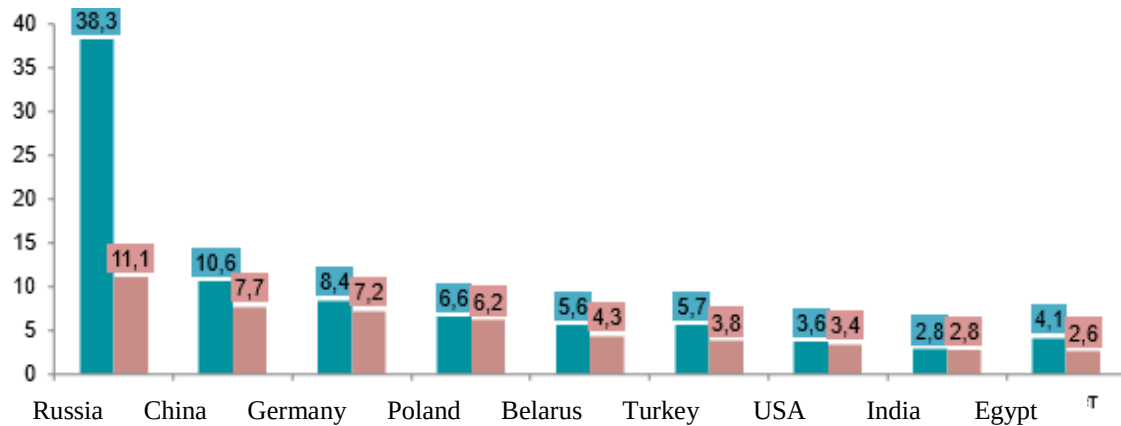
$(52.6 / 17.1) - (0.52 / 0.06) = 3.1 \times 8.6 = 26.66$ times in 2017.

However, it should be noted that within the years from 2013 to 2017, rail transport is inferior to the share of the freight market in favour of the automobile (the index is reduced from 41.04 in 2013 to 26.66 in 2017). Moreover, these changes in favour of road transport occur both in cargo transportation and in relation to the average distance of transportation, which in general leads to a decrease in the gap in their shares in the market of freight transport.

The analysis of the freight transport market will not be complete without the assessment of all indicators in the dynamics. Analyzing the dynamics of the freight transport market, we note that the sharp fall in the country's external commodity turnover in 2014, and, accordingly, the volumes of cargo transportation in subsequent years by 9-18% (Table 1) and freight turnover 9-15% (Table 2) in comparison with 2013 was due to a decrease in exports and imports from Russia.

This reduction was not compensated by other countries. In 2013, the volume of cargo turnover with

Russia was 38.3 billion dollars, in 2017 this figure amounted to 11 billion dollars, the fall was 75%. With other countries foreign trade turnover has changed very insignificantly and in the general dynamics of the volume of turnover in billion dollars it decreased in 2017 by 33.8% compared to 3 in 2013 (Fig. 1). Accordingly, about one third of the capacity in logistics remained unoccupied, especially those who carried goods to Russia, Belarus and other CIS countries.



	2013	2017
The volume of cargo turnover (billion dollars)	140,28	92,87
Dynamics%		-33,8

Fig. 1. Analysis of cargo transportation volumes in 2013-2017

Source: State data. Statistics Service of Ukraine for the relevant years.

Despite the reduction of the turnover of goods, the volume of transport services implemented in the country is increasing. Due to the growth of wholesale and retail trade turnover and industrial production, in 2017 the

volume of transport services market in Ukraine increased by 14%, and for the first half of 2018 it was 16.8% compared to the same indicator in 2017 (Figure 2).



The volume of the services given, billion UAH

Growth rate, %

Fig. 2. Dynamics of the transport services market in Ukraine in general in 2017 - 6 months 2018 biennium, billion UAH.

Source: State data. Statistics Service of Ukraine for 2017-2018.

If we consider the changes that took place in 2016-2017 in the structure of freight traffic, then the growth in

the structural dynamics of goods transported by road should be noted (Figure 3).

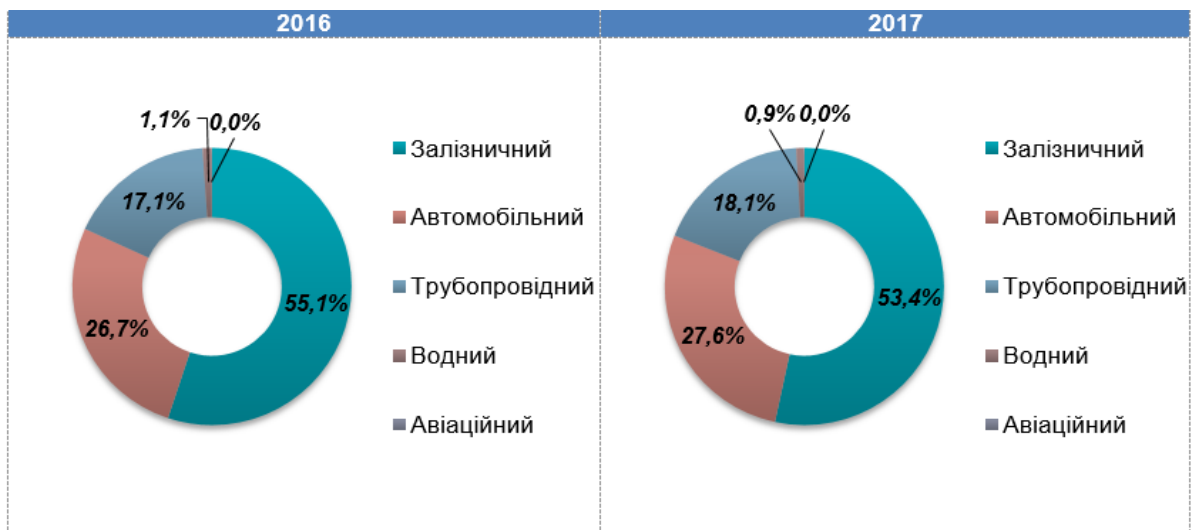


Fig. 3. Dynamics of the structure of freight traffic in Ukraine by modes in 2016-2017, million tons.

Source: State data. Statistics Service of Ukraine for the relevant years.

The reasons for such an increase are, first of all, the entry of large foreign companies into the market and the increase of investments in the development of road infrastructure, as well as a significant increase in tariffs for rail transport.

At the same time, we note a number of problems that have been disturbed in the past and continue to prevent the transport industry to develop to the full extent. The main problem of the road haulage market in Ukraine remains the poor quality of road surfaces. According to "Ukravtodor", by the end of 2016 in Ukraine, 97% of roads were in a miserable condition. But not only roads complicate life of auto-carriers, but also the lack of financing by the state and no access to financial markets (the availability of leasing programs for the purchase of cars at low annual rates, loans) and rising fuel prices. It is impossible not to mention the size and weight control and restrictions on carriage by weight. As reported in Ukrtransbezpeka, in 2017, about 114 thousand cars were checked, 4 thousand of which were overloaded.

Another of the unresolved problems for road transportation in 2016-2018 is the change of goods delivery routes. Due to the suspension of the FTA between RF and Ukraine and other trade and transport restrictions, numerous transit routes have been amended. In particular, in 2016, Kazakhstan recommended that operators carrying out road freight traffic from Ukraine make new routes through Georgia, Azerbaijan, Turkey, Iran, Turkmenistan and Uzbekistan.

Conclusions

1. The state of the freight transport market in Ukraine depends on three main factors. They are foreign trade turnover, gross domestic product and production. When all these indicators grow, logistics also develops along with transport in the line of ascent.

2. The analysis of the freight transport market indicates that it is heterogeneous and can be segmented by quantity, cargo turnover and transportation distances. In terms of the number of transported cargoes, road

transport prevails (67 to 71% of the total number of transported cargoes); according to the indicator of cargo turnover, railway transport is the leading part in the total cargo turnover ranging from 54 to 59%; by transportation distances, an absolute leader is air transport (48-53% of the total distance travelled).

3. A comprehensive analysis of these relationships shows that in general, the freight transport services market consists of transportation at different distances. Therefore, it is important to distinguish the transportation market at relatively short distances $\beta l \leq 0,3$, the transportation market at average distances of $0,3 \leq \beta l \leq 0,7$ and the market for long distance transportations $0,7 \leq \beta l \leq 1,0$. In the transportation market, road transport mainly competes at short distances, river and railway in the medium-distance market, and sea, air and pipelines in the market of long-haul transportation.

4. The results of the analysis of the freight traffic market in the dynamics show that starting from 3 of 2014, due to a decrease in exports and imports with Russia (by 75%), a sharp drop in the country's external commodity turnover and, accordingly, the volumes of transported goods in subsequent years by 9-18% and cargo turnover 9-15%. However, due to the growth of wholesale and retail trade turnover and industrial production in the domestic market of the country in 2017, the transport services market in Ukraine increased by 14%, and for the first half of 2018, by 16.8% compared to the same indicator in 2017.

References

1. Allen J., Browne M., T. (2012). Cherrett Investigating relationships between road freight transport, facility location, logistics management and urban form, *Journal of Transport Geography*. № 24. 45-57.
2. Efimenko A. G. (2011). Formation and transportation services market development: Monograph. Warsaw. Ed. ITP. 187.

3. Hirschey M. (1985). Market Structure and Market Value The Journal of Business. Vol. 58, No 1 (Jan., 1985), 89-98.

4. Mogilevkin I. M. (2005). Transport and Communications: Past, Present, Future. Moscow, Nauka. 357.

5. Parubets O. M. (2018). Research on problems and development prospects of transport services export in Ukraine. Scientific notes of the National University of Ostroh Academy. Ostroh: NauOAO. No. 9 (37). 21-24.

6. Popovych P. V., Shevchuk O. S., Matviishin A. Y., Lototska V. M. (2016). Research on tendencies of the road haulage market development in modern conditions. Bulletin of the Zhytomyr State Technological University. No. 2. 224-229.

7. Zamlynskiy V. A., Koval V. V., Kotlubay V. O. (2017). Status and development prospects of export potential of the motor transport services market. Economics and Society. No. 9. 210-214.

Список літератури

1. Allen J., Browne M., T. Cherrett Investigating relationships between road freight transport, facility location, logistics management and urban form, *Journal of Transport Geography*. № 24. 2012. 45-57.

2. Efimenko A. G. Formation and transportation services market development: Monograph. Warsaw. Ed. ITP. 2011. p.187

3. Hirschey M. Market Structure and Market Value The Journal of Business. Vol. 58, No. 1 (Jan., 1985), 89-98.

4. Mogilevkin I. M. Transport and Communications: Past, Present, Future. Moscow. Nauka, 2005, p. 357.

5. Parubets O. M. Research on problems and development prospects of transport services export in Ukraine. Scientific notes of the National University of Ostroh Academy. Ostroh: NauOAO 2018 No. 9 (37). pp. 21-24.

6. Popovych P. V., Shevchuk O. S., Matviishin A. Y., Lototska V. M. Research on tendencies of the road haulage market development in modern conditions. Bulletin of the Zhytomyr State Technological University. 2016. No. 2. pp. 224-229.

7. Zamlynskiy V. A., Koval V. V., Kotlubay V. O. Status and development prospects of export potential of the motor transport services market. Economics and Society. 2017. No. 9. pp. 210-214.

АНАЛІЗ РИНКУ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УКРАЇНІ

О. М. Загурський

Анотація. Транспортні організації виступають на товарних галузевих ринках суб'єктами пропозиції специфічного товару – транспортні послуги, які формують власний ринок вантажних перевезень, який накладається на інші ринки. Стан ринку вантажних перевезень в Україні залежить від трьох основних чинників. Це зовнішньоторговельний оборот, валовий внутрішній продукт і виробництво.

Коли всі ці показники зростають, логістика також розвивається, а разом з нею по висхідній лінії піднімається і транспорт.

В статті проведено комплексний аналіз ринку вантажних перевезень в Україні. Статистичне дослідження перевезень продукції галузей економіки показує, що відстань перевезень вантажів визначається характером розподілу в просторі виробництва конкретних видів продукції вантажообігу, як показника сумарного переміщення вантажів з урахуванням їх маси і відстані переміщення.

Результати аналізу ринку вантажних перевезень свідчать, що він неоднорідний і може бути сегментований за кількістю, вантажообігом та відстанню перевезень.

Ключові слова: вантажі, перевезення, ринок, товарообіг, транспортні послуги.

АНАЛИЗ РЫНКА ГРУЗОВЫХ ПЕРЕВОЗОК В УКРАИНЕ

О. Н. Загурский

Аннотация. Транспортные организации выступают на товарных отраслевых рынках субъектами предложения специфического товара – транспортные услуги, формирующие собственный рынок грузовых перевозок, который накладывается на другие товарные рынки. Состояние рынка грузовых перевозок в Украине зависит от трех основных факторов. Это – внешнеторговый оборот, валовой внутренний продукт и производство. Когда все эти показатели растут, логистика также развивается, а вместе с ней по восходящей линии поднимается и транспорт.

В статье проведен комплексный анализ рынка грузовых перевозок в Украине. Статистические исследования перевозок продукции отраслей экономики показывают, что расстояние перевозок грузов определяется характером распределения в пространстве производства конкретных видов продукции грузооборота, как показателя суммарного перемещения грузов с учетом их массы и расстояния перемещения.

Результаты анализа рынка грузовых перевозок свидетельствуют, что он неоднороден и может быть сегментирован по количеству, грузообороту и расстояниям перевозок грузов.

Ключевые слова: грузы, перевозки, рынок, товарооборот, транспортные услуги.

O. M. Zagursky ORCID 0000-0002-5407-8466.

УДК 332.12 (1-22) : 502.117 : 620.95

КОНЦЕПЦІЯ РОЗВИТКУ СІЛЬСЬКИХ ТЕРИТОРІЙ ІЗ ВПРОВАДЖЕННЯМ КОМПЛЕКСНИХ ЕКОБЕЗПЕЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА І ВИКОРИСТАННЯ БІОПАЛИВ

В. М. Поліщук

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Кореспонденція автора: polischuk.v.m@gmail.com.

Історія статті: отримано – квітень 2019, акцептовано – червень 2019.

Бібл. 27, рис. 1, табл. 0.

Анотація. Проведений аналіз сучасного стану виробництва с.-г. продукції та розвитку сільських територій в Україні. На основі аналізу існуючих концепцій комплексного виробництва і використання біопалив в Україні і в світі розроблена концепція розвитку сільських територій із впровадженням комплексних екобезпечних технологій виробництва і використання біопалив, впровадження якої забезпечить відновлення родючості ґрунтів за рахунок встановлення балансу між галузями рослинництва і тваринництва, дозволить підвищити зайнятість сільського населення шляхом впровадження переробних підприємств безпосередньо в господарства та забезпечить енергетичну автономність господарств та сільських громад шляхом впровадження комплексних екобезпечних технологій виробництва і використання біопалив в господарствах із існуючих ресурсів і відходів.

Ключові слова: екобезпечні технології, концепція, біопалива, сільські території, сільськогосподарська продукція.

Постановка проблеми

Виробництво с.-г. продукції зосереджене в селянських та фермерських господарствах, а також в великих агрохолдингах. Продукція рослинництва займає 72% від усієї продукції сільського господарства, із яких зернові і зернобобові культури – 26,2%, технічні – 22,5%, овочеві, баштанні культури та картопля – 22,5%, плодові культури – 3,1%, кормові – 1,4%. Продукція тваринництва становить 28% від усієї продукції сільського господарства, із яких вирощування с.-г. тварин на м'ясо – 13,5%, виробництво молока – 10,5%, яйця – 2,9%, іншої продукції – 1,1% [1, с. 134]. За розмірами площ с.-г. угідь лідирують підприємства, які мають понад 10 тис га с.-г. угідь – 18,3% від загальної площі с.-г. угідь (однак їх кількість становить всього 166 підприємств, або 0,4% від загальної кількості), 1-2 тис. га – 17,8% від загальної площі с.-г. угідь (2651 підприємств, або 5,4% від загальної кількості), 2-3 тис. га – 13,3% від загальної площі с.-г. угідь (2481 підприємств, або 5,4% від загальної кількості). Найбільше в Україні с.-г. підприємств, які мають в користуванні с.-г. угіддя

площею 20-50 га, однак їх земельний фонд становить лише 2,1% щодо всіх с.-г. угідь України [1, с. 136]. С.-г. культури в 2017 р. займали площу 27585 тис. га, із яких зернові і зернобобові – 14624 тис. га (зменшення порівняно із 2010 р. на 3,1%), технічні – 9259 тис. га (збільшення на 21,2%), картопля, овочеві і баштанні – 1844 тис. га (зменшення на 6,3%), кормові – 1858 тис. га (зменшення на 28,5%) [1, с. 138]. Після вирощування зернових і зернобобових культур залишається солома. До 20-25% від загальної кількості отриманої соломи використовуються на потреби тваринництва. Майже 70-75% соломи подрібнюються і розкидаються на полі під час збирання урожаю, причому половина від цього обсягу просто спалюється на полях, щоб уникнути витрат, пов'язаних із її приорюванням та неможливістю внесення азотних добрив після жнив, 5% соломи використовується на інші потреби, з них лише близько 2-3% відводиться на енергетичні потреби – виробництво гранульованого біопалива і пряме спалювання для теплогенерації [2]. Кількість с.-г. тварин в Україні становить: ВРХ – 3531 тис. голів, в т.ч. корів – 2018 тис. голів, із яких на с.-г. підприємства припадає: ВРХ – 467 тис. голів (23,13%); свиней – 6110 тис. голів (в с.-г. підприємствах – 3304 тис. голів, або 54%), овець і кіз – 1309 тис. голів (в с.-г. підприємствах – 187 тис. голів, або 14,3%), птиці – 204,8 млн. голів (в с.-г. підприємствах – 112,5 млн. голів, або 55%). Порівняно із 2010 р. кількість ВРХ в Україні зменшилась на 21,4%, в т.ч. корів – на 23,3%, свиней – на 23,2%, овець і кіз – на 24,4%. Лише поголів'я птиці виросло на 0,5% [1, с. 145]. Всього в Україні виробляється м'яса (у забійній вазі) – 2318 тис. т (в т.ч. в с.-г. підприємствах – 1483 тис. т, або 64%), молока – 10281 тис. т (в т.ч. в с.-г. підприємствах – 2766 тис. т, або 26,9%), яєць – 15506 млн. шт. (в т.ч. в с.-г. підприємствах – 8365 млн. шт., або 55%) [1, с. 147].

Продукція сільського господарства в не переробленому і переробленому вигляді складає вагомий частку всього експорту країни: продукти рослинного походження – 21,3%, жири та олії рослинного і тваринного походження – 10,6%, жири тварин, продукти тваринного походження – 2,6%, готові харчові продукти – 6,5% [1, с. 182].

Для виробництва продукції та на соціально-побутову сферу в сільському господарстві в 2016 р.

було використано 1,38 млн. т дизельного палива, 144,9 тис. т бензину, 1,8 тис. т гасу, 0,347 млрд. м³ природного газу, 0,146 млн. т вугілля, 0,057 тис. т паливних брикетів із вугілля, 9,35 тис. т паливних брикетів та гранул із деревини та іншої природної сировини, 233,3 тис. т дров [3, с. 254].

Аналіз останніх досліджень

Сільське населення в 2018 р. становило 13 млн. осіб, або 30,7% від всього населення України. Порівняно із 2002 р. воно скоротилось на 2,1% [1, с. 23]. Кількість безробітних в сільському господарстві в 2017 р. становила 92,1 тис. осіб, тоді як кількість вакансій – 2,2 тис. Отже, на одну вакансію в сільському господарстві припадає 41 претендент, що є найбільшим показником по всьому народному господарству України [1, с. 32]. Середньомісячна заробітна плата в сільському господарстві становила на 2017 р. 6057 грн., або 85,3% від середньомісячної заробітної плати по Україні (7104 грн.) [1, с. 35].

Переробні підприємства сконцентровані, головним чином, в містах і селищах міського типу, куди с.-г. продукція на переробку звозиться із довколишніх селянських і фермерських господарств. В результаті отримується значна кількість відходів: від переробки молока – сироватки різних типів, маслянка, знежирене молоко; від виробництва цукру – меляса, жом, хвостики цукрового буряку; спирту – барда; олії, біодизеля – сирий гліцерин, соапсток, лушпиння, макуха і шрот; вина – виноградні гребені і вижимки, дріжджовий осад, виноградне насіння; пива – пивна і хмелева дробина, зерновідходи, сплав зерна, солодові ростки, білковий відстій, залишкові пивні дріжджі; крохмалю – картопляна мезга, клітинний сік; консервів і соків – томатні і фруктові вижимки і насіння, відходи очищення овочів і фруктів, стручки зеленого горошку, плодові кісточки, відстій соків; цигарок – тютюновий пил, черешки і середні жилки тютюнових листків [4, с. 16-22]. Певна кількість цих відходів може бути використана як паливо для отримання енергії і тепла на цих же переробних підприємствах, або для виробництва гранульованого палива (лушпиння, плодові кісточки, виноградні гребені, тютюновий пил, черешки і середні жилки тютюнових листків тощо). Значну кількість відходів можна згодувати с.-г. тваринам. Однак для цього їх потрібно знову перевезти в господарство, а це додаткові транспортні витрати. Ці відходи швидко псуються, тому їх потрібно зразу ж згодувати тваринам, або підготувати до тривалого зберігання (як правило, шляхом силосування). Можна також їх висушити, однак це потрібно робити на переробному підприємстві, при цьому внаслідок використання енергоносіїв вартість цих відходів значно зростає. Через ці причини, а також із-за зниження кількості с.-г. тварин в господарствах, вони досить часто відмовляються від використання відходів переробної промисловості в харчових цілях. Тому деякі відходи зливають на поля фільтрації (меляса, жом, барда, картопляна мезга, клітинний сік тощо). Однак з часом вони починають псуватись, виділяючи в довкілля

речовини з неприємним запахом. Бували випадки скидання відходів переробки молока у водойми, що створює несприятливі умови життєдіяльності риби та інших гідробіонтів. Часто рідкі відходи переробної промисловості разом із технологічними водами і водами від миття обладнання скидаються в каналізацію. При цьому більшість із цих відходів дуже важко піддаються знешкодженню на станціях аерації. Останнім часом біля переробних підприємств почали будувати біогазові установки, в яких відходи переробних підприємств переробляються в біогаз. При цьому вирішується екологічна проблема відходів і отримується прибуток від продажу електроенергії, виробленої із біогазу.

Отже, можна констатувати наступні особливості та проблеми АПК України:

- продукція рослинництва в с.-г. виробництві України превалює над продукцією тваринництва (72% проти 28%). Найбільше в Україні вирощується зернових і зернобобових, а також технічних культур, причому доля останніх з кожним роком суттєво зростає. В зв'язку із зниженням долі тваринництва в с.-г. виробництві зменшується виробництво кормових культур. Це веде до формування монокультури (соняшник, ріпак, пшениця), що ускладнює формування сівозміни. Зменшення використання органічних добрив в зв'язку із зниженням долі тваринництва та спалювання соломи на полях веде до неможливості відновлення гумусу в ґрунті. Всі ці фактори в комплексі викликають зниження родючості ґрунтів. Для підвищення врожайності с.-г. культур доводиться використовувати мінеральні добрива, що збільшує собівартість виробленої продукції та впливає на її екологічні характеристики;

- с.-г. території України характеризуються найвищим в Україні безробіттям, а зарплата в сільському господарстві нижча, ніж в середньому по Україні. Це веде до відтоку продуктивних сил із села в місто і до "старіння" сільського населення;

- для проведення с.-г. робіт щорічно затрачається значна кількість дизпалива – 27,8% від затраченого у народному господарстві України. Також існує потреба в опаленні адміністративних, виробничих і культурно-побутових споруд, багатоквартирних та індивідуальних житлових будинків. Для цього використовуються, головним чином, досить дорогі викопні палива: природний газ, вугілля та брикети з нього; також енергія для опалення отримується при спалюванні дров, і в незначній кількості – гранул і брикетів із деревини та іншої природної, в т.ч. с.-г. сировини;

- виробництва по переробці с.-г. продукції, як правило, не розміщуються в місці її отримання, а сконцентровані в містах і селищах міського типу, куди с.-г. продукція звозиться із навколишніх господарств. При переробці с.-г. продукції утворюється багато відходів, які важко знешкоджувати, тому вони часто забруднюють довкілля. Певна кількість відходів переробляється і використовується на цих же підприємствах, наприклад для отримання енергії при спалюванні лушпиння, плодових кісточок тощо, виробництва із них паливних гранул. Біля деяких

переробних підприємств будуються біогазові установки, на яких ці відходи переробляються в біогаз. Однак отриманий дигестат в зв'язку із віддаленістю господарств часто зливається в лагуни, де він накопичується в великих кількостях, виділяючи неприємні запахи. Крім того, деякі відходи можна переробляти на біогаз тільки при сумісному зброжуванні із гноєм, якого на переробних підприємствах нема. Багато відходів переробної промисловості можна використовувати на корм для худоби, однак цього не робиться в зв'язку із занепадом тваринництва в країні і віддаленістю існуючих ферм від переробних підприємств.

ЄС вважається лідером з переходу на відновлювані джерела енергії (ВДЕ). Завдяки послідовній підтримці впровадженню технологій ВДЕ їх внесок в енергобаланс країн ЄС за 10 років зріс майже вдвічі: з 9% у 2005 р. до 17% у 2015 р. Причому, за оцінками Міжнародного агентства з відновлюваної енергетики (IRENA), за умов державної підтримки до 2030 р. доля ВДЕ може подвоїтись. Вже зараз ВДЕ в структурі виробництва первинної енергії в Європейському Союзі (ЄС) займають після атомної енергії друге місце (27% від загального обсягу виробництва). В деяких країнах (Латвія, Литва, Фінляндія, Австрія, Швеція тощо) доля ВДЕ значно вища. У період 2020-2030 рр. в Європейській Комісії у 2016 р. для стимулювання інвестицій у поновлювану енергетику бур розроблений і представлений на розгляд Європейського Парламенту і Ради Європи пакет із восьми законодавчих заходів під загальною назвою "Чиста енергія для всіх європейців", які мають три основні пріоритети: підвищення енергетичної ефективності (на 30% до 2030 р.), досягнення ЄС світового лідерства у розвитку ВДЕ (мінімум 27% ВДЕ у кінцевому енергоспоживанні у 2030 р.) і справедливі відносини зі споживачами енергії (можливість зміни постачальника енергії, доступ до інформації, захист прав споживачів тощо). Планується, що починаючи із 2021 р. інвестиції у поновлювану енергетику в країнах ЄС повинні становити близько 177 млрд. євро/рік. Це призведе до створення 900 тис. нових робочих місць до 2030 р. та зменшить рівень емісії парникових газів порівняно з базовим 1990 р. на 40% [5].

Стратегія ЄС щодо біопалива полягає в реалізації трьох головних завдань:

- забезпечення позитивного впливу виробництва і використання біопалива на довкілля відповідно завдань Лісабонської стратегії з врахуванням аспекту конкуренції;
- покращення рентабельності виробництва і використання біопалив шляхом оптимізації культивування сировини, здійснення науково-дослідних робіт стосовно палив „другого покоління” та підтримання просування його на ринок через усунення нетехнічних бар'єрів і розповсюдження проектів;
- використання можливостей країн, що розвиваються, у виробництві сировини для біопалива та визначення ролі ЄС відносно підтримання розвитку сталого виробництва біопалива [6].

В Україні розпорядженням Кабінету Міністрів України від 12.02.2009 р. за № 276-р. схвалена

Концепція державної цільової науково-технічної програми розвитку виробництва і використання біологічних видів палива. Її метою є комплексне розв'язання проблеми виробництва і використання енергетичних ресурсів, підвищення рівня екологічної та енергетичної безпеки країни, зменшення обсягу використання природного газу та нафтопродуктів за рахунок запровадження екологічно чистих технологій на основі використання відновлюваних джерел енергії, підвищення рівня охорони навколишнього природного середовища. Концепція передбачає:

- удосконалення законодавства щодо виробництва та використання біопалив на основі економічних та фінансових стимулів;
- розроблення єдиної з країнами ЄС системи кодів на біоетанол і дизельне біопаливо, що полегшить здійснення імпорто-експортних операцій;
- забезпечення з урахуванням розвитку теплових мереж населених пунктів та техніко-економічного обґрунтування заміни котлів, які працюють на природному газі, мазуті та вугіллі, на енергоефективні котли та теплогенератори, які працюють на біопаливі;
- забезпечення використання потенціалу біогазу полігонів твердих побутових відходів та біогазу з відходів тваринництва шляхом встановлення біогазових установок;
- оцінки ресурсного потенціалу для виробництва біопалива та розвитку сировинної бази;
- удосконалення технологій одержання етил-трет-бутилового ефіру та забезпечення його виробництва з одночасним виключенням з виробництва метил-трет-бутилового ефіру;
- удосконалення технологій виробництва біоетанолу та дизельного біопалива;
- сприяння будівництву об'єктів з виробництва біогазу, дизельного біопалива, біоетанолу, а також перепрофілювання частини підприємств харчової та переробної промисловості на виробництво біопалива;
- розвитку новітніх технологій та впровадження інноваційних розробок виробництва біопалива другого покоління.

Передбачалось, що виконання Концепції збільшить частку біопалива в загальному енергобалансі до 5-7% і підвищити рівень екологічної безпеки в 2 рази, що дозволить збільшити об'єми використання біогазу із гною до 130 млн. м³/рік; підвищувати рентабельність виробництва біогазу за рахунок використання дигестату; зменшити викиди вуглекислого газу на 9 млн. т/рік, викиди метану – на 3 млн. т/рік; знизити за рахунок застосування дизельного біопалива викиди твердих часток на 50%, а за рахунок застосування етанолвмісних палив – чадного газу в два рази. Концепція передбачала встановлення більше 70 тис. одиниць енергоефективних котлів загальною тепловою потужністю 9,18 ГВт та заміщення до 5 млрд. м³/рік природного газу [7]. Однак в зв'язку із агресією Російської Федерації Концепція була виконана не в повному обсязі.

Академіком М.В. Роїком та ін. розроблена концепція виробництва і використання твердих видів біопалива в Україні, яка передбачає стимулювання вирощування високорослих багаторічних трав і

швидкорослих деревних культур та заліснення територій [8]. В роботі [9] обґрунтоване застосування мобільної лінії виробництва паливних гранул в сільській місцевості.

В масложировому комплексі України успішно реалізована концепція використання відходів (лушпиння) для отримання енергії, необхідної для функціонування підприємств. Надлишок відходів перероблюється в паливні гранули з наступною їх продажею. В компанії ІСК Group розроблена концепція використання відходів для енергозабезпечення підприємств цукробурякового комплексу [10].

Кластеризацію виробництва біопалива пропонує Г.М. Калетник. Кластер передбачає стійке територіально-міжгалузеве партнерство, яке об'єднане інноваційною програмою застосування сучасних виробничих, інжинірингових і управлінських технологій з метою підвищення конкурентоспроможності його учасників [11].

Комплексні агробіоінженерні системи виробництва та використання біопалив, запропоновані В.О. Дубровіним та ін., в загальному вигляді передбачають використання відходів тваринництва, рослинництва і переробних галузей для виробництва біопалив, теплової та електричної енергії, які можуть бути використані для забезпечення потреб тваринництва, рослинництва і переробних галузей. Відходи від виробництва біопалив передбачається використовувати для підвищення родючості ґрунту [12].

Моделі агроєкосистем, розроблені Г.А. Голубом та С.М. Кухарцем, що описані в роботах [13]–[27] передбачають створення стійкої природно-техногенної конструкції, що є часткою біосфери Землі, а її розвиток не повинен деградувати під впливом техногенних навантажень. Типова агроєкосистема передбачає: вирощування культур у відповідній сівозміні; виробництво основної продукції рослинництва та тваринництва; виробництво кормів для тваринництва та птахівництва; виробництво тепла та енергії із біогазу, отриманого в результаті зброджування продуктів життєдіяльності тварин та птиці; підготовку та використання деякої частки незернової частини урожаю на теплові потреби у вигляді генераторного газу, пеллет, брикетів, тюків, рулонів або січки; виробництво компосту, з використанням біологічної конверсії органічної сировини; виробництво рідкого біопалива – дизельного палива та етанолу. Важливим фактором, який ставить обмеження на функціонування елементарних блоків агроєкосистеми, є умова дотримання позитивного балансу гумусу. На основі структурної схеми функціонування агроєкосистеми з урахуванням потреб в біопаливі та моделювання гумусного стану ґрунтового середовища агроєкосистем, були розроблені моделі функціонування агроєкосистеми з шестипільною сівозміною із виробництвом продукції та енергії, використанням біопалив та відновленням поживних речовин у ґрунті для підприємств на 300–500 га орних земель з зерно-молочною (150 дійних корів), зерно-свинарською (89 свиноматок), зерно-птахівничою (14–20 тис. кур) та змішаною зерно-молочно-свинарсько-птахівничою (87 дійних корів, 20 свиноматок, 0,8 тис.

кур) спеціалізаціями. Розроблена імітаційна модель функціонування сільськогосподарського виробництва, включає в себе сівозміну на 300 га ріллі із вирощуванням основних сільськогосподарських культур, таких як озима пшениця 50 га, кукурудзу на силос 25 га і зерно 2 га, озимий ріпак 25 га, ячмінь 50 га, цукрові буряки 50 га та багаторічні трави 50 га. Модель передбачає виробництво м'яса ВРХ, свиней, курей та риби, молока, яєць, олій, цукру та меду, вирощування грибів (гливи та печериць), виробництво компосту. Крім того, пропонується модель передбачає виробництво дизельного біопалива і біоетанолу в кількості, необхідній для забезпечення роботи мобільної техніки, біогазу (отримання електроенергії та тепла), спалювання рулонів та січки соломи (отримання тепла та електроенергії). Зроблено висновок, що найбільший економічний ефект можливо отримати в збалансованій агроєкосистемі, яка поєднує рослинництво, тваринництво і виробництво біопалива, забезпечивши при цьому бездефіцитний баланс гумусу. При урожайності озимої пшениці 30 ц/га прибуток для збалансованої агроєкосистеми із виробництвом біопалива становитиме 2360 грн./га, що на 51,6% вище, ніж для агроєкосистеми без виробництва біопалива.

До недоліків наведеної концепції можна віднести:

- біоетанол дозволено виготовляти лише на великих сертифікованих заводах, який зводити в невеликому господарстві нерентабельно;

- очевидно, в концепції прийнято використання біодизеля В100 а не В5, що може призвести до зняття гарантійного обслуговування із енергетичного мобільного засобу, а також до зниження його ресурсу;

- при малотоварному виробництві, який закладений у дану концепцію, термін окупності біогазової установки буде наближатись до терміну її експлуатації, що не дасть змогу отримати достатньо прибутку;

- виробництво біогазу при монозброджуванні гною ВРХ від 150 корів дозволить окупити біогазову установку лише за 12,8 років; 8 т/рік гліцерину при додаванні як косубстрат до гною ВРХ в обсязі 0,75%, що дозволяє збільшити вихід біогазу з 0,7 до 1,4 л/год.-кг СОР, або з 87 до 174 м³/год., при якому термін окупності біогазової установки знизиться до 11,8 років, вистачить лише на 112 діб; якщо ж використовувати гліцерин від виробництва біодизеля В5, його вистачить на ще менший термін; застосування інших косубстратів даною концепцією не передбачено;

- вказана концепція передбачає, що в господарстві існує лише одне переробне виробництво – вирощування гливи; тому визначення прибутку для господарства з іншою площею орних земель та наявністю інших переробних виробництв шляхом простого множення розрахованого в концепції прибутку на відповідний коефіцієнт неможливе.

Мета досліджень

Мета дослідження – підвищення ефективності агропромислового виробництва шляхом розробки концепції розвитку сільських територій із

впровадженням комплексних екобезпечних технологій виробництва і використання біопалив.

Результати досліджень

Для усунення існуючих недоліків необхідно вирішити наступні завдання:

- для відновлення балансу гумусу в ґрунті збільшити долю тваринництва в господарствах, використовувати частину рослинних залишків в якості органічних добрив;
- розширити площі кормових культур для

забезпечення тваринництва кормами;

– організувати деякі переробні підприємства безпосередньо в господарстві;

– здійснити енергетичну автономність господарств та сільських громад шляхом впровадження комплексних екобезпечних технологій виробництва і використання біопалив безпосередньо в господарстві із існуючих ресурсів і відходів.

Для вирішення вказаних завдань розроблена концепція розвитку сільських територій із впровадження комплексних екобезпечних технологій виробництва і використання біопалив, яка полягає в наступному (рис. 1):

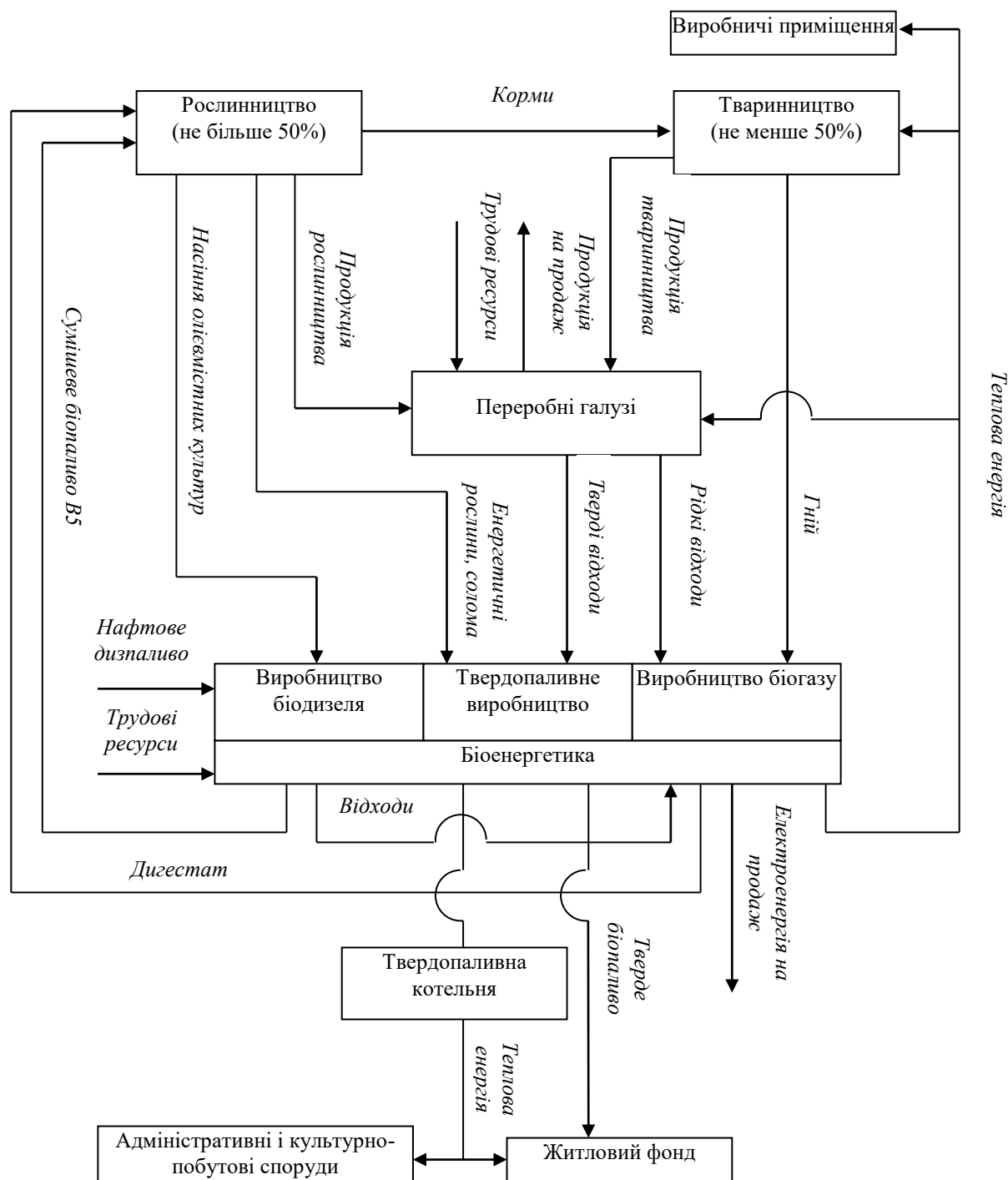


Рис. 1. Схема укрупненої концепції розвитку сільських територій із впровадження комплексних екобезпечних технологій виробництва і використання біопалив.

Fig. 1. Diagram of the enlarged concept of rural development for implementation of integrated green technologies in the production and use of biofuels.

– збільшення долі тваринництва в господарствах не менше, як до 50% вирішить проблему із відновленням родючості ґрунтів та збільшить вихід товарного молока;

– використання не менше 60-70% рослинних решток після збирання урожаю шляхом для відновлення родючості ґрунтів шляхом їх заробки в верхні шари ґрунту разом із гноєм, гноївкою, дигестатом або азотними добривами;

– розширення площі кормових культур із розрахунку 1 га на 1 товарну корову, що вирішить проблему із забезпеченням тваринництва кормами;

– впровадження часткової переробки с.-г. продукції безпосередньо в господарстві. Випускаються відносно недорогі міні-заводи контейнерного типу з переробки молока, м'яса, забою тварин, виробництва крохмалю, пива, вина, міні-заводи виробництва фруктових і овочевих консервів, комбікормів, олії, міні-лінії виробництва фруктових соків. Проблематично організувати в господарстві виробництво цукру через високі витрати природного газу, етилового спирту і біоетанолу – через необхідність отримання спеціального сертифікату. В структурі посівних площ необхідно передбачити вирощування сировини в об'ємах, необхідних для цілорічного функціонування виробництва. Запуск переробних підприємств в господарствах дозволить знизити рівень безробіття в сільському господарстві, "омолодити" село, вирішити проблему утилізації відходів переробних підприємств, зменшити транспортні витрати;

– здійснити енергетичну автономність господарств та сільських громад шляхом впровадження комплексних екобезпечних технологій виробництва і використання біопалив безпосередньо в господарстві із існуючих ресурсів і відходів. Впровадження виробництва дизельного біопалива В5 зекономити на заміні 5% нафтового дизпалива на біодизель і отримати додаткові корми для тваринництва. Переробка 40% соломи і 30% кукурудзяних і соняшникових стебел на паливні гранули і брикети дозволить забезпечити виробничу і соціально-побутову сферу господарства та індивідуальні житлові будинки членів сільської громади в енергоресурсах. Ще дешевшу сировину для виробництва паливних гранул і брикетів можна отримати при вирощуванні на невеликій площі багаторічних енергетичних рослин: верби, тополі, міскантусу, шавнату тощо. Будівництво біогазової установки дозволить переробляти гній с.-г. тварин на біогаз, при спалюванні якого вироблятиметься електроенергія і продаватиметься за "зеленим" тарифом енергетичним компаніям. Для збільшення виходу біогазу, а отже, зменшення терміну окупності біогазової установки, до гною с.-г. тварин доцільно додавати відходи переробних підприємств, які впроваджуються в господарстві, та біодизельного заводу. Дигестат біогазової установки (тверда і рідка фракції) буде використовуватись в якості органічних добрив на полях господарства. Це дозволить майже повністю відмовитись від використання мінеральних добрив, тому урожай с.-г. культур буде належати до

категорії "Есо" і продаватиметься за вищою ціною. Також рідкий дигестат можна продавати населенню для підживлення дерев і рослин, однак для цього повинен бути прийнятий стандарт на дигестат як органічне добриво.

Ступінь досягнення цілей концепції розвитку сільських територій із впровадження комплексних екобезпечних технологій виробництва і використання біопалив може бути оцінена за економічними, екологічними і енергетичними показниками.

Кінцевим економічним показником є прибуток господарства. Однак оскільки господарство вкладувало інвестиції в нові виробництва (переробні підприємства, біодизельний завод, біогазова установка, виробництво паливних гранул чи брикетів) важливим показником є термін окупності кожного нового підприємства, по закінченню якого ці виробництва будуть давати чистий прибуток господарству, який не буде використовуватись на компенсацію інвестицій в нове виробництво. До екологічних показників відносяться викиди господарством забруднюючих речовин і вуглекислого газу, а також процент продукції із маркою "Есо". До енергетичних показників відносяться виробництво електричної та теплової енергії в господарстві, перерахунок вироблених паливних гранул чи брикетів та біодизеля в їх теплову цінність.

Висновки

Впровадження запропонованої концепції розвитку сільських територій із впровадженням комплексних екобезпечних технологій виробництва і використання біопалив забезпечить відновлення родючості ґрунтів за рахунок встановлення балансу між галузями рослинництва і тваринництва, дозволить підвищити зайнятість сільського населення шляхом впровадження переробних підприємств безпосередньо в господарствах та забезпечить енергетичну автономність господарств та сільських громад шляхом впровадження комплексних екобезпечних технологій виробництва і використання біопалив в господарствах із існуючих ресурсів і відходів.

Список літератури

1. Україна у цифрах 2017: статистичний збірник. Київ: Державна служба статистики України, 2018. 241 с.
2. Ярош С. Я. Солома як альтернативний ресурс української енергетики. *Ефективна економіка*. 2016. № 1. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=4743> (дата звернення 22.09.2019).
3. Статистичний щорічник України за 2016 рік. Київ: Державна служба статистики України, 2017. 612 с.
4. Вторичные материальные ресурсы пищевой промышленности (образование и использование): справочник. Москва: Экономика, 1984. 327 с.
5. Железна Т. А., Баштовий А. І. Аналіз основних тенденцій розвитку біоенергетики в Європейському

Союзи. *Промислова теплотехніка*. 2018. Т. 80. № 3. С. 70-75.

6. Communication from the commission. An EU Strategy for Biofuels. Brussels. 08.02.2006 {SEC(2006) 142}. [Electronic resource]. URL: https://ec.europa.eu/europeaid/sites/devco/files/communication-eu-strategy-for-biofuels-com200634-20060208_en.pdf (access date: 21.02.2019).

7. Концепція державної цільової науково-технічної програми розвитку виробництва і використання біологічних видів палива. Схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 12.02.2009 р. за № 276-р. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.kmu.gov.ua/ua/npas/201151833> (дата звернення: 21.02.2019).

8. Роїк М. В., Ганженко О. М., Тимошук В. Л. Концепція виробництва і використання твердих видів біопалива в Україні. *Біоенергетика*. 2015. № 1. С. 5-8.

9. Веремейчик Н. В. Виробництво твердого біопалива в умовах господарства з місцевої біосировини: дис. ... кандидата техн. наук: 05.05.11. Глеваха, 2017. 166 с.

10. Засць Ю. О. Виробництво та використання твердого біопалива в цукробуряковому комплексі по концепції ICK Group. *Вісник цукровиків України*. 2012. № 5 (72). С. 13-16.

11. Калетник Г. М. Кластеризація виробництва біопалива – шлях до енергобезпеки України. *Економіка АПК*. 2009. № 20. С. 7-12.

12. Дубровін В. О., Мельничук М. Д., Драгнев С. В., Дубровіна О. В. Комплексні агробіоінженерні системи виробництва та використання біопалив. *Зб.наук. праць Вінницького нац. аграрного ун-ту*. 2012. № 10. Т. 1. С. 39-43.

13. Кухарець С. М., Голуб Г. А., Драгнев С. В. Обеспечение рационального использования сырья для получения биотоплив в агропромышленном комплексе. *Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture*. 2013. Vol. 15, № 4. P. 69-76.

14. Кухарець С. М., Шелученко Б. А. Обґрунтування механіко-технологічних основ конструювання агроєкосистем. *Збірник наук. пр. Подільського агротехнолог. ун-ту*. 2013. Спец. вип. до VIII наук.-практ. конф. "Сучасні проблеми збалансованого природокористування". С. 164-171.

15. Кухарець С. М. Підвищення енергетичної автономності агроєкосистем. Механіко-технологічні основи: монографія. Житомир: ЖНАЕУ, 2016. 192 с.

16. Голуб Г. А. Енергетична автономність агроєкосистем. *Вісник аграрної науки*. 2010. № 3. С. 50-54.

17. Голуб Г. А. Проблеми використання соломи в якості палива. *Вісник аграрної науки*. 2010. № 8. С. 49-52.

18. Голуб Г. А. Техничко-технологическое обеспечение энергетической автономности агроэкоэистем. Материалы Междунар. науч.-практ. конф. (19-20 окт. 2010 г., Минск, Беларусь): в 2 т. 2010. Т. 1. С. 24-29.

19. Голуб Г. А. Техніко-технологічне забезпечення енергетичної автономності агроєкосистем. *Наук. вісн. Нац. ун-ту біоресурсів і природокористування України*. 2010. Вип. 144, Ч. 4. С. 303-312.

20. Голуб Г. А. Проблеми техніко-технологічного

забезпечення енергетичної автономності агроєкосистем. *Збірник наук. пр. Вінницького нац. аграрного ун-ту*. 2011. Вип. 7. С. 59-66.

21. Біоенергетичні системи в аграрному виробництві; за ред. Г.А. Голуба. Київ: НУБіП України, 2017. 229 с.

22. Голуб Г. А. Управління технологічними процесами у тваринництві: навч. посібник. Київ: НУБіП України, 2016. 148 с.

23. Кухарець С. М., Голуб Г. А., Нездвєцька І. В., Коновалов О. В. Науково-технічні та економічні особливості виробництва і використання біопалив в агроєкосистемах. *Вісник Житомирського нац. агроєкологічного ун-ту*. 2012. № 2 (1). С. 187-194.

24. Кухарець С. М. Алгоритм розподілу органічних ресурсів в агроєкосистемах. *Збірник наук. пр. Вінницького нац. аграрного ун-ту*. 2012. № 10, Т.1 (58). С. 61-65.

25. Кухарець С. М., Голуб Г. А. Забезпечення енергетичної автономності агроєкосистем на основі виробництва біопалива. *Вісник Житомирського нац. агроєкологічного ун-ту*. 2012. № 1, Т. 1. С. 345-352.

26. Кухарець С. М., Голуб Г. А. Регулювання використання органічних ресурсів для виробництва біопалива. *Сільськогосподарські машини*. 2013. Вип. 24. С. 187-194.

27. Голуб Г. А., Кухарець С. М., Чуба В. В., Марус О. А. Виробництво і використання біопалив в агроєкосистемах. Механіко-технологічні основи: монографія. Київ: НУБіП України, 2018. 254 с.

References

1. Ukraine in figures 2017 (2018). Kyiv, Ukraine: State Statistics Service of Ukraine. 241.

2. Yarosh, S. Ya. (2016). Straw as an alternative resource for Ukrainian energy. *Effective economy*. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=4743> (access date: 22.09.2019).

3. Statistical Yearbook of Ukraine for 2016 (2017). Kyiv, Ukraine: State Statistics Service of Ukraine. 612.

4. Secondary material resources of the food industry (education and use) (1987). Moscow, Russia: Economy. 327.

5. Zhelezna, T. A., Bashtovy, A. I. (2018). Analysis of the main trends of bioenergy development in the European Union. *Industrial heat engineering*. 80 (3). 70-75.

6. Communication from the commission. An EU Strategy for Biofuels. Brussels. 08.02.2006 {SEC(2006) 142}. [Electronic resource]. URL: https://ec.europa.eu/europeaid/sites/devco/files/communication-eu-strategy-for-biofuels-com200634-20060208_en.pdf (access date: 21.02.2019).

7. Concept of the state target scientific and technical program for the development of production and use of biological fuels. Approved by the order of the Cabinet of Ministers of Ukraine from 12.02.2009 year by № 276-p. URL: <https://www.kmu.gov.ua/ua/npas/201151833> (access date: 21.02.2019).

8. Royk, M. V., Ganzhenko, O. M., Tymoshchuk, V. L. (2015). Concept of production and use of solid biofuels in Ukraine. *Bioenergy*. 1. 5-8.
9. Veremeychik, N. V. (2017). Production of solid biofuels in the conditions of the economy of local biosources. Extended abstract of candidate's thesis. Glevakha, 166.
10. Zaiets, Yu. O. (2012). Production and use of solid biofuels in the sugar-beet complex on the concept of the ICK Group. *Herald of Sugarcorns of Ukraine*. 5 (72). 13-16.
11. Kaletnik, G. M. (2009). Clustering of biofuel production – the path to energy security of Ukraine. *Economy of agroindustrial complex*. 20. 7-12.
12. Dubrovin, V. O., Melnychuk, M. D., Dragnev, S. V., Dubrovina, O. V. (2012). Comprehensive agro-bioengineering systems for the production and use of biofuels. *Sci. works of Vinnytsia national agrarian un-th*. 10. (1). 39-43.
13. Kukharets, S. M., Golub, G. A., Dragnev, S. V. (2013). Ensuring the rational use of raw materials for the production of biofuels in the agro-industrial complex. *Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture*. 15 (4). 69-76.
14. Kukharets, S. M., Sheluchenko, B. A. (2013). Substantiation of mechano-technological bases of design of agroeximite. *Collection of sciences. Podilsky Agrotechnology un-th. SI to the fifth sciences-practice. conf. "Modern problems of balanced use of nature"*. 164-171.
15. Kukharets, S. M. (2016). Increase of energy autonomy of agroecosystems. *Mechanical and technological bases. Zhytomyr, Ukraine: Zhytomyr National Agroecological University*, 192.
16. Golub, G. A. (2010). Energy autonomy of agro systems. *Bulletin of Agrarian Science*. 3. 50-54.
17. Golub, G. A. (2010). Problems of using straw as fuel. *Bulletin of Agrarian Science*. 8. 49-52.
18. Golub, G. A. (2010). Technical and technological support of energy autonomy of agroecosystems. *Materials of the Intern. scientific-practical conf. (Oct. 19-20, 2010, Minsk, Belarus)*. 1. 24-29.
19. Golub, G. A. (2010). echnological and technological support of energy autonomy of agro ecosystems. *Science wisn National University of Life Sciences and Natural Resources of Ukraine*. 144 (4). 303-312.
20. Golub, G. A. (2011). Problems of technical and technological provision of energy autonomy of agro ecosystems. *Collection of sciences Vinnytsia National agrarian un-th*. 7. 59-66.
21. Golub, G. A., Kukharets S. M., Marus O. A., Pavlenko M. Yu., Serha K. M., Chuba V. V. (2017). *Bioenergy systems in agrarian production*. G. A. Golub (Ed.). Kyiv, Ukraine: NUBiP of Ukraine. 229.
22. Golub, G. A. (2016). Management of technological processes in animal husbandry. Kyiv, Ukraine: NUBiP of Ukraine. 148.
23. Kukharets, S. M., Golub, G. A., Nezdetska, I. V., Kononov, O. V. (2012). [Scientific, technical and economic features of production and use of biofuels in agro-systems. *Bulletin of Zhytomyr National Agroecological University*. 2 (1). 187-194.
24. Kukharets, S. M. (2012). Algorithm for the distribution of organic resources in agro ecosystems. *Collection of sciences. Vinnytsia National agrarian un-th*. 10 (1). 61-65.
25. Kukharets, S. M., Golub, G. A. (2012). Ensuring energy autonomy of agro ecosystems on the basis of biofuel production. *Bulletin of Zhytomyr National Agroecological University*. 1 (1). 345-352.
26. Kukharets, S. M., Golub, G. A. (2013). Regulation of the use of organic resources for biofuel production. *Agricultural machinery*. 24. 187-194.
27. Golub, G. A., Kukharets, S. M., Chuba, V. V., Marus, O. A. (2018). *Production and use of biofuels in agroecosystems. Mechanical and technological bases*. Kyiv, Ukraine: NUBiP of Ukraine. 254.

КОНЦЕПЦИЯ РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКИХ ТЕРРИТОРИЙ С ВНЕДРЕНИЕМ КОМПЛЕКСНЫХ ЭКОБЕЗОПАСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОТОПЛИВ

В. Н. Полищук

Аннотация. Проведен анализ современного состояния производства сельскохозяйственной продукции и развития сельских территорий в Украине. На основе анализа существующих концепций комплексного производства и использования биотоплива в Украине и в мире разработана концепция развития сельских территорий с внедрением комплексных экобезопасных технологий производства и использования биотоплива, внедрение которой обеспечит восстановление плодородия почв за счет установки баланса между отраслями растениеводства и животноводства, позволит повысить занятость сельского населения путем внедрения перерабатывающих предприятий непосредственно в хозяйствах и обеспечит энергетическую автономность хозяйств и сельских общин путем внедрения комплексных экобезопасных технологий производства и использования биотоплива в хозяйствах с существующих ресурсов и отходов.

Ключові слова: экобезопасные технологии, концепция, биотоплива, сельские территории, сельскохозяйственная продукция

CONCEPT OF AGRICULTURAL DEVELOPMENT WITH INTEGRATION OF INTEGRATED ECONOMIC TECHNOLOGIES OF MANUFACTURE AND USE OF BIOFUELS

V. M. Polishchuk

Abstract. The analysis of the current state of production of agricultural land is carried out. products and development of rural areas in Ukraine. On the basis of the analysis of existing concepts of integrated production and use of biofuels in Ukraine and in the world, a concept for the development of rural areas with the implementation of integrated environmentally safe technologies for the production and use of biofuels has been developed, the introduction of which will ensure the restoration of soil fertility by establishing a balance between the crop and

livestock sectors, population by introducing processing enterprises directly into the farms and providing energy autonomy in farms and rural communities through implementation of integrated tourism and attendant technology production and use of biofuels in the farms of the existing resources and waste.

Key words: environmentally friendly technologies, concept, biofuels, rural territories, agricultural products.

В. М. Поліщук ORCID 0000-0002-9654-9051.

UDC 656.073.28-043.2(477)

MAIN FACTORS THAT HAVE IMPACT ON UKRAINIAN MARKET OF TRANSPORT SERVICES

O. M. Zagursky, B. S. Marchenko

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

Corresponding authors: zagurskiy_oleg@ukr.net.

Article history: Received: March 2019. Received in the revised form: April 2019. Accepted: June 2019.

Bibl. 8, fig. 7, tabl. 1.

Abstract. The state of the freight transport market in Ukraine depends on three main factors: foreign trade turnover, gross domestic product and production. When all these indicators grow, logistics also develops, and along with it along the ascending line rises transport.

The article analyzes the main factors influencing the level of competitiveness of economic entities in the market of transport services in Ukraine.

The main criteria, which ensure the sustainable development of the market of motor transport services is defined: geographic position; the dynamics of the situation of the sector commodity markets; the level of demand and supply in the market of transport services; dynamics of market conditions of motor transport freight transportation; state and competitive environment in the middle of the industry.

Results of the conducted analytical research for 2014-2018, the market of transport services of Ukraine certify that the motor transport industry having experienced the same losses during the crisis period as in the whole of Ukraine. The fastest pace goes out of her and the share of road transport in the volumes of cargo transportation every year increases.

Key words: motor transport, competitiveness, demand, supply, market of transport services.

only facilitate the promotion of goods from the manufacturer to the consumers, but also fully satisfy the requirements of customers (shippers and consignees) in the shortest possible time and with the least cost of resources. The most important factors in assessing the quality of its services are: the time of execution of the order; completeness, degree of availability and reliability of the order fulfillment; the objectivity of the tariffs and the regularity of the information on the location of the goods.

Analysis of recent research results

Some aspects of this problem reflected in the writings J. Allen, M. Broun, T. Cherret [7], V. Zamlynsky, V. Koval, V. Kotlubay [3], O. Parubets [4], P. Popovich, O. Shevchuk, A. Matviishin, V. Lototskaya [6].

However, under the condition of the development of globalization processes, informatization of society, increase in freight traffic directly depends on effective development. the market of transport services and its infrastructure, which requires conducting further research in this direction.

Introduction

The market for motor transport services is what it has. function in this way. not only to promote the promotion of goods from manufacturers. to consumers, but also fully satisfy the requirements of customers. (shippers and consignees) in the shortest possible time. and with the least cost of resources. The most important factors in assessing the quality of its services are: time of order fulfillment; completeness, degree of accessibility. and reliability of the order fulfillment; objectivity of tariffs. and the regularity of the information about the location of the cargo.

Formulation of problem

The peculiarity of the market for motor transport services is that it should function in such a way as to not

Purpose of research

The purpose of the work is analytical research of the main factors of influence on the level of competitiveness business entities in the market of transport services in Ukraine.

Results of research

On the structure market of motor transport services are influenced by three groups of factors related to globalization trends and interbranch and intra-industry factors of economic development.

The first group includes indicators that related to liberalization. trade and economic relations, from the simplification of international trade. by reducing domestic tariffs, up to the complete elimination of customs barriers in mutual trade. Globalization of

markets and integration at the mega-level and accordingly the emergence of transnational companies. (TNCs), generally eliminate, or significantly reduce competition between business entities.

The second group are the macroeconomic factors of national economy, quantitative and qualitative indicators of the level of demand on transport services of branches of the national economy. They directly influence the level of consumer activity - economic agents and households.

The third set of indicators is a set of indicators that characterize the level of satisfaction manufacturers of goods and services available on the market transport services and conditions of interaction subjects of the market.

The state of the market segment of motor transport services should be evaluated according to the following criteria:

- geographical location;
- the dynamics of the situation of sector commodity markets;
- the level of demand and supply in the market of transport services;
- the dynamics of the market conditions for road freight transportation;
- condition and competitive environment in the middle of the industry.

Let's consider them in more detail:

Geographical location. Favorable geographical position. makes Ukraine an important transport hub. connecting Europe, Asia and the Middle East. Road network of Ukraine. covering the entire territory of the country, it makes it possible to deliver the goods to any destination.

The territory of Ukraine includes 5 international transport corridors.

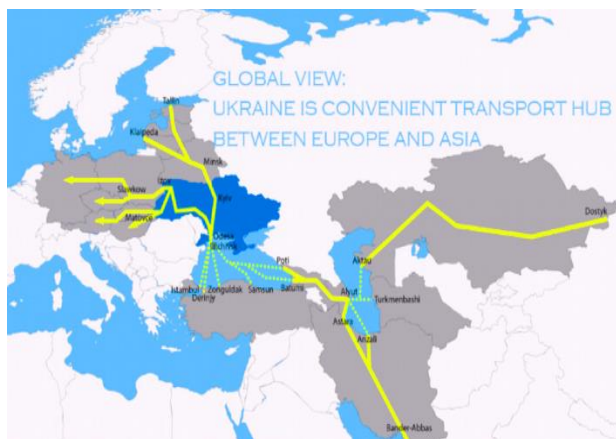


Fig. 1. Scheme of international transport corridors passing through the territory of Ukraine.

Source: <https://mtu.gov.ua/content/tmu.html>.

With a total length of more than 5000 km, namely:

- Pan-European Transport Corridor No. 3 (passing through Germany, Poland and Ukraine along the route Dresden - Wroclaw - Lviv - Kiev Length - 1,640 km, of which, through which through Ukraine pass 694 km of railways and 611 km of highways);
- Pan-European Transport Corridor No. 5 (passing through Italy, Slovenia, Hungary, Slovakia and Ukraine,

it connects Venice and Kiev via Ljubljana, Budapest and Uzhhorod, with a length of 1,595 km, of which 339 km of railways pass through Ukraine and 266 km of highways);

- Pan-European Transport Corridor No. 7 (connecting Austria, Hungary, Bulgaria, Romania, Moldova and Ukraine: 70 km of this corridor passes through Ukraine);

- Pan-European Transport Corridor No. 9 (passes through Finland, Russia, Ukraine, Belarus, Moldova, Romania, Greece.) This corridor connects Helsinki - St. Petersburg - Gomel - Kiev - Odessa - Bucharest - Alexandroupolis, length - 3,400 km, of which 1,496 km of railways and 996 km of roads pass through the territory of Ukraine);

- The international transport corridor Gdansk - Odessa (passing through Italy, Slovenia, Hungary, Slovakia and Ukraine, joining Trieste - Ljubljana - Budapest - Bratislava - Uzhhorod - Lviv, length - 1,816 km, of which 266 km of railway pass through the territory of Ukraine roads and 338.7 km of highways)

Dynamics of the situation of sector commodity markets. In Ukraine, the commodity-producing sectors of the economy include coal, metallurgy and chemical industry, construction industry, and agriculture. Products of plant cultivation, in particular cereal crops, are the most dynamically growing cargo base in recent years.

Analysis of foreign trade of the country. over the last five years (Fig. 2) testifies to. its substantial decrease in 2014-2016. in comparison with the previous ones (linked both to the global financial and economic crisis and to the systemic economic and political crises in the country, and especially to russian aggression).

Another after 2009, the fall of industrial production in 2015 (approximately 13.4%) was triggered primarily by a reduction in external demand for goods and services and a decrease in foreign direct investment. Only in 2017 begins a slight increase in cargo turnover, production of industrial products, which continued throughout 2018.

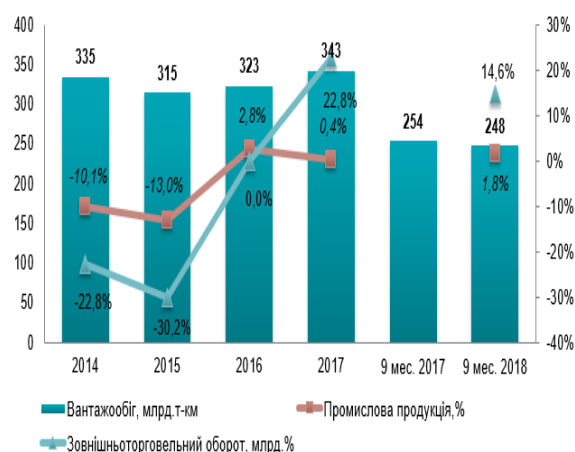


Fig. 2. Dynamics of cargo turnover, production of industrial products in 2014-2018.

Source: Data of the State Statistics Service of Ukraine for the relevant years.

Source: data of the State Statistics Service of Ukraine for the relevant years.

As for domestic trade in the country, it should be noted that its state is much better. Volumes of wholesale trade turnover (Figure 3) are constantly increasing (growth rates make up 32% in 2016 and 22.7% in 2017 compared to previous years). And in the first half of 2018, the wholesale turnover exceeded a trillion hryvnas, which would approximate it to the figure of 2015.

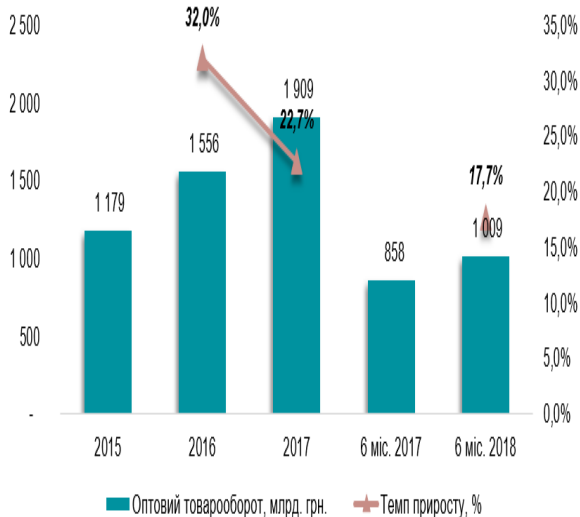


Fig. 3. Dynamics of the volume of wholesale trade turnover in Ukraine for 2015-2018.

Source: Data of the State Statistics Service of Ukraine for the relevant years.

Regarding the volumes of retail trade, they, despite the significant decrease in purchasing power of the population, are also growing (Fig. 4). And if during 2014-2015 there was a decrease in physical volumes of retail trade turnover - 90.0% and 80.2% respectively. In 2016, the growth of retail trade turnover in Ukraine amounted to 16.3%, in 2017 - 5.5%, and according to the results of the first half of 2018, its growth rate increased to 18.8% over the same period last year.

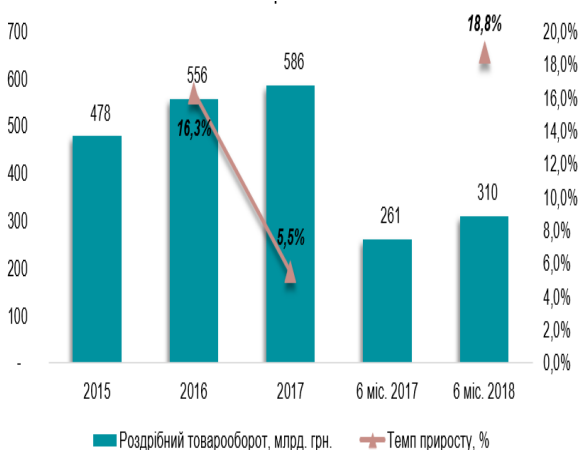


Fig. 4. Dynamics of Retail Turnover in Ukraine 2015-2018.

Source: Data from the State Statistics Service of Ukraine for the relevant years.

At the same time, noting some positive tendencies of increasing retail trade turnover, it should be noted that

the significant contribution to the growth of the actual retail turnover in the analyzed period was created due to the extensive factor, namely, the rapid growth of prices for consumer goods. Thus, the consumer price index in 2014 in relation to 2013 was 124.9%, in 2015 - 143.3%, in 2016 - 112.4%, in 2017 - 113.7%, in 2018 - 109,8 with similar comparisons.

The level of demand and supply in the market of transport services.

Analyzing the dynamics of the freight transport market, we note that the sharp decline in the country's external commodity turnover in 2014, and, accordingly, the volumes of cargo transportation in subsequent years by 9-18%, and the freight turnover of 9-15% compared to 2013, was due to a decrease in exports and imports with Russia.

This reduction was not compensated by other countries. In 2013, the volume of cargo turnover with Russia was 38.3 billion dollars, in 2017 this figure amounted to 11 billion dollars. The fall was 75%. With other countries foreign trade turnover has changed very insignificantly and in the general dynamics of the volume of turnover in billion dollars. decreased in 2017 by 33.8% compared to 2013.

Accordingly, about one third of the capacity in logistics remained unoccupied, especially those who carried goods to Russia, Belarus and other CIS countries.

However, despite the reduction of the indicator of product turnover, the volume of transport services implemented in the country is increasing. Due to the growth of wholesale and retail trade turnover and industrial production in 2017, the market for transport services in Ukraine grew by 14%, and for the first half of 2018 it was 16.8% compared to the same indicator in 2017 (Figure 5).

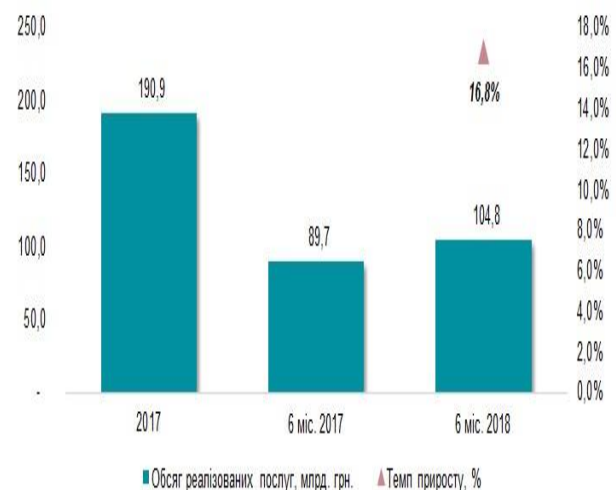


Fig. 5. Dynamics of volumes of transport services market in Ukraine in general in 2017 - 6 months. 2018 biennium, billion UAH.

Source: data of the State Statistics Service of Ukraine for 2017-2018.

If we consider the changes that took place in 2016-2017 in the structure of freight traffic, then it should be noted growth in the structural dynamics of goods transported by road transport.

The reasons for such an increase are, first of all, the entry of large foreign companies into the market and the increase of investments in the development of road infrastructure, as well as a significant increase in tariffs for rail transport.

At the same time, we note a number of problems that have been disturbed in the past and continue to hinder the development of the transport industry to the full extent - low quality of transport infrastructure, obsolete rolling stock, significant impact of shadow transportation, politicization of governance and the

process of updating road and railways in the country, high accident rate on roads.

The dynamics of market conditions freight road transport.

In the period of the crisis, the motor industry experienced the same losses as in the whole period of transport, and Ukraine's transport is at its most rapid pace, and the share of road transport in the volume of cargo transportation is increasing year by year, and in terms of freight turnover, by 15% in 2017 compared to 2013. (Table 1)

Table 1. The main indicators work of the transport in Ukraine.

Year	All types of transport		Motor transport		Specific gravity in the total volume of motor transport	
	Transported cargoes million tons.	Cargo turnover billion tons	Transported cargoes million tons.	Cargo turnover billion tons	Cargo transported %	Cargo turnover %
2013	1802	393,3	1236	57,4	68,6	14,6
2014	1623	353,6	1131	56,0	69,7	15,8
2015	1474	334,7	1021	53,3	69,2	15,9
2016	1543	344,2	1086	58,0	70,4	16,8
2017	1582	364,2	1122	62,3	70,9	17,1

Source: Transport and Communications of Ukraine 2017: Stat. save / ed. O.O. Karmazin. Kyiv. State Statistics Service of Ukraine, 2018. - P. 154 and own calculations.

The growth of the last indicator was facilitated by an increase in the average distance of road transport by one ton of goods (from 47 km in 2013 to 56 in 2017 [5, p. 57]).

Thus, according to the State Statistics Service of Ukraine, the volume of goods transported by road, amounted to 1.1 billion tons, or 102.9% of the volume of cargo in 2016. Starting from 2015, cargo turnover rates will increase by 107.4% in 2016 and 106.5% in 2017 (rice).

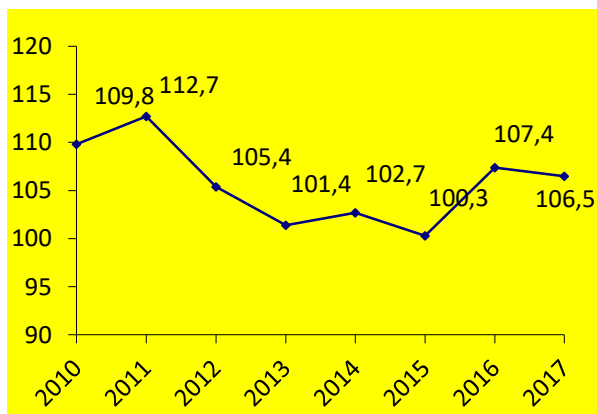


Fig. 6. Cargo turnover of road transport (in% to the previous year).

Source: Results of the motor transport operation in 2017. Express issue. Kyiv. State Statistics Service of Ukraine, 2018.

Among the economic sector, the largest share in the use of motor transport in Ukraine in 2016-2018 (Fig. 8) accounts for the extractive industry (18.6%). Following this indicator are the food industry - 15.5%, wood products - 13.2%, and products of agriculture, forestry, fisheries and hunting - 8.5.

Status and competitive environment within the industry.

Analyzing the state and competitive environment in the market of motor transport services, it should be noted that it is highly competitive. It operates as large transport and logistics operators. as well as a significant number of small enterprises-carriers of goods, which in total is about 4 thousand business entities which in general corresponds to the world trends in the development of the automotive industry, according to which "the implementation of road freight transport by private operators in free markets - is the optimal scheme for the organization of such transportation" [1, c. 17].

Motor transport Freight is divided into two main types: domestic and international, performed by Ukrainian operators. Most carriers are interested in both directions, but some work on external routes does not allow the market situation or state of the vehicle fleet. Part of the operators - the heirs are still Soviet automobile bases, others, on the contrary, created in the last 5-7 years.

In the market of international road transportation there are 24 thousand cars, which are included in AsMAP, and another 7 thousand car carriers who are not members of this association. The total number of cars in the market of transport services exceeds 130 thousand. The major players in the market are Trans Service 1, AGS UKRAINE, Trans Logistics, Europe Trans Ltd, Orlan Trans Group, KVK Rapid and others.

Assessing the state of the motor transport industry V.V. Bilichenko, defines three clusters of investigated motor transport enterprises, which in his opinion are characterized by a certain degree of strategic development.

To cluster 1 (63.7% of the total number of trucking companies), there are small enterprises, which range from one to ten cars. They usually do not have the

necessary material and technical support for the maintenance and repair of rolling stock.

To cluster 2 (25.2% of the total number of trucking companies) there are automobile companies, which number from 10 to 50 cars. Their characteristic feature is the availability of a certain material and technical base for the maintenance and repair of rolling stock, and their management pays attention to how their business will develop.

The cluster 3 (11.1% of the total number of aviation companies) includes automobile companies with more than 50 cars at their disposal. They have a good material and technical base for maintenance and repair of rolling stock, are industry leaders, are paying much attention to innovative processes in the management and implementation of new technologies in technology and overall improvement in the quality of transport work [2, p. 35-36].

The leading carriers, in addition to the fleet, have their own service centers, customs and warehouses. The main players in this market are as large manufacturers of Metinvest Holding LLC, Ukrnafta PAT, Kernel-Trade PAT and other such trading organizations, including retailer networks such as Silpo, Ashan, ATB-Market ", Metro Cash & Carry Ukraine Ltd. and others.

Among the logistic operators in Ukraine, in recent years, they are developing and increasing their share in the market 3PL-operators (the segment of contractual logistics).

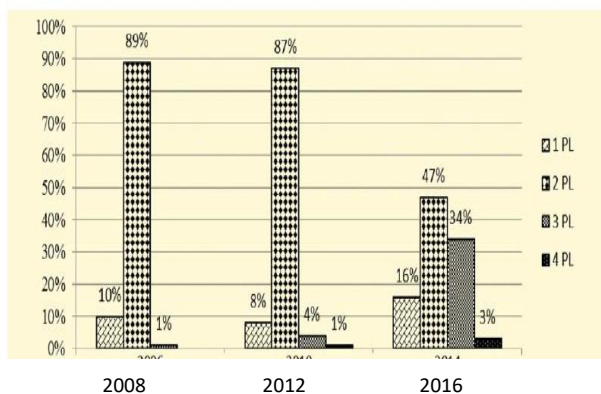


Fig. 7. The share of PL-operators in the structure of the logistic services market for 2008-2016.

Source: Analysis of logistic services market of Ukraine. <https://pro-consulting.ua/ua/issledovanie-rynka/analiz-rynka-logistiki-ukrainy-2014-2015-gg>.

For them, transportation is one of the profile functions, and 80% of the top 500 companies in the world use Fortune's list of services. [8] Among the Ukrainian companies that can be distinguished at this time - Business Group, ZAMMLER, Logistic Plus, UVK and NP Logistik.

The analysis of the results of economic activity of the subjects of the market of logistic services shows a low level of marginality and, accordingly, profitability of business. For most enterprises, the industry for 2014-2016 years was a loss, caused by an imperfect tariff policy in the area of service provision and the lack of

transparency in the formation of costs for state transport companies.

Regarding the degree of openness of the market for logistics services in Ukraine, we determine that, despite positive trends from 2016 on increasing the volume of import and export of transport services, the share of transport services in the total volume of imports and exports of services has almost remained unchanged. The high share of transport services in the total volume of export of services shows the great importance of this sphere for the national economy.

The openness rate of the domestic market ranges from 10 to 19%, which is evidence of a greater closedness of the market (for the open market, this ratio is more than 30%). Of course, the value of these indicators depends significantly on the volume of international trade in Ukraine and the servicing of transit flows. The openness rate of the domestic market ranges from 10 to 19%, which is evidence of a greater closedness of the market (for the open market, this ratio is more than 30%). Of course, the value of these indicators depends significantly on the volume of international trade in Ukraine and the servicing of transit flows.

Conclusions

1. The analysis of the main factors influencing the level of competitiveness of economic entities in the market of transport services in Ukraine suggests that a favorable geographic location makes Ukraine an important transport hub connecting Europe, Asia and the Middle East. The road network of Ukraine covering the whole territory of the country makes it possible to deliver the cargo to any destination.

2. The analysis of foreign trade of the country shows its significant decrease in 2014-2016 as compared to the previous one (due to the global financial and economic crisis and the systemic economic and political crises in the country, and especially to Russian aggression).

3. However, despite the reduction of the indicator of product turnover, the volume of transport services implemented in the country is increasing. Due to the growth of wholesale and retail trade turnover and industrial production in 2017, the market for transport services in Ukraine grew by 14%.

4. In the period of the crisis, the motor industry experienced the same losses as in the whole period of transport, and Ukraine's transport is at its most rapid pace, and the share of road transport in the volume of cargo transportation is increasing year by year, and in terms of freight turnover, by 15% in 2017 compared to 2013.

References

1. Amos P. (2004). Operational manual. The role of the state and the private sector in providing transport infrastructure and transport services. World Bank Group. Washington. 25.

2. Bilichenko V. V. (2014). Background of the substantiation of strategic development of production systems of motor transport in Ukraine. *Bulletin of the Zhytomyr State Technological University*. №. 2. 33-43.

3. Zamlynsky V. A., Koval V. V., Kotlubay V. O. (2017). Status and prospects of development of export potential of the market of motor transport services. *Economics and Society*. No 9. 210-214.

4. Parubets O. M. (2018). Research of problems and prospects of development of export of transport services of Ukraine. *Scientific notes of the National University of Ostroh Academy*. Ostrog: NauOAO. No 9 (37). 21-24.

5. Transport and Communications of Ukraine 2017 (2018): Stat. save, ed. O.O. Karmazin. Kyiv. State Statistics Service of Ukraine.

6. Popovich P. V., Shevchuk O. S., Matviishin A. Y., Lototskaya V. M. (2016). Research of tendencies of development of the market of road haulage in modern conditions. *Bulletin of the Zhytomyr State Technological University*. № 2. 224-229.

7. Allen J., Browne M. T. (2012). Cherrett Investigating relationships between road freight transport, facility location, logistics management and urban form, *Journal of Transport Geography*, № 24, 45-57.

8. Top Global 3PLS. SJ Consulting Group. The journal of commerce URL: www.jindell.com; Want a Better Supply Chain? Here Are 4 Reasons to Outsource Your Transportation Management. talkinglogistics.com.

Список літератури

1. Amos P. Operational manual. The role of the state and the private sector in providing transport infrastructure and transport services. World Bank Group. Washington 2004. 25 p.

2. Bilichenko V. V. Background of the substantiation of strategic development of production systems of motor transport in Ukraine. *Bulletin of the Zhytomyr State Technological University*. 2014. №. 2. P. 33-43.

3. Zamlynsky V. A., Koval V. V., Kotlubay V. O. Status and prospects of development of export potential of the market of motor transport services. *Economics and Society*. 2017. No. 9. S. 210-214.

4. Parubets O. M. Research of problems and prospects of development of export of transport services of Ukraine. *Scientific notes of the National University of Ostroh Academy*. Ostrog: NauOAO 2018 No. 9 (37). pp. 21-24.

5. Transport and Communications of Ukraine 2017: Стат. save / ed. O.O. Karmazin. Kyiv. State Statistics Service of Ukraine, 2018.

6. Popovich P. V., Shevchuk O. S., Matviishin A. Y., Lototskaya V. M. Research of tendencies of development of the market of road haulage in modern conditions. *Bulletin of the Zhytomyr State Technological University*. 2016. № 2. P. 224-229.

7. Allen J., Browne M. T. Cherrett Investigating relationships between road freight transport, facility location, logistics management and urban form, *Journal of Transport Geography* 2012, № 24, 45-57.

8. Top Global 3PLS. SJ Consulting Group. The journal of commerce URL: www.jindell.com; Want a

Better Supply Chain? Here Are 4 Reasons to Outsource Your Transportation Management // talkinglogistics.com

ОСНОВНІ ФАКТОРИ ВПЛИВУ НА РИНОК ТРАНСПОРТНИХ ПОСЛУГ УКРАЇНИ

О. М. Загурський, Б. С. Марченко

Анотація. Стан ринку вантажоперевезень в Україні залежить від трьох основних чинників: зовнішньоторговельного обороту, валового внутрішнього продукту і виробництва. Коли всі ці показники зростають, логістика також розвивається, а разом з нею по висхідній лінії піднімається і транспорт.

В статті проведено аналітичне дослідження основних факторів впливу на рівень конкурентоспроможності господарюючих суб'єктів на ринку транспортних послуг в Україні.

Основними критеріями, що забезпечують сталий розвиток ринку автотранспортних послуг визначено: географічне положення; динаміку кон'юнктури галузевих товарних ринків; рівень попиту і пропозиції на ринку транспортних послуг; динаміку кон'юнктури ринку автотранспортних вантажних перевезень; стан і конкурентне середовище в середині галузі.

Результати проведеного аналітичного дослідження за 2014-2018 роки ринку транспортних послуг України засвідчують, що автотранспортна галузь зазнавши за період кризи таких же втрат як і загалом транспорт України найбільш швидкими темпами виходить із неї і питома вага автомобільного транспорту в обсягах перевезень вантажів з кожним роком зростає.

Ключові слова: автотранспорт, конкурентоспроможність, попит, пропозиція, ринок транспортних послуг.

ОЦЕНКА РЫНКА ТРАНСПОРТНЫХ УСЛУГ УКРАИНЫ

О. Н. Загурский, Б. С. Марченко

Аннотация. Формируя стратегию развития и функционирования отечественных отраслевых рынков необходимо поддерживать как суверенитет государства так и способствовать интеграции экономики страны в мировую хозяйственную систему. Особенно это относится к развитию экспорта транспортных услуг путем создания условий для привлечения транзитных грузопотоков на территорию Украины.

В статье рассмотрены методические подходы к факторам повышения конкурентоспособности хозяйствующих субъектов на рынке транспортных услуг в Украине. Среди основных выделены рыночные позиции хозяйствующих субъектов рынка (наличие потенциальных конкурентов, цены, качество) и уровень спроса на рынке (объем рынка, платежеспособность потребителей). Оценена степень монополизации, концентрации и конкуренции на рынке транспортных услуг.

Результаты исследования свидетельствуют о важном значении транспортной отрасли для

экономики страны. Анализ рынка транспортных услуг показал, что он оптимально конкурентный, имеет низкую степень концентрации (коэффициента концентрации – 2,3%) и власти крупнейших логистических компаний (индекс ННІ ($0,8 \leq 1000$), что характеризует его как совершенный с высоким уровнем конкуренции.

Ключевые слова: емкость, концентрация, конкурентоспособность, монополизация, рынок, транспортные услуги.

O. M. Zagursky ORCID 0000-0002-5407-8466.

B. S. Marchenko ORCID 0000-0002-8347-4813.

УДК 631.362

ОЦІНКА ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР ПІСЛЯ ЗБЕРІГАННЯ У ЗЕРНОСХОВИЩІ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЗВОРУШЕННЯ

С. В. Кюрчев, В. О. Верхоланцева, Л. М. Кюрчева

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, Україна.

Кореспонденція авторів: valentyna.verkholantseva@gmail.com.

Історія статті: отримано – квітень 2019, акцептовано – червень 2019.

Бібл. 13, рис. 8, табл. 0.

Анотація. Проведений аналіз дозволив розробити принципову схему зерносховища. Дана конструкція дозволяє уникнути значних втрат зерна, зберегти його якість, а також знизити витрати на зберігання. Потік повітря, який проходить крізь зернову масу, здійснює різносторонній технологічний вплив на зерно. Зернова продукція розміщується на певній відстані від підлоги, що значно зменшує можливість накопичення вологості нижніми шарами зернової маси. Нижню опорну поверхню піддона рекомендується виконувати металеву з метою поліпшення умов зберігання зерна, а бічні – металевими.

Розроблена система зберігання передбачає використання конвективного потоку холодоносія за двома напрямками: централізований - для постійного винесення вологи з поверхні сипкої продукції та створення необхідних умов мікроклімату та локальний – для зворушення та неперервного оновлення шарів сировини при винесенні вологи до поверхні. Така схема зерносховища із активним вентиляванням конвективним потоком холодоносія дає можливість зберегти основні властивості продукції з мінімальними втратами протягом довготривалого терміну. Локальний спосіб охолодження досягається за допомогою спеціальних імпульсних пневмодинамічних барботерів, які розміщуються з двох боків піддона з продукцією, що розміщується насипом, напроти один одного. У результаті взаємодії зустрічних пневмодинамічних хвиль та їх суперпозиції утворюються стоячі хвилі, що переносять кінетичну енергію як у повздовжньому, так і потоків, які в свою чергу зворушують зернову масу. За таких умов зберігання зернової маси практично виключаються злежування та активація небажаних мікробіологічних процесів. Дана система не передбачає застосування достатньо металоемких та енерговитратних механічних засобів зворушення зернової продукції. Застосування такого способу дозволяє швидко знизити початкову температуру партії зерна, а тим самим запобігає втратам, які виникають внаслідок у ході процесу зберігання.

Ключові слова: зберігання, технологія, зерно, зерносховище, показники якості, модель, клейковина, вологість.

Постановка проблеми

В останні роки система застосування неперервного охолодження на всіх етапах виробничого процесу від виробника до споживача набула значного розвитку у Західній Європі. Для покупців якісне охолодження продуктів визначає вибір постачальника.

Аналіз останніх досліджень

Насправді деякі харчові продукти не псуються навіть під час тривалого транспортування на великі відстані без охолодження чи заморозки. Вже багато років холодильні установки вдало застосовують для транспортування охолоджених чи заморожених продуктів. Циркуляція холодного повітря компенсує проникнення тепла через стінки де воно зберігається [1, 2, 3, 6].

Мета досліджень

Метою досліджень є визначення основних показників якості після зберігання у зерносховищі із застосуванням нового підходу.

Результати досліджень

Сільське господарство України є виробником великої кількості продукції рослинництва – зерна, технічних культур, плодів, овочів та кормових засобів. Більшість цієї продукції проходить післязбиральний обробіток безпосередньо в господарствах, реалізується державі та на ринку, частково переробляється та зберігається безпосередньо в господарствах. Враховуючи вищесказане сільськогосподарське виробництво вимагає значного удосконалення та підвищення рівня не тільки технологій вирощування сільськогосподарських культур, а також прийомів та способів після- збиральної обробки, зберігання та первинної переробки сільськогосподарської продукції.

Підготовку сховищ до зберігання продукції починають з прибирання складів і камер та прилеглих територій від решток і сміття. Сухі рештки спалюють, а вологі закопують глибоко в ґрунт. Обладнання і тару, які можна винести, складають на майданчику біля складу для провітрювання. Після прибирання сховища його кілька днів провітрюють та просушують [4, 5, 7, 8, 9].



а)



б)

Рис. 1. Загальний вигляд двох зерносховищ (а), які обладнанні розробленої системою охолодження, (б) між двома зерносховищами розташована система охолодження двох зерносховищ у ТОВ «СПП ЛАНА».

Fig. 1. General view of two granaries (a) equipped with the developed cooling system, (b) between the two granaries there is a cooling system of two granaries in LLC "SPP LANA".

Дослідження технології охолодження зернової маси, а саме пшениці із застосуванням запропонованих зерносховищ у процесі зберігання

проводили у ТОВ «СПП ЛАНА» Михайлівського району Запорізької обл.

Збереження природних якостей зерна на практиці за рахунок використання холоду, а холод – дешевий і незамінний консервант будь-якої сільськогосподарської продукції, дозволив підвищити ефективність тривалого зберігання.

Нами пропонується система зберігання зернової маси у зерносховищі, яка складається із певного виду обладнання рис. 1. Нами пропонується розглянути основні параметри якості, які були отримані у процесі охолодження у зерносховищі ангарного типу. На рис. 2 зображено зерносховище із зерном. Хочемо сказати, що нами розглядалися у ТДАТУ 3 зерносховища із різними режимними параметрами, та ми прийшли до рішення, що з температурою від 8...15 °С більш рентабельне та має кращі показники якості після зберігання. В експериментальних дослідженнях використовували пшеницю (сорт: Шестопалівка), вирощену в Запорізькій області. За допомогою програми MathCad були знайдені регресійні моделі по усім показникам [2, 9-13].



Рис. 2. Зерносховище з завантажувальним зерновим матеріалом у піддонах з бортами під час охолодження у ТОВ «СПП ЛАНА».

Fig. 2. Granary with loading grain material in pallets with sides during cooling at SPP LANA LLC.

Перший показник, який знаходили був клейковина рис. 3 і рис. 4.

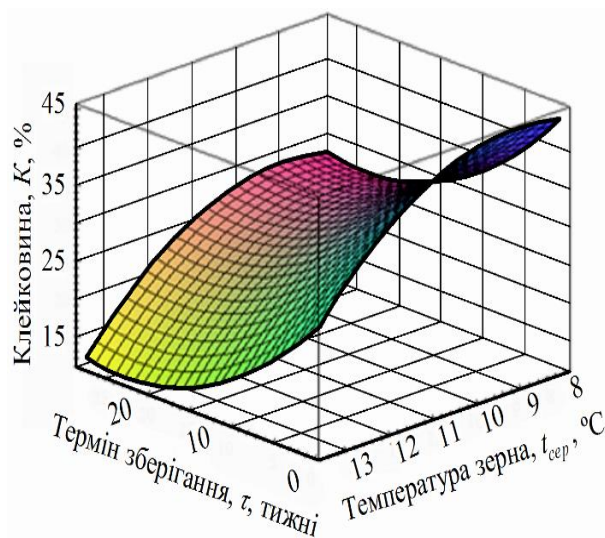


Рис. 3. Залежність вмісту клейковини пшениці від терміну зберігання τ та температури зерна $t_{сер}$.

Fig. 3. Dependence of wheat gluten content on shelf life τ and grain temperature t_s .

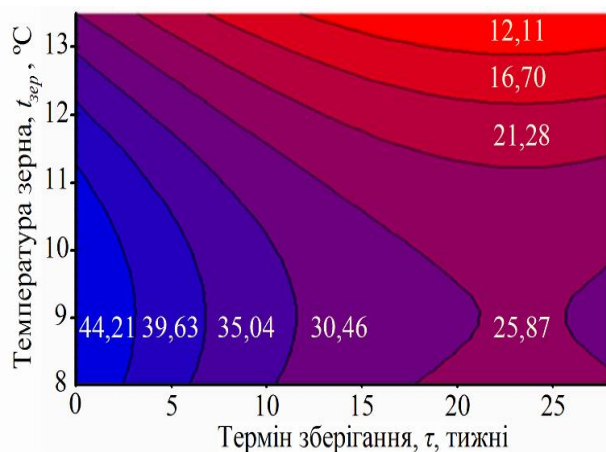


Рис. 4. Двомірна залежність вмісту клейковини пшениці від терміну зберігання τ та температури зерна $t_{сер}$.

Fig. 4. Two-dimensional dependence of gluten content of wheat on shelf life τ and grain temperature t_{sr} .

Можемо стверджувати, що після перевірки по критеріям Фішера, Стюдента було виявлено, що модель має найменшу похибку це квадратична.

$$y = -21,4681 - 1,4414x_1 + 14,7789x_2 + 0,03069x_1^2 - 0,82105x_2^2.$$

Середнє квадратичне відхилення теоретичних та експериментальних даних дорівнює 0,031.

При цьому режимі даного процесу зберігання виявили, що найбільш сприятливим терміном зберігання є 24 тижнів при температурі не більше 9 °C, клейковина при цьому складе 28,1 %.

Далі визначали індекс деформації клейковини. рис. 5 і рис. 6.

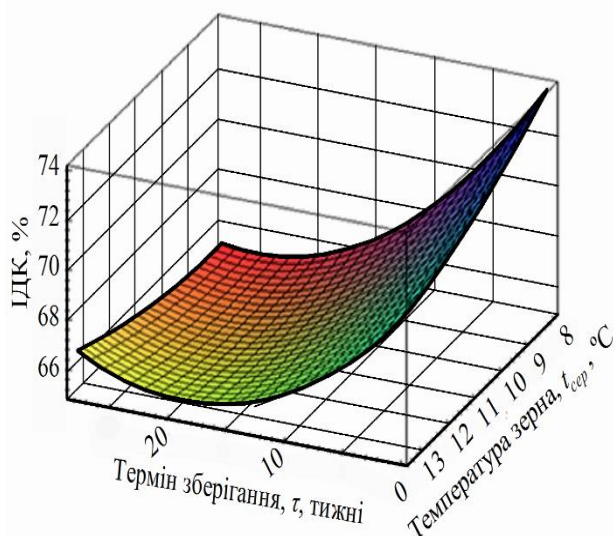


Рис. 5. Залежність ІДК пшениці від терміну зберігання τ та температури зерна $t_{сер}$.

Fig. 5. Dependence of wheat IDC on shelf life τ and grain temperature t_s .

Також були отримані регресійні моделі, та виявлено, що квадратична модель має меншу похибку, тому вона краще описує процес.

$$y = 84,9157 - 0,9736x_1 - 1,78446x_2 + 0,014054x_1^2 + 0,53159x_2^2 + 0,03295x_1x_2.$$

Середнє квадратичне відхилення теоретичних та експериментальних даних дорівнює 0,00517.

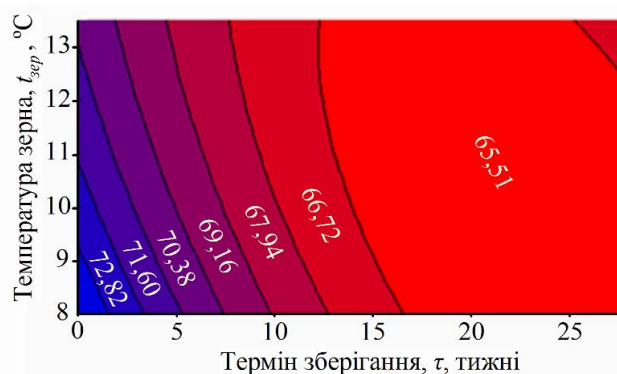


Рис. 6. Двомірна залежність ІДК пшениці від терміну зберігання τ та температури зерна $t_{сер}$.

Fig. 6. Two-dimensional dependence of wheat IDC on shelf life τ and grain temperature t_s .

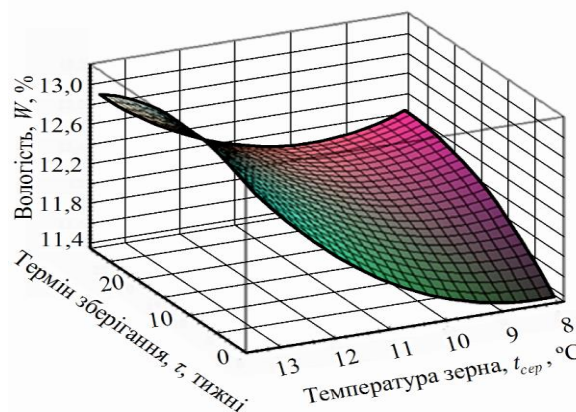


Рис. 7. Залежність вологості пшениці від терміну зберігання τ та температури зерна $t_{сер}$.

Fig. 7. Dependence of wheat moisture on shelf life τ and grain temperature t_s .

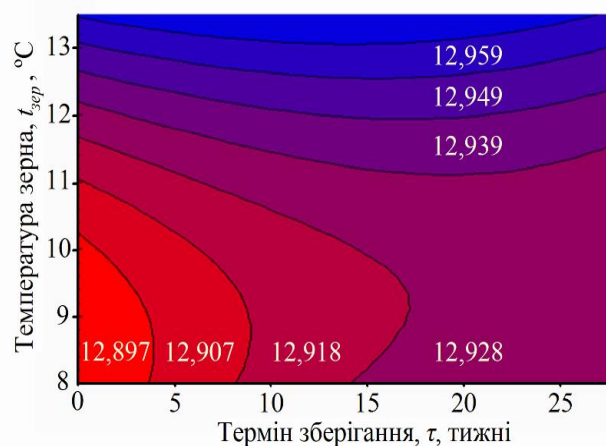


Рис. 8. Двомірна залежність вологості пшениці від терміну зберігання τ та температури зерна $t_{сер}$.

Fig. 8. Two-dimensional dependence of wheat moisture on shelf life τ and grain temperature t_s .

Найбільш сприятливим терміном зберігання є 23-24 тижнів при температурі не більше 9,5 °C, ІДК при цьому складе 65 %.

Та була визначена вологість у період зберігання рис. 7 і рис. 8.

Отримані регресійні моделі, та обрано таку модель, яка має меншу похибку:

$$y = 13,74241 + 0,163711x_1 - 0,74771x_2 - 0,00152x_1^2 + 0,051092x_2^2 - 0,00958x_1x_2.$$

Середнє квадратичне відхилення теоретичних та експериментальних даних дорівнює 0,00913.

Висновки

1. Тому головне завдання заморозки в харчовій індустрії - зберегти швидкопсувні продукти і напівфабрикати на тривалий час, з метою подальшого їх вживання. При правильному і своєчасному заморожуванні продуктів харчування все процеси старіння і мікробактеріального псування сповільнюються. В результаті ми отримуємо можливість використовувати навіть сезонні продукти практично цілий рік.

Список літератури

1. I. Palamarchuk, S. Kiurchev, V. Verkholtantseva, N. Palianychka, O. Hryhorenko. Optimization of the Parameters for the Process of Grain Cooling. Renewable Energy Sources: Engineering, Technology, Innovation, Springer Proceedings in Energy – 2018. Chapter No.: 94. P. 981–988.

2. Кюрчев С. В., Верхованцева В. А. Конструктивные особенности установки для сушки и охлаждения зерна активным вентилированием. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету [Електронний ресурс]. Мелітополь. 2015. Вип. 5. Т. 1. С. 108–113. Режим доступу: <http://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdata/e-index.html>.

3. Ялчак В. Ф., Загорко Н. П., Скляр О. Г., Кюрчев С. В., Буденко С. Ф., Верхованцева В. О., Паляничка Н. О., Кюрчева Л. М., Циб В. Г. Обладнання складів. Зберігання зерна і зернопродуктів: Мелітополь: Видавничий будинок Мелітопольської міської друкарні, 2018. 293 с.

4. Кюрчев С. В., Верхованцева В. О. Визначення параметрів оптимізації процесу охолодження зерна. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків: ХНТУСГ імені Петра Василенка, 2015. Вип. 163. С. 228–239.

5. Ялчак В. Ф., Загорко Н. П., Паляничка Н. О., Буденко С. Ф., Самойчук К. О., Кюрчев С. В., Верхованцева В. О., Олексієнко В. О., Циб В. Г. Технологічне обладнання для переробки продукції рослинництва: Мелітополь: Видавничий будинок Мелітопольської міської друкарні, 2017. 278 с.

6. Ялчак В. Ф., Кюрчев С. В., Стручась М. І., Верхованцева В. О. Дослідження процесу теплообміну при охолодженні шару зерна пшениці. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків: ХНТУСГ імені Петра Василенка, 2015. Вип. 166. С. 50–56.

7. Кюрчев С. В., Верхованцева В. А. Разработка рекомендации по хранению пшеницы в зернохранилище. Праці ТДАТУ. Мелітополь. 2017. Вип. 17. Т. 3. С. 166–173.

8. Кюрчев С. В., Верхованцева В. О., Паляничка Н. О. Візуалізація конструкції зернохосовища та процесу охолодження. «Розвиток харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі: проблеми, перспективи, ефективність», присвяченої 50-річчю заснування Харківського державного університету харчування та торгівлі: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, Харків, 18 травня 2017 р.: Тези доповідей. Ч. 1. Наукове фахове видання. Харків. 2017. С. 258–260.

9. Кюрчев С. В., Леженкін О. М., Кюрчева Л. М., Верхованцева В. О. Застосування процесу охолодження пшениці у технології зберігання зерна. II Міжнародна науково-практична конференція «Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності» до 85-річчя Таврійського державного агротехнологічного університету та 50-річчя Харківського державного університету харчування та торгівлі 5–7 вересня 2017 року. Харків-Мелітополь-Кирилівка, Україна, Наукове фахове видання. С. 65–66.

10. Кюрчев С. В., Верхованцева В. О., Кюрчева Л. М. Процес теплообміну між зернівками та охолоджувальним повітрям у зернохосовищі. XI Міжнародна науково-технічна конференція, Одеса, 21–22 вересня 2017 р. Сучасні проблеми холодильної техніки та технології, Наукове фахове видання. С. 228–229.

11. Кюрчев С. В., Кюрчева Л. М., Верхованцева В. О. Перспективний процес зберігання зерна із застосуванням охолодження у зернохосовищі. XVIII Міжнародної наукової конференції присвяченої 117-річчю від дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка «Сучасні проблеми землеробської механіки» 16–18 жовтня 2017 р., м. Кам'янець-Подільський, Наукове фахове видання. С. 141–143.

12. Паламарчук І. П., Кюрчев С. В., Верхованцева В. О. Застосування вібротехнологій у процесах зберігання сільськогосподарської продукції. Матеріали IV міжнародної науково-практичної конференції (17–18 травня 2018 р., м. Умань). Імпортозамінні технології вирощування, зберігання і переробки продукції садівництва та рослинництва. С. 113–115.

13. Кюрчев С. В. Конструктивні особливості зернохосовища із застосуванням охолодження. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. НУБіП, 2018. Вип. 298. С. 105–110.

References

1. I. Palamarchuk, S. Kiurchev, V. Verkholtantseva, N. Palianychka, O. Hryhorenko (2018). Optimization of the Parameters for the Process of Grain Cooling.

Renewable Energy Sources: Engineering, Technology, Innovation, Springer Proceedings in Energy – 2018. Chapter No.: 94. 981-988

2. Kiurchev S. V., Verkholtantseva V. O. (2015). Constructive features of the plant for drying and cooling the grain by active ventilation. Scientific herald of the Taurian State Agrotechnological University [Electronic resource]. Melitopol. T. 1. 108-113. Mode of access: <http://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdatu/e-index.html>.

3. Yalpacchik V. F., Zagorko N. P., Sklyar O. G., Kiurchev S. V., Budenko S. F., Verkholtantseva V. O., Palyanichka N. O., Kiurcheva L. M., Tsyb V. G. (2018). Warehouse equipment Storage of grain and grain products: Melitopol: Publishing house of Melitopol city printing house, 293.

4. Kiurchev S. V., Verkholtantseva V. O. (2015). Determination of parameters of optimization of the process of cooling the grain. Bulletin of Kharkiv National Technical University of Agriculture named after. Petr Vasilenko. Kharkiv: KhNTUSG them. Petr Vasilenko, 228-239.

5. Yalpacchik V. F., Zagorko N. P., Palyanichka N. O., Budenko S. F., Samoichuk K. O., Kiurchev S. V., Verkholtantseva V. O., Oleksiyyenko V. O., Tsib V. G. (2017). Technological equipment for processing crop production: Melitopol: Publishing house of Melitopol city printing house, 278.

6. Yalpacchik V. F., Kiurchev S. V., Storchayev M. I., Verkholtantseva V. O. (2015). Investigation of the process of heat exchange during cooled layer of wheat grain. Bulletin of Kharkiv National Technical University of Agriculture named after. Petr Vasilenko. Kharkiv: KhNTUSG them. Petr Vasilenko, 166. 50-56.

7. Kiurchev S. V., Verkholtantseva V. O. (2017). Development of a recommendation on storing wheat in a grain storage facility. The work of TDATU. Melitopol, Issue 17, T. 3. 166-173.

8. Kiurchev S. V., Verkholtantseva V. O., Palyanichka N. O. (2017). Visualization of the design of the granary and the cooling process. "Development of Food Production, Restaurant and Hospitality and Trade: Problems, Prospects, Effectiveness" dedicated to the 50th anniversary of the establishment of the Kharkiv State University of Nutrition and Trade: Materials of the International Scientific and Practical Conference, Kharkiv, May 18, 2017: Abstracts. 1. Scientific Professional Edition. 258-260.

9. Kiurchev S. V., Lezhenkin O. M., Kiurcheva L. M., Verkholtantseva V. O. (2017). Application of the cooling process of wheat in grain storage technology. II International Scientific and Practical Conference "Innovative Aspects of Food and Hotel Industry Development in Contemporary Conditions" to the 85th Anniversary of the Taurian State Agrotechnological University and the 50th Anniversary of the Kharkov State University of Food and Trade 5-7 September 2017 Kharkiv-Melitopol-Kyrylivka Ukraine, Scientific Specialty Edition. 65-66.

10. Kiurchev S. V., Verkholtantseva V. O., Kiurcheva L. M. (2017). The process of heat exchange between grains and cooling air in a grain storage facility. XI International Scientific and Technical Conference, Odessa, September 21-22, 2017 Modern Problems of

Refrigeration Technology and Technology, Scientific Specialty Edition. 228-229.

11. Kiurchev S. V., Kiurcheva L. M., Verkholtantseva V. O. (2017). A promising grain storage process with cooling in a grain storage facility. XVIII International Scientific Conference devoted to the 117th anniversary of the birth of Academician Petro Vasilyenko "Modern Problems of Agricultural Mechanics" October 16-18, 2017, Moscow. Kamyansky-Podilsky, Scientific Special Edition. 141-143.

12. Palamarchuk I. P., Kiurchev S. V., Verkholtantseva V. O. (2018). Application of vibrotechnologies in the processes of storage of agricultural products. Materials of the IV International Scientific and Practical Conference (May 17-18, 2018, Uman). Importation-replacing technologies of growing, storing and processing of products of gardening and plant growing. 113-115.

13. Kiurchev S. V. (2018). The process of cooling in a grain storage facility for the storage of grain products with subsequent implementation in production. Scientific herald of the National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine. Kyiv: NUBIP, Vol. 298. T. 3. 83-90.

ОЦЕНКА ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР ПОСЛЕ ХРАНЕНИЯ В ЗЕРНОХРАНИЛИЩЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

С. В. Кюрчев, В. А. Верхоланцева, Л. М. Кюрчева

Аннотация. Проведенный анализ позволил разработать принципиальную схему зернохранилища. Дана конструкция позволяет избежать значительных потерь зерна, сохранить его качество, а также снизить затраты на хранение. Поток воздуха, который проходит через зерновую массу, здійснює різностороннє технологічне впливання на зерно. Зернова продукція розміщується на певній відстані від підлоги, що значно зменшує можливість накоплення вологості нижніми шарами зернової маси. Нижню опорну поверхню піддона рекомендується виконувати металеву з метою покращення умов зберігання зерна, а бічні - металевими.

Розроблена система зберігання передбачає використання конвективного потоку хладоносителя по двом напрямкам: централізований - для постійного видалення вологи з поверхні сипучої продукції і створення необхідних умов мікроклімату і локальний - для вологості і неперервного оновлення шарів сировини при видаленні вологи з поверхні. Така схема зернохранилища з активним вентиляцією конвективним потоком хладоносителя дає можливість зберегти основні властивості продукції з мінімальними втратами в час довготривалого зберігання. Локальний спосіб охолодження досягається за допомогою спеціальних імпульсних пневмодинамічних барботерів, які розміщуються з двох сторін піддона з продукцією, розміщується насипом, навпроти один одного. В результаті взаємодії зустрічних пневмодинамічних хвиль і їх суперпозиції

образуются стоячие волны, переносящие кинетическую энергию как в продольном, так и потоков, которые в свою очередь трогают зерновую массу. При таких условиях хранения зерновой массы практически исключаются слеживания и активация нежелательных микробиологических процессов. Данная система не предусматривает применения достаточно металлоемких и энергозатратных механических средств умирения зерновой продукции. Применение такого способа позволяет быстро снизить начальную температуру партии зерна, а тем самым предотвращает потери, которые возникают в результате в ходе процесса хранения.

Ключевые слова: хранение, технология, зерно, зернохранилище, показатели качества, модель, клейковина, влажность.

EVALUATION OF GRAINS AFTER STORAGE IN STORAGE UNIT WITH USE OF MOVEMENT

S. V. Kiurchev, V. A. Verkholtantseva, L. N. Kiurcheva

Abstract. The analysis made it possible to develop a schematic diagram of the granary. This design avoids significant losses of grain, maintain its quality, and also reduce storage costs. The flow of air passing through the grain mass exerts a versatile technological impact on the grain. Grain products are located at a certain distance from the floor, which significantly reduces the possibility of moisture accumulation by the lower layers of grain mass. It is recommended that the lower support surface of the pallet be made of metal to improve the storage conditions of the grain and the lateral ones to be made of metal.

The developed storage system involves the use of a convective flow of the coolant in two directions: centralized - for the permanent removal of moisture from the surface of the bulk production and creation of the necessary microclimate conditions and local – for the movement and continuous updating of layers of raw materials during removal of the moisture to the surface. This scheme of the active-ventilation granary with a convective coolant flow makes it possible to preserve the basic properties of products with minimal losses over the long term. The local cooling method is achieved by means of special impulse pneumodynamic bubblers, which are placed on both sides of the pallet with the products placed in bulk opposite each other. As a result of the interaction of oncoming pneumodynamic waves and their superposition, standing waves are formed, which transfer kinetic energy both in the longitudinal and the flows, which in turn move the grain mass. Under such conditions, the storage of grain mass virtually eliminates caking and activation of unwanted microbiological processes. This system does not involve the use of sufficient metal-intensive and energy-consuming mechanical means of moving the grain. Application of this method allows to quickly reduce the initial temperature of the batch of grain, and thus prevents losses resulting from the storage process.

Key words: storage, technology, grain, granary, quality indicators, model, gluten, humidity.

С. В. Кюрчев ORCID 0000-0001-6512-8118.

В. О. Верхоланцева ORCID 0000-0003-1961-2149.

Л. М. Кюрчева ORCID 0000-0002-8225-3399.

УДК 620.191

СУЧАСНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗСІЯНОГО ПОШКОДЖЕННЯ В КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛАХ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ

Г. Г. Писаренко¹, О. В. Войналович², А. М. Майло¹

¹Інститут проблем міцності імені Г. С. Писаренка НАН України, Україна.

²Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Кореспонденція авторів: voynalov@bigmir.net.

Історія статті: отримано – березень 2019, акцентовано – червень 2019.

Бібл. 16, рис. 5, табл. 0.

Анотація. У даній роботі для дослідження кінетики пошкодження зразків металокопункцій використано метод, згідно з яким локальну зону поверхні контрольованого об'єкта сканують пружною хвилею, створюваною у матеріалі від резонансного високочастотного збудження стержневого п'єзодатчика, та реєструють зсув фаз внаслідок взаємодії зондувальної хвилі з пошкодженими локальними елементами структури зразка. Результати досліджень показали, що протягом циклічного навантажування полікристалічний матеріал виявляє динамічну нестійкість структури, характерну для багаторівневої дисипативної системи, що виявляється у структурних змінах полікристалічного матеріалу, які визначають його граничний стан.

Для визначення мікродеформаційного стану поверхневого шару конструкційного матеріалу використано статистичний аналіз фрактальних властивостей нелокалізованого пошкодження на діаграмах зсуву фаз амплітуд напружень циклічного навантажування та механічних деформацій локальних елементів поверхні у точках контактної взаємодії з коливальною системою вібростатика за послідовного сканування поверхні матеріалу. Показник Херста H діаграми, що у подвійних логарифмічних координатах відповідає куту нахилу прямої (у радіанах), яка апроксимує діаграму, дозволяє зробити висновок про поточний стан фрактальної розмірності структури локальних напружень, а отже про ступінь хаотичності мікродеформаційного стану поверхні конструкційного матеріалу внаслідок дії силового навантаження.

З метою відстеження пошкодженості на ранніх стадіях експлуатації металокопункції розроблено експериментально-інформаційну систему аналізу кількісних характеристик розсіяного пошкодження пружнопластичного матеріалу методом когерентно-оптичного сканування деформованої поверхні з виокремівністю 0,2 мкм/піксель.

У результаті аналізу отриманих характеристик пошкодження поверхневого шару аустенітної сталі X18H10T за монотонного розтягування встановлено, що закономірності розвитку мікропластичних деформацій поверхні зразків виявляють властивості кореляційної зв'язку з кінетикою статистичних характерис-

тик спекл-структури когерентного проміння, відбитого від поверхні аналізованого об'єкта.

Ключові слова: розсіяне пошкодження, накопичування пошкодження, конструкційні матеріали, показник Херста.

Постановка проблеми

Руйнування конструкційних матеріалів за циклічного деформування є ймовірнісним, багатостадійним і багатомасштабним змінням фізико-механічних властивостей структури матеріалу [1, 2]. Характерною особливістю кінетичних характеристик структурних властивостей сталей і сплавів є нестабільність на всіх стадіях до руйнування [3].

Нелокалізоване руйнування під час втоми металів і сплавів відбувається на мікро- і мезоструктурних рівнях пошкодження та завершується на макрорівні локальним зародженням тріщини. Інтенсивність нелокалізованого руйнування залежить від багатьох чинників, оцінити вплив кожного з них складно, чим пояснюється суттєвий розкид розрахункових та експериментальних даних щодо характеристик опору втоми конструкційних матеріалів і довговічності металокопункцій [4].

То ж нині активно розвиваються методи дослідження процесів накопичування пошкодження внаслідок силового та інших впливів на конструкційні матеріали, отримані дані яких дозволять спрогнозувати довговічність конструкційного елемента.

Аналіз останніх досліджень

Внаслідок особливостей формування субструктури полікристалічного матеріалу найбільш інтенсивно деформується за циклічного навантажування поверхневий шар, що обумовлено наявністю дефектів, недосконалістю структури, впливом технологічних чинників. Через це важливе місце для визначення кінетики пошкоджуваності під час втоми займають методи кількісного оцінювання структурних змін на поверхні зразків матеріалу [5-7], які виокремлюють на

контактні (щодо поверхні досліджуваного матеріалу) і безконтактні.

Серед контактних методів визначення пошкодженості поверхневих і під поверхневих шарів матеріалу перевагу надають методам сканування поверхні зразка зондувальними полями різного походження (акустичними, електромагнітними та ін.), що внаслідок їх взаємодії з розсіяним пошкодженням у матеріалі призводить до змін параметрів зондувальних полів (хвиль), які характеризують ступінь накопичення пошкодження.

До неконтактних методів відстеження пошкодженості матеріалу, яка може проявлятися через неоднорідність деформаційного рельєфу поверхні, належить використання дискретних характеристик оптичних зображень структурних елементів поверхні на рівні мезо- та мікроструктурних перетворень, що дозволяють контролювати неоднорідність деформацій на поверхні матеріалу з високою виокремівністю [8-10]. Однак відомі в літературі реалізації зазначених вище методів не дозволяють забезпечити отримання статистично обґрунтованого масиву даних про ступінь zdeформування (мікропошкодження) поверхні зразка металокопструкції та оцінити ступінь накопичення поверхневих мікродеформацій рельєфу поверхні об'єкту із необхідною на практиці точністю, що позначається на достовірності прогнозування довговічності металокопструкції.

Мета досліджень

Мета досліджень полягає у дослідженні кінетики розсіяного пошкодження в конструкційних матеріалах за допомогою сучасних комп'ютеризованих методів

як основи для прогнозування довговічності елементів копструкцій та їх систем.

Результати досліджень

У даній роботі для дослідження кінетики пошкодження зразків металокопструкції було використано метод [11], згідно з яким локальні зони поверхні коптрольованого об'єкта сканують пружною хвилею, створюваною у матеріалі від резонансного високочастотного збудження стержневого п'єзодатчика, та реєструють зсув фаз внаслідок взаємодії зондувальної хвилі з пошкодженими локальними елементами структури зразка (рис. 1).

У часові проміжки припинення циклічного навантажування до поверхні зразка пружно притискають щуп датчика 4 вимірювальної системи 5, дискретно-поступово пересувають по досліджуваній поверхні у напрямку дії циклічного навантаження, вимірюють величини кута зсуву фаз між зондувальною та отриманою хвилями в окремих точках поверхні зразка та будують кінетичну діаграму параметра пошкодження. Результати вимірювань кута зсуву фаз представлено на рис. 2.

Під час навантажування полікристалічний матеріал виявляє динамічну нестійкість структуру багаторівневої дисипативної системи. За механічного навантажування такої системи відбуваються зміни у структурі полікристалічного матеріалу, що визначають його граничний стан. У момент досягнення граничного стану відбуваються стрибкоподібні зміни енергетичного стану за умови готовності матеріалу до переходу до іншого стану, що реалізовується фазовим переходом або бифуркацією.

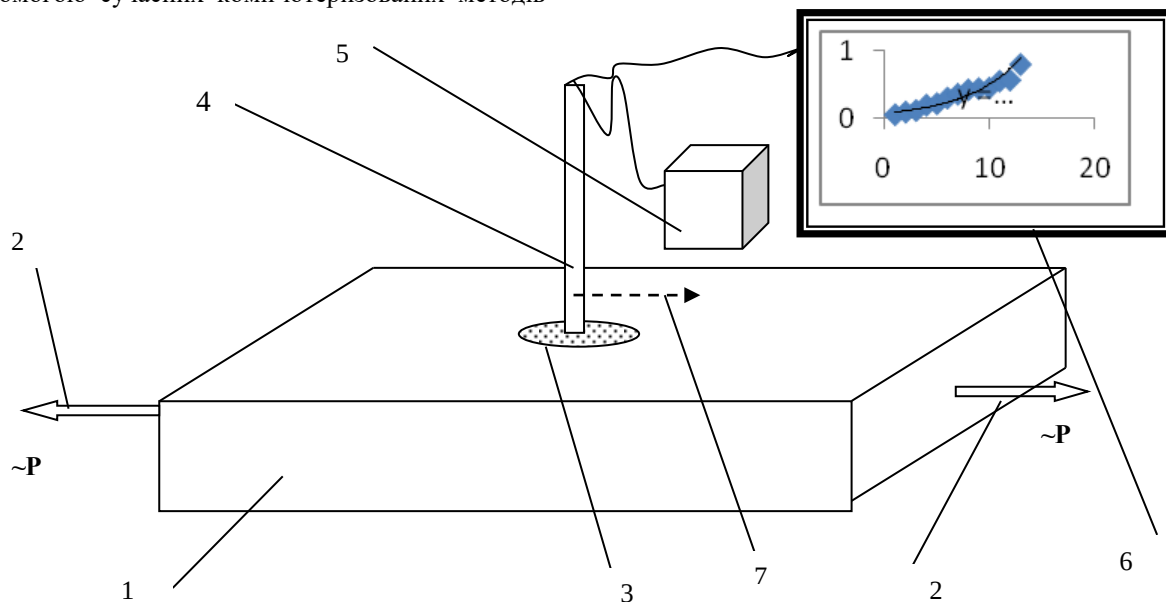


Рис. 1. Схема вимірювання статистичного параметра пошкодженості зразка металокопструкції контактним методом: 1 – зразок металокопструкції; 2 – прикладене до зразка циклічне навантаження P ; 3 – досліджування зона на поверхні зразка; 4 – п'єзодатчик, пружно притиснутий до поверхні зразка; 5 – вимірювально-реєстраційна система; 6 – екран персонального комп'ютера (ПК); 7 – напрям сканування.

Fig. 1. The scheme of measurement of statistical damage parameter of the sample metal contact-ing method.

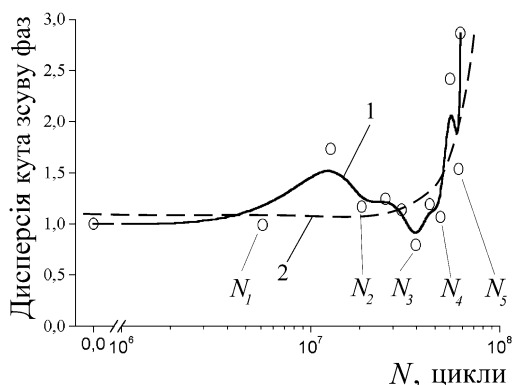


Рис. 2. Кінетичні характеристики (1 – експериментальна; 2 – усереднена) розсіяного пошкодження зразків алюмінієвого сплаву АМг6Н за амплітуди циклічних напружень $\sigma_a = 65$ МПа та виділені екстремуми зміцнення N_i .

Fig. 2. Kinetic characteristics of (1 – experimental, 2 – averaged) scattered damage samples of aluminum alloy АМг6Н amplitude cyclic stresses $\sigma_a = 65$ МПа and the selected extrema strengthen N_i .

У даній роботі для визначення мікродеформаційного стану поверхневого шару конструкційного матеріалу застосовано статистичний аналіз фрактальних властивостей нелокалізованого пошкодження на діаграмах зсуву фаз амплітуд напружень циклічного навантаження та механічних деформацій локальних елементів поверхні у точках контактної взаємодії з коливально системою вібродатчика за послідовного сканування поверхні матеріалу.

Обчислюють показник Херста H за методом нормованого відхилення [12, 13] з діаграми, яка є часовим рядом просторової координати фазового кута, як параметра сканування поверхні контрольованого об'єкта. За визначеною величиною показника H діаграми, що у подвійних логарифмічних координатах

відповідає куту нахилу прямої α (у радіанах), яка апроксимує діаграму, роблять висновок про поточний стан фрактальної розмірності структури локальних напружень, а отже про ступінь хаотичності мікродеформаційного стану поверхні конструкційного матеріалу внаслідок дії силового навантаження (рис. 3). Осями діаграми є логарифм нормованого розмаху R/S – вісь ординат та логарифм кількості точок сканування N (чи тривалості сканування T) – вісь абсцис (рис. 3).

Для контролю ступеня накопичення мікродеформацій поверхневого шару матеріалу було використано оптичний метод вимірювання пошкодження, що базується на статистичному аналізі енергії світлового проміння, спрямованого від когерентного джерела і розсіяного поверхню zdeформованого зразка [14]. Схему розробленого пристрою з виокремівністю 0,2 мкм/піксель представлено на рис. 4.

Спеклструктура є відображенням оптичної здатності поверхні матеріалу, що проявляється у змінні співвідношення контрасту зображення спеклструктур на етапах деформування зразка металоконструкції. Метод базується на аналізі властивостей спектрально-го складу гістограми яскравості пікселів зображення когерентного променя на поверхні [15, 16].

Як міру зміни інтенсивності деформаційного рельєфу використано параметр D у вигляді співвідношення кількості світлих пікселів до загальної кількості пікселів зображення спеклструктури. Параметр D характеризує пошкодженість поверхні матеріалу як накопичення деформаційного рельєфу зразка

$$D = (\Sigma n_0 - \Sigma n) / \Sigma n_z,$$

де n_0 – кількість світлих пікселів спеклструктури для поверхні матеріалу в початковому стані; n – кількість світлих пікселів для поверхні матеріалу в поточному стані, n_z – загальна кількість пікселів спеклструктури (вибіркі).

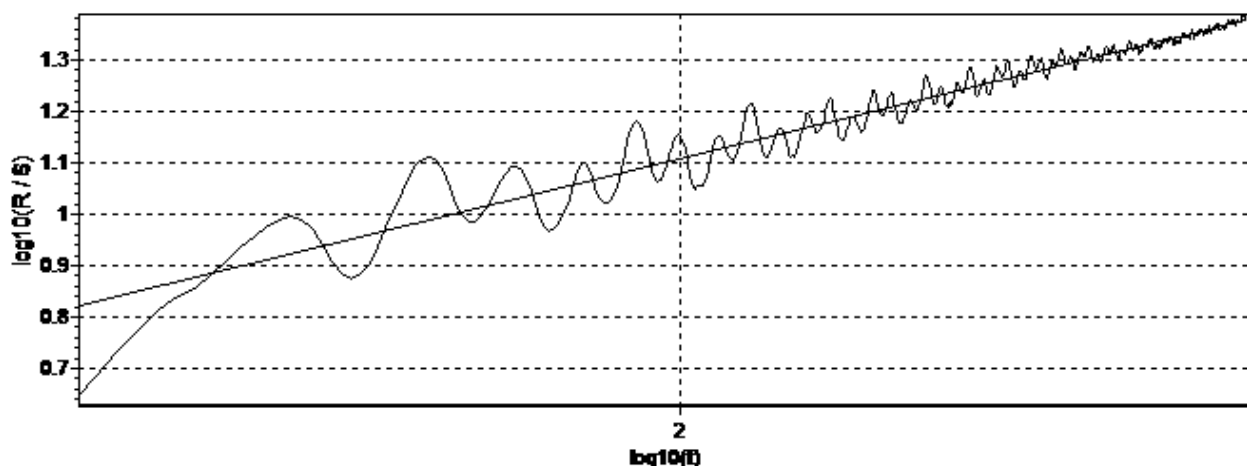


Рис. 3. Апроксимування діаграми з визначенням параметра Херста як тангенса кута нахилу α апроксимувальної прямої у подвійних логарифмічних координатах.

Fig. 3. Approximation chart with the definition of the Hurst exponent as the tangent of the angle of inclination α approximation of a straight line in double logarithmic coordinates.

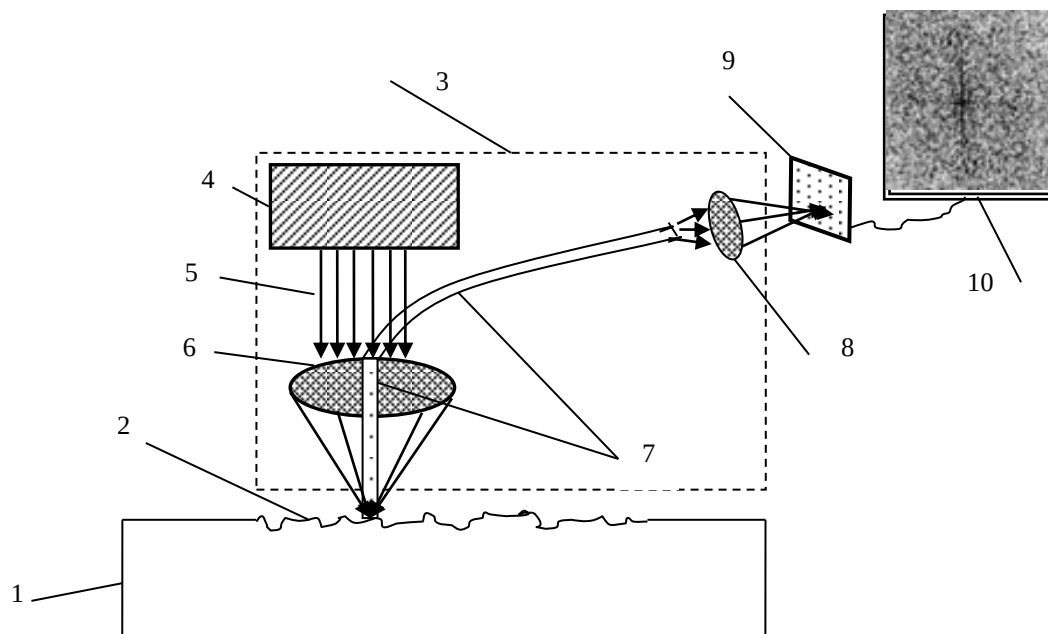


Рис. 4. Схема пристрою для безконтактного моніторингу мікродеформаційного рельєфу поверхні метало-конструкції: 1 – фрагмент зразка металоконструкції на етапі тимчасового припинення навантажування; 2 – деформаційний рельєф поверхні, 3 – опромінювально-приймальний пристрій; 4 – джерело когерентного світла; 5 – потік когерентного світла; 6 – коліimatorних лінза; 7 – світловолоконний кабель для спрямування променя світла, відбитого від локальної зони деформаційного рельєфу; 8 – система лінз для фокусування відбитого променя світла; 9 – приймальня матриця фотодіодів; 10 – зображення спеклструктури.

Fig. 4. Diagram of the device for contactless monitoring chrodegang the surface topography of metal structures.

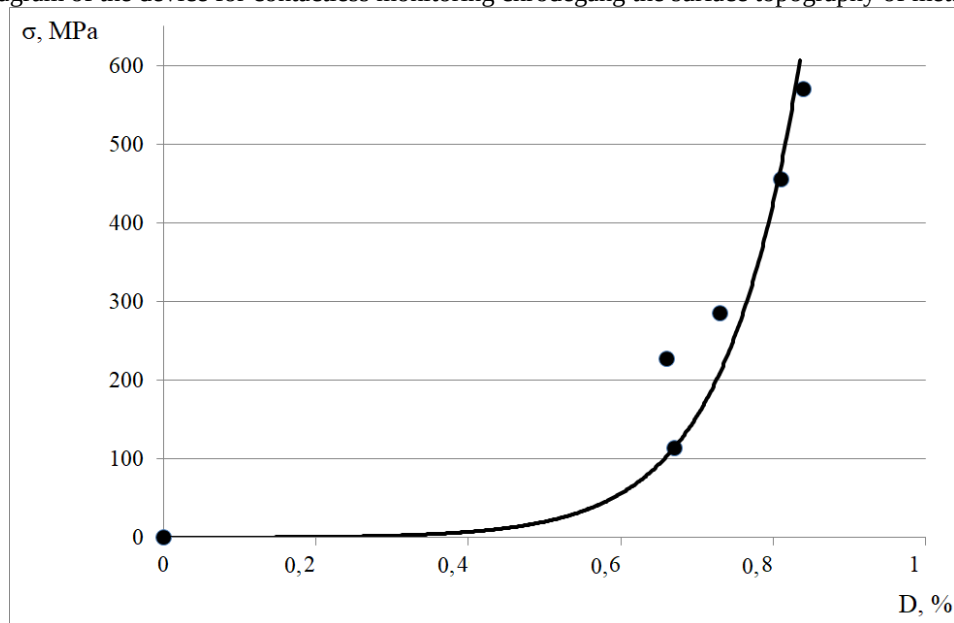


Рис. 5. Амплітудна характеристика пошкодження сталі X18H10T під час розтягування.

Fig. 5. The amplitude of damage of steel X18H10T during stretching.

На рис. 5 представлено графік функції кінетично-го зв'язку пошкодженості з амплітудою напруження розтягу зразків аустенітної сталі X18H10T, який можна апроксимувати експоненційною функцією типу $y = ae^{bx}$ (де $a = 0,129$; $b = 0,101$) з достовірністю апроксимації $R^2 = 0,978$. Отримана залежність показує нелінійний зв'язок розподілу локальних елементів деформаційного рельєфу поверхні з характеристиками навантажування.

Висновки

1. Сформульовано засади методологічних підходів щодо відстеження стану фізико-механічних властивостей конструкційних елементів інженерних об'єктів протягом експлуатації.

2. Обґрунтовано використання характеристик розподілу дискретних властивостей матеріалу поверхневого шару конструкційних елементів як діагностичних показників руйнування на ранніх стадіях експлуатації металоконструкції.

3. Визначено кількісні межі використання методів відстеження статистичних параметрів механічних характеристик матеріалів для визначення залишкового ресурсу деталей різної експлуатаційної навантаженості.

Список літератури

1. Троценко В. Т., Хамаза Л. А. Механика рассеянного усталостного повреждения металлов и сплавов. Киев: Институт проблем прочности имени Г. С. Писаренко НАН Украины. 2016. 412 с.

2. Терентьев В. Ф., Кorableва С. А. Усталость металлов. Москва. Наука, 2015. 484 с.

3. Миндюк В. Д., Карпаш М. О., Доценко Е. Р. Экспериментальна перевірка характеру зв'язку між параметрами мікроструктури і фізичними властивостями матеріалів металоконструкцій довготривалої експлуатації для оцінки ступеню їх деградації. Вісник Тернопільського національного технічного університету. 2013. № 3 (71). С. 153-163.

4. Кофто Д. Г. Прогнозирование характеристик сопротивления усталости сплава ЭП202 по результатам высокочастотных испытаний материалов на больших базах нагружения. Надійність і довговічність машин і споруд. 2014. Вип. 39. С. 54-59.

5. Банников М. В., Оборин В. А., Наймарк О. Б. Исследование стадийности разрушения титановых сплавов в режиме много- и гигацикловой усталости на основе морфологии поверхности разрушения. Вестник ПНИПУ. Механика. 2015. № 3. С. 15-24.

6. Ибатуллин И. Д., Громаковский Д. Г., Барышкин В. Е. Разработка методик и средств склерометрической оценки активационных параметров разрушения поверхностных слоев. Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. акад. С.П. Королёва. 2006. № 2-2. С. 210-216.

7. Патент України на корисну модель № 118210. Рентгеновський спосіб визначення ступеню втомного пошкодження матеріалу металевої деталі. Писаренко Г. Г., Майло А. М., Войналович О. В. Опубл. 25.07.2017. Бюл. № 14.

8. Владимиров А. П., Каманцев И. С., Веселова В. Е. и др. Использование динамической спеклинтерферометрии для бесконтактной диагностики зарождения усталостной трещины и определения скорости ее роста. Журнал технической физики. 2016. № 4. С. 85-90.

9. Минеев С. А., Угольников А. Ю., Лозовская Л. Б. Анализ спекл-изображений деформируемой поверхности на основе алгоритмов обработки оптического потока. Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. 2014. № 2. С. 81-86.

10. Alfayorova E. A., Lychagin D. V. Self-organization of plastic deformation and deformation relief in FCC single crystals. Mechanics of Materials. 2018. Vol. 117. P. 202-213.

11. Pisarenko G. G., Voynalovich O. V., Mailo A. M. Damaging of structural steel under monotonic and cyclic deformation. Пошкодження матеріалів під час експлуатації, методи його діагностування і прогнозування. Праці V Міжнародної науково-технічної конференції

(Тернопіль 19-22 вересня 2017 р.). Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. 2017. С. 38-41.

12. Филяк М. М., Каньгина О. Н. Применение метода Херста для исследования микрогеометрии поверхности анодного оксида алюминия. Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы Всероссийской научно-методической конференции; Оренбургский гос. ун-т. Оренбург: ИПК «Университет». 2012. С. 998-1003.

13. Патент України на корисну модель № 97314. Спосіб визначення мікрореформаційного стану поверхневого шару конструкційного матеріалу за фрактальною розмірністю. Писаренко Г. Г., Майло А. М., Войналович О. В. Опубл. 10.03.2015. Бюл. № 5.

14. Патент України на корисну модель № 133430. Спосіб безконтактного вимірювання кінетичних характеристик руйнування поверхневого шару металоконструкцій. Войналович О. В., Писаренко Г. Г., Майло А. М. Опубл. 10.04.2019. Бюл. № 7.

15. Писаренко Г. Г., Войналович О. В., Майло А. М. Закономірності накопичення нелокалізованого пошкодження у поверхневих шарах конструкційних матеріалів. Науковий вісник НУБіП України. Серія: техніка та енергетика АПК. 2018. Вип. 282. С. 208-218.

16. Писаренко Г. Г., Войналович О. В., Майло А. М. Вплив експлуатаційних чинників на закономірності розподілу дискретних деформацій поверхневого шару металоконструкцій за багатоциклового навантажування зразків. Mechanics and Advanced Technologies. 2018. Т. 84. № 3. С. 39-44.

References

1. Troschenko, V. T. & Hamaza, L. A. (2016). Mechanics of scattered fatigue damage to metals and alloys, Kyiv: G.S. Pisarenko Institute for Problems of Strength NAS of Ukraine.

2. Terentyev, V. F. & Korableva, S. A. (2015). Fatigue of metals, Moscow: Science.

3. Minduk, V. D., Karpash, M. O. & Dotshenko, E. R. (2013). Experimental verification of the nature of the connection between the parameters of microstructure and the physical properties of materials of long-term metal structures for the assessment of their degree of degradation. Bulletin of the Ternopil National Technical University, № 3 (71). 153-163

4. Kofto, D. G. (2014). Prediction of fatigue resistance characteristics of the EP202 alloy based on the results of high-frequency testing of materials on large loading bases. Reliability and durability of machines and structures, Issue 39. 54-59.

5. Bannikov, M. V., Oborin, V. A. & Naymark O. B. (2015). Study of the staging of the destruction of titanium alloys in the mode of multi- and gigacycle fatigue based on the morphology of the surface of destruction. Bulletin PNRPU. Mechanics, No 3. 15-24.

6. Ibatullin, I. D., Gromakovsky, D. G. & Barukin, V. E. (2006). Development of methods and means of sclerometric evaluation of activation parameters

of destruction of surface layers. Bulletin of the Samara State Aerospace University of Acad. S. P. Korolev, No. 2-2. 210-216.

7. Patent of Ukraine for utility model № 118210. X-ray method for determining the degree of fatigue damage to the material of the metal part. *Voinalovich O. V., Pisarenko G. G. & Mailo A. M.* Publ. 25.07.2017. Bul. No. 14.

8. *Vladimirov, A. P., Kamantchev I. S., Veselova, V. E. & others* (2016). Using dynamic speckle interferometry for contactless diagnosis of the nucleation of a fatigue crack and determine the rate of its growth. Technical Physics Journal, No. 4. 85-90.

9. *Mineev, S. A., Ugolnikov, A. Yu. & Lozovskay, L. B.* (2014). Analysis of speckle images of a deformable surface based on optical flow processing algorithms. Bulletin of the Nizhny Novgorod University of N.I. Lobachevskii, No. 2. 81-86.

10. *Alfyorova, E. A. & Lychagin, D. V.* (2018). Self-organization of plastic deformation and deformation relief in FCC single crystals. Mechanics of Materials, Vol. 117. 202-213.

11. *Pisarenko, G. G., Voinalovich, O. V. & Mailo, A. M.* (2017). Damaging of structural steel under monotonic and cyclic deformation. Damage of materials during operation, methods of its diagnosis and forecasting. Works of the V International Scientific and Technical Conference (Ternopil, September 19-22, 2017). Ternopil National Technical University of Ivan Puluj, 38-41.

12. *Filyak, M. M. & Kanugina, O. N.* (2012). Application of the Hurst method for the study of the microgeometry of the surface of anodic aluminum oxide. University complex as a regional center of education, science and culture: materials of the All-Russian Scientific and Methodological Conference; Orenburg State University. Orenburg: IPK "University", 998-1003.

13. Patent of Ukraine for utility model № 97314. A method of determining the microdeformation state of the surface layer of structural material by fractal dimension. *Pisarenko G. G., Mailo A. M. & Voinalovich O. V.* Publ. 10.03.2015. Bul. No. 5.

14. Patent of Ukraine for utility model № 133430. Method of contactless measurement of kinetic characteristics of destruction of the surface layer of metal structures. *Voinalovich O. V., Pisarenko G. G. & Mailo A. M.* Publ. 10.04.2019. Bul. No. 7.

15. *Pisarenko G. G., Voinalovich O. V. & Mailo A. M.* (2018). Laws of accumulation of non-localized mail-coding in the surface layers of structural materials. Scientific Bulletin of NUBiP of Ukraine. Series: engineering and power engineering of agroindustrial complex, Issue 282. 208-218.

16. *Pisarenko G. G., Voinalovich O. V. & Mailo A. M.* (2018). (2014). The influence of operational factors on the patterns of distribution of discrete deformations of the surface layer of metal structures under high-cycle loading of samples. Mechanics and Advanced Technologies, T. 84. No 3. 39-44.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РАССЕЯННОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ В КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ

Г. Г. Писаренко, А. В. Войналович, А. Н. Майло

Аннотация. В данной работе для исследования кинетики повреждения образцов металлоконструкций использован метод, согласно которому локальные зоны поверхности контролируемого объекта сканируют упругой волной, создаваемой в материале от резонансного высокочастотного возбуждения стержневого пьезодатчика, и регистрируют смещение фаз вследствие взаимодействия зондирующей волны с поврежденными локальными элементами структуры образца.

Результаты исследований показали, что при циклическом нагружении поликристаллический материал выявляет динамическую неустойчивость структуры, характерную для многоуровневой диссипативной системы, что проявляется в структурных изменениях поликристаллического материала, определяющих его предельное состояние.

Для определения микродеформационного состояния поверхностного слоя конструкционного материала применен статистический анализ фрактальных свойств нелокализованного повреждения на диаграммах сдвига фаз амплитуд напряжений циклической нагрузки и механических деформаций локальных элементов поверхности в точках контактного взаимодействия с колебательной системой вибродатчика при последовательном сканировании поверхности материала. Показатель Херста H диаграммы, который в двойных логарифмических координатах соответствует углу наклона прямой (в радианах), аппроксимирующей диаграмму, позволяет сделать вывод о текущем состоянии фрактальной размерности структуры локальных напряжений, а следовательно о степени хаотичности микродеформационного состояния поверхности конструкционного материала в результате действия силовой нагрузки.

С целью мониторинга поврежденности разработана экспериментально-информационная система анализа количественных характеристик рассеянной поврежденности упругопластичного материала методом когерентно-оптического сканирования деформированной поверхности с разрешающей способностью 0,2 мкм/пиксель.

В результате анализа полученных характеристик поврежденности поверхностного слоя стали X18H10T при монотонном растяжении установлено, что закономерности развития микропластических деформаций поверхности образцов проявляют свойства корреляционной связи с кинетикой параметров статистических характеристик спеклструктуры когерентного луча, отраженного от поверхности анализируемого объекта.

Ключевые слова: рассеянное повреждение, накопление повреждений, конструкционные материалы, показатель Херста.

MODERN METHODS OF INVESTIGATING
MULTIPLE DAMAGE IN CONSTRUCTION
MATERIALS AND FORECASTING LONGNESS

G. G. Pisarenko, O. V. Voinalovych, A. M. Maylo

Abstract. In this work, to study the damage kinetics of metal samples, we used the method according to which local areas of the surface of the object being scanned are scanned by an elastic wave created in the material from resonant high-frequency excitation of the rod piezoelectric sensor, and phase displacement due to interaction of the probe wave with damaged local elements of the sample structure is recorded.

The results of studies have shown that under cyclic loading, a polycrystalline material reveals a dynamic instability of the structure, characteristic of a multilevel dissipative system, which is manifested in structural changes of a polycrystalline material, determining its ultimate state.

To determine the microdeformation state of the surface layer of a structural material, a statistical analysis of the fractal properties of non-localized damage was applied in phase diagrams of amplitudes of cyclic load stresses and mechanical deformations of local surface elements at the points of contact interaction with the vibrating sensor of the material during sequential scanning of the material surface. The Hurst index **H** of diagram, which in double logarithmic coordinates corresponds to the slope of a straight line (in radians) approximating the diagram, allows us to conclude about the current state of the fractal dimension of the local stress structure, and therefore about the degree of randomness of the microstrained state of the surface of the structural material as a result of the force load.

In order to monitor of damage, an experimental information system has been developed for analyzing the quantitative characteristics of scattered damage of an elastoplastic material by coherent-optical scanning of a deformed surface with a resolution of 0.2 $\mu\text{m}/\text{pixel}$.

As a result of analyzing the obtained characteristics of damage to the surface layer of steel X18H10T under monotonic stretching, it was found that the patterns of development of microplastic deformations on the surface of the samples exhibit correlation properties with the kinetics of the parameters of the statistical characteristics of the coherent beam speckle reflected from the surface of the analyzed object.

Key words: multiple damage, damage accumulation, construction materials, Hurst index.

Г. Г. Писаренко ORCID: 0000-0001-9557-9710.

О. В. Войналович ORCID: 0000-0002-9321-2672.

А. М. Майло ORCID: 0000-0002-4762-0886.

УДК 629.113

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ УМОВНОГО РУХУ АВТОМОБІЛЯ В РЕЖИМАХ ЄВРОПЕЙСЬКОГО ІЗДОВОГО ЦИКЛУ ПРИ ВИКОРИСТАННІ БІОГАЗУ ЯК МОТОРНОГО ПАЛИВА

Р. В. Симоненко, С. І. Шиманський

Державне підприємство «ДержавтотрансНДІпроект», Україна.

Кореспонденція авторів: zaboleg07@ukr.net.

Історія статті: отримано – березень 2019, акцентовано – травень 2019.

Бібл. 11, рис. 0, табл. 4.

Анотація. В статті запропонована математична модель двигуна і автомобіля при русі за Європейським їздовим циклом, дозволяє провести розрахункові дослідження автомобіля з бензиновим двигуном переобладнаним для роботи на бензині та стисненому природньому газі та на основі проведених розрахунків, з незначною похибкою, виконати аналіз і спрогнозувати вплив на паливну економічність та екологічні показники автомобіля виду палива. Це підтверджено експериментальними дослідженнями.

Ключові слова: автомобіль, модель, біогаз, паливо.

Постановка проблеми

Вміст шкідливих речовин у відпрацьованих газах та паливна економічність двигунів в умовах експлуатації визначаються великою кількістю факторів (час, швидкість, крутний момент, частота обертання), які є взаємопов'язаними та певною мірою впливають на кінцевий результат.

Аналіз останніх досліджень

Як зазначено у роботі [1], досліджувати фактори, що віднесено до різних дослідних об'єктів, можливо за допомогою системного підходу. Системний підхід, як методологічне направлення наукового пізнання, використовувався при дослідженні різних властивостей автомобілів [2].

Дослідження експлуатаційних властивостей колісних транспортних засобів в системі “водій – автомобіль – дорога” було розроблено в Національному транспортному університеті в роботі [3]. Обмеження, які накладено на систему також приведено у вищезгаданій роботі.

Дана методика дозволяє врахувати основні фактори, які впливають на умови роботи автомобіля в експлуатації та накласти відповідні обмеження при визначенні викидів шкідливих речовин і витрати палива.

Так як для оцінки паливної економічності і екологічних показників автомобілів на даний час існує

три групи їздових циклів: Європейські їздові цикли, їздові цикли США, Японські їздові цикли [4], використовуємо, для проведення досліджень на математичній моделі, на основі даної методики використати Європейський їздовий цикл руху автомобіля, який регламентовано згідно з ДСТУ UN/ECE R 83 [5].

Мета досліджень

Основними вихідними параметрами математичної моделі є годинні витрати палива та повітря в залежності від умовної швидкості і прискорення автомобіля.

Результати досліджень

При складанні математичної моделі двигуна і автомобіля при його випробуванні за Європейським їздовим циклом на стенді з біговими барабанами розділяємо режими руху за видами їх однотипного математичного опису [6]:

1. Робота двигуна в режимі мінімальної частоти обертання холостого ходу.
2. Розгін двигуна на холостому ході.
3. Рушання автомобіля з місця на першій передачі КПП з буксуванням зчеплення.
4. Розгін автомобіля при блокованому зчепленні.
5. Переключення передач КПП з вищої на нижчу і з нижчої на вищу швидкість.
6. Рух автомобіля з постійною швидкістю.
7. Сповільнення автомобіля при блокованому зчепленні.
8. Сповільнення двигуна з вимкнутим зчепленням.

Режими роботи двигуна і руху автомобіля в математичній моделі описані системою диференціальних рівнянь, які чергуються у відповідності до режимів їздового циклу.

Для прикладу приведено режим рушання автомобіля з місця на першій передачі. При такому режимі включення зчеплення здійснюється з одночасним відкриттям дросельної заслінки і в цей період частота обертання колінчастого вала може

знижуватися, залишатися постійною або збільшуватися, а частота обертання веденої частини зчеплення збільшується.

Автомобіль починає рух з пробуксовуванням зчеплення від $V_a = 0$, при русі з пробуксовуванням зчеплення частина роботи крутного моменту двигуна перетворюється в теплову енергію і виходить в навколишнє середовище [7]. В результаті кількість палива, яке витрачається на роботу буксування, залежить на пряму від кутових швидкостей $\omega_{зч}$ зчеплення та ω колінчастого вала двигуна, а також від інтенсивності включення зчеплення.

Для визначення руху автомобіля та роботи двигуна описуємо рівнянням [8]:

$$\pm I_{\text{д}} \frac{d\omega_{\text{д}}}{dt} = M_{\text{к}} - M_{\text{зч}}, \quad (1)$$

де $\frac{d\omega_{\text{д}}}{dt}$ - кутове сповільнення колінчастого вала двигуна, с^{-2} ;

$M_{\text{к}}$ - ефективний крутний момент двигуна, Н·м;

$M_{\text{зч}}$ - момент тертя зчеплення, Н·м.

При сповільненні колінчастого вала двигуна кінетична енергія мас, що обертаються, передається на збільшення кутового прискорення веденої частини зчеплення, враховуючи при цьому приєднаних до нього мас автомобіля і стенда, приведених до веденої частини зчеплення. Такий стан описується рівнянням руху веденої частини зчеплення [8]:

$$\frac{1}{\eta_{\text{Т}}} \cdot I_{\text{пр}} \cdot \frac{d\omega_{\text{зч}}}{dt} = M_{\text{зч}} - M_{\text{оп}}, \quad (2)$$

де $\eta_{\text{Т}}$ - коефіцієнт корисної дії трансмісії, $\eta_{\text{Т}} = 0,88 \dots 0,92$.

$I_{\text{пр}}$ - приведений до зчеплення момент інерції рухомих мас автомобіля, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

$\frac{d\omega_{\text{зч}}}{dt}$ - кутове прискорення веденої частини зчеплення, с^{-2} ;

$M_{\text{зч}}$ - момент тертя зчеплення, Н·м

$M_{\text{оп}}$ - момент опору руху автомобіля, Н·м;

Приведення рівнянь відповідно ефективного крутного моменту двигуна $M_{\text{к}}$ (1) і (2) рівнянь, отримуємо рівняння для визначення крутного моменту двигуна при:

- зменшенні кутової швидкості колінчастого вала

$$M_{\text{к}} = -I_{\text{д}} \cdot \frac{d\omega_{\text{д}}}{dt} + M_{\text{оп}} + \frac{1}{\eta_{\text{Т}}} \cdot I_{\text{пр}} \cdot \frac{d\omega_{\text{зч}}}{dt}, \quad (3)$$

- постійній кутовій швидкості колінчастого вала

$$M_{\text{к}} = M_{\text{оп}} + \frac{1}{\eta_{\text{Т}}} \cdot I_{\text{пр}} \cdot \frac{d\omega_{\text{зч}}}{dt}, \quad (4)$$

- зростанні кутової швидкості колінчастого вала

$$M_{\text{к}} = M_{\text{оп}} + \frac{1}{\eta_{\text{Т}}} \cdot I_{\text{пр}} \cdot \frac{d\omega_{\text{зч}}}{dt} + I_{\text{д}} \cdot \frac{d\omega_{\text{д}}}{dt} \quad (5)$$

Рівняння кутового прискорення веденої частини

зчеплення $\frac{d\omega_{\text{зч}}}{dt}$ - величина постійна та визначається

програмою їздового випробувального циклу для кожного етапу випробувань. Момент опору руху автомобіля $M_{\text{оп}}$ на стенді з біговими барабанами, приведений до колінчастого вала, визначається за рівнянням [8]:

$$M_{\text{оп}} = \frac{(m_0 + m_{\text{ван}}) \cdot f \cdot r_{\text{д}} \cdot g}{U_i \cdot U_p \cdot \eta_{\text{Т}}}, \quad (6)$$

де m_0 - власна маса автомобіля, кг;

$m_{\text{ван}}$ - маса вантажу; $m_{\text{ван}} = 100$ кг за умовами випробування легкових автомобілів в міському їздовому циклі;

f - коефіцієнт опору коченню автомобіля на стенді з біговими барабанами, який включає опір кочення і умовний опір повітря [8], кг/кг

$r_{\text{д}}$ - динамічний радіус колеса, м;

g - прискорення вільного падіння, $9,81 \text{ м/с}^2$;

U_i, U_p - передаточні числа і-тої передачі коробки

передач і головної передачі;

$\eta_{\text{Т}}$ - коефіцієнт корисної дії трансмісії, $\eta_{\text{Т}} = 0,88 \dots 0,92$.

При рушанні автомобіля з місця і руху його з пробуксовуванням зчеплення прискорення автомобіля повинно задовольняти вимогам їздового циклу, однак частота обертання колінчастого вала двигуна не повинна знижуватися нижче допустимого значення частоти обертання $n_{\text{доп}}$, так як при цьому ще можлива короткочасна робота двигуна під навантаженням [7].

Зв'язок між частотою обертання $n_{\text{д}}$ його кутовою швидкістю $\omega_{\text{д}}$ і умовною швидкістю руху автомобіля V_a визначається за формулами [8]:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n_{\text{д}}}{30}, \text{ с}^{-1}; \quad (7)$$

$$V_a = 0,12 \frac{n_{\text{д}} \cdot \pi \cdot r_{\text{д}}}{U_i \cdot U_p}, \text{ км/год.} \quad (8)$$

Приведений до зчеплення момент інерції рухомих мас автомобіля з урахуванням передаточних чисел коробки передач і головної передачі визначається за відомою залежністю [8]:

$$I_{\text{пр}} = \frac{(m_0 + m_{\text{ван}}) \cdot r_{\text{д}}^2}{U_i^2 \cdot U_p^2} + \sum_{i=1}^n \frac{I_{\text{к}}}{U_i^2 \cdot U_p^2}, \quad (9)$$

де m_0 - власна маса автомобіля, кг;

$m_{\text{ван}}$ - маса вантажу, кг;

$I_{\text{к}}$ - момент інерції колеса; $I_{\text{к}} \approx 0,7 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$;

n - кількість ведучих коліс. При випробуванні автомобіля на стенді з біговими барабанами $n = 2$.

Рух автомобіля з урахуванням приведених мас автомобіля до колінчастого вала описується рівнянням [10].

$$M_{\text{к}} = M_{\text{оп}} + \left(I_{\text{д}} + \frac{1}{\eta_{\text{Т}}} \cdot I_{\text{пр}} \right) \cdot \frac{d\omega_{\text{д}}}{dt} \quad (10)$$

Рушання автомобіля і його рух з постійним

прискоренням, при цьому дросельна заслінка в цей період весь час переміщується, що забезпечує $M_k = \text{const}$ при постійному для кожної ділянки їздового циклу прискоренні $\frac{d\omega}{dt}$.

Розрахунок диференціальних рівнянь руху автомобіля дозволяє визначати величину крутного моменту і частоти обертання. Щоб мати можливість розрахувати показники паливної економічності та викиди шкідливих речовин з відпрацьованими газами необхідно визначити їх залежності від крутного моменту і частоти обертання. Для цього в лабораторії дослідження використання палив та екології ДП „ДержавтотрансНДІпроект” були проведені стендові випробування автомобіля ВАЗ – 2101 з двигуном ВАЗ – 21011 при роботі на бензині – А92, стисненому природньому газі (СПГ) та суміші СПГ та біогазу, які дали можливість отримати серію характеристик під час роботи ДВЗ у широкому діапазоні швидкісних і навантажувальних режимів, характерних для умов

експлуатації.

Згідно з методом математичного моделювання експерименту [11], показники паливної економічності двигуна, витрати повітря та екологічні показники описано поліноміальними залежностями (що відповідають визначеним навантажувальним характеристикам).

За результатами двофакторного експерименту розраховано поліноміальні залежності показників двигуна ВАЗ-21011 при роботі на бензині – А92, СПГ та суміші СПГ та біогазу, що визначають режим роботи двигуна: крутний момент двигуна M_k і частота обертання колінчастого вала двигуна n_d , які мають такий загальний вигляд:

$$y = A_0 + A_1 \cdot x_1 + A_2 \cdot x_2 + A_{11} \cdot x_{11}^2 + A_{22} \cdot x_{22}^2 + A_{12} \cdot x_1 \cdot x_2, \quad (11)$$

де $A_0, A_1, A_2, A_{11}, A_{22}, A_{12}$ – поліноміальні коефіцієнти;
 x_1, x_2 – незалежні параметри.

Таблиця 1. Значення коефіцієнтів поліноміальних залежностей витрат палива та повітря для навантажувальних режимів роботи двигуна.

Table 1. The values of the coefficients of the polynomial dependency of fuel and air to the load operation of the engine.

Пара-метр	Коефіцієнти поліноміальних залежностей					
	A_0	A_1	A_2	A_{11}	A_{22}	A_{12}
Робота двигуна на бензині А – 92						
G_{Π}	3,818	$-1,287 \cdot 10^{-3}$	-0,094	$2,755 \cdot 10^{-7}$	$7,051 \cdot 10^{-4}$	$3,608 \cdot 10^{-5}$
$G_{\text{пов}}$	24,759	$3,067 \cdot 10^{-3}$	-0,413	$9,507 \cdot 10^{-7}$	$2,351 \cdot 10^{-3}$	$3,792 \cdot 10^{-4}$
Робота двигуна на СПГ						
G_{Π}	-1,177	$2,020 \cdot 10^{-3}$	-0,038	$1,884 \cdot 10^{-7}$	$-1,817 \cdot 10^{-4}$	$3,303 \cdot 10^{-4}$
$G_{\text{пов}}$	13,208	0,027	0,283	$-2,287 \cdot 10^{-6}$	$-3,876 \cdot 10^{-3}$	$3,303 \cdot 10^{-4}$
Робота двигуна на суміші СПГ та біогазу						
G_{Π}	-1,163	$1,251 \cdot 10^{-3}$	0,014	$-5,075 \cdot 10^{-8}$	$-12,474 \cdot 10^{-5}$	$1,647 \cdot 10^{-5}$
$G_{\text{пов}}$	-26,908	0,032	0,263	$-1,766 \cdot 10^{-6}$	$-7,716 \cdot 10^{-4}$	$3,790 \cdot 10^{-4}$

Таблиця 2. Значення коефіцієнтів поліноміальних залежностей екологічних показників двигуна для навантажувальних режимів роботи.

Table 2. The values of the coefficients of the polynomial dependency of emissions for load modes of operation.

Пара-метр	Коефіцієнти поліноміальних залежностей					
	A_0	A_1	A_2	A_{11}	A_{22}	A_{12}
Робота двигуна на бензині А – 92						
CO	$6,068 \cdot 10^4$	-31,496	$-1,435 \cdot 10^3$	$4,372 \cdot 10^{-3}$	12,998	0,225
CH	$-1,698 \cdot 10^4$	5,891	-226,146	$5,647 \cdot 10^{-4}$	-1,184	-0,033
NO _x	-4031,139	0,920	-138,449	$4,073 \cdot 10^{-4}$	1,199	$7,689 \cdot 10^{-3}$
CO ₂	-0,633	$5,164 \cdot 10^{-3}$	0,216	$-5,098 \cdot 10^{-7}$	$-1,275 \cdot 10^{-3}$	$-3,855 \cdot 10^{-5}$
Робота двигуна на СПГ						
CO	$1,409 \cdot 10^4$	-7,869	-69,088	$1,199 \cdot 10^{-3}$	1,294	$-8,344 \cdot 10^{-3}$
CH	1466,112	-0,560	-19,721	$6,759 \cdot 10^{-5}$	0,132	$2,284 \cdot 10^{-3}$
NO _x	-2389,690	1,643	29,033	$-2,619 \cdot 10^{-4}$	-0,294	$3,522 \cdot 10^{-3}$
CO ₂	2,032	$7,333 \cdot 10^{-4}$	0,055	$4,705 \cdot 10^{-8}$	$-2,130 \cdot 10^{-5}$	$-9,402 \cdot 10^{-6}$
Робота двигуна на суміші СПГ та біогазу						
CO	$9,670 \cdot 10^2$	-0,193	-19,164	$2,667 \cdot 10^{-5}$	-0,232	$1,373 \cdot 10^{-3}$
CH	1646,377	-0,571	-30,689	$5,075 \cdot 10^{-5}$	-0,379	$5,054 \cdot 10^{-3}$
NO _x	-805,741	0,532	27,483	$-8,310 \cdot 10^{-5}$	-0,355	$2,602 \cdot 10^{-3}$
CO ₂	6,449	$-4,610 \cdot 10^{-4}$	$7,721 \cdot 10^{-4}$	$-9,429 \cdot 10^{-8}$	$-12,563 \cdot 10^{-5}$	$-1,630 \cdot 10^{-6}$

Не менш важливим при розрахунках на математичних моделях є перевірка достовірності даних, які отримано під час руху автомобіля за режимами європейського їздового циклу, з експериментальними дослідженнями.

Перевірка адекватності математичної моделі руху автомобіля ВАЗ – 2101 виконувалася при роботі на бензині – А92, СПГ та суміші СПГ та біогазу під час експериментальних досліджень на моделюючому роликовому стенді AVL при його налаштуванні на імітацію опору дороги в різних режимах їздового

циклу.

Із табл. 3 видно, що розрахункові показники витрати палива незначно відрізняються від тих, що отримано під час експериментальних досліджень і, відповідно, підтверджує достовірність досліджень на математичній моделі. Незначні відхилення розрахункових показників токсичності автомобіля від експериментальних (табл. 4), зокрема сумарних шкідливих викидів, також підтверджують достовірність досліджень на математичній моделі.

Таблиця 3. Витрата палива при випробуванні автомобіля ВАЗ-2101 на моделюючому роликовому стенді та розрахунок на математичній моделі.

Table 3. Fuel consumption during the test VAZ-2101 on modeling roller stand and is based on a mathematical model.

Паливо	Випробування на моделюючому роликовому стенді		Розрахунок на математичній моделі	
	г/цикл	МДж/цикл	г/цикл	МДж/цикл
Бензин А – 92	750,81	33,04	744,35	32,75
СПГ	697,24	34,86	693,74	34,69
Суміші СПГ та біогазу	677,35	37,25	677,74	37,28

Таблиця 4. Викиди шкідливих речовин при випробуванні автомобіля ВАЗ-2101 на моделюючому роликовому стенді та розрахунок на математичній моделі.

Table 4. Emissions from testing of the car VAZ-2101 on modeling roller stand and is based on a mathematical model.

Паливо	Випробування на моделюючому роликовому стенді				Розрахунок на математичній моделі			
	C_{CO} , г/км	C_{CmHn} , г/км	C_{NOx} , г/км	C_{SCO} , ум. г/км	C_{CO} , г/км	C_{CmHn} , г/км	C_{NOx} , г/км	C_{SCO} , ум. г/км
Бензин А – 92	2,774	1,505	1,786	80,914	2,795	1,511	1,798	81,484
СПГ	0,738	0,735	1,758	75,315	0,952	0,785	1,74	74,95
Суміші СПГ та біогазу	0,504	0,333	0,427	19,103	0,504	0,339	0,435	19,474

Висновки

Запропонована математична модель двигуна і автомобіля при русі за Європейським їздовим циклом, дозволяє провести розрахункові дослідження автомобіля з бензиновим двигуном переобладнаним для роботи на бензині та стисненому природньому газі та на основі проведених розрахунків, з незначною похибкою, виконати аналіз і спрогнозувати вплив на паливну економічність та екологічні показники автомобіля виду палива. Це підтверджено експериментальними дослідженнями.

Список літератури

1. Гутаревич Ю. Ф. Снижение вредных выбросов и расхода топлива двигателями автомобилей путем оптимизации эксплуатационных факторов: дис. ... докт. техн. наук: 05.22.10, 05.04.02. Киев, 1985. 538 с.

2. Аксенов П. В. О системном подходе в прикладной науке по автомобилю. Автомобильная промышленность, 1979, №3.

3. Гутаревич Ю. Ф. Математическая модель системы водитель – автомобиль с бензиновым двигателем – дорога для исследования влияния эксплуатационных факторов на расход топлива и загрязнения окружающей среды автомобилями. КАДИ. Киев, 1986. 22 с. Рус. Деп. в УкрНИИТИ (ГМТБ Украины).

4. Грицук І. В., Кривошусов А. В., Гриценко Д. О. До питання вибору і обґрунтування типу випробувального їздового циклу для дослідження показників токсичності відпрацьованих газів двигунів. ДТЗ: зб. наук. пр. ДонІЗТ. 2009. №17. С. 106-109.

5. ДСТУ UN/ECE R 83-05:2015. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження колісних транспортних засобів стосовно викидів забруднювальних речовин залежно від палива, необхідного для двигунів.

6. Абрамчук Ф. І., Гутаревич Ю. Ф., Долганов К. Є., Тимченко І. І. Автомобільні двигуни: підручник. Київ. Арістей, 2004. 476 с.

7. Говорун А. Г., Корпач А. О., Попов Д. В., Захарченко О. М. Визначення витрати палива на процес буксування при рушанні автомобіля. *Вісник Хмельницького національного університету*: зб. наук. праць. 2006. Вип. 2, Т. 2.

8. Чудаков Е. А. Расчет автомобилей. Москва. Машгиз, 1947. 586 с.

9. Яковлев Н. А., Диваков Н. В. Теория автомобиля. Москва. Высшая школа, 1962. 299 с.

10. Бортницкий П. И., Задорожный В. И. Тягово-скоростные качества автомобилей. Киев. Вища школа. 1978. 176 с.

11. Рафалес-Ламарка З. З., Николаев В. Г. Некоторые методы планирования и математического анализа биологических экспериментов. Киев. Наукова думка, 1971.

References

1. Gutarevich Y. F. (1985). Reduction of harmful emissions and fuel consumption in car engines by optimizing operational factors: dis. ... doctor. tech. Sciences: 05.22.10, 05.04.02. Kiev, 538.

2. Aksenov V. P. (1979). System approach in applied science in the car. The automotive industry, №3.

3. Gutarevich Y. F. (1986). Mathematical model of the system driver – vehicle – road to study the influence of operational factors on fuel consumption and environmental pollution by cars. KADY. Kyiv. 22. Rus. DEP. in UkrNIINTIZ (GNTB Ukraine).

4. Gritsuk I. V., Krivopuskov, V. A., Gritsenko, D. A. (2009). Selection and substantiation of the type a test driving cycle to study toxicity of exhaust gases of engines. DTS: collection of Sciences. St. Donizht. No 17. 106-109.

5. DSTU UN/ECE R 83-05:2015. Uniform technical prescriptions concerning the approval of vehicles with regard to the emission of pollutants depending on the fuel required for the engines.

6. Abramchuk F. I., Y. F. Gutarevich, Dolganov K. Is., Timchenko I. I. (2004). Automotive engines: textbook. Kiev. Aristey, 476.

7. Govorun A. G., Korpach A. A., Popov D. V., Zakharchenko A. M. (2006). Determination of the fuel consumption in the process of slipping when starting the car. Herald of Khmelnytskyi national University: ZB. Sciences. works. Vol. 2, iss. 2.

8. Chudakov E. A. (1947). Calculation of car. Moscow. Mashgiz, 586.

9. Yakovlev N. A., Diakov N. V. (1962). Theory of the car. Moscow. High school, 299.

10. Bartnicki P. S., Zadorozhnyi V. S. (1978). Traction-speed performance of the car. Kyiv. High school. 176.

11. Ráfales-From Lamarck. S., Nikolaev V. G. (1971). Some methods for the planning and mathematical analysis of biological sexperimental. Kiev. Naukova Dumka, 71.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УСЛОВНОГО ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ В РЕЖИМАХ ЕВРОПЕЙСКОГО ЕЗДОВОГО ЦИКЛА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БИОГАЗА КАК МОТОРНОГО ТОПЛИВА

Р. В. Симоненко, С. И. Шиманский

Аннотация. В статье предложена математическая модель двигателя и автомобиля при движении по Европейским ездовым циклом, позволяет провести расчетные исследования автомобиля с бензиновым двигателем, переоборудованным для работы на бензине и сжатом природном газе и на основе проведенных расчетов, с незначительной погрешностью, выполнить анализ и спрогнозировать влияние на топливную экономичность и экологические показатели автомобиля вида топлива. Это подтверждено экспериментальными исследованиями.

Ключевые слова: автомобиль, модель, биогаз, топливо.

MATHEMATICAL MODEL OF CONDITIONAL DRIVING MODES OF EUROPEAN DRIVING CYCLE WHEN USING BIOGAS AS MOTOR FUEL

R. V. Simonenko, S. I. Shzymanski

Abstract. In the article the mathematical model of the engine and the car when driving in the European driving cycle, allows to carry out the design of the car with a gasoline engine converted to operate on gasoline and compressed natural gas on the basis of the calculations with a minor error, perform analysis, and to predict the impact on fuel efficiency and environmental performance of vehicle fuels. This is confirmed by experimental studies.

Key words: car, model, biogas, fuel.

Р. В. Симоненко ORCID 0000-0002-9654-9051.

С. И. Шиманський ORCID 0000-0002-9654-9052.

UDC 636.03

MODULAR POULTRY FARMING IN INDUSTRIAL BREEDING WITH USING AN ENERGY EFFICIENT HEATING SYSTEM

N. A. Spodyniuk

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

Correspondence of the authors: n_spoduniuk@meta.ua

Article history: Received: March 2019. Received in the revised form: April 2019. Accepted: June 2019.

Bibl. 11, fig. 3, tabl. 2.

Abstract. Energy-efficient heating systems for poultry houses are infrared heating systems. With the correct location of infrared emitters heating occurs only in the zone where the poultry is located and the need to heat the entire poultry house disappears. In this way, it is possible to achieve the necessary zoo-hygienic parameters in the zone for breeding of young chicken, without increasing indoor temperature, and if it is possible, lowering it. On the basis of principle of sectional poultry breeding the modular breeding of chicken broilers is proposed. The heating system of the module is a panel infrared heater, intended for local heating of the growing zone. To ensure a constant inflow of fresh air and assimilation of harmfulness in the module provides an inflow and exhaust ventilation system.

Modular poultry breeding allows to use modules as well as in industrial poultry farming, and within individual farms. As the industrial method of poultry breeding involves the accumulation of a large amount of poultry in one poultry house, there is a possibility of emergence and rapid spread of infectious diseases. Due to the local microclimate provided in the module for poultry breeding, it is possible to prevent this negative phenomenon. In addition, there is an opportunity to keep multi-year poultry categories in one poultry house and to provide a temperature regime as the growth of poultry.

In this paper the study of temperature regime in the module at the change of thermal power of a heater was described. The results of experiment show that the greatest influence on the value of relative air temperature have thermal power of infrared heater and air velocity in module. At constant values of height of a heater installation and air velocity, and with increasing the heat capacity of heater twice, value of relative air temperature will increase by 3.8%.

Due to the use of energy-efficient infrared heating system, it was possible to reduce annual expenses related to the purchasing feed by 11.7% and increase cost of final product of chicken-broiler by 12.8%.

Based on technical and economic calculations, the use of modular poultry breeding with the infrared heating system was substantiated. This confirms the wide possibilities of implementation energy-efficient infrared heating systems.

Key words: energy-efficient, infrared heating system, air heating system, module for poultry breeding, thermal power, poultry.

Formulation of problem

To maintain high productivity and conservation of poultry in modern industrial farming parameters of the optimal microclimate indoor poultry complexes are very important. The main factor of climate, which influences on chicken, is the ambient temperature. With the change of air temperature, consumption poultry feed, water, moisture allocation, respiratory rate also change and, consequently, change its performance.

According to the literature [1, 2] at low temperature in poultry houses, increased consumption of feed by poultry for implementation of heat transfer processes. With decreasing air temperature in the premises for broilers from 20°C to 10°C their growth at the age of 5 ... 8 weeks decreases by 48% that in the calculation for every temperature degree is about 6%. With increasing the temperature from 24 to 32°C their growth reduced to 26% or by 2.9% for every temperature degree. When the air temperature is 27 ... 29°C the heat release is increased and there is an overheat of the organism, which has negative affect on the physiological state of the bird.

The main purpose of heating systems of poultry houses is to maintain the required temperature parameters in the areas of technological process of poultry breeding.

For breeding of young chicken it is advisable to provide a limited area by installing local heating systems. Temperature in heating zone should be 33-35°C. In the process of broilers' growing to 30 days parameters of air temperature in the heating zone should decrease by 3-5°C every week [3].

At the age of chickens from 31 to 60 days, they are placed in cages of the poultry premises. The air temperature in broiler houses is 20°C at ambient temperature below 10°C [2, 3].

Analysis of recent research results

Energy-efficient heating systems for poultry houses are infrared heating systems. With the correct location of

infrared emitters heating occurs only in the zone where the poultry is located and the need to heat the entire poultry house disappears. In this way, it is possible to achieve the necessary zoo-hygienic parameters in the zone for breeding of young chicken, without increasing indoor temperature, and if it is possible, lowering it.

From the sanitary-hygienic point of view, infrared radiation has a positive effect on the physiological state of the poultry, especially on young chicken. The principle of infrared radiation is to transfer heat energy in the form of electromagnetic waves. Long-wavelength infrared radiation, with a wavelength of more than 1.4 microns, is almost all absorbed by the skin, causing the thermal effect of the upper layers of the skin. Short-wavelength radiation with a wavelength from 0.76 to 1.4 microns penetrates into the deeper layers of body tissues [4].

As a result of appearance of a thermal effect in the body, infrared emitters have become widely used for the heating of young poultry in the cold season of the year. In the long-term stay of poultry under the infrared heater, biological processes in the body are accelerated, metabolism is improved, tone of the autonomic nervous system is normalized, and conservation, growth and productivity of poultry are increased.

Chicken broilers are less mobile than other chicken, so badly oriented in searching of food. In the first weeks of growth poultry it is important to create such conditions that it moves less, as a result of gaining weight. For this purpose, sectional retention of poultry in the form of barriers is used, reducing the area of movement of chicken. An electric lamp with infrared emitters is used as a heating system for local heating of growing zone [5]. Limited area of the section and the dynamic regulation of thermal regime as the poultry grow contribute to a significant accumulation of weight of chickens at lower specific feed costs per unit of products.

Purpose of research

On the basis of principle of sectional poultry breeding the modular breeding of chicken broilers is proposed. The heating system of the module is a panel infrared heater, intended for local heating of the growing zone. To ensure a constant inflow of fresh air and assimilation of harmfulness in the module provides an inflow and exhaust ventilation system.

Modular poultry breeding has several advantages. First of all, it is an opportunity of using modules as well as in industrial poultry farming, and within individual farms. As the industrial method of poultry breeding involves the accumulation of a large amount of poultry in one poultry house, there is a possibility of emergence and rapid spread of infectious diseases. Due to the local microclimate provided in the module for poultry breeding, it is possible to prevent this negative phenomenon. In addition, there is an opportunity to keep multi-year poultry categories in one poultry house and to provide a temperature regime as the growth of poultry.

The purpose of this publication is to develop module for poultry breeding with an infrared heater and conduct research concerning temperature regime in the module at the change of thermal power of a heater. Also the purpose was to investigate the impact of improving the microclimate parameters in module on increasing weight gain of the poultry and reducing the feed costs.

Research results

On the basis of certain rational parameters of module for poultry breeding an experimental installation was installed in full size (Fig. 1).

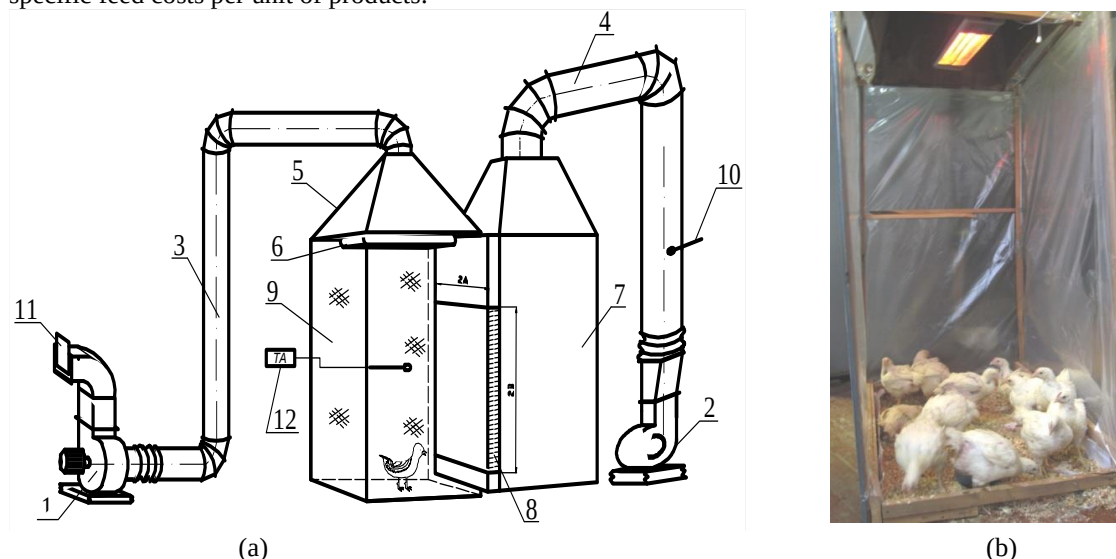


Fig. 1. Diagram (a) and photo (b) of experimental installation for studying parameters of thermal regime in technological area of module for poultry breeding: 1 - exhaust fan; 2 - air supply fan; 3 - exhaust air duct; 4 - supply air duct; 5 - exhaust outlet; 6 - infrared heater QH 1500; 7 - static pressure chamber; 8 - air distributor; 9 - module for poultry breeding; 10, 11 - gate; 12 - thermo-anemometer ATT - 100.

The installation works as follows. Electric infrared heater 6 QH 1500 with variable thermal capacity of 500, 1000 and 1500 W was appointed for heating module for poultry breeding 9 [6, 7]. An exhaust outlet 5 was

installed above the heater, with total dimensions of 0.9x6.6 m. Exhaust fan 1 was connected to the exhaust outlet 5 by the exhaust air duct 3. Amount of air that was removed by exhaust outlet was changed by gate 11. Air

supply fan 2 is connected to the static pressure chamber 7 using supply air duct 4. Air supply consumption was changed by the gate 10. Inflow air was supplied to the module through the air distributor 8. Temperature and air velocity in module for poultry breeding were measured by a thermo-anemometer 12 ATT-1004.

Research was carried out at the change of height of heater installation (1.5 m - 1.0 m) and at various heat capacities (500 W, 1000 W, 1500 W).

The temperature of internal air in the module for poultry breeding is influenced by heat capacity of infrared heater Q_{heat} , W, height of the heater H , m, and air velocity of inflow air flow in the module V_0 , m/s [8]. These values were the input parameters of the experiment planning.

Output parameter is the relative air temperature in the module for poultry breeding $\bar{t}_{\text{air}} = t_{\text{air}} / t_0$; t_{air} – air temperature in the module, °C; t_0 – temperature of the inflow air flow, °C [8].

The scope of definition of input parameters varied within: $Q_{\text{heat}} = [500 \dots 1500]$ W; $H = [1.0 \dots 1.5]$ m; $V_0 = [0.1 \dots 0.3]$ m/s.

Presented graphic results show a qualitative picture of distribution of temperature fields in the radiation zone by infrared heater. For scientific substantiation of air temperature dependence on the above-mentioned factors, the nomogram was built (Fig. 2).

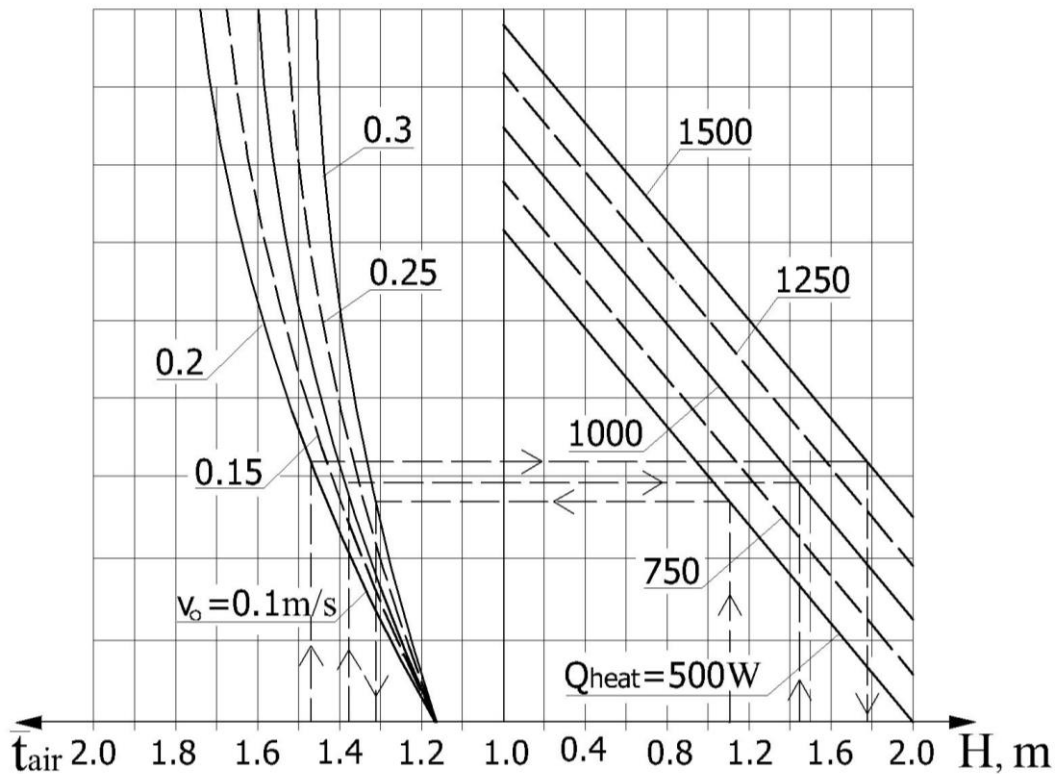


Fig. 2. Dependence of relative air temperature $\bar{t}_{\text{air}} = t_{\text{air}} / t_0$ on the heat capacity of heater Q_{heat} , W, height of its installation H , m and velocity of the inflow air flow in the module V_0 , m/s

At the received intervals of variation for input factors on the basis of constructed nomogram an empirical dependence was obtained for finding the relative air temperature $\bar{t}_{\text{air}}$ in the module for poultry breeding at $500 \text{ W} \leq Q_{\text{heat}} \leq 1500 \text{ W}$, $1.0 \text{ m} \leq H \leq 1.5 \text{ m}$, $0.1 \text{ m/s} \leq V_0 \leq 0.3 \text{ m/s}$.

$$\bar{t}_{\text{air}} = 1.41 + 0.07 \frac{Q_{\text{heat}} - 1000}{500} - 0.045 \frac{H - 1.25}{0.25} - 0.075 \frac{V_0 - 0.2}{0.1} - (2) - 0.02 \frac{Q_{\text{heat}} - 1000}{500} \cdot \frac{V_0 - 0.2}{0.1} + 0.0125 \frac{H - 1.25}{0.25} \cdot \frac{V_0 - 0.2}{0.1}$$

The results of experiment show that the greatest influence on the value of relative air temperature have thermal power of infrared heater and air velocity in module. At constant values of height of heater installation and air velocity, and with increasing the heat capacity of

heater twice, value of relative air temperature will increase by 3.8%.

The main technical and economic indicators which determine the efficiency of using modular breeding of poultry with infrared heating is to reduce costs of food purchasing and an increase the weight gain of the poultry due to the high quality of heating system in the zone of poultry breeding. The calculations are presented for air heating system of poultry house in cage breeding of poultry and infrared heating system of modular breeding of poultry. The calculations are presented with prices for products in Ukraine in Euro.

Costs for food purchasing at air heating system with breeding poultry in cages were:

$$E_c^1 = C_c \cdot n \cdot j \cdot z \cdot 10^{-3}, \text{ € / year}, \quad (3)$$

where C_c - the cost of feed for feed units in Ukraine, € / t; n - the number of poultry units.; j - daily feed

consumption per 1 kg of live poultry weight is 2.1 kg [9]; z - length of period, days.

The cost of food purchasing for the proposed application of modular breeding of poultry with infrared heating system, were determined:

$$E_c^2 = C_c \cdot n \cdot j \cdot z \cdot \left(1 - \frac{k_2}{100}\right) \cdot 10^{-3}, \text{ € / year}, \quad (4)$$

where k_2 - coefficient of reduction of feed costs for poultry, is 3.9 – 5.1 % [9].

Calculations were performed taking into account the increase in the weight of poultry as it grows during growth process from 1 to 60 days. Results of calculations the costs of food purchasing for comparable versions of systems are presented in the table (Table 1).

Table 1. Comparing the costs of purchasing feed for different heating systems.

Age poultry, days	Live weight, kg	Feed efficiency kg/kg live weight	Air heating system, thousand € / year	Infrared heating system, thousand € / year
1 10 days	0.08	0.152	0.47	0.46
11 30 days	0.25	0.475	3.0	2.61
31 60 days	1.4	2.66	25.8	22.8
Total costs of technological period, $\sum_{i=1}^{150} E_k$ thousand € / period			29.3	25.9
Total expenses for the year, $\sum_{i=1}^{365} E_k$ thousand € / year			117.2	103.5

Figure 3 shows the graphical dependence of costs of purchasing feed during whole process of growing poultry from 1 to 60 days.

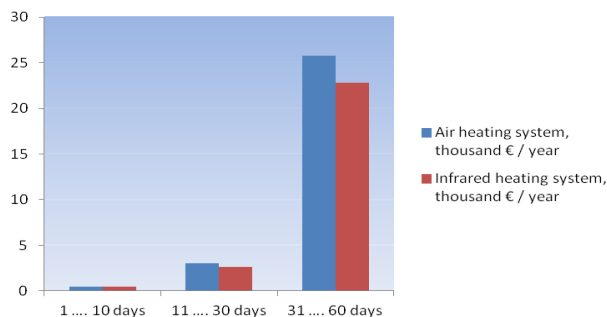


Fig. 3. Graph of the cost of purchasing feeds throughout the process of poultry production.

Then was made a comparison of the costs of final product for comparable variants. Cost of final product to air heating system with breeding poultry in cages determined by the formula:

$$E_{pr}^1 = C_{pr} \cdot n \cdot l \cdot k \cdot z, \text{ € / year}, \quad (5)$$

where: C_{pr} - average price per unit of product in Ukraine, € / kg; l - average daily increment of the broiler, kg; k - average annual number of poultry in the room is 0.9 [10].

Cost of final product for the proposed modular breeding of poultry with infrared heating system was determined:

$$E_{pr}^2 = C_{pr} \cdot n \cdot l \cdot k \cdot z \cdot \left(1 + \frac{i}{100}\right) \cdot k_{more}, \text{ € / year}, \quad (6)$$

where: i - annual percentage increase in poultry productivity thanks to the improvement of the microclimate through the energy efficiency of the heating and ventilation system, is assumed to be equal to 20% [11]; k_{more} - the coefficient reflecting the additionally stored livestock of the poultry in the room is equal to 1.05 [9].

The results of calculation the cost of final product by weight gain for comparative variants are summarized in the table (Table 2). Increase of mass of poultry per day, depending on the duration of technological process was considered.

Table 2. Calculation the cost of final product by weight gain for different heating systems.

Age poultry, days	Live weight, kg	Broiler daily gain, kg/day	Air heating system, thousand € / year	Infrared heating system, thousand € / year
1 ... 10 days	0.08	80.33	2.22	2.3
11 ... 30 days	0.25	251.02	6.44	7.43
31 ... 60 days	1.4	1406	36.1	41.6
Total costs of technological period, € / period			44.8	51.4
The total cost per year, € / year			179.06	205.4

The table shows that the total cost of final product when using an energy efficient heating system based on an infrared heater with an exhaust umbrella will increase by 26.34 thousand Euro.

Conclusions

1. The design of module for poultry breeding with an infrared heater has been developed. The proposed design is energy-efficient and recommended for installation in poultry houses.

2. A study of temperature regime in the module at the change of thermal power of a heater was carried out. The results of experiment show that the greatest influence on the value of relative air temperature have thermal power of infrared heater and air velocity in module. At constant values of height of a heater installation and air

velocity, and with increasing the heat capacity of heater twice, value of relative air temperature will increase by 3.8%.

3. Due to the use of energy-efficient infrared heating system, it was possible to reduce annual expenses related to the purchasing feed by 11.7% and increase cost of final product of chicken-broiler by 12.8%.

4. Based on technical and economic calculations, the use of modular poultry breeding with the infrared heating system was substantiated. This confirms the wide possibilities of implementation energy-efficient infrared heating systems.

References

1. Onegov A. P., Dydyriev Yu. I., Habibulov M. A. (1975). Handbook of Hygiene of Farm Animals. Rosselkhozizdat. Moscow.
2. Zakharov A. A. (1980). Application of heat in agriculture. Kolos. Moscow.
3. DBN V.2.2-1-95. (1995). Buildings and structures for livestock breeding. State Committee on Construction. Kyiv.
4. Zhelykh V., Ulewicz M., Spodyniuk N., Shapoval S., Shepitchak V. (2016). Analysis of the Processes of Heat Exchange on Infrared Heater Surface. *Diagnostyka*. Vol. 17, No 3. 81-85.
5. Yurkevich Yu., Spodyniuk N. (2015). Energy-saving infrared heating systems in industrial premises. *Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym*. Częstochowa. Poland. Vol. 16. 140-144.
6. Shepitchak V., Savchenko O., Spodyniuk N., Zhelykh V. (2015). The study of temperature fields in exposure zone of the rotary infrared heaters. *Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym*, Częstochowa. Poland. Vol. 15. 178-181.
7. Shcherbovskykh S., Spodyniuk N., Stefanovych T., Zhelykh V., Shepitchak V. (2016). Development of a reliability model to analyse the causes of a poultry module failure. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 4. No 3(82). 4-9. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.73354>.
8. Spodyniuk N., Zhelykh V., Dzeryn O. (2018). Combined Heating Systems of Premises For Breeding of Young Pigs And Poultry. *FME Transactions*. Vol. 46. 651-657. DOI: 10.5937/fmet1804651S.
9. Toledo R. S., Rostagno H. S., Albino L. F. T., Dionizio M. A., Carvalho D. C. de O., Nogueira E. T. (2011). Lysine nutritional requirements of broilers reared in clean and dirty environments during the pre-starter and starter phases. *Revista Brasileira de Zootecnia*. Vol. 40, No. 10. 2205-2210. DOI: 10.1590/s1516-35982011001000021.
10. Kapalo P., Spodyniuk N. (2018). Effect of the variable air volume on energy consumption - case study. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering* 415. (012027). Poland. 1-7. DOI: 10.1088/1757-899X/415/1/012027.
11. Brown K. J., Farrelly R., O'Shaughnessy S. M., Robinson A. J. (2016). Energy efficiency of electrical infrared heating elements. *Applied Energy*. Vol. 162. 581-588. DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.10.064.

Список літератури

1. Onegov A. P., Dydyriev Yu. I., Habibulov M. A. Handbook of Hygiene of Farm Animals. Rosselkhozizdat. Moscow. 1975.
2. Zakharov A. A. Application of heat in agriculture. Kolos. Moscow. 1980.
3. DBN V.2.2-1-95. Buildings and structures for livestock breeding. State Committee on Construction. Kyiv. 1995.
4. Zhelykh V., Ulewicz M., Spodyniuk N., Shapoval S., Shepitchak V. Analysis of the Processes of Heat Exchange on Infrared Heater Surface. *Diagnostyka*. Vol. 17, No 3. 2016. P. 81 – 85.
5. Yurkevich Yu., Spodyniuk N. Energy-saving infrared heating systems in industrial premises. *Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym*. Częstochowa. Poland. 2015. Vol. 16. P. 140-144.
6. Shepitchak V., Savchenko O., Spodyniuk N., Zhelykh V. The study of temperature fields in exposure zone of the rotary infrared heaters. *Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym*, Częstochowa. Poland. 2015. Vol. 15. P. 178-181.
7. Shcherbovskykh S., Spodyniuk N., Stefanovych T., Zhelykh V., Shepitchak V. Development of a reliability model to analyse the causes of a poultry module failure. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 4, No 3(82). 2016. P. 4-9. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.73354>.
8. Spodyniuk N., Zhelykh V., Dzeryn O. Combined Heating Systems of Premises For Breeding of Young Pigs And Poultry. *FME Transactions*. 2018. Vol. 46. P. 651-657. DOI: 10.5937/fmet1804651S.
9. Toledo R. S., Rostagno H. S., Albino L. F. T., Dionizio M. A., Carvalho D. C. de O., Nogueira E. T. Lysine nutritional requirements of broilers reared in clean and dirty environments during the pre-starter and starter phases. *Revista Brasileira de Zootecnia*. Vol. 40, No.10. 2011. P. 2205-2210. DOI: 10.1590/s1516-35982011001000021.
10. Kapalo P., Spodyniuk N. Effect of the variable air volume on energy consumption - case study. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering* 415. (012027). Poland. 2018. P. 1-7. DOI: 10.1088/1757-899X/415/1/012027.
11. Brown K. J., Farrelly R., O'Shaughnessy S. M., Robinson A.J. Energy efficiency of electrical infrared heating elements. *Applied Energy*. Vol. 162. 2016. P. 581-588. DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.10.064.

МОДУЛЬНЕ ВИРОЩУВАННЯ ПТИЦІ В ПРОМИСЛОВИХ УМОВАХ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ СИСТЕМ ОПАЛЕННЯ

Н. А. Сподинок

Анотація. Енергоефективними системами опалення для пташників є інфрачервоні системи опалення. При правильному розташуванні інфрачервоних випромінювачів нагрівання відбувається лише в тій зоні, де розташована птиця, при цьому зникає необхідність обігрівати весь пташник. Таким чином можна

досягти необхідних зоогігієнічних параметрів у зоні для розведення молодняка птиці, не підвищуючи температуру в приміщенні, а по можливості, знижуючи її. На основі принципу секційного розведення птиці запропоновано модульне розведення курчат-бройлерів. Система опалення модуля - це панельний інфрачервоний обігрівач, призначений для локального обігріву зони для вирощування птиці. Для забезпечення постійного припливу свіжого повітря та асиміляції шкідливості в модулі передбачена система припливно-витяжної вентиляції.

Модульне вирощування птиці дозволяє використовувати модулі, як у промисловому птахівництві, так і в межах окремих господарств. Оскільки промисловий метод розведення птиці передбачає накопичення великої кількості птиці в одному пташнику, існує можливість виникнення та швидкого поширення інфекційних захворювань. Завдяки локальному мікроклімату, передбаченому в модулі вирощування птиці, можна запобігти цьому негативному явищу. Крім того, є можливість утримувати різновікові групи птиці в одному пташнику та забезпечувати температурний режим по мірі зростання птиці.

У цій роботі було описано дослідження температурного режиму в модулі при зміні теплової потужності нагрівача. Результати експерименту показують, що найбільший вплив на значення відносної температури повітря мають теплова потужність інфрачервоного нагрівача та швидкість повітря в модулі. При постійних значеннях висоти встановлення нагрівача та швидкості руху повітря та при збільшенні теплоємності нагрівача в два рази значення відносної температури повітря зростає на 3,8%.

Завдяки використанню енергоефективної системи інфрачервоного опалення вдалося зменшити щорічні витрати, пов'язані із закупівлею кормів, на 11,7% та збільшити вартість кінцевого продукту кучати-бройлера на 12,8%.

На основі техніко-економічних розрахунків обґрунтовано використання модульного вирощування птиці з системою інфрачервоного опалення. Це підтверджує широкі можливості впровадження енергоефективних інфрачервоних систем опалення.

Ключові слова: енергоефективна система інфрачервоного опалення, система повітряного опалення, модуль для вирощування птиці, теплова енергія, птиця.

ности, снижая ее. На основе принципа секционного разведения птицы предложено модульное разведение цыплят-бройлеров. Система отопления модуля - это панельный инфракрасный обогреватель, предназначенный для локального обогрева зоны для выращивания птицы. Для обеспечения постоянного притока свежего воздуха и ассимиляции вредностей в модуле предусмотрена система приточно-вытяжной вентиляции.

Модульное выращивание птицы позволяет использовать модули, как в промышленном птицеводстве, так и в пределах отдельных хозяйств. Поскольку промышленный метод разведения птицы предполагает накопление большого количества птицы в одном птичнике, существует возможность возникновения и быстрого распространения инфекционных заболеваний. Благодаря локальному микроклимату, предусмотренному в модуле выращивания птицы, можно предотвратить это негативное явление. Кроме того, есть возможность содержать разновозрастные группы птицы в одном птичнике и обеспечивать температурный режим по мере роста птицы.

В этой работе было описано исследования температурного режима в модуле при изменении тепловой мощности нагревателя. Результаты эксперимента показывают, что наибольшее влияние на значение относительной температуры воздуха имеют тепловая мощность излучателя и скорость воздуха в модуле. При постоянных значениях высоты установки нагревателя и скорости движения воздуха и при увеличении теплоемкости нагревателя в два раза значение относительной температуры воздуха вырастет на 3,8%.

Благодаря использованию энергоэффективной системы инфракрасного отопления удалось уменьшить ежегодные расходы, связанные с закупкой кормов, на 11,7% и увеличить стоимость конечного продукта цыплят-бройлера на 12,8%.

На основе технико-экономических расчетов обосновано использование модульного выращивания птицы с системой инфракрасного отопления. Это подтверждает широкие возможности внедрения энергоэффективных инфракрасных систем отопления.

Ключевые слова: энергоэффективная система инфракрасного отопления, система воздушного отопления, модуль для выращивания птицы, тепловая энергия, птица.

МОДУЛЬНОЕ ВЫРАЩИВАНИЕ ПТИЦЫ В ПРОМЫШЛЕННЫХ УСЛОВИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНЕРГОЭФЕКТИВНЫХ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ

Н. А. Сподинюк

Аннотация. Энергоэффективными системами отопления птичников являются инфракрасные системы отопления. При правильном расположении инфракрасных излучателей нагрев происходит только в той зоне, где находится птица, при этом исчезает необходимость обогревать весь птичник. Таким образом можно достичь необходимых зоогигиенических параметров в зоне для разведения молодняка птицы, не повышая температуру в помещении, а по возмож-

Н. А. Сподинюк ORCID 0000-0002-2865-9320.

УДК 639.3.06

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИХОДУ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ ОСАДУ В УСТАНОВКАХ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ПРОДУКЦІЇ АКВАКУЛЬТУРИ

Г. А. Голуб¹, О. А. Завадська¹, С. Д. Щербак²

¹Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

²ПП «Стерлядь», Україна.

Кореспонденція авторів: gagolub@ukr.net, oxanalutak@ukr.net, schek63@ukr.net.

Історія статті: отримано – квітень 2019, акцептовано – червень 2019.

Бібл. 12, рис. 4, табл. 3.

Анотація. На території України поверхневі води не завжди відповідають нормам за показниками якості, яких потрібно дотримуватися при розведенні риби. Це обумовлено їх забрудненістю каналізаційними стічними водами міст та тваринницьких комплексів. У такій ситуації доцільним є використання установок замкнутого водопостачання для виробництва продукції аквакультури. Для забезпечення виробництва біогазу при метановому зброджуванні органічних складових осадів, які утворюються при функціонуванні установок замкнутого водопостачання, систему очистки води доцільно дообладнати біогазовою установкою. Таке дообладнання дозволить забезпечити часткову енергетичну автономність установок замкнутого водопостачання для виробництва аквакультури за рахунок тепла і електроенергії, отриманих при когенерації біогазу. Метою дослідження було встановлення виходу та властивостей осаду при виробництві продукції аквакультури.

Встановлено, що питомий вихід сухої маси осаду в установках замкнутого водопостачання становить від 0,027 при вирощуванні російського осетра до 0,044 г осаду/кг риби при вирощуванні бестера. Перерахунок питомого виходу осаду на вологість оптимальну для біогазового зброджування показав, що питомий вихід осаду при цьому збільшується в 10 разів. Слід зазначити, що питомий вихід осаду залежить не тільки від виду вирощуваної риби, а й від інтенсивності годівлі риби. Отримані дані будуть корисними для розрахунку об'ємів біогазового реактора для зброджування осаду з метою отримання тепла і електроенергії для внутрішніх потреб установок замкнутого водопостачання.

Ключові слова: басейн, суха маса, концентрація, добовий вихід сухої маси, питомий вихід.

Постановка проблеми

Наявність на ринку України риби і морепродуктів визначається імпортними поставками цієї продукції. На території України поверхневі води не завжди відповідають нормам за показниками

якості, яких потрібно дотримуватися при розведенні риби. Це обумовлено їх забрудненістю каналізаційними стічними водами міст та тваринницьких комплексів. У такій ситуації доцільним є використання установок замкнутого водопостачання (УЗВ) для виробництва продукції аквакультури. Як окремий технологічний процес виробництва продукції, виробництво рибної продукції в УЗВ набуває останнім часом поширення також і в фермерських та присадибних господарствах.

Таке виробництво набуває все більшого поширення, а обсяги вирощування за допомогою УЗВ прісноводних риб (найчастіше вугра і сома) становлять в Європі тисячі тон. У азійських країнах використання прісноводної аквакультури також зростає. Виробництво рибної продукції в УЗВ – одна із найбільш перспективних світових тенденцій. В УЗВ за допомогою автоматизованих пристроїв підтримуються всі параметри технологічного процесу. При цьому вплив на хід технологічного процесу природних факторів мінімальний. Завдяки наявності складних систем технологічного забезпечення, УЗВ потребують постійно удосконалення.

Аналіз останніх досліджень

Ефективне використання енергії та природних ресурсів стає особливо актуальним у сучасних умовах кліматичних змін. Це у повній стосуються кормової бази, ефективність використання якої характеризується коефіцієнтом конверсії, як відношенням кількості витраченого корму до одиниці отриманого приросту маси тварин або птиці. За даними огляду наукових досліджень, значення коефіцієнта конверсії корму приведено в табл. 1.

У результаті виробництва продукції тваринництва людство має також серйозне значення викидів парникових газів. Так, викиди метану (CH₄) за рахунок внутрішньої ферментації та під час збору і зберігання гною та викиди оксиду азоту (N₂O) під час збору і зберігання гною становлять відповідно 60 і 0,62 кг/рік на одну голову при відгодівлі ВРХ, 4,64 і 0,33 кг/рік на одну голову при відгодівлі свиней та по

0,02 кг/рік під час збору і зберігання посліду на одну голову при відгодівлі бройлерів [5].

У той же час, на думку спеціалістів ФАО аквакультура практично не здійснює викидів парникових газів у порівнянні з виробництвом м'яса у тваринництві. Таким чином розведення та споживання рибного білка буде сприяти пом'якшенню наслідків зміни клімату, а тому на даний час в установках аквакультури виробляється більше половини рибної продукції.

Системи УЗВ незважаючи на суттєвий недолік – високі капітальні та експлуатаційні витрати,

забезпечують низький рівень впливу на навколишнє середовище, а також зменшують потреби у воді та енергії при постійному і передбачуваному виробництві риби. У таких системах вода після механічної та біологічної очистки використовується повторно.

У системах УЗВ використовують зазвичай близько 0,2 м³ свіжої води на кілограм виробленої риби, у той же час, традиційна проточна система для вирощування форелі використовує близько 30 м³ свіжої води на кілограм [6].

Таблиця 1. Значення коефіцієнта конверсії корму за даними аналізу досліджень і публікацій.

Table 1. The value of the coefficient of feed conversion according to the analysis of researches and publications.

Вид тварин	Термін відгодівлі	Кінцева маса	Витрата комбікормів	Конверсія комбікорму
Молодняк ВРХ	16 місяців	450 кг	3000 кг	межі зміни від 7 до 8 [2]
Свині	6 місяців	110 кг	321 кг	межі зміни від 2,81 до 3,03 [1]
Бройлери	37 днів	2 кг	–	1,67 [3]
Форель	–	–	–	межі зміни від 1,2 до 2 [4]

Середньорічні темпи зростання обсягів виробництва аквакультури за період із 1990 по 2005 рр. становив 8,5 %. Внесок аквакультури у забезпечення населення рибними продуктами досягнувши майже половини (47 відсотків) світового обсягу в 2008 році, у порівнянні із 8 % з 1970 роком. Згідно з прогнозами ця тенденція продовжиться, при цьому внесок аквакультури у виробництво рибних продуктів досягне до 2020 року 60 % [7].

Із-за підвищеної собівартості виробництва в УЗВ, вони найчастіше використовуються для вирощування делікатесної дорогої продукції, такої як осетрові, вугри, річкові раки та креветки, а також для вирощування посадкового матеріалу різних видів риб. Подібні господарства можуть бути розміщені поблизу великих міст або в густонаселених зонах, звідки вони легко можуть постачати свіжу рибу споживачам.

Знизити собівартість виробництва риби в УЗВ можна за рахунок підвищення продуктивності, використовуючи технологію безперервного вирощування у порівнянні з вирощуванням партій риби [8, 9]. У цьому випадку відбувається постійне і безперервне зариблення та збір риби, а сама система постійно працює при максимальному навантаженні, частота годування риби у кожній ємності підтримується на максимальному рівні. Цей принцип успішно реалізується на прикладі вирощування форелі [10].

У ході очистки потоку циркулюючої води в УЗВ вода із резервуара з рибою надходить на відстоюється для видалення осаду, після чого надходить у біофільтр, де амоній за допомогою бактерій перетворюється на нітрат. Із потоку води видаляють також надлишок вуглекислого газу і насичують воду киснем за допомогою обладнання для оксигенації. Дезінфікують потік води за допомогою УФ-стерилізації та озонування.

Для забезпечення виробництва біогазу при метановому зброджуванні органічних складових осадів, які утворюється при функціонуванні УЗВ, систему очистки води доцільно дообладнати біогазовою установкою. Таке дообладнання дозволить

забезпечити часткову енергетичну автономність УЗВ для виробництва аквакультури за рахунок тепла і електроенергії, отриманих при когенерації біогазу. Зброджений осад, після подальшого компостування, може бути утилізований в якості органічних добрив. На компостування подається також вода та осад після промивання фільтрів [11].

Нами також розроблена також блок-схема УЗВ [12] у якій в ході обробки потоку циркулюючої води, яка послідовно проходить резервуари із ракоподібними, рибою та двостулковими молюсками і надходить у біофільтр, де очищається та відстоюється для видалення осаду. Із потоку води, в подальшому, за допомогою блоку для культивування водоростей, видаляють вуглекислий газу і насичують воду киснем. Надлишкова біомаса водоростей та осад, що утворюється при відстоюванні води у біофільтрах направляється у біогазову установку для забезпечення виробництва біогазу при метановому зброджуванні органічних складових осаду. Утворений біогаз направляється у когенераційну установку для виробництва тепла і електроенергії.

Однак, у науковій літературі відсутні дані про вихід та властивості осаду в установках для виробництва продукції аквакультури під час роботи в УЗВ, який потребує утилізації.

Мета досліджень

Встановити вихід та дослідити властивості осаду в УЗВ для виробництва продукції аквакультури.

Результати досліджень

Оцінка питомого виходу осаду в установці для вирощування риби проводилася на базі підприємства по вирощуванню риби у Васильківському районі Київської області. Досліди проводилися з використанням басейнів для риби діаметром 2,35 м у кожному із яких знаходилося біля 6 м³ води. За добу

до проведення досліджень басейни для риби були ретельно очищені від бруду і осаду. Один із басейнів був зариблений російським осетром живою масою 31,5 кг (басейн №1), а інший бестером живою масою 52,5 кг (басейн №2). Годівля риби здійснювалася повнораціонним кормом для риби EFICO Sigma 811 R із розміром гранул 3 мм в кількості 800 г/добу. Для проведення досліджень використано установку, схема якої приведена на рис. 1. Загальний вигляд УЗВ, на основі якої проводилися дослідження, приведений на рис. 2.

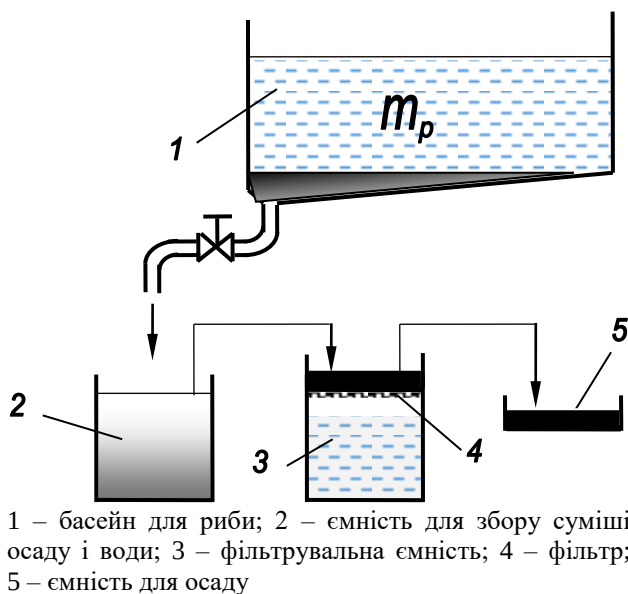


Рис. 1. Загальна схема проведення досліджень по визначенню питомого виходу осаду в УЗВ. Джерело. Розроблено авторами.

Fig. 1. General scheme of carrying out of research to determine the specific yield of the sediment in circulation system.

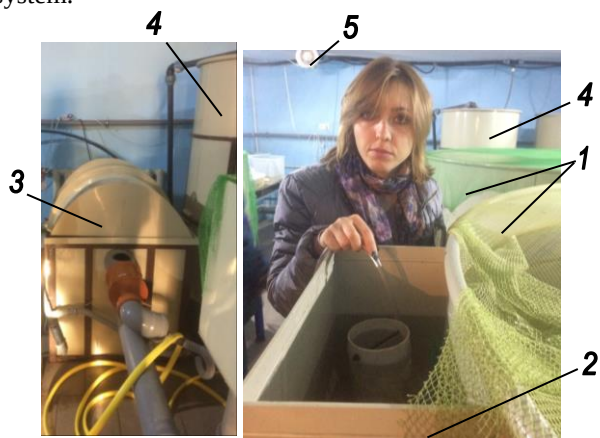


Рис. 2. Загальний вигляд обладнання УЗВ

Fig. 2. General view of the equipment of the RAS.

Осад, який накопичувався в басейні для риби 1 упродовж заданого часу (одна доба), змивався потоком води, а утворена суміш осаду і води надходила через запірний вентиль в ємність для збору суміші осаду і води 3. Заданий обсяг суміші осаду і води, видалений із системи УЗВ фільтрувався в

ємності 3 за допомогою фільтра 4, а відфільтрований осад видалявся в ємність 5. Після завершення процесу виділення осаду визначалася його кількість та властивості.



а) – загальний вигляд муфельної печі; б) – температура висушування при вимірюванні вологості осаду; в) – температура висушування при вимірюванні вмісту органічної маси в осаді

Рис. 3. Загальний вигляд муфельної печі та її параметрів під час проведення висушування зразків осаду.

Fig. 3. General view of the muffle furnace and of its parameters during drying of sediment samples.

Добовий вихід сухої маси осаду визначався за наступним виразом:

$$B = OV_{CD} = \frac{m_o}{V_C} V_{CD}, \quad (2)$$

де B – добовий вихід сухої маси осаду, г; V_{CD} – добовий вихід суміші осаду і води в УЗВ, л.

Добовий питомий вихід сухої маси осаду із розрахунку на масу риби в басейні визначався за наступним виразом:

$$O_{\Pi} = \frac{B}{m_P} = \frac{m_o V_{CD}}{V_C m_P}, \quad (3)$$

де O_{Π} – питомий вихід сухої маси осаду, г осаду/кг риби; m_P – загальна маса риби в басейні УЗВ, кг.

Перерахунок питомого виходу осаду заданої вологості із розрахунку на масу риби в басейні визначався за наступним виразом:

$$O_{\Pi W} = O_{\Pi} \left(1 + \frac{W_o}{100 - W_o} \right) = \frac{m_o V_{CD}}{V_C m_P} \left(1 + \frac{W_o}{100 - W_o} \right), \quad (4)$$

де $O_{\Pi W}$ – питомий вихід осаду заданої вологості, г осаду/кг риби; W_o – задана вологість осаду, %.

Видалення осаду із басейнів з рибою в УЗВ проводилося за рахунок гідростатичного тиску води (шляхом зливу води із басейнів). Враховуючи такий спосіб видалення осаду, були визначені основні показники умов проведення досліду та властивості осаду УЗВ. Ці дані наведені в табл. 2.

На основі отриманих значень розраховувалися показники виходу осаду та робився перерахунок виходу осаду на вологість оптимальну для біогазового зброджування. Ці дані приведені в табл. 3.

Таблиця 2. Основні показники умов досліду та властивості осаду в УЗВ.

Table 2. Main indicators of conditions of experience and properties of sediment in circulation system.

Назва риби	Кількість зливої води, л	Рівень зливу води, мм	Кількість води у пробі, л	Сира маса осаду, г	Вологість осаду, %	Суха маса осаду, г
Російський осетер (басейн №1)	26,02	6	10	6,005	94,55	0,33
Бестер (басейн №2)	30,36	7	15	29,2887	96,14	1,13

Таблиця 3. Основні показники виходу осаду в УЗВ.

Table 3. Main indicators of the output of the sludge in the RAS.

Назва риби	Суша речовина осаду			Перерахунок на $W=90\%$		
	концентрація, г/л	кількість, г/добу	на 1 кг риби, г/кг	концентрація, г/л	кількість, г/добу	на 1 кг риби, г/кг
Російський осетер (басейн №1)	0,033	0,852	0,027	0,3272	8,52	0,27
Бестер (басейн №2)	0,075	2,290	0,044	0,7544	22,90	0,44

Із використанням залежності (4), для ілюстрації зміни питомого виходу осаду в залежності від

вологості побудовано графічні залежності (рис. 4).

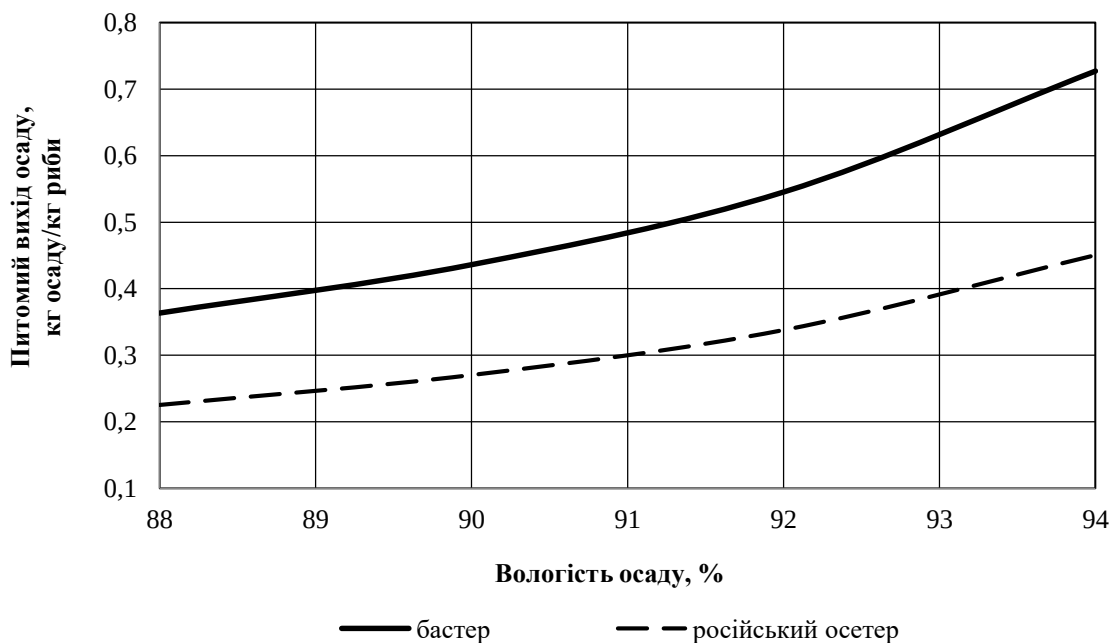


Рис. 4. Залежність питомого виходу осаду від його вологості.

Fig. 4. The dependence of specific yield of sediment from the humidity.

Графік демонструє різку зміну питомого виходу осаду в залежності від його вологості.

Висновки

За результатами досліджень встановлено, що питомий вихід сухої маси осаду в УЗВ становить від 0,027 при вирощуванні російського осетра до 0,044 г осаду/кг риби при вирощуванні бестера. Перерахунок питомого виходу осаду на вологість оптимальну для біогазового зброджування показав, що в такому випадку питомий вихід осаду в УЗВ збільшується в 10 разів і становить від 0,27 при вирощуванні російського осетра до 0,44 г осаду/кг риби при вирощуванні бестера. Слід зазначити, що питомий вихід осаду в УЗВ залежить не тільки від виду вирощуваної риби, а й від інтенсивності годівлі риби. Отримані дані будуть корисними для розрахунку об'ємів біогазового реактора для зброджування осаду УЗВ з метою отримання тепла і електроенергії для внутрішніх потреб УЗВ.

Список літератури

1. В. С. Топіха, В. Я. Лихач, С. І. Луговий, А. В. Лихач, С. С. Крамаренко Основи нормованої годівлі свиней: виробничо-практичні рекомендації. МНАУ, 2016. 51 с.
2. О. Т. Бусенко, В. Д. Столюк, О. Й. Могильний Технологія виробництва продукції тваринництва: підручник. та ін.; За ред. О.Т. Бусенка. Київ. Вища освіта, 2005. 496 с.
3. Єгоров Б. В., Ворона Н. В. Сучасні проблеми на шляху виробництва високоякісних комбікормів для молодняка сільськогосподарської птиці. Зернові продукти і комбікорми, № 1 (49). 2013. С. 42-44.
4. <http://jak.magey.com.ua/articles/goduvannja-foreli-1.html>.
5. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов. Том 4: Сельское хозяйство, лесное хозяйство и другие виды землепользования. Глава 10: Выбросы от скота и в результате уборки, хранения и использования навоза, МГЭИК, 2006. 98 с.
6. Брайнбалле Я. Руководство по аквакультуре в установках замкнутого водоснабжения. Введение в новые экологические и высокопродуктивные замкнутые рыболовные системы. Копенгаген, АКВА group Denmark, 2010. 70 с.
7. Вашингтон С. Абабуш Л. Частные стандарты и сертификации в рыболовстве и аквакультуре. Современная практика и возникающие проблемы. – Анкара, 2013. 211 с.
8. Watten B. J. Modeling the effects of sequential rearing on the potential production of controlled environment fish-culture systems. Aquac. Eng. 11, 1992. P. 33-46.
9. Summerfelt S. T., Hankins J. A., Summerfelt S. R., Heinen J. M. Modeling continuous culture with periodic stocking and selective harvesting to measure the effect on productivity and biomass capacity of fish culture

systems. Techniques for Modern Aquaculture (Proc.), 21-23 June 1993, Spokane, WA. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph. P. 581-593.

10. Heinen J.M., Hankins J.A., Weber A.L., Watten B.J. A semiclosed recirculating-water system for high-density culture of rainbow trout. Prog. Fish-Cult. 58, 1996. P. 11-22.

11. Голуб Г.А., Завадська О.А., Кузьменко М.С., Кухарець С.М., Щербак С.Д., Маєвська А.Г. Установа замкнутого водопостачання для виробництва продукції аквакультури: Патент на корисну модель 116270. Україна. МПК А01К 61/10, А01К 63/00. Заявка № а 2016 12663; Заявлено 12.12.2016; Опубліковано 10.05.2017, Бюл. № 9. 2 с.

12. Голуб Г.А., Маєвська А.Г., Завадська О.А., Щербак С.Д. Установа замкнутого водопостачання для виробництва продукції аквакультури: Патент на корисну модель 125463. Україна. МПК А01К 61/00. Заявка № и 2017 12145; Заявлено 11.12.2017; Опубліковано 10.05.2018, Бюл. № 9. 2 с.

References

1. Osnovy normovanoi hodivli svynei: vyrobnycho-praktychni rekomendatsii. V.S. Topikha, V.Ia. Lykhach, S.I. Luhovyi, A.V. Lykhach, S.S. Kramarenko. MNAU, 2016. – 51 s.
2. Tekhnolohiia vyrobnytstva produktsii tvarynnytstva. O.T. Busenko, V.D. Stoliuk, O.I. Mohylnyi ta in.; Za red. O.T. Busenka. K.: Vyshcha osvita, 2005. — 496 s.: il.
3. Iehorov B.V., Vorona N.V. Suchasni problemy na shliakhu vyrobnytstva vysokoiakisnykh kombikormiv dlia molodniaka silskohospodarskoi ptytsi. Zernovi produkty i kombikormy, № 1 (49). – 2013. – S. 42-44.
4. <http://jak.magey.com.ua/articles/goduvannja-foreli-1.html>.
5. Rukovodiashchye pryntsyпы natsyonalnykh ynvventaryzatsyi parnykovykh hazov. Tom 4: Selskoe khoziaistvo, lesnoe khoziaistvo y druhye vydy zemlepolzovanyia. Hlava 10: Vybroсы ot skota y v rezultate uborky, khranenyia y uspolzovanyia navoza, МНЭУК, 2006. 98.
6. Brainballe Ya. Rukovodstvo po akvakulture v ustanovkakh zamknutoho vodosnabzhenyia. Vvedenyie v novyye ekolohycheskye y vysokoproduktyvnyie zamknutyie rybovodnyie systemy. Kopenhagen, AKVA group Denmark, 2010. 70.
7. Vashynhton S. Ababush L. Chastnyie standarty y sertyfykatsyy v rybolovstve y akvakulture. Sovremennaia praktyka y voznikaushchye problemy. Ankara, 2013. 211.
8. Watten B.J. Modeling the effects of sequential rearing on the potential production of controlled environment fish-culture systems. Aquac. Eng. 11, 1992. 33-46.
9. Summerfelt S.T., Hankins J.A., Summerfelt S.R., Heinen J.M. Modeling continuous culture with periodic stocking and selective harvesting to measure the effect on productivity and biomass capacity of fish culture systems. – Techniques for Modern Aquaculture (Proc.), 21-23 June 1993, Spokane, WA. American Society of Agricultural

Engineers, St. Joseph. – R. 581-593.

10. Heinen J.M., Hankins J.A., Weber A.L., Watten B.J. A semiclosed recirculating-water system for high-density culture of rainbow trout. *Prog. Fish-Cult.* 58, 1996. 11-22.

11. Golub G.A., Zavads'ka O.A., Kuz'menko M.S., Kukharets' S.M., Shcherbak S.D., Maevs'ka A.G. *Ustanovka zamknutogo vodopostachannya dlya virobnitstva produktii akvakul'turi*: Patent na korisnu model' 116270. Ukraïna. MPK A01K 61/10, A01K 63/00. – Zayavka № a 2016 12663; Zayavleno 12.12.2016; Opublikovano 10.05.2017, Byul. № 9. 2.

12. Golub G.A., Maevs'ka A.G., Zavads'ka O.A., Shcherbak S.D. *Ustanovka zamknutogo vodopostachannya dlya virobnitstva produktii akvakul'turi*: Patent na korisnu model' 125463. Ukraïna. MPK A01K 61/00. Zayavka № u 2017 12145; Zayavleno 11.12.2017; Opublikovano 10.05.2018, Byul. № 9. 2.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫХОДА И СВОЙСТВ ОСАДКОВ В УСТАНОВКАХ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ АКВАКУЛЬТУРЫ

Г. А. Голуб, О. А. Завадская, С. Д. Щербак

Аннотация. На территории Украины поверхностные воды не всегда соответствуют нормам по показателям качества, которым нужно следовать при разведении рыбы. Это обусловлено их загрязненностью канализационными сточными водами городов и животноводческих комплексов. В такой ситуации целесообразно использование установок замкнутого водоснабжения для производства продукции аквакультуры. Для обеспечения производства биогаза при метановом сбраживании органических составляющих осадков, образующейся при функционировании установок замкнутого водоснабжения, систему очистки воды целесообразно дооборудовать биогазовой установкой. Такое дооборудование позволит обеспечить частичную энергетическую автономность установок замкнутого водоснабжения для производства аквакультуры за счет тепла и электроэнергии, полученных при когенерации биогаза. Целью исследования было установление выхода и свойств осадка при производстве продукции аквакультуры.

Установлено, что удельный выход сухой массы осадка в установках замкнутого водоснабжения составляет от 0,027 при выращивании русского осетра в 0,044 г осадка / кг рыбы при выращивании бестера. Пересчет удельного выхода осадка на влажность оптимальную для биогазового сбраживания показал, что удельный выход осадка при этом увеличивается в 10 раз. Следует отметить, что удельный выход осадка зависит не только от вида выращиваемой рыбы, но и от интенсивности кормления рыбы. Полученные данные будут полезны для расчета объемов биогазового реактора для сбраживания осадка с целью получения тепла и электроэнергии для внутренних потребностей установок замкнутого водоснабжения.

Ключевые слова: бассейн, сухая масса, концентрация, суточный выход сухой массы, удельный выход.

INVESTIGATION OF OUTPUT AND PROPERTIES OF SEDIMENT IN INSTALLATIONS FOR PRODUCTION OF AQUACULTURE PRODUCTS

G. A. Golub, O. A. Zavad'ska, S. D. Scherbak

Abstract. On the territory of Ukraine, surface waters do not always meet the norms for quality indicators that must be observed when breeding fish. This is due to their contamination by sewage effluent of cities and livestock complexes. In such a situation it is expedient to use closed water supply plants for the production of aquaculture products. In order to ensure the production of biogas at methane fermentation of organic constituents of sediments, which is formed when functioning of closed water supply plants, it is expedient to equip the water purification system with a biogas plant. Such refinement will allow providing partial energy autonomy of closed water supply plants for the production of aquaculture at the expense of heat and electricity generated by the biogas cogeneration. The purpose of the study was to determine the yield and properties of sediment in the production of aquaculture products.

It has been established that the specific yield of dry mass of sediment in closed water supply plants is from 0.027 when n sturgeon is grown to 0.044 g sediment / kg of fish during growing of a bester. The conversion of the specific yield of sediment to the humidity optimal for biogas fermentation has shown that the specific yield of sediment thus increases 10 times. It should be noted that the specific yield of sediment depends not only on the type of fish grown, but also on the intensity of feeding fish. The obtained data will be useful for calculation of volumes of biogas reactor for sediment digestion for the purpose of obtaining heat and electricity for internal needs of closed water supply plants.

Key words: pool, dry weight, concentration, daily dry mass output, specific yield.

Г. А. Голуб ORCID 0000-0002-2388-0405.

О. А. Завадська ORCID 0000-0003-2369-4925.

С. Д. Щербак ORCID 0000-0002-3969-2062.

УДК 631.3:62-192

ВИЗНАЧЕННЯ ФУНКЦІЇ ГОТОВНОСТІ СИСТЕМ «ЛЮДИНА – МАШИНА» ПРИ ЗРОСТАННІ ІНТЕНСИВНОСТЕЙ ВІДМОВ

А. В. Новицький, З. В. Ружило

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Кореспонденція авторів: Novytskyy@nubip.edu.ua.

Історія статті: отримано – квітень 2019, акцептовано – червень 2019.

Бібл. 33, рис. 1, табл. 0.

Анотація. В статті приведені дослідження зі встановлення функції готовності ергатичних систем «людина-машина» в перехідний період зниження їх безвідмовності. Встановлення виду функції готовності вирішено аналітичним методом із застосуванням прямих і зворотних перетворень Лапласа-Карсона. В граничних умовах на початку експлуатації і в умовах усталеного псевдо-стаціонарного режиму при тривалій експлуатації систем, отримана функція готовності, яка відповідає фізичній сутності працездатного стану систем. В усталеному режимі функція готовності набуває значень загальноприйнятого коефіцієнта готовності.

Експлуатаційна готовність складної ергатичної системи «людина-машина» в перехідний період зниження ефективності її роботи описується функцією готовності, що включає в себе чотири складових, три з яких представляють суму експонент. Зі зростанням часу експлуатації системи «людина-машина» готовність її до роботи в умовах «старіння» техніки і наростання втоми операторів знижується асимптотично наближаючись до свого фінішного значення. Фінішне значення функції готовності досягається при довгострокових термінах експлуатації і переході системи практично в усталений режим. У вказаних умовах функція готовності набуває значення загально прийнятого коефіцієнта готовності.

Ключові слова: надійність, безвідмовність, інтенсивність відмов, інтенсивність відновлень, система «людина-машина», функція готовності.

Постановка проблеми

Ускладнення техніки зумовлює необхідність приділення все більшої уваги проблемам її експлуатаційної надійності. Як правило, сучасна машина ефективна разом з людиною-оператором, що керує нею. В сукупності вказані дві складові утворюють єдину ергатичну систему, ефективне функціонування якої залежать від їх сумісної роботи.

Інтенсивність відмов машин визначається, насамперед, їх фізичним станом, напруженнями, а також зовнішніми умовами експлуатації. Існуючими інженерними засобами в конструкції машин

закладаються заходи направлені на забезпечення необхідного рівня надійності. Разом, з тим, як показує практика експлуатації складної техніки, багато в чому її надійність залежить також від людини-оператора, який вибирає раціональні режими роботи, заздалегідь передбачає можливі випадкові перевантаження, а також приймає заходи із запобігання різного виду можливих випадкових пошкоджень механізмів і вузлів.

Аналіз останніх досліджень

Проблемам і забезпеченню надійності складних систем присвячена значна кількість досліджень. Відомі праці Н. А. Ушакова, А. М. Половко, А. Л. Райкіна, Н. А. Рябініна [25, 26, 28, 29], в яких основна увага приділена технічним системам, способам і методом підвищення їх безвідмовності. В той же час, актуальною проблемою сьогодення є вивчення взаємодії людини-оператора з технічними засобами, від стану і безвідмовності яких, залежить не тільки надійність самої техніки, але й своєчасність та якість виконання технологічних процесів [2, 3, 6-8, 21]. В статтях [5, 10, 22-24, 30-33] наведена актуальність і важливість удосконалення діяльності оператора як складової технічної системи «Людина-Машина», проаналізовано надійність і ефективність функціонування операторів машин і обладнання в тваринництві. Огляд літературних джерел, який представлено в статтях [4, 9, 12, 13, 15-18, 27] відображає дослідження ефективності функціонування та надійності операторів сільськогосподарських машин і машинно-тракторних агрегатів у рослинництві. Але, особливо важливим в науково-практичному плані є проведення досліджень надійності систем при нестаціонарних умовах експлуатації для виявлення кількісних характеристик і показників, а також тенденцій і напрямків їх змін.

Мета досліджень

Метою представленого дослідження є встановлення функції готовності для оцінки

працездатності систем «людина-машина» в умовах зростання інтенсивностей відмов і відновлень.

Результати досліджень

Стан готовності техніки до експлуатації в динамічних перехідних періодах змін інтенсивностей відмов і відновлень кількісно оцінюється коефіцієнтом готовності.

Попередніми дослідженнями [1] запропонована узагальнена математична модель надійності ергатичної системи «людина – машина», що дозволяє на підставі складених стохастичних диференціальних рівнянь динамічного балансу ймовірностей станів отримувати окремі характеристики надійності.

Однією з таких важливих характеристик є функція готовності, яка показує зміну готовності техніки до роботи в залежності від часу експлуатації. Функція носить ймовірнісний характер і може бути визначена згідно правила Крамера [14, 19]:

$$K_r(t) \div \varphi(s) = \frac{\Delta_0}{\Delta}, \quad (1)$$

де $\varphi(s)$ – функція готовності в перетвореннях Лапласа-Красона;

Δ – основний визначник, отриманий в роботі [1];

Δ_0 – визначник системи стохастичних рівнянь, що відповідає працездатному стану.

Встановлення функції готовності системи, що досліджується, передбачає вирішення визначника Δ_0 , який знаходиться шляхом заміни стовпчика ймовірності справного стану на стовпчик вільних членів (вираз (5) [1]):

$$\Delta_0 = \begin{vmatrix} 1 & -\mu & 0 & 0 \\ 1 & S & S & S \\ 0 & 0 & S + \lambda'_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & S + \lambda''_1 \end{vmatrix}.$$

Для встановлення значення визначника необхідно провести пониження його порядку. В його розкладанні по третій строчці із застосуванням правила Саррюса [4] маємо:

$$\begin{aligned} \Delta_0 &= (S + \lambda'_1)(-1)^{3+3} \begin{vmatrix} 1 & -\mu & 0 \\ 1 & S & S \\ 0 & 0 & S + \lambda''_1 \end{vmatrix} = \\ &= (S + \lambda'_1) \begin{vmatrix} 1 & -\mu & 0 \\ 1 & S & S \\ 0 & 0 & S + \lambda''_1 \end{vmatrix} = \\ &= (S + \lambda'_1)(S^2 + S^2\lambda''_1 + \mu\lambda''_1) = \\ &= S^3 + S^2\lambda''_1 - S^2\mu + S\mu\lambda''_1 + \\ &+ \lambda'_1 S^2 + \lambda'_1 S\lambda''_1 + \lambda'_1 \mu + \lambda'_1 \mu\lambda''_1 \end{aligned}$$

Групуючи члени за степенями невідомої, в кінцевому вигляді можемо записати:

$$\Delta_0 = S^3 + S^2(\lambda''_1 + \mu + \lambda'_1) + S(\lambda'_1\lambda''_1 + \mu\lambda''_1 + \lambda'_1\mu) + \lambda'_1\mu\lambda''_1 \quad (2)$$

Підставляючи чисельник і знаменник у відношення (1) у формі перетворень, функцію готовності, що представляється ймовірністю знаходження дослідженої системи у стані «0», можна записати наступним чином:

$$\varphi_0(S) = (S^3 + S^2(\lambda''_1 + \mu + \lambda'_1) + S(\lambda'_1\lambda''_1 + \mu\lambda''_1 + \lambda'_1\mu) + \lambda'_1\mu\lambda''_1) / (S^4 + S^3(\lambda''_1 + \lambda'_1 + \lambda'_0 + \lambda''_0 + \mu) +$$

$$+ S^2(\lambda''_1\lambda'_1 + \lambda'_0\lambda''_1 + \lambda'_0\lambda'_1 + \lambda''_0\lambda''_1 + \lambda''_0\lambda'_1 + \mu\lambda''_1 + \mu\lambda'_1 + \mu\lambda''_0 + \mu\lambda) + S(\mu\lambda'_1\lambda''_1 + \mu\lambda'_1\lambda''_0 + \mu\lambda'_0\lambda''_1))$$

Оскільки в кінцевому вигляді функцію готовності необхідно отримати в оригіналі перетворень, а не в образах, то для виконання операцій зворотніх переходів від образу до оригіналу необхідно функцію $\varphi_0(S)$ представити у вигляді еквівалентного рівняння слідує суми [29]:

$$\varphi_0(S) = \frac{A_0}{S - S_1} + \frac{B_0}{S - S_2} + \frac{C_0}{S - S_3} + \frac{D_0}{S - S_4}, \quad (4)$$

де A_0, B_0, C_0, D_0 – деякі константи, що потребують визначення;

S_1, S_2, S_3, S_4 – корені многочлена знаменника (3).

Ввівши наступні позначення для знаменника запишемо:

$$\begin{aligned} \alpha &= \lambda''_1 + \lambda'_1 + \lambda'_0 + \lambda''_0 + \mu; \\ \beta &= \lambda''_1\lambda'_1 + \lambda'_0\lambda''_0 + \lambda'_0\lambda'_1 + \lambda''_0\lambda''_1 + \lambda''_0\lambda'_1 + \\ &+ \mu\lambda''_1 + \mu\lambda'_1 + \mu\lambda''_0 + \lambda'_0; \\ \gamma &= \mu\lambda'_1\lambda''_1 + \mu\lambda'_1\lambda''_0 + \mu\lambda'_0\lambda''_1. \end{aligned}$$

Можна його записати скорочено:

$$\Delta = S^4 + \alpha S^3 + \beta S^2 + \gamma S.$$

Для знаходження коренів представимо рівняння наступним чином:

$$S(S^3 + \alpha S^2 + \beta S + \gamma) = 0$$

Звідси видно, що перший корінь $S_1=1$, а пошук інших коренів потребує вирішення кубічного рівняння:

$$S^3 + \alpha S^2 + \beta S + \gamma = 0. \quad (5)$$

Внесемо заміну невідомої:

$$y = S + \frac{\alpha}{3}; \quad y = S - \frac{\alpha}{3} \quad (6)$$

Тоді, отримаємо:

$$(y - \frac{\alpha}{3})^3 + \alpha(y - \frac{\alpha}{3})^2 + \beta(y - \frac{\alpha}{3}) + \gamma = 0.$$

Після виконання алгебраїчних перетворень, рівняння представляється у приведеній формі:

$$y^3 + \left(\frac{3\beta - \alpha^2}{3}\right)y + \left[\frac{2\alpha^2}{27} - \frac{\alpha\beta}{3} + \gamma\right] = 0.$$

Детермінантом отриманого кубічного рівняння є наступний вираз:

$$D = \left(\frac{3\beta - \alpha^2}{9}\right) + \left[\frac{2\alpha^3}{54} - \frac{\alpha\beta}{6} + \frac{\gamma^2}{2}\right].$$

Вид шуканих коренів залежить від знаку, що набуває детермінант. Попередня якісна оцінка можливого знаку показує, що перша складова при підстановці значень α і β , характерних для практики експлуатації складної техніки завжди набуває від'ємних значень. Природно, що середній наробіток на відмову $\bar{t}$ на декілька порядків перебільшує середній час відновлень μ . В наслідок цього $\lambda \ll \mu$ і це визначає від'ємне значення першої складової.

Друга складова має три члени. Перший α є сумою трьох інтенсивностей відмов і інтенсивностей відновлення, другий має від'ємний знак, що знижує загальну величину другої складової детермінанту. Третій член, що включає γ сам по собі незначний оскільки, утворюється квадратом малої величини λ_1^2 помноженою на $\mu < 1$.

На підставі приведенного аналізу можна з великою долею достовірності стверджувати, що для

реальних значень λ , μ – характеристик системи «людина – машина» детермінант є від'ємною величиною $D < 0$. Це вказує на те, що кубічне рівняння, яке вирішується має три дійсних корені.

Для знаходження коренів застосуємо формулу Кардано. До рівняння у приведеній формі введемо два додаткових параметри:

$$\rho = \sqrt{-\frac{(3\beta - \alpha^2)^3}{27^2}};$$

$$\cos \varphi = \frac{\frac{2\alpha^3}{27} - \frac{\alpha\beta}{3} + \varphi}{2 \cdot \sqrt{-\frac{(3\beta - \alpha^2)^3}{27^2}}}.$$

Тоді коренями при вирішенні приведенного рівняння будуть:

$$y_1 = 2\sqrt[3]{\rho} \cos\left(\frac{\varphi}{3}\right);$$

$$y_2 = 2\sqrt[3]{\rho} \cos\left(\frac{\varphi}{3}\right) + \left(\frac{2\pi}{3}\right);$$

$$y_3 = 2\sqrt[3]{\rho} \cos\left(\frac{\varphi}{3}\right) + \left(\frac{4\pi}{3}\right).$$

Зворотню заміною (6) знаходяться корені початкового кубічного рівняння (5).

$$S_2 = 2\sqrt[3]{\rho} \cos\left(\frac{\varphi}{3}\right);$$

$$S_3 = 2\sqrt[3]{\rho} \cos\left(\frac{\varphi}{3}\right) + \left(\frac{2\pi}{3}\right);$$

$$S_4 = 2\sqrt[3]{\rho} \cos\left(\frac{\varphi}{3}\right) + \left(\frac{4\pi}{3}\right).$$

Таким чином, всі корені S_1 , S_2 , S_3 і S_4 полінома знаменника відношення (3) знайдені і в кінцевому представленні через інтенсивності подій λ_i і μ .

Повертаючись до еквівалентного рівняння (4) постає завдання в знаходженні постійних величин A_0 , B_0 , C_0 , D_0 . Використавши додаткові множники, рівняння можна переписати у наступному вигляді:

$$\varphi_0(S) = (A_0(S - S_2)(S - S_3)(S - S_4) + B_0S(S - S_3)(S - S_4) + C_0S(S - S_2)(S - S_4) + D_0S(S - S_2)(S - S_3))/S(S - S_2)(S - S_3) \times (S - S_4) \quad (7)$$

Виконавши алгебраїчні перетворення чисельник у розкладені за степенями невідомої представляється наступним чином:

$$S^3(A_0 + B_0 + C_0 + D_0) - S^2(A_0S_3 + A_0S_2 + A_0S_4 + B_0S_4 + B_0S_3 + C_0S_4 + C_0S_2 + D_0S_3 + D_0S_2) + S(A_0S_2S_3 + A_0S_4S_3 + A_0S_4S_2 + B_0S_3S_4 + C_0S_2S_4 + D_0S_2S_3) + A_0S_4S_2S_3 \quad (8)$$

При рівності знаменників (3) і (7), чисельники (3) і (8) будуть теж рівними при умові, що коефіцієнти при однакових степенях невідомої S теж дорівнюють один одному.

Тоді, для визначення сталих A_0 , B_0 , C_0 , D_0 можна записати наступну додаткову систему рівнянь:

$$\begin{cases} A_0 + B_0 + C_0 + D_0 = 1; \\ A_0S_3 + A_0S_2 + A_0S_4 + B_0S_4 + B_0S_3 + C_0S_4 + C_0S_2 + D_0S_3 + D_0S_2 = \lambda''_1 + \mu + \\ A_0S_2S_3 + A_0S_4S_3 + A_0S_4S_2 + B_0S_3S_4 + C_0S_2S_4 = \mu; \\ A_0S_4S_2S_3 = \lambda''_1\mu\lambda'_1. \end{cases}$$

Для вирішення системи отриманих рівнянь використаємо метод послідовних підстановок. Із останнього рівняння маємо сталу A_0 :

$$A_0 = \frac{\lambda''_1\mu\lambda'_1}{S_4S_2S_3} \quad (10)$$

Підставивши A_0 в третє рівняння (9), запишемо:

$$\frac{\lambda''_1\mu\lambda'_1}{S_4S_2S_3}(S_2S_3 + S_4S_3 + S_4S_2) + B_0S_3S_4 + C_0S_2S_4 + D_0S_2S_3 = \lambda'_1\lambda''_1 + \mu\lambda''_1 + \lambda'_1\mu$$

Вирішимо відносно B_0 :

$$B_0 = \frac{\lambda'_1\lambda''_1 + \mu\lambda''_1 + \lambda'_1\mu}{S_4S_3} - \frac{\lambda''_1\mu\lambda'_1}{S_2S_3S_4^2}(S_2S_3 + S_4S_3 + S_4S_2) - C_0\frac{S_2}{S_3} - D_0\frac{S_2}{S_4} \quad (11)$$

Знайдемо сталу C_0 з другого рівняння системи (9), підставивши складові:

$$\frac{\lambda''_1\mu\lambda'_1}{S_4S_2S_3}(S_3 + S_2 + S_4) + \left[\frac{\lambda'_1\lambda''_1 + \mu\lambda''_1 + \lambda'_1\mu}{S_3S_4} - \frac{\lambda''_1\mu\lambda'_1}{S_2S_3S_4^2}(S_2S_3 + S_4S_3 + S_4S_2) - C_0\frac{S_2}{S_3} - D_0\frac{S_2}{S_4} \right] \cdot (S_4 + S_3) + C_0(S_4 + S_2) + D_0(S_3 + S_2) = \lambda''_1 + \mu + \lambda'_1$$

Виділимо C_0 :

$$C_0\left(S_4 + S_3 - \frac{S_2(S_4 + S_3)}{S_4}\right) = \lambda''_1 + \mu + \lambda'_1 - \frac{\lambda''_1\mu\lambda'_1}{S_4S_2S_3}(S_3 + S_2 + S_4) - \frac{\lambda'_1\lambda''_1 + \mu\lambda''_1 + \lambda'_1\mu(S_4 + S_3)}{S_3S_4} + \frac{\lambda''_1\mu\lambda'_1(S_3 + S_4)}{S_2S_3S_4^2}(S_2S_3 + S_4S_3 + S_4S_2) + D_0\left[\frac{S_2(S_4 + S_3)}{S_4} - S_3 - S_2\right]$$

Звідси C_0 дорівнює:

$$C_0 = \frac{\lambda''_1 + \mu + \lambda'_1}{S_4 + S_2 - \frac{S_2(S_4 + S_3)}{S_4}} - \frac{\lambda''_1\mu\lambda'_1(S_3 + S_2 + S_4)}{S_4S_2S_3\left[S_4 + S_2 - \frac{S_2(S_4 + S_3)}{S_4}\right]} - \frac{\lambda'_1\lambda''_1 + \mu\lambda''_1 + \lambda'_1\mu(S_4 + S_3)}{S_3S_4\left[S_4 + S_2 - \frac{S_2(S_4 + S_3)}{S_4}\right]} + \frac{\lambda''_1\mu\lambda'_1(S_3 + S_4)(S_2S_3 + S_4S_3 + S_4S_2)}{S_2S_3S_4^2\left[S_4 + S_2 - \frac{S_2(S_4 + S_3)}{S_4}\right]} + \frac{\frac{S_2(S_4 + S_3)}{S_4} - S_3 - S_2}{S_4 + S_2 - \frac{S_2(S_4 + S_3)}{S_4}} \quad (12)$$

Для визначення сталої D_0 використаємо перше рівняння системи (9). Підставимо в нього складові рівняння:

$$\frac{\lambda''_1\mu\lambda'_1}{S_4S_2S_3} + \frac{\lambda'_1\lambda''_1 + \mu\lambda''_1 + \lambda'_1\mu}{S_3S_4} - \frac{\lambda''_1\mu\lambda'_1}{S_2S_3S_4^2}(S_2S_3 + S_4S_3 + S_4S_2) -$$

$$\begin{aligned}
& -\frac{S_2}{S_3} \left[\frac{\frac{\lambda''_1 + \mu + \lambda'_1}{S_4 + S_2 - \frac{S_2(S_4 + S_3)}{S_4}} - \frac{\lambda''_1 \mu \lambda'_1 (S_4 + S_2 + S_3)}{S_4 S_2 S_3 S_4 + S_2 - \frac{S_2(S_4 + S_3)}{S_4}} - \right. \\
& \left. - \frac{\lambda'_1 \lambda''_1 + \mu \lambda''_1 + \lambda'_1 \mu (S_4 + S_3)}{S_3 S_4 \left[S_4 + S_2 - \frac{S_2(S_4 + S_3)}{S_4} \right]} + \frac{\lambda''_1 \mu \lambda'_1 (S_3 + S_4) (S_2 S_3 + S_4 S_3 + S_4 S_2)}{S_2 S_3^2 S_4^2 \left[S_4 + S_2 - \frac{S_2(S_4 + S_3)}{S_4} \right]} \right] + \\
& + D_0 \left[\frac{\left[\frac{S_2(S_4 + S_3)}{S_4} - S_3 - S_2 \right] \frac{S_2}{S_3} + \frac{\lambda''_1 + \mu + \lambda'_1}{S_4 + S_2 - \frac{S_2(S_4 + S_3)}{S_4}} - \right. \\
& - \frac{\lambda''_1 + \mu + \lambda'_1}{S_4 + S_2 - \frac{S_2(S_4 + S_3)}{S_4}} - \frac{\lambda''_1 \mu \lambda'_1 (S_3 + S_2 + S_4)}{S_4 S_2 S_3 \left[S_4 + S_2 - \frac{S_2(S_4 + S_3)}{S_4} \right]} - \\
& - \frac{\lambda'_1 \lambda''_1 + \mu \lambda''_1 + \mu \lambda'_1 (S_4 + S_3)}{S_3 S_4 \left[S_4 + S_2 - \frac{S_2(S_4 + S_3)}{S_4} \right]} + \frac{\lambda''_1 \mu \lambda'_1 (S_3 + S_4) (S_2 S_3 + S_4 S_3 + S_4 S_2)}{S_2 S_3^2 S_4^2 \left[S_4 + S_2 - \frac{S_2(S_4 + S_3)}{S_4} \right]} + \\
& \left. + D_0 \frac{\frac{S_2(S_4 + S_3)}{S_4} - S_3 - S_2}{S_4 + S_2 - \frac{S_2(S_4 + S_3)}{S_4}} + D_0 = 1 \right]
\end{aligned}$$

Спростивши вираз і виділяючи сталу D_0 в кінцевому вигляді маємо:

$$\begin{aligned}
& -\frac{\lambda''_1 \mu \lambda'_1}{S_4 S_2 S_3} - \frac{\lambda'_1 \lambda''_1 + \mu \lambda''_1 + \lambda'_1 \mu}{S_3 S_4} + \\
& + \frac{\lambda''_1 \mu \lambda'_1}{S_2 S_3^2 S_4^2} (S_2 S_3 + S_4 S_3 + S_4 S_2) + \\
& + \frac{S_2}{S_3} \left[\frac{\frac{\lambda''_1 + \mu + \lambda'_1}{S_4 + S_2 - \frac{S_2(S_4 + S_3)}{S_4}} - \frac{\lambda''_1 \mu \lambda'_1 (S_4 + S_2 + S_3)}{S_4 S_2 S_3 \left[S_4 + S_2 - \frac{S_2(S_4 + S_3)}{S_4} \right]} - \right. \\
& - \frac{\lambda'_1 \lambda''_1 + \mu \lambda''_1 + \lambda'_1 \mu (S_4 + S_3)}{S_3 S_4 \left[S_4 + S_2 - \frac{S_2(S_4 + S_3)}{S_4} \right]} - \frac{\lambda''_1 \mu \lambda'_1 (S_3 + S_4) (S_2 S_3 + S_4 S_3 + S_4 S_2)}{S_2 S_3^2 S_4^2 \left[S_4 + S_2 - \frac{S_2(S_4 + S_3)}{S_4} \right]} - \\
& \left. - \frac{\lambda''_1 + \mu + \lambda'_1}{S_4 + S_2 - \frac{S_2(S_4 + S_3)}{S_4}} + \frac{\lambda''_1 \mu \lambda'_1 (S_4 + S_2 + S_3)}{S_4 S_2 S_3 \left[S_4 + S_2 - \frac{S_2(S_4 + S_3)}{S_4} \right]} + \right. \\
& \left. + \frac{\lambda''_1 \mu \lambda'_1}{S_4 S_2 S_3 \left[S_4 + S_2 - \frac{S_2(S_4 + S_3)}{S_4} \right]} \right]
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{\lambda'_1 \lambda''_1 + \mu \lambda''_1 + \lambda'_1 \mu (S_4 + S_3)}{S_3 S_4 \left[S_4 + S_2 - \frac{S_2(S_4 + S_3)}{S_4} \right]} - \\
& - \frac{\lambda''_1 \mu \lambda'_1 (S_3 + S_4) (S_2 S_3 + S_4 S_3 + S_4 S_2)}{S_2 S_3^2 S_4^2 \left[S_4 + S_2 - \frac{S_2(S_4 + S_3)}{S_4} \right]} - \\
& - 1 / \frac{\frac{S_2(S_4 + S_3)}{S_4} - S_3 - S_2}{S_4 + S_2 - \frac{S_2(S_4 + S_3)}{S_4}} \left(\frac{S_2}{S_3} + 1 \right) + \\
& + 1 \quad (13)
\end{aligned}$$

Отриманий вираз, незважаючи на свою громіздкість, складається з комбінацій λ_i , μ - характеристик і коренів S_i . Враховуючи, що корені також містять λ_i , μ - характеристики і визначаються ними, значення постійної D_0 повністю залежать від останніх, що значно спрощує завдання аналізу і розрахунку надійності досліджуваної системи «людина-машина».

Зворотньою підстановкою отриманої сталої D_0 в рівнянні (12) визначається стала C_0 . Внаслідок громіздкості виразів ця операція не приводиться. Немає рації її виконувати і з умов практичного застосування розрахунків, так як для їх проведення необхідно мати всі значення сталих A_0 , B_0 , C_0 і D_0 . Тому доцільно їх величини розрахувати в наступній послідовності:

$$D_0 \rightarrow C_0 \rightarrow B_0,$$

Для знаходження B_0 необхідно попередньо визначені постійні D_0 і C_0 підставити в рівняння (11).

В свою чергу стала A_0 встановлена безпосередньо через λ_i , μ - характеристики згідно виразу (10).

Зворотнім перетворенням Лапласа здійснюється перехід до оригіналу. Тоді, функція готовності, що відповідає ймовірності знаходження ергатичної системи «людина-машина» у стані «0» запишеться у наступному вигляді:

$$\begin{aligned}
K_r(t) = P_0(t) = & A_0 + B_0 \exp(-S_2 t) + \\
& + C_0 \exp(\exp(-S_3 t) + \\
& + D_0 \exp(\exp(-S_4 t)) \quad (14)
\end{aligned}$$

Перевіркою отриманої залежності може бути оцінка особливостей її складових. Так, перша з них представляє сталу величину, що не залежить від часу експлуатації. Три наступні складові експоненціально залежать від часу. Підставляючи у рівняння (14) нульове значення часу $t=0$ (початок експлуатації) маємо $K_r(t) = 1$, що відповідає фізичній сутності задачі і початковій умові, коли система починає роботу знаходячись у справному стані. При другій крайній ситуації, коли час прямує до нескінченності $t \rightarrow \infty$, функція готовності $K_r(t)$ прямує до свого фінішного значення, що дорівнює:

$$K_r(t \rightarrow \infty) = A_0 = \frac{\lambda''_1 \mu \lambda'_1}{S_4 S_2 S_3}. \quad (15)$$

Приведений аналіз з урахуванням експоненціальних складових (14) відкриває можливість побудувати графік залежності зміни функції готовності від часу експлуатації системи «людина-машина». Таким чином, представляється можливість кількісної оцінки втрати працездатності досліджуваної системи при зниженні її потенціальної надійності внаслідок старіння техніки і втоми

операторів, що нею керують. Вид такої залежності представлено на рисунку.

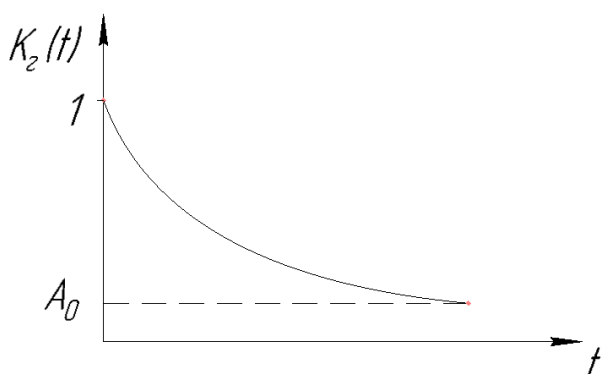


Рис. Зміна готовності соціо-технічної системи при зменшенні працездатності.

Fig. Change readiness socio-technical systems while reducing health.

Асимптотичне наближення функції готовності до сталого значення A_0 при збільшенні терміну експлуатації вказує на поступову стабілізацію процесу «старіння» системи, що розглядається. Фінішна постійна величина функції готовності представляє собою загально прийнятий коефіцієнт готовності, який приводиться у відповідній технічній документації, а також результатах випробувань техніки. Він є комплексною характеристикою готовності її до експлуатації.

Висновки

1. Експлуатаційна готовність складної ергатичної системи «людина-машина» в перехідний період зниження ефективності її роботи описується функцією готовності, що включає в себе чотири складових, три з яких представляють суму експонент.

2. Зі зростанням часу експлуатації системи «людина-машина» готовність її до роботи в умовах «старіння» техніки і наростання втоми операторів знижується асимптотично наближаючись до свого фінішного значення.

3. Фінішне значення функції готовності досягається при довгострокових термінах експлуатації і переході системи практично в усталений режим. У вказаних умовах функція готовності набуває значення загально прийнятого коефіцієнта готовності, що визначається постійною величиною A_0 .

Список літератури

1. Boyko A., Novitskiy A. Mathematical model of reliability of human-machine system under reduced efficiency of its generalized work. *Machinery & Energetics*. Kyiv. Ukraine. 2018. Vol. 9. No. 3. 271. P. 165-174.
2. Ivan Rogovskii, Liudmyla Titova, Andriy Novitskii, Victor Rebenko. Research of vibroacoustic

diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. *Engineering for rural development*, Jelgava, 2019.

3. Novitskiy A., Karabinhosh S. Some aspects of information support for operability of complex agricultural machinery. *Machinery & Energetics*. Kyiv. Ukraine. 2018. Vol. 9. No. 2. 241. P. 106-121.

4. Novitskiy Andrey. Professional Reliability of Personnel in System of Development of Innovative Processes. *TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering*. Lublin-Rzeszow. 2018. Vol. 18. No 2, 93-102.

5. Адамчук В. В., Грицишин М. І. Пріоритетні напрямки агроінженерних досліджень. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2013. Вип. 97. С. 14-23.

6. Аулін В. В., Гриньків А. В. Использование теоретико-информационного подхода для анали за технического состояния топливной системы автомобиля. *"MOTROL" journal according of the Commission of Motorization and Energeticin Agriculture, CULS*. 2016. Vol.18, №2. P.63-69.

7. Аулін В. В., Гриньків А. В., Замота Т. М. Забезпечення та підвищення експлуатаційної надійності транспортних засобів на основі використання методів теорії чутливості. *Вісник Інженерної академії України*. (2015): 66-73.

8. Бойко А. І., Новицький А. В. Математичне моделювання системи «людина – машина» при накопиченні відмов. *Вісник Харківського НТУСГ*, Вип. 134. Харків, 2013. С. 75-80.

9. Бойко А. І., Савченко В. М., Крот В. В. Проблеми забезпечення надійності технологічного обладнання при вирощуванні продукції захищеного ґрунту в АПК України. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. Харків, 2016. Вип. 6. С. 75-80.

10. Болтянська Н. І. Підвищення експлуатаційної надійності машин і обладнання тваринництва прогнозуванням кількісного та номенклатурного складу запасних частин : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11. Мелітополь, 2005. 23 с.

11. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике. Москва: издательство технико-теоретический литературы. 1955. 608 с.

12. Васильковська К., Васильковський О., Петренко Д. Совершенствование техники для посева – начальный этап программирования урожайности. *Știința agricolă*, nr. 2 (2016). С. 99-103.

13. Войтюк В. Д. Техніко-технологічний розвиток системи сервісу енергонасиченої сільськогосподарської техніки: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.05.11. Мелітополь, 2012. 39 с.

14. Головина Л. Н. Линейная алгебра и некоторые ее приложения, Москва: «Наука». 1975. 407 с.

15. Думенко К. М. Дослідження надійності зернозбиральних комбайнів. *Збірник наукових статей Луцького національного технічного університету: Сільськогосподарські машини*. Луцьк: ЛНТУ, 2010. Випуск 20. С. 68-78.

16. Краснощеков Н. В. Машинно-технологические станции и техническая политика в АПК. Техника в сельском хозяйстве. 1999. №5. С. 3-9.
17. Липкович И. Э. Механико-эргономическое обоснование человекомашинных систем в агроинженерной сфере растениеводства: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01, 05.20.03. Краснодар, 2004. 48 с.
18. Лукиных Г. Ф. Разработка методов повышения надежности и эффективности функционирования технологических комплексов производства зерна и кормов: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01. Чебоксары, 2007. 36 с.
19. Мальцев А. И. Основы линейной алгебры, Москва: «Наука». 1975. 400 с.
20. Новицкий А. В. Исследование надёжности сложных технических систем «человек-машина» методом графов. *Motrol, motoryzacja i energetyka rolnictwa motorization and power industry in agriculture*. Lublin, 2014. Vol. 16, № 3. P.96-102.
21. Новицкий А. В. Інноваційність надійного функціонування операторів складних технічних систем «людина-машина» в рослинництві. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК*. К., 2018. Випуск 282, (2018). С. 236-244.
22. Новицкий А. В. Огляд теоретичних досліджень надійного функціонування складних технічних систем у тваринництві. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК*. К., 2016. Вип. 254, ч. 3. С. 334-338.
23. Петренко Н. В. Повышение производительности зерноуборочных агрегатов обоснованием режимов работы операторов. *Вестник аграрной науки Дона. Теоретический и научно-практический журнал*. Зерноград, 2009. № 1. С. 14-22.
24. Поздняков В. Д. Повышение надежности и эффективности функционирования операторов механизированных процессов животноводства: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01. Оренбург, 2006. 44 с.
25. Половко А. М. Основы теории надежности. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. 704 с.
26. Райкин А. Л. Элементы теории надежности для проектирования технических систем. М. «Советское радио». 1967. 262 с.
27. Роговський Іван. Стохастические модели обеспечения работоспособности сельскохозяйственных машин. *Motrol: Motorization and power industry in agriculture*. 2014. Том 16, №3. P. 296-302.
28. Рябинин А. И. Надёжность и безопасность структурно-сложных систем. Санкт-Петербург: Политехника, 2000. 248 с.
29. Ушаков И. А. Курс теории надежности систем. Москва: «Дрофа». 2008. 240 с.
30. Фененко А. І. Техніко-технологічні аспекти розвитку біотехнічних систем виробництва молока. *Механізація та електрифікація сільського господарства*, 99 (1). Глеваха, 2014. с. 476-485.
31. Хлопко Ю. А. Ротова В. А., Осипова А. М. Перспективные направления совершенствования процесса чески пуха коз с позиции сложной биотехнической системы «человек-машина-животное». *Современные проблемы науки и образования*. 2014. № 5.; URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=15109> (дата обращения: 01.08.2016).
32. Хмельовський В. С., Ачкевич О. М. Дослідження процесу приготування високоенергетичної кормової суміші для ВРХ. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК*. Київ. 2017. Вип. 262. С. 304-314.
33. Яковенко Т. П. Повышение технилогической надежности оператора путем совершенствования условий труда в системе «человек-машина-животное»: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. Оренбург, 2003. 21 с.

References

1. Boyko A., Novitskiy A. Mathematical model of reliability of human-machine system under reduced efficiency of its generalized work. *Machinery & Energetics*. Kyiv. Ukraine. 2018. Vol. 9. No. 3. 271. P. 165-174.
2. Ivan Rogovskii, Liudmyla Titova, Andriy Novitskii, Victor Rebenko. Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. *Engineering for rural development*, Jelgava, 2019.
3. Novitskiy A., Karabinhosh S. Some aspects of information support for operability of complex agricultural machinery. *Machinery & Energetics*. Kyiv. Ukraine. 2018. Vol. 9. No. 2. 241. P. 106-121.
4. Novitskiy Andrey. Professional Reliability of Personnel in System of Development of Innovative Processes. *TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering*. Lublin-Rzeszow. 2018. Vol. 18. No 2, 93-102.
5. Adamchuk V. V., Hrytsyshyn M. I. Priorytetni napriamky ahroinzhenerykh doslidzhen. *Mekhanizatsiia ta elektryfikatsiia silskoho hospodarstva*. 2013. Vyp. 97. S. 14-23.
6. Aulyn V. V., Hrynkyv A. V. Yspolzovanye teoretyko-ynformatsyonnoho podkhoda dlia analy za tekhnicheskoho sostoianiya toplyvnoi systemy avtomobilia. "MOTROL" journal according of the Commission of Motorization and Energeticin Agriculture, CULS. 2016. Vol.18, №2. P.63-69.
7. Aulin V. V., Hrynkyv A. V., Zamota T. M. Zabezpechennia ta pidvyshchennia ekspluatatsiinoi nadiinosti transportnykh zasobiv na osnovi vykorystannia metodiv teorii chutlyvosti. *Visnyk Inzhenernoi akademii Ukrainy*. (2015): 66-73.
8. Boiko A. I., Novytskyi A. V. Matematychni modeliuvannia systemy «liudyna – mashyna» pry nakopychenni vidmov. *Visnyk Kharkivskoho NTUSH*, Vyp. 134. Kharkiv, 2013. S. 75-80.

9. Boiko A. I., Savchenko V. M., Krot V. V. Problemy zabezpechennia nadiinosti tekhnolohichnoho obladnannia pry vyroshchuvanni produktii zakhyschenoho gruntu v APK Ukrainy. *Tekhnichniy servis ahropromyslovoho, lisovoho ta transportnoho kompleksiv*. Kharkiv, 2016. Vyp. 6. S. 75-80.
10. Boltianska N. I. Pidvyshchennia ekspluatatsiinoi nadiinosti mashyn i obladnannia tvarynnystva prohnovuvanniam kilkisnoho ta nomenklaturnoho skladu zapasnykh chastyn : avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.05.11. Melitopol, 2005. 23 s.
11. Bronshtein Y. N., Semendiaev K. A. Spravochnik po matematyke. Moskva: yzdatelstvo tekhniko-teoretycheskyi lyteratury. 1955. 608 s.
12. Vasylykovska K., Vasylykovskiy O., Petrenko D. Sovershenstvovanye tekhniky dlia poseva – nachalnyy etap prohrammyrovanyia urozhaisty. *Štiința agricolă*, nr. 2 (2016). S. 99-103.
13. Voitiuk V. D. Tekhniko-tekhnolohichniy rozvytok systemy servisu enerhonasychenoi silskohospodarskoi tekhniki: avtoref. dys. ... dokt. tekhn. nauk: 05.05.11. Melitopol, 2012. 39 s.
14. Holovyna L. N. Lyneinaia alhebra y nekotorye ee prylozheniya, Moskva: «Nauka». 1975. 407 s.
15. Dumenko K. M. Doslidzhennia nadiinosti zernozbyralnykh kombainiv. *Zbirnyk naukovykh statei Luts'koho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu: Silskohospodarski mashyny*. Luts'k: LNTU, 2010. Vypusk 20. S. 68-78.
16. Krasnoshchekov N. V. Mashynno-tekhnolohicheskye stantsyy y tekhnicheskaya polytyka v APK. *Tekhnika v sel'skom khoziaistve*. 1999. №5. S. 3-9.
17. Lypkovych Y. A. Mekhanyko-erhonomicheskoe obosnovanye chelovekomashynnykh system v ahroynzhenernoi sfere rastenyevodstva: avtoref. dys. ... dokt. tekhn. nauk: 05.20.01, 05.20.03. Krasnodar, 2004. 48 s.
18. Lukynikh H. F. Razrabotka metodov povysheniya nadezhnosta y effektivnosti funktsionirovaniya tekhnolohicheskikh kompleksov proyzvodstva zerna y kormov: avtoref. dyss. ... dokt. tekhn. nauk: 05.20.01. Cheboksary, 2007. 36 s.
19. Maltsev A. Y. Osnovy lyneinoi alhebrы, Moskva: «Nauka». 1975. 400 s.
20. Novytskyi A. V. Yssledovanye nadēzhnosta slozhnykh tekhnicheskikh system «chelovek-mashyna» metodom hrafov. *Motrol, motoryzatsiia i enerhetyka rolnictva motorization and power industry in agriculture*. Lublin, 2014. Vol. 16, № 3. R.96-102.
21. Novytskyi A. V. Innovatsiynist nadiinoho funktsionuvannia operatoriv skladnykh tekhnichnykh system «liudyna-mashyna» v roslynnytstvi. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Seriya: tekhnika ta enerhetyka APK*. K., 2018. Vypusk 282, (2018). S. 236-244.
22. Novytskyi A. V. Ohliad teoretychnykh doslidzen nadiinoho funktsionuvannia skladnykh tekhnichnykh system u tvarynnytstvi. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Seriya: tekhnika ta enerhetyka APK*. K., 2016. Vyp. 254, ch. 3. S. 334-338.
23. Petrenko N. V. Povыsheniye proyzvoditelnosti zernoubozraschivaniy ahrehatov obosnovanyem rezhymov raboty operatorov. *Vestnyk ahrarnoi nauky Dona. Teoretycheskyi y nauchno-praktycheskyi zhurnal*. Zernohrad, 2009. № 1. S. 14-22.
24. Pozdniakov V. D. Povыsheniye nadezhnosta y effektivnosti funktsionirovaniya operatorov mekhanizirovannykh protsessov zhyvotnovodstva: avtoref. dys. ... dokt. tekhn. nauk: 05.20.01. Orenburh, 2006. 44 s.
25. Polovko A. M. Osnovy teoryi nadezhnosta. SPb.: BKhV-Peterburh, 2006. 704 s.
26. Raikyn A. L. Elementy teoryi nadezhnosta dlia proektyrovaniya tekhnicheskikh system. M. «Sovetskoe radio». 1967. 262 s.
27. Rohovskiy Ivan. Stokhasticheskiye modeli obespecheniya rabotosposobnosti sel'skokhoziaistvennykh mashyn. *Motrol: Motorization and power industry in agriculture*. 2014. Tom 16, №3. P. 296-302.
28. Riabynyn A. Y. Nadēzhnost y bezopasnost strukturno-slozhnykh system. Sankt-Peterburh: Polytekhnika, 2000. 248 s.
29. Ushakov Y. A. Kurs teoryi nadezhnosta system. Moskva: «Drofa». 2008. 240 s.
30. Fenenko A. I. Tekhniko-tekhnolohichni aspekty rozvytku biotekhnichnykh system vyrobnytstva moloka. *Mekhanizatsiia ta elektryfikatsiia sil'skoho hospodarstva*, 99 (1). Hlevakha, 2014. s. 476-485.
31. Khlopko Yu. A., Rotova V. A., Osypova A. M. Perspektivnye napravleniya sovershenstvovaniya protsessa cheskyi pukha koz s pozytsiy slozhnoi byotekhnicheskoi systemy «chelovek-mashyna-zhyvotnoe». *Sovremennyye problemy nauky y obrazovaniya*. 2014. № 5.; URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=15109> (data obrashcheniya: 01.08.2016).
32. Khmelovskiy V. S., Achkevych O. M. Doslidzhennia protsesu pryhotuvannia vysokoenerhetychnoi kormovoi sumishi dlia VRKh. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Seriya: tekhnika ta enerhetyka APK*. Kyiv. 2017. Vyp. 262. S. 304-314.
33. Iakovenko T. P. Povыsheniye tekhnolohicheskoi nadezhnosta operatora putem sovershenstvovaniya uslovyi truda v systeme «chelovek-mashyna-zhyvotnoe» : avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.01. Orenburh, 2003. 21 s.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФУНКЦИИ ГОТОВНОСТИ СИСТЕМ «ЧЕЛОВЕК - МАШИНА» ПРИ РОСТЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ОТКАЗОВ

А. В. Новицкий, З. В. Ружило

Аннотация. В статье приведены исследования с установления функции готовности эргатической системы «человек-машина» в переходной период снижения их безотказности. Установление вида функции готовности решено аналитическим методом с применением прямых и обратных преобразований Лапласа-Карсона.

В граничных условиях в начале эксплуатации и в условиях установившегося псевдо-стационарного

режима при длительной эксплуатации систем, получена функция готовности, которая соответствует физической сущности работоспособного состояния системы. В установившемся режиме функция готовности принимает значения общепринятого коэффициента готовности.

Эксплуатационная готовность сложной эргатической системы «человек-машина» в переходной период снижения эффективности ее работы описывается функцией готовности, включающей в себя четыре составляющих, три из которых представляют сумму экспонент. С возрастанием времени эксплуатации системы «человек-машина», готовность ее к работе в условиях «старения» техники и нарастания усталости операторов, снижается асимптотически приближаясь к своему финишному значению.

Финишное значение функции готовности достигается при долгосрочных сроках эксплуатации и переходе системы практически в устоявшийся режим. В указанных условиях функция готовности приобретает значение общепринятого коэффициента готовности.

Ключевые слова: надежность, безотказность, интенсивность отказов, интенсивность восстановлений, система «человек-машина», функция готовности.

Key words: reliability, faultless, intensity, failure, update intensity, the «human-machine» system, readiness function.

А. В. Новицкий ORCID 0000-0001-7789-8531.

З. В. Ружило ORCID 0000-0002-0317-7683.

DETERMINATION OF FUNCTION OF READINESS OF «HUMAN-MACHINE» SYSTEMS DURING GROWTH OF FAULT RATE

A. V. Novitskiy, Z. V. Rozhilo

Abstract. The article presents studies on the establishment of the function of the readiness of the «human-machine» ergatic systems in the transitional period of reducing their failures. The establishment of the form of the readiness function is solved analytically using the direct and inverse Laplace-Carson transformations.

In the boundary conditions at the beginning of operation and in the conditions of the established pseudo-stationary regime during prolonged operation of the systems, a function of readiness is received which corresponds to the physical essence of the working state of the systems. In standby mode, the readiness function acquires the values of the generally accepted readiness factor.

The operational readiness of a complex «human-machine» ergatic system in a transitional period, reducing the effectiveness of its work, is described by the readiness function, which includes four components, three of which represent the sum of exhibitors. With the increase in the time of exploitation of the «human-machine» system, its readiness to work in the conditions of «aging» of technology and the increase in the fatigue of operators decreases asymptotically closer to its final value.

The final value of the readiness function is achieved in the long term of operation and the transition of the system to virtually steady state. In these conditions, the readiness function acquires the value of the generally accepted readiness factor.

УДК 631.354.2

ОПТИМІЗАЦІЯ НАВАНТАЖЕННЯ ЗБИРАЛЬНИХ ЛАНОК ЗАЛЕЖНО ВІД ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

О. В. Надточій, Л. Л. Тітова

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Кореспонденція авторів: titovall@ukr.net.

Історія статті: отримано – квітень 2019, акцептовано – червень 2019.

Бібл. 8, рис. 4, табл. 0.

Анотація. В статті приведена оптимізаційна модель визначення кількості зернозбиральних комбайнів та транспортних засобів у ланці. Визначені залежності кількості комбайнів від ширини захвату збирального агрегату, урожайності культури, віддалі перевезення урожаю та вантажопідйомності транспортного засобу. Використана оптимізаційна модель базується на системі масового обслуговування.

Проведені розрахунки показали, що з підвищенням урожайності з 30 до 50 ц/га, кількість агрегатів у ланці зменшується вдвічі, а при збільшенні вдвічі ширини захвату комбайна оптимальна кількість комбайнів падає з 5 до 2. В свою чергу зниження ємності бункера зернозбирального комбайна і збільшення віддалі транспортування зерна призводять до зниження кількості зернозбиральних комбайнів у ланці. Із зниженням урожайності на 10 ц/га кількість збиральних агрегатів у ланці збільшується в середньому на один агрегат.

Ключові слова: оптимізація, система масового обслуговування, зернозбиральний комбайн, термін експлуатації

Постановка проблеми

Аналіз сучасного рівня механізації сільськогосподарського виробництва України не завжди показує його високу ефективність. Ефективність частіше всього притаманна великим агропромисловим компаніям, холдингам. І хоча близько 100 наявних таких холдингів займають загалом третину всіх площ обробітку, лівова ж частка земель обробляється середніми і малими підприємствами де проблема підвищення рівня землеробства є досить актуальною. З одного боку технічно орієнтуватися у аграрному виробництві слід саме на холдинги, як високоефективні виробництва. Проте тут, як і завжди, є і інший бік. У агрохолдингів у більшості це орендована земля. Чи станете ви робити ремонт у орендованій квартирі, щось покращувати, коли вона не ваша? Навряд чи. Так і з орендованою землею. Доки земля родить, дає прибуток - холдинги будуть орендувати. Виснаживши землю шукатимуть іншу. Щодо ефективності то тут є

чому повчитися. Більшість же виробників мають значно нижчий рівень техніки і значно більші терміни її експлуатації.

Аналіз останніх досліджень

Кількість зернозбиральних комбайнів в Україні постійно знижується. Дещо покращилася ситуація в останні роки. Зокрема щорічне скорочення знизилося з 1800 (2009 р.) до 500 (2017 р.) [5]. Доля комбайнів із терміном експлуатації більше 10 років – 39, до 5 років – 18 %. У зв'язку з низькою продуктивністю технологічних машин терміни збирання перевищують нормативні у 2-3 рази [3], що в свою чергу призводить до «запланованих» втрат не менше чверті вирощеного урожаю. Не покращує проблему і вірогідний характер взаємодії машин, викликаючи зупинку взаємопов'язаних в технологічному процесі агрегатів.

Фришев С.Г. у своїй роботі [2] обґрунтував методику визначення складу збирально-транспортного комплексу, що враховує вартість простою машин і її вірогідного. Однак на структуру збирального комплексу значно впливає продуктивність технологічних машин, яка напряду залежить від терміну служби. Відомо, що коефіцієнт використання часу зміни зернозбиральних комбайнів на 10 році експлуатації знижується з 0,65 до 0,4. А при збільшенні терміну служби і зниженні надійності комбайнів технологічні простої техніки у поточних лініях збільшуються.

Мета досліджень

Мета досліджень – розробка моделі оптимізації навантаження на ланку зернозбиральних комбайнів, залежно від терміну експлуатації, на основі теорії масового обслуговування.

Результати досліджень

Для обґрунтування кількості збиральних агрегатів у ланці і розрахунку обумовлених простоїв

пропонується цільова функція, де за критерії прийняті мінімум втрат від простоїв агрегатів.

$$S(i, \tau(t)) = C_{PZ}(\tau(t)) \cdot t_Z(i, \tau(t)) + C_{PT}(\tau(t)) \cdot t_T(i, \tau(t)) \rightarrow \min \quad (1)$$

де C_{PZ} і C_{PT} - відповідно вартість години простою збирального та транспортного агрегатів;
 t - термін експлуатації машини;

t_Z , t_T - відповідно середня тривалість простою комбайна та транспортного засобу протягом зміни, год:

$$\begin{aligned} t_Z(i, \tau(t)) &= T_{ZM} w_Z(i, \tau(t)); \\ t_T(i, \tau(t)) &= T_{TM} w_T(i, \tau(t)), \end{aligned} \quad (2)$$

де $w_Z(i, \tau(t))$, $w_T(i, \tau(t))$ - доля простою комбайну і транспорту відповідно залежно від кількості агрегатів в ланці для різних термінів експлуатації технологічних машин.

Вартість простою збирального агрегату за деякими припущеннями можна виразити наступним чином:

$$C_{PZ} = \frac{B_K \alpha_K \eta_K}{T} + C_Z U K_B 0,1 B_p V \tau(t) + Z_K \quad (3)$$

де B_K - балансова вартість комбайна;

α_K - амортизаційні відрахування на зернозбиральний комбайн;

η_K - доля зайнятості машини на збиранні зернових культур;

T - час роботи машини на збиранні зернових культур;

C_Z - закупівельна вартість зерна;

U - урожайність культури, ц/га;

K_B - коефіцієнт втрат, частка/год;

B_p - ширина захвату жатки комбайна;

V - швидкість комбайна на збиранні, км/год;

$\tau(t)$ - залежність коефіцієнту використання часу зміни ЗК від терміну експлуатації;

Z_K - відрахування на заробітну плату комбайнера грн/год.

Вартість простою транспортного засобу у загоні ланки по збиранню з деякими спрощеннями можна подати у вигляді:

$$C_{PT} = \frac{B_T \alpha_T \eta_T}{T} + Z_T \quad (4)$$

де B_T - балансова вартість транспортного засобу;

α_K - амортизаційні відрахування на транспортний засіб;

η_K - доля зайнятості засобу на збиранні зернових культур.

Для визначення тривалості простою комбайна і транспортного засобу протягом зміни використовувалася теорія масового обслуговування,

яка дозволяє врахувати випадковість зв'язків між технологічними і транспортними агрегатами.[4]

Складовими, що характеризують СМО, відносяться: кількість каналів обслуговування і (збиральні агрегати), число вимог n (транспортні агрегати), інтенсивність надходження вимоги на обслуговування до системи λ (число вимог, що повертаються до системи за одиницю часу), інтенсивність обслуговування вимоги μ (обернена величина часу обертання транспортного засобу).

Інтенсивність надходження вимог на обслуговування визначається як величина обернена часу повернення вимоги (часу обертання транспортного агрегату) - $t_o = t_t + t_p$:

$$\lambda = \frac{n}{t_o} \quad (5)$$

де t_t - час руху транспортного засобу від комбайну і назад, год.

Визначити цей час можна за залежністю:

$$t_t = \frac{2L}{v_S \zeta} \quad (6)$$

де L - віддаль перевезення зерна, км;

v_S - середньотехнічна швидкість руху в обидва боки, км/год.;

ζ - коефіцієнт швидкості;

t_t - час розвантаження, год;

n - кількість транспортних засобів, закріплених за одним зернозбиральним комбайном:

$$n = \frac{0,1 \cdot B_p \cdot V \cdot U \cdot \tau(t)}{W_T} \quad (7)$$

де W_T - продуктивність транспортного засобу, т/год., визначається за методикою Е.С. Венцель [1].

Інтенсивність обслуговування вимог визначаємо як величину, обернену часу обслуговування однієї вимоги (фактично час на заповнення бункера комбайном і вивантаження у транспортний засіб):

$$\mu = \frac{1}{t_N + t_B \cdot j} \quad (8)$$

Час, що витрачається на завантаження, напряму залежить від технічних характеристик транспортного засобу і визначається:

$$t_N = \frac{P_A}{V_B \gamma} \cdot (t_{Pid} + t_{BB}) \quad (9)$$

де P_A - вантажопідйомність автомобіля;

V_B - об'єм бункера;

t_{Pid} , t_{BB} - відповідно час під'їзду до комбайна та час вивантаження бункера;

t_B - час наповнення бункера зерном;

j – кількість бункерів, потрібних для заповнення транспортного засобу.

Середня кількість заявок які обслуговує комбайн за час обертання транспортного засобу характеризує інтенсивність їх надходження (α).

$$\alpha(i) = \frac{\lambda}{\mu} \quad (10)$$

Вірогідність, що всі зернозбиральні комбайни вільні від роботи визначаємо із залежності (i – можлива кількість комбайнів):

$$P_s(i) = \frac{1}{\sum_{k=0}^i \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^i}{(i-1)!(i-\alpha)}}, (k = 0, 1 \dots i) \quad (11)$$

Обвернена вірогідність, що всі комбайни зайняті:

$$B_z(i) = \frac{\alpha^i}{(i-1)!(i-\alpha)} \cdot P_s(i) \quad (12)$$

Для визначення часу простою комбайну в очікуванні обслуговування (час на повернення

транспортного засобу під завантаження) слід знайти коефіцієнт використання:

$$\eta_k(i) = \frac{i - n_s(i)}{i} \quad (14)$$

Відповідно середня доля простою (технологічного) комбайну визначаємо:

$$t_k(i) = t_N \cdot \frac{1 - \eta_k(i)}{\eta_k(i)} \quad (15)$$

Середня довжина черги очікування обслуговування характеризує час простою транспортного засобу:

$$n_{CH}(i) = \frac{\alpha^{i+1}}{i \cdot i! \left(1 - \frac{\alpha}{i}\right)^2} \cdot \frac{1}{\sum_{k=0}^i \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^i}{(i-1)!(i-\alpha)}} \quad (16)$$

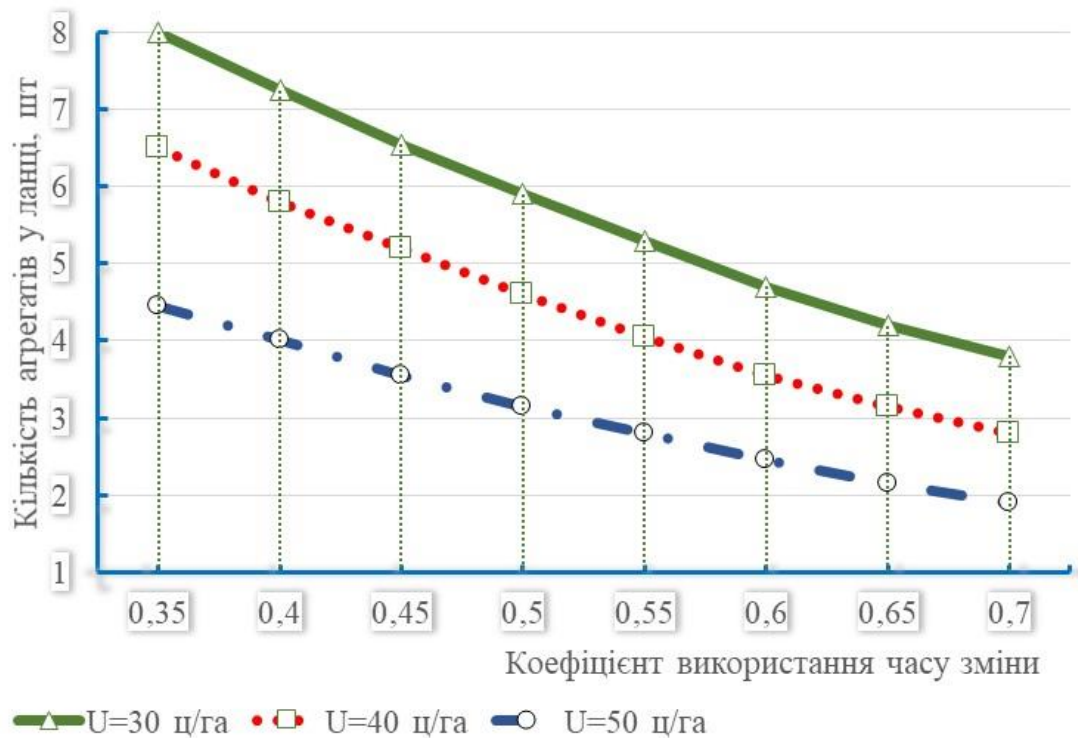


Рис. 1. Кількість зернозбиральних комбайнів при різній урожайності.

Fig. 1. Number of combine harvesters at different yields.

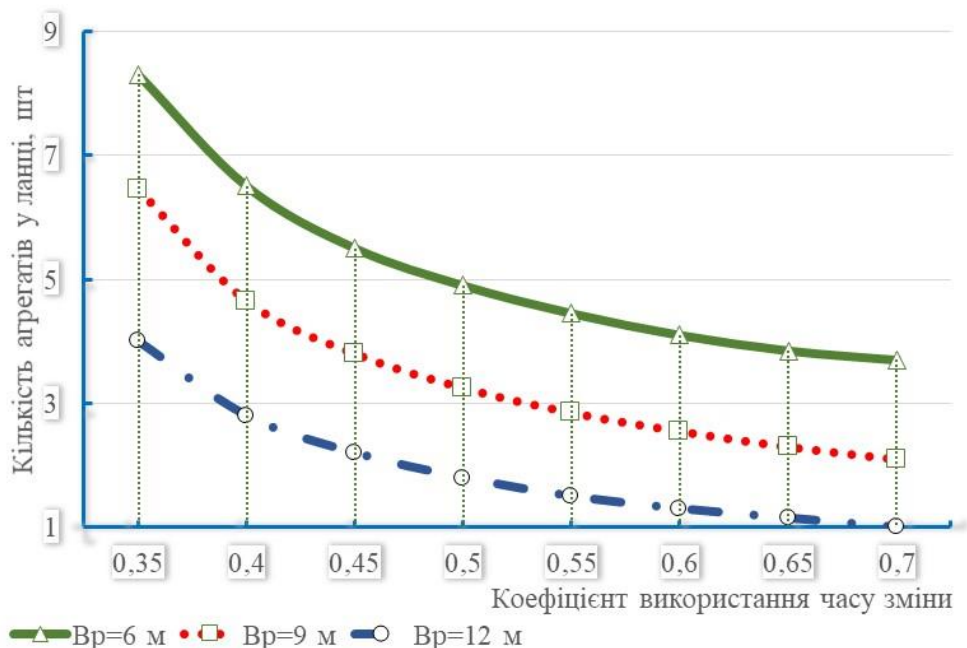


Рис. 2. Кількість зернозбиральних комбайнів при різній ширині захвату жатки.

Fig. 2. Number of combine harvesters at different reaper widths.

Доля технологічного простою транспортного засобу в очікуванні навантаження визначається за виразом:

$$t_T(i) = \frac{n_{CH}(i)}{\lambda} \quad (17)$$

Дослідження економіко-математичної моделі СМО показало. Що на структуру збиральної ланки значно впливає термін експлуатації машин (рис.1). Так, із збільшенням коефіцієнту використання часу зміни для зернозбиральних комбайнів з 0,45 до 0,65 (зменшення терміну експлуатації) кількість збиральних агрегатів у ланці знижується з семи до чотирьох одиниць, за рахунок збільшення часу чистої

роботи (зменшення простоїв). Ці дані наведено для урожайності більшої 50 ц/га. З підвищенням урожайності з 30 до 50 ц/га, при коефіцієнті рівному 0,5 кількість агрегатів у ланці зменшується з шести до трьох. (рис. 1). При підвищенні продуктивності технологічних машин за рахунок використання широкозахватних жаток кількість машин у ланці теж зменшується (тут за рахунок підвищення продуктивності одного комбайна). Так при коефіцієнті використання часу зміни рівному 0,5, при використанні 6 м жатки ланка має складатися із 5 агрегатів. А при ширині 12 м така кількість падає уже до двох. (рис. 2).

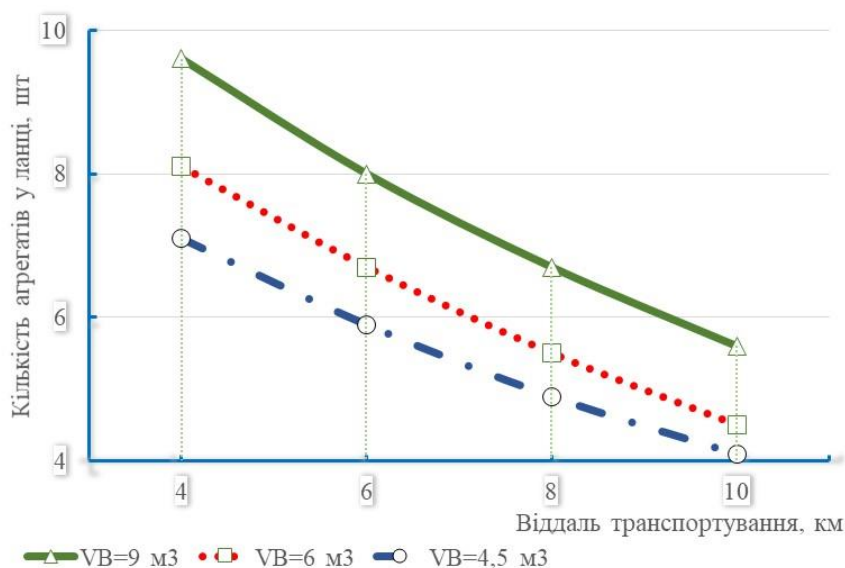


Рис. 3. Залежність кількості ЗК від віддалі транспортування зерна.

Fig. 3. Dependence of combine harvesters quantity on grain transport distance.

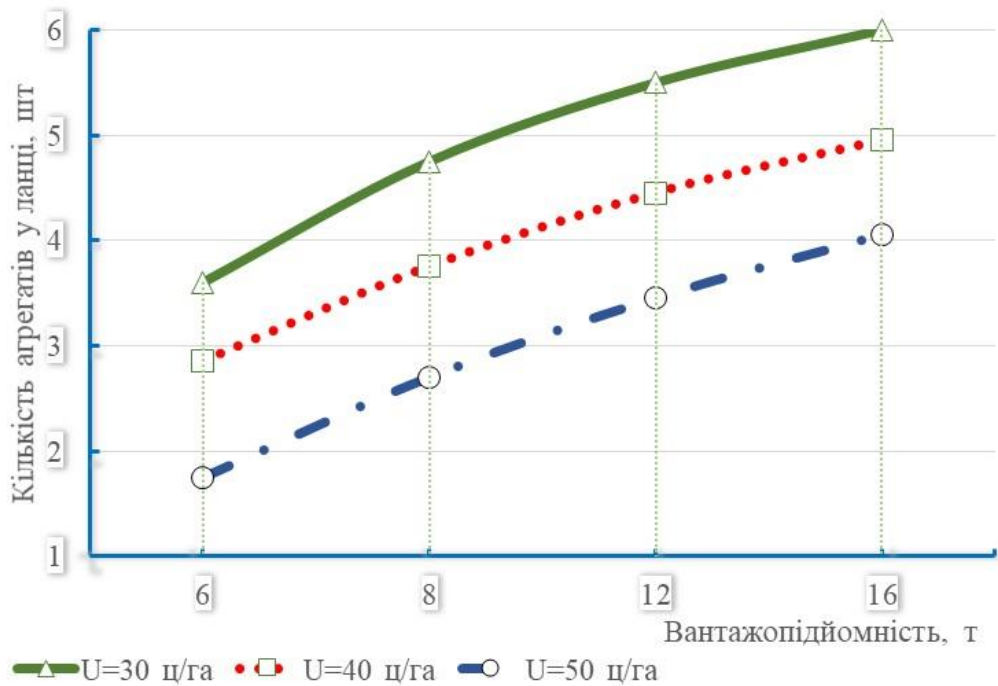


Рис. 4. Залежність кількості ЗК від вантажопідйомності транспортних засобів.

Fig. 4. Dependence of the number of combine harvesters on the capacity of vehicles.

Зниження ємності бункера зернозбирального комбайна і збільшення віддалі транспортування зерна призводять до зниження кількості зернозбиральних комбайнів у ланці (рис.3).

При збільшенні вантажопідйомності транспортних засобів з шести до шістнадцяти тон кількість технологічних машин у ланці збільшується з трьох до п'яти (при урожайності 40 ц/га). Із зниженням урожайності на 10 ц/га кількість збиральних агрегатів у ланці збільшується в середньому на один агрегат. (рис.4).

Висновки

Таким чином, для формування оптимальної організації збиральних комплексів слід зернозбиральні комбайни у ланці формувати враховуючи надійність машин. При цьому кількість ЗК з більшим терміном експлуатації має бути меншим у ланці аніж нових. Це дозволить знизити технологічні простой як збиральної так і транспортної техніки. Такий підхід підвищує продуктивність ланки в цілому і як наслідок знизить собівартість виробництва та підвищить конкурентоздатність на сучасному ринку.

Список літератури

1. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М.: Наука, 1969. 576 с.
2. Фришев С. Перспективи та проблеми удосконалення збирально-транспортних процесів (продовження статті) / С. Фришев, С. Козупиця, О. Воронков // *Техніка і технології АПК*. - 2016. - № 11. - С. 6-8.

3. Надточій О. В., Войтюк Д. Г., Демко А. А. Моніторинг комбайнового ринку України. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК*. Київ. 2010. Вип. 144. Ч. 2. С. 322–328.

4. Надточій О. В., Тітова Л. Л. Використання системи масового обслуговування для оптимізації затрат на обслуговування комбайнів / О.В. Надточій, Л.Л. Тітова // *Науковий вісник НУБіП України. Серія: техніка та енергетика АПК*. Київ. 2016. Вип. 251. С. 148–160.

5. Надточій О., Тітова Л., Rogovskiy I. Аналіз динаміки комбайнового ринку України. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Дослідницьке*. 2016. Вип. 20. С. 254–261.

6. Надточій О., Тітова Л. Аналіз багатоканальної системи масового обслуговування при сталому і несталому режимах роботи зернозбиральних комбайнів.// *Науковий вісник НУБіП України. Серія: техніка та енергетика АПК*. Київ. 2018. Вип. 282. С. 160–173.

7. Oleksandr Nadtochiy, Lyudmila Titova. Simulation of agricultural processes. *An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering*. Lublin-Rzeszow. 2018. Vol. 18. No 2. P. 39 - 49.

References

1. Wentzel E. S Probability theory. Moscow: Science, 1969. 576 p.
2. Frishev S. Prospects and problems of improvement of harvesting and transport processes (continuation of the article) / S. Frishev, S. Kozupitsa, O. Voronkov //

Engineering and technologies of agroindustrial complex. - 2016. - № 11. - P. 6-8.

3. Nadtochy O.V., Voityuk D.G., Demko A.A. Monitoring of the combine market in Ukraine. National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series: APC Engineering and Energy. Kiev. 2010. Vol. 144. Part 2. P. 322–328.

4. Nadtochiy O.V., Titova L.L. Use of queuing system for optimization of combine maintenance costs / OV. Superfluous, L.L. Titova // *Scientific Bulletin of NULES of Ukraine. Series: APC Engineering and Energy*. Kiev. 2016. Vyp. 251. S. 148–160.

5. Nadtochiy O., Titova L., Rogovsky I. Analysis of the dynamics of the combine market in Ukraine. Technical and technological aspects of development and testing of new equipment and technologies for Ukrainian agriculture. Research. 2016. Vyp. 20. P. 254–261.

6. Nadtochii O., Titova L. Analysis of multichannel queuing system for stable and non-permanent modes of operation of combine harvesters. // *Scientific Bulletin of NULES of Ukraine. Series: APC Engineering and Energy*. Kiev. 2018. Vip. 282. P. 160–173.

7. Oleksandr Nadtochiy, Lyudmila Titova. Simulation of agricultural processes. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. Lublin-Rzeszow. 2018. Vol. 18. No 2. P. 39 - 49.

OPTIMIZATION OF THE LOAD OF THE CLEANING LINK IN DEPENDING ON THE SERVICE LIFE

O. V. Nadtochy, L. L. Titova

Abstract. The article describes an optimization model for determining the number of combine harvesters and vehicles in the link. Dependences of the number of combines on the width of the harvesting unit's harvesting capacity, the crop yield, the long haulage of the crop and the load capacity of the vehicle were determined. The optimization model used is based on queuing.

The calculations showed that with increasing the yield from 30 to 50 c / ha, the number of units in the link is halved, and when the harvesting width is doubled, the optimum number of combines falls from 5 to 2. In turn, reducing the capacity of the combine harvester and increasing the harvesting capacity grain transportation leads to a decrease in the number of combine harvesters in the link. With the decrease in yield by 10 c / ha, the number of harvesting units in the link increases by an average of one unit.

Key words: optimization, queuing system, combine harvester, service life.

О. В. Надточій ORCID 0000-0002-1849-9538.

Л. Л. Тітова ORCID 0000-0001-7313-1253.

ОПТИМИЗАЦИЯ НАГРУЗКИ УБОРОЧНОЙ ЗВЕНЬЕВ ЗАВИСИМОСТИ ОТ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ

О. В. Надточій, Л. Л. Тітова

Аннотация. В статье приведена оптимизационная модель определения количества зерноуборочных комбайнов и транспортных средств в звене. Определены зависимости количества комбайнов от ширины захвата уборочного агрегата, урожайности культуры, расстояния перевозки урожая и грузоподъемности транспортного средства. Использована оптимизационная модель базируется на системе массового обслуживания.

Проведенные расчеты показали, что с повышением урожайности с 30 до 50 ц/га, количество агрегатов в звене уменьшается вдвое, а при увеличении вдвое ширины захвата комбайна оптимальное количество комбайнов падает с 5 до 2. В свою очередь снижение емкости бункера зерноуборочного комбайна и увеличения расстояния транспортировки зерна приводят к снижению количества зерноуборочных комбайнов в звене. Со снижением урожайности на 10 ц/га количество уборочных агрегатов в звене увеличивается в среднем на один агрегат.

Ключевые слова: оптимизация, система массового обслуживания, зерноуборочный комбайн, срок эксплуатации

УДК 624.236

ХВИЛІ РОЗВАНТАЖЕННЯ ПРИ ОБРОБЦІ УЩІЛЬНЕНИХ ҐРУНТІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Ю. В. Човнюк, Ю. О. Гуменюк, І. М. Сівак

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Кореспонденція авторів: sivakim@ukr.net.

Історія статті: отримано – квітень 2019, акцептовано – червень 2019.

Бібл. 3, рис. 3, табл. 0.

Анотація. Розглянуті умови руйнування при обробці ущільнених ґрунтів сільськогосподарського призначення (ГСП) при їх швидкому розвантаженні. Розглянутий напружено-деформований стан масиву ГСП після його сколу, удару, ударно-вібраційного або іншого імпульсу. Визначені тривалість, положення поверхні і деформації розриву ГСП, вплив на процес тертя і границі зони руйнування ґрунту. Обґрунтовані фізико-механічна й математична моделі, які адекватно описують процеси розповсюдження хвиль розвантаження у ГСП при їх обробці/руйнуванні робочими органами сільськогосподарських (ґрунтообробних) машин. Розглянута динаміка руйнування ґрунтів при механізації земляних робіт з руйнуванням ГСП ущільненого типу. Проаналізовано процес навантаження ГСП динамічними зусиллями на основі залежності інтенсивності стискання ґрунту і розміру деформованої зони від швидкості навантаження, тривалості імпульсу та фізико-механічних властивостей оброблюваного середовища / масиву.

Ключові слова: хвилі, розвантаження, обробка, ущільнені ґрунти, сільське господарство.

Постановка проблеми

При аналізі процесу навантаження ГСП динамічними зусиллями (швидкісне різання зі сколоном, удар, віброудар, віброхвильове, гідроімпульсне навантаження, тощо) видно, що інтенсивність стискання (по густині g або напрузі b) ґрунту і розмір l деформованої зони залежать від швидкості навантаження V_0 , тривалості імпульсу t^* та фізико-механічних властивостей оброблюваного середовища / масиву.

При стискуванні у деформованій зоні R утворюються кінцеві залишкові деформації значної величини. Частина кінематичної енергії робочого органу (РО) машини переходить у енергію пружної деформації, яка при знятті ударного імпульсу звільняється і викликає рух стиснутої зони R - хвилю розвантаження. У цій зоні виникають розтягуючі напруження i , якщо вони досить значні і досягають межі міцності ГСП на розтяг (b_p), тоді зона руйнується. Слід відзначити, що у деяких

ущільненнях ГСП відношення міцності при стисканні до її межі при розтягу досягає 4...5. Таким чином, доля ГСП, зруйнованого від розвантаження, може бути значною. Проте, на думку авторів даного дослідження, математична модель руху деформованої зони ГСП ущільненого після зняття імпульсу навантаження не розроблена.

Аналіз останніх досліджень

Динаміка руйнування ґрунтів при механізації земляних робіт детально розглянута у роботах [1-3], проте, для ГСП не проведена. Слід зазначити, що у даному дослідженні будуть використані підходи і результати вище згаданих робіт.

Мета досліджень

Метою даної роботи є обґрунтування математичної моделі розповсюдження хвиль розвантаження при обробці та руйнуванні ГСП ущільненого типу.

Результати досліджень

Розглянемо математичну модель руху деформації зони ущільненого ГСП після зняття імпульсу навантаження.

Рівняння цього руху можна записати у вигляді :

$$\frac{d^2 u}{dt^2} = a^2 \cdot \frac{d^2}{dx^2} - 2 \cdot k_1 \cdot a^2 \cdot \frac{\partial u}{\partial x} \quad (1)$$

де: $a^2 = E/g_1$; $k_1 = f_{\text{тертя}} \cdot k/2$; $E = \text{const}$ - модуль пружності області R , який визначається лінією розвантаження на діаграмі (рис.1);

$g_1 = \text{const}$ - густина ГСП у зоні R ; $f_{\text{тертя}}$ - коефіцієнт тертя;

$u(x,t)$ - швидкість хвилі у ущільненому ГСП; k - коефіцієнт бокового розширення.

Розглянемо випадок плоского руху та незначних змін густини ГСП у деформованій зоні. Початкові умови рівняння (1) мають вигляд:

$$E \cdot \frac{du}{dx} = \delta_0 \quad (2)$$

При $t=0, 0 \leq x \leq L$;

$$\frac{du}{dx} = V_0 \quad (3)$$

При $t=0, 0 \leq x \leq L$;

де: δ_0 і V_0 – відповідно напруга і швидкість ГСП у зоні R при $t=0$.

Границі умови для рівняння (1):

$$E \cdot \frac{du}{dx} = 0 \quad (4)$$

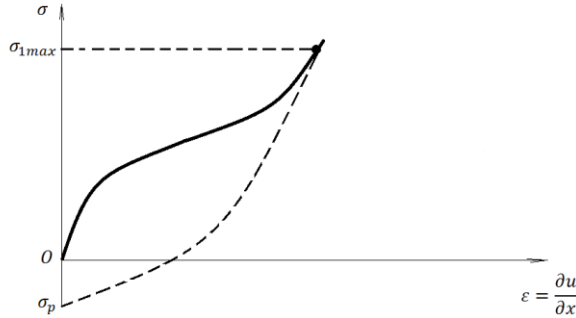


Рис. 1. Діаграма динамічного навантаження і розвантаження ущільненого ГСП.

Fig. 1. Diagram of the dynamic loading and unloading of compacted GSP.

Початок координат рухається на границі п області R_3 відносно спокійним ущільненням ГСП (рис. 2).

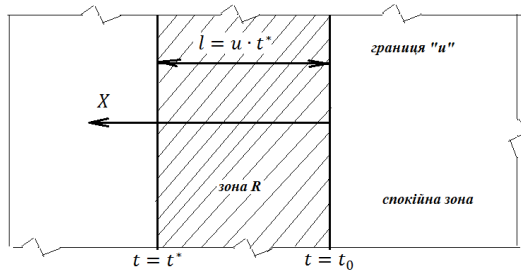


Рис. 2. Схема розвантаження ґрунтового масифу.

Fig. 2. Discharge pattern of a soil massif.

При $x=L; t>0$.

$$u(x, t) = 0 \quad (5)$$

При $x=0; t>0$

Умова (4) відповідає площині робочого органу (РО), яка після зняття імпульсу залишається вільною. Зміст умови (5) зводиться до того, що деформації після зняття імпульсу не розповсюджуються у зону спокою ГСП ущільненого.

Розв'язок рівняння (1) шукаємо методом Фур'є у вигляді :

$$u(x, t) = \phi(x) \cdot T(t) \quad (6)$$

Введемо позначення:

$$\phi'(x) = \frac{d\phi(x)}{dx}, \phi''(x) = \frac{d^2\phi(x)}{dx^2},$$

$$\dot{T}(t) = \frac{dT(t)}{dt}, \ddot{T}(t) = \frac{d^2T(t)}{dt^2}.$$

Підставляючи (6) у рівняння (1) матимемо:

$$\ddot{T}(t) \cdot \phi(x) = a^2 \cdot \phi''(x) \cdot T(t) - 2k_1 \cdot a^2 \cdot \phi'(x) \cdot T(t) \quad (7)$$

Або (після почленного ділення всіх доданків у (7) на $\phi(x) \cdot T(t)$):

$$\frac{\ddot{T}(t)}{T(t)} = a^2 \cdot \frac{\phi''(x)}{\phi(x)} - 2k_1 \cdot a^2 \cdot \frac{\phi'(x)}{\phi(x)}. \quad (8)$$

З (8) випливає, що:

$$\frac{1}{a^2} \cdot \frac{\ddot{T}(t)}{T(t)} = \frac{\phi''(x)}{\phi(x)} - 2k_1 \cdot \frac{\phi'(x)}{\phi(x)} = -\lambda, \lambda > 0. \quad (9)$$

Розглянемо звичайне диференціальне рівняння для $\phi(x)$:

$$\phi'' - 2 \cdot k_1 \cdot \phi' + \lambda \phi = 0. \quad (10)$$

Корені відповідно до (10) характеристичного рівняння

$$s^2 - 2k_1 \cdot s + \lambda = 0. \quad (11)$$

визначаються виразами :

$$s_1 = k_1 \sqrt{k_1^2 - \lambda}; s_2 = k_1 + \sqrt{k_1^2 - \lambda}. \quad (12)$$

Загальний розв'язок рівняння (10) має вигляд:

$$\phi(x) = C_1 \cdot \exp(s_1 \cdot x) + C_2 \cdot \exp(s_2 \cdot x). \quad (13)$$

де $C_{1,2}$ – довільні сталі.

З умов (4) та (5) маємо :

$$\phi(0) = 0; \phi'(l) = 0. \quad (14)$$

Звідси матимемо для $C_{1,2}$ систему рівнянь:

$$\begin{cases} C_1 + C_2 = 0; \\ s_1 \cdot \exp(s_1 l) \cdot C_1 + s_2 \cdot \exp(s_2 l) \cdot C_2 = 0. \end{cases} \quad (15)$$

Для отримання нетривіальних розв'язків системи (15) слід виконати умови, за якої детермінант системи (15) дорівнює нулю, тобто:

$$\exp[(s_2 - s_1) \cdot l] = \frac{s_1}{s_2}, \quad (16)$$

або:

$$\exp\{2\sqrt{k_1^2 - \lambda}\} = \frac{k_1 - \sqrt{k_1^2 - \lambda}}{k_1 + \sqrt{k_1^2 - \lambda}}. \quad (17)$$

Рівняння (17) слугує як трансцендентне для визначення величини λ (власних чисел задачі).

Розглянемо можливі випадки розв'язку (17).

1. $k_1^2 = \lambda$, тоді (17)

використовується як тотожність. У цьому випадку $s_1 = s_2 = k_1$ і розв'язок (10) має вид:

$$\phi(x) = (C_1 + C_2 \cdot x) \cdot \exp(k_1 \cdot x). \quad (18)$$

2. $k_1^2 > \lambda$, тоді (17) умова не може

бути виконаною, оскільки зліва у (17) стоїть величина більша 1, а зліва у (17) стоїть величина менша 1. Тобто у цьому випадку $C_1 = C_2 = 0$ й $\phi(x) \equiv 0$.

3. $k_1^2 < \lambda$, тоді можна подати

$$(k_1^2 - \lambda)^{1/2} = [(\lambda - k_1^2) \cdot (-1)]^{1/2}.$$

Звідси матимемо:

$$s_{1,2} = k_1 \pm i \cdot \gamma, i^2 = -1, \text{ де } \gamma = \sqrt{\lambda - k_1^2}. \quad (19)$$

У цьому випадку розв'язок (10) має вид:

$$\phi(x) = C_1 \cdot \exp(k_1 \cdot x) \cdot \cos \gamma x + C_2 \cdot \exp(k_1 \cdot x) \cdot \sin \gamma x. \quad (20)$$

У подальшому розглядатимемо саме цей випадок.

З умов (14) одержимо, що, по-перше, $C_1 = 0$, а, по-друге, оскільки розшукується не нульове рішення, повинна бути виконана умова:

$$C_2 \neq 0, k_1 \cdot \sin(\gamma l) + \gamma \cdot \cos(\gamma l) = 0, \quad (21)$$

або:

$$\tan(\gamma l) = -\frac{\gamma}{k_1}. \quad (22)$$

Отже, у даному випадку нетривіальним розв'язком рівняння (10) є функція:

$$\phi_n(x) = \exp(k_1 \cdot x) \cdot \sin(\gamma_n x), n = 1, 2, \dots, \quad (23)$$

де γ_n – n -й корінь трансцендентного рівняння (22), рис.3. При цьому кожний n -й корінь (22) лежить у межах:

$$\frac{\pi}{2l} < \gamma_1 < \frac{3\pi}{2l}; \frac{3\pi}{2l} < \gamma_2 < \frac{5\pi}{2l}; \dots; \frac{(2n-1)\pi}{2l} < \gamma_n < \frac{\pi \cdot (2n+1)}{2l}; \dots \quad (24)$$

Розглянемо далі рівняння:

$$\ddot{T} + \lambda a^2 \cdot T = 0, \quad \lambda = \gamma^2 + k_1^2. \quad (25)$$

Кожному кореню γ_n рівняння (22) відповідає розв'язок рівняння (25) виду:

$$T_n(t) = A_n \cdot \cos \left[a \cdot \sqrt{\gamma_n^2 + k_1^2} \cdot t \right] + B_n \cdot \sin \left[a \cdot \sqrt{\gamma_n^2 + k_1^2} \cdot t \right], n = 1, 2, \dots, \quad (26)$$

де A_n, B_n - довільні сталі величини.

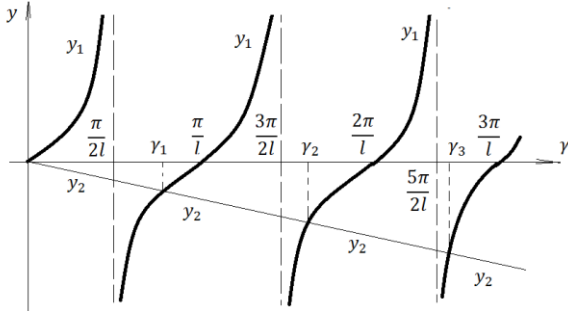


Рис. 3. Визначення коренів рівняння (22) графічним методом: $y_1 = tg(\gamma l)$;

Fig. 3. Determining roots of equation (22) a graphical method $y_1 = tg(\gamma l)$;

$$y_2 = -\frac{\gamma}{k_1}.$$

З (6) видно, що розв'язком рівняння (1) буде будь-який окремий розв'язок типу:

$$u_n(x, t) = \phi_n(x) \cdot T_n(t), \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (27)$$

У зв'язку з лінійністю й однорідністю рівняння (1) сума окремих розв'язків:

$$u(x, t) = \exp(k_1 \cdot x) \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \{ A_n \cdot \cos \left[a \cdot \sqrt{\gamma_n^2 + k_1^2} \cdot t \right] + B_n \cdot \sin \left[a \cdot \sqrt{\gamma_n^2 + k_1^2} \cdot t \right] \} \cdot \sin(\gamma_n x), \quad (28)$$

Також задовольняє цьому рівнянню і граничним умовам (4), (5). Визначимо тепер A_n і B_n так, щоб задовольнялися початкові умови (2) і (3). Умова (3) призводить до рівності:

$$a \cdot \exp(k_1 \cdot x) \cdot \sum_{n=1}^{\infty} B_n \cdot \sqrt{\gamma_n^2 + k_1^2} \cdot \sin(\gamma_n x) = V_0; \quad 0 \leq x \leq l. \quad (29)$$

Для визначення коефіцієнтів B_n маємо співвідношення:

$$(\gamma_n^2 + k_1^2)^{1/2} \cdot a \cdot B_n \cdot \int_0^l \exp(2k_1 \cdot x) \cdot \sin^2(\gamma_n x) dx = V_0 \cdot \int_0^l \exp(k_1 \cdot x) \cdot \sin(\gamma_n x) dx, \quad (30)$$

Звідси:

$$B_n = \frac{V_0 \cdot \int_0^l \exp(k_1 x) \cdot \sin(\gamma_n x) dx}{\sqrt{\gamma_n^2 + k_1^2} \cdot a \cdot \int_0^l \exp(2k_1 x) \cdot \sin^2(\gamma_n x) dx}. \quad (31)$$

При $k_1 = 0$ вираз (31) набуває виду:

$$B_n = \frac{V_0 \cdot \int_0^l \sin(\gamma_n x) dx}{\gamma_n \cdot a \cdot \int_0^l \sin^2(\gamma_n x) dx} = \frac{V_0 \cdot 2}{\gamma_n^2 \cdot a} \cdot \frac{[1 - \cos(\gamma_n l)]}{[l - \frac{\sin(2\gamma_n l)}{2\gamma_n}]} = \frac{8V_0 \cdot l}{a \cdot \pi^2 \cdot (2n-1)^2}, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (32)$$

Співвідношення (32) для B_n виникає внаслідок:

$$k_1 = 0 \Leftrightarrow tg(\gamma_n l) = -\infty \Leftrightarrow \gamma_n = \frac{\pi \cdot (2n-1)}{2l}, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (33)$$

Функція (28) повинна задовольняти ще одну умову (2), що дає рівняння:

$$\frac{\delta_{10}}{E} = k_1 \cdot \exp(k_1 k) \cdot \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cdot \sin(\gamma_n x) + \exp(k_1 k) \cdot \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cdot \gamma_n \cdot \cos(\gamma_n x). \quad (34)$$

Якщо позначити:

$$\psi(x) = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cdot \sin(\gamma_n x), \quad (35)$$

Тоді рівняння (34) можна записати у вигляді:

$$\frac{\delta_{10}}{E} \cdot \exp(-k_1 k) = k_1 \cdot \psi(x) + \psi'(x), \quad (36)$$

причому: $\psi(0) = 0$.

Розв'язком диференціального рівняння (36) буде:

$$\psi(x) = \frac{\delta_{10}}{E} \cdot x \cdot \exp(-k_1 k). \quad (37)$$

Тому:

$$\exp(k_1 k) \cdot \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cdot \sin(\gamma_n x) = \frac{\delta_{10}}{E} \cdot x, \quad 0 \leq x \leq l. \quad (38)$$

Звідси витікає:

$$A_n = \frac{\delta_{10}}{E} \cdot \frac{\int_0^l x \cdot \sin(\gamma_n x) dx}{\int_0^l \sin^2(\gamma_n x) dx} = \frac{8 \cdot (-1)^{n+1} \cdot l \cdot \delta_{10}}{\pi^2 \cdot (2n-1)^2 \cdot E}, \quad (40)$$

Оскільки виконуються співвідношення (33).

Таким чином, шуканим розв'язком (1) є функція (28), де коефіцієнтами A_n й B_n визначаються за формулами (31) та (39) (або за формулами (32) й (40) при $k_1 = 0$).

Числа $\gamma_n, n = 1, 2, 3, \dots$ є коренями рівняння (22).

Далі розглянемо задачу виникнення зони розриву у ГСП. Умовою такого розриву є рівність:

$$E \cdot \frac{du}{dx} = -\delta_p, \quad (41)$$

де δ_p - границя/межа міцності ГСП на розтяг.

Рівняння (41), після підстановки у нього розв'язку $u(x, t)$ набуває вигляду:

$$E \cdot k_1 \cdot \exp(k_1 k) \cdot \sum_{n=1}^{\infty} (A_n \cdot \cos \{ a \cdot \sqrt{\gamma_n^2 + k_1^2} \cdot t \} + B_n \cdot \sin \{ a \cdot \sqrt{\gamma_n^2 + k_1^2} \cdot t \}) \cdot \sin(\gamma_n \cdot x) + E \cdot \exp(k_1 k) \cdot \sum_{n=1}^{\infty} (A_n \cdot \cos \{ a \cdot \sqrt{\gamma_n^2 + k_1^2} \cdot t \} + B_n \cdot \sin \{ a \cdot \sqrt{\gamma_n^2 + k_1^2} \cdot t \}) \cdot \gamma_n \cdot \cos(\gamma_n \cdot x) = -\delta_p. \quad (42)$$

Введемо позначення:

$$\omega_n = a \cdot \sqrt{\gamma_n^2 + k_1^2}; \quad \tilde{a}_n = E \cdot \sqrt{A_n^2 + B_n^2}. \quad (43)$$

Тоді рівність (42) можна спростити:

$$E \cdot k_1 \cdot \exp(k_1 k) \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{\tilde{a}_n}{E} \cdot \cos \{ a \cdot \sqrt{\gamma_n^2 + k_1^2} \cdot t \} \cdot \frac{A_n}{\sqrt{A_n^2 + B_n^2}} + \frac{\tilde{a}_n}{E} \cdot \sin \{ a \cdot \sqrt{\gamma_n^2 + k_1^2} \cdot t \} \cdot \frac{B_n}{\sqrt{A_n^2 + B_n^2}} \right] \cdot \sin(\gamma_n \cdot x) + E \cdot \exp(k_1 k) \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{\tilde{a}_n}{E} \cdot \cos \{ a \cdot \sqrt{\gamma_n^2 + k_1^2} \cdot t \} \cdot \frac{A_n}{\sqrt{A_n^2 + B_n^2}} + \frac{\tilde{a}_n}{E} \cdot \sin \{ a \cdot \sqrt{\gamma_n^2 + k_1^2} \cdot t \} \cdot \frac{B_n}{\sqrt{A_n^2 + B_n^2}} \right] \cdot \gamma_n \cdot \cos(\gamma_n \cdot x) = -\delta_p. \quad (44)$$

Після введення таких позначень:

$$\begin{aligned} \sin \varphi_n &= \frac{A_n}{\sqrt{A_n^2 + B_n^2}}; \quad \cos \varphi_n = \frac{B_n}{\sqrt{A_n^2 + B_n^2}}; \quad a_n \\ &= E \cdot \sqrt{(A_n^2 + B_n^2) \cdot (k_1^2 + \gamma_n^2)}; \quad \sin \psi_n \\ &= \frac{\gamma_n}{\sqrt{(k_1^2 + \gamma_n^2)}}; \\ \cos \psi_n &= \frac{k_1}{\sqrt{(k_1^2 + \gamma_n^2)}}, \end{aligned} \quad (45)$$

(44) вираз спрощується до виду:

$$\exp(k_1 \cdot x) \cdot \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cdot \sin(\omega_n t + \gamma_n) \cdot \sin(\gamma_n x + \psi_n) = -\delta_p. \quad (46)$$

Рівняння (46) задає функцію $t = t(x)$, де $0 \leq x \leq l = u \cdot t^x$, у не явному виді.

Найближчий до точки $t = 0$ мінімум функції $t = t(x)$ досягається при $x = p_i$, $i = 1, 2, \dots$, тоді площини $x = p_1, x = p_2, \dots, x = p_i, \dots$ є поверхнями, по яким відбувається розрив зони R на окремі частинки у моменти часу $t = t(p_i)$, $i = 1, 2, \dots, n, \dots, \widetilde{n} \in N$.

Знайдемо перше наближене до розв'язку поставленої задачі щодо відшукування $\min\{t(x)\}$, $0 \leq x \leq l$. З цією метою розглянемо рівняння (46) спрощеному вигляді й врахуємо лише перший член суми:

$$\exp(k_1 \cdot x) \cdot a_1 \cdot \sin(\omega_1 t + \gamma_1) \cdot \sin(\gamma_1 x + \psi_1) = -\delta_p. \quad (47)$$

З (47) маємо:

$$\sin(\omega_1 t + \gamma_1) = -\frac{\delta_p}{a_1 \cdot \exp(k_1 \cdot x) \cdot \sin(\gamma_1 x + \psi_1)}. \quad (48)$$

Для того щоб визначити момент часу $t = t(p_1)$ розриву зони R, спочатку знайдемо положення площини розриву $x = p_1$ з рівняння:

$$y'(x) = \{\exp(k_1 \cdot x) \cdot \sin(\gamma_1 x + \psi_1)\}'_x = 0 \quad (49)$$

Або:

$$\operatorname{tg}(\gamma_1 x + \psi_1) = -\frac{\gamma_1}{k_1}, \quad 0 \leq x \leq l. \quad (50)$$

Розв'язок (50), що визначає p_1 має вид:

$$\begin{aligned} x = p_1 &= \frac{1}{\gamma_1} \left[\operatorname{arctg} \left\{ -\frac{\gamma_1}{k_1} \right\} - \psi_1 \right] = \\ &= -\frac{1}{\gamma_1} \left[\operatorname{arctg} \left\{ \frac{\gamma_1}{k_1} \right\} + \psi_1 \right], \end{aligned} \quad (51)$$

Оскільки $(\gamma_1, k_1, \psi_1) > 0$, тоді для $0 < x \leq l$ слід взяти таке значення у правій частині (51), за якою $x > 0$, тобто:

$$x^* = p_1^* = \left\{ \pi - \left[\operatorname{arctg} \left\{ \frac{\gamma_1}{k_1} \right\} + \psi_1 \right] \right\} \cdot \frac{1}{\gamma_1}, \quad (52)$$

Причому, зрозуміло, що $\pi > \operatorname{arctg} \left\{ \frac{\gamma_1}{k_1} \right\} + \psi_1$.

Потім з рівняння (48) знаходимо:

$$\begin{aligned} t_1 &= \frac{1}{\omega_1} \cdot \left\{ \pi + \operatorname{arcsin} \left[\frac{\delta_p \cdot (-1)}{a_1 \cdot \exp(k_1 \cdot p_1^*) \cdot \sin(\gamma_1 p_1^* + \psi_1)} \right] - \right. \\ \left. \varphi_1 \right\} &= \frac{1}{\omega_1} \cdot \left\{ \pi - \operatorname{arcsin} \left[\frac{\delta_p}{a_1 \cdot \exp(k_1 \cdot p_1^*) \cdot \sin(\gamma_1 p_1^* + \psi_1)} \right] - \varphi_1 \right\}. \end{aligned} \quad (53)$$

З виразу (53) впливає, що збільшення тертя при відповідному збільшенні k_1 призводить до зростання t_1 . При $k_1 \rightarrow \infty$ розриву зони R взагалі не існує.

Скінченні значення k_1 , за яких відсутня зона розриву області R визначаються зі співвідношення:

$$k_1 \approx \frac{1}{l} \cdot \ln \left\{ \frac{\delta_p}{a_1 \cdot \sin(\gamma_1 l + \varphi_1)} \right\}. \quad (54)$$

Якщо $k_1 = 0$, тоді:

$$a_1 = \frac{4}{\pi} \cdot \sqrt{\delta_1^2 + E \cdot \rho_1 \cdot V_0^2}, \quad p_1^* = 0. \quad (55)$$

Якщо напруження у ГСП у початковий момент часу ($t_1 = 0$), що є напруженням стискування ґрунту, буде задовольняти нерівності $\delta_1 > |\delta_p|$, тоді завжди існує момент t_1 , при якому відбувається розрив у зоні R. Це твердження випливає з того що:

$$\left\{ \frac{\delta_p}{a_1 \cdot \exp[k_1 \cdot p_1^*] \cdot \sin(\gamma_1 p_1^* + \psi_1)} \right\} \leq 1. \quad (56)$$

Висновки

1. Обґрунтовані фізико-механічна й математична моделі, які адекватно описують процеси розповсюдження хвиль розвантаження у ГСП при їх обробці/руйнуванні робочими органами сільськогосподарських (ґрунтообробних) машин.

2. Отримані у даній роботі результати можуть у подальшому слугувати для уточнення й вдосконалення існуючих інженерних методів розрахунку оптимальних робочих органів ґрунтообробних машин сільськогосподарського призначення, взаємодіючих з оброблювальним середовищем як на стадіях їх проектування (конструювання), так і у причинах реальної експлуатації.

Список літератури

1. Баладинский В. Л. Динамика разрушения грунтов. Строительство и архитектура. 1990. Вып. 6. С. 93-98.
2. Баладинский В. Л. Механизация земляных работ. Киев. НИИСП госстроя Украины, 1991. 180 с.
3. Баладинский В. Л. Хвиль розвантаження при руйнуванні гірських порід. Горні, будівельні, дорожні та меліоративні машини. 1993. Вип. 48. С. 17-25.

References

1. Baladinsky V. L. (1990). Dynamics of soil destruction. Gouvia High Schools. Construction and architecture. Vol. 6. 93-98.
2. Baladinsky V. L. (1991). Mechanization of excavation. Kyiv. NIISP state structure of Ukraine. 180.
3. Baladinsky V. L. (1993). Waves of unloading at destruction of rocks. Mining, construction, road and reclamation machines. Issue 48. 17-25.

ВОЛНЫ РАЗГРУЗКИ ПРИ ОБРАБОТКЕ УПЛОТНЁННЫХ ПОЧВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Ю. В. Човнюк, Ю. О. Гуменюк, И. Н. Сивак

Аннотация. Рассмотрены условия разрушения при обработке уплотненных почв сельскохозяйственного назначения (ПСН) при их быстрой разгрузке. Рассмотрено напряженно-деформированное состояние массива ПСН после его скола, удара, ударно-вибрационного или иного импульса. Определены продолжительность, положение поверхности и деформации разрыва ПСН,

влияние на процесс трения и границы зоны разрушения почвы. Обоснованные физико-механическая и математическая модели, адекватно описывающие процессы распространения волн разгрузки в ПСН при их обработке / разрушении рабочими органами сельскохозяйственных (почвообрабатывающих) машин. Рассмотрена динамика разрушения почв при механизации земляных работ с разрушением ПСН уплотненного типа. Проанализированы процесс нагрузки ГСП динамическими усилиями на основе зависимости интенсивности сжатия почвы и размера деформированной зоны от скорости нагрузки, длительности импульса и физико-механических свойств обрабатываемой среды / массива.

Ключевые слова: волны, разгрузка, обработка, уплотненные почвы, сельское хозяйство.

UNLOADING WAVES DURING THE PROCESSING OF COMPACTED SOILS OF AGRICULTURAL PURPOSE

Yu. V. Chovnyuk, Yu. O. Gumenyuk, I. M. Sivak

Abstract. The conditions of destruction during processing of compacted soils of agricultural purpose (SAP) at their fast unloading are considered. The stress-strain state of the SAP array after its chipping, shock, shock-vibration or other impulse is considered. The duration, position of the surface and deformation of the SAP rupture, influence on the process of friction and boundary of the zone of destruction of soil are determined. Physical-mechanical and mathematical models that adequately describe the processes of propagation of unloading waves in SAP during their processing / destruction by working bodies of agricultural (soil-cultivating) machines are substantiated. The dynamics of soil destruction during mechanization of earthworks with the destruction of compacted SAP is considered. The process of SAP loading by dynamic efforts is analyzed on the basis of the dependence of the compression intensity of the soil and the size of the deformed zone on the loading rate, pulse duration and physico-mechanical properties of the treated medium / array.

Key words: waves, unloading, processing, compacted soils, agriculture.

Ю. В. Човнюк ORCID 0000-0003-1889-0876.

Ю. О. Гуменюк ORCID 0000-0001-8203-5749.

І. М. Сівак ORCID 0000-0002-6297-587X.

УДК 631.3(075.8)

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ОСНОВИ АНАЛІЗУ ВЗАЄМОДІЇ РОБОЧИХ ОРГАНІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН З ОБРОБЛЮВАНИМ ҐРУНТОМ: ВИЗНАЧЕННЯ ЗВ'ЯЗКІВ МІЖ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ҐРУНТУ Й ПЕРІОДИЧНІСТЮ ЗМІНИ ЗУСИЛЬ РІЗАННЯ

I. М. Сівак, Ю. В. Човнюк, Ю. О. Гуменюк

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Кореспонденція авторів: sivakim@ukr.net.

Історія статті: отримано – квітень 2019, акцептовано – червень 2019.

Бібл. 4, рис. 3, табл. 0.

Анотація. У роботі проведено визначення зв'язків між характеристиками оброблюваного ґрунту й періодичністю зміни зусиль різання. При руйнуванні ґрунту сільськогосподарського призначення (ГСП) зсувом тривалість циклу руйнування обумовлюється швидкістю машинно-тракторного агрегату (МТА) й деформацією ґрунту у напрямку різання, достатньо для зсуву елемента по поверхні ковзання. У зв'язку з високими швидкостями деформування здатність ГСП чинити опір деформаціям оцінюється динамічним коефіцієнтом деформації. Створення нових енергонасичених, швидкісних базових тракторів та тягачів викликає підвищення робочих швидкостей агрегованих з ними машин. Враховуючи, що ніж МТА у більшості випадків можна подати у вигляді простого (двогранного) клина, знайдений вплив швидкості на опір копанню ГСП простим клином.

Ключові слова: концепція, аналіз, взаємодія, робочий орган, сільськогосподарські машини, ґрунт, обробка, зв'язки, визначення, характеристика ґрунту, періодичність, зміна, зусилля, різання.

Постановка проблеми

При руйнуванні ґрунту сільськогосподарського призначення (ГСП) зсувом тривалість циклу руйнування обумовлюється швидкістю руху машинно-тракторного агрегату (МТА) й деформацією ГСП у напрямку різання, достатньо для зсуву елемента по поверхні ковзання. У зв'язку з високими швидкостями деформування здатність ГСП чинити опір деформаціям оцінюються динамічним коефіцієнтом деформації. Необхідно встановити площу контакту, напруження на лезі ножа, умови, за яких відбувається зсув елемента ГСП, шлях зколу й частоту коливань навантаження на ніж. Крім того, слід встановити вплив швидкості на зусилля обробки (копання) ГСП. Саме цей підхід дозволить у майбутньому створювати енергонасичені, швидкісні базові трактори, тягачі, МТА, які мають підвищені швидкості функціонування агрегованих з ними машин. Враховуючи, що ніж МТА у більшості випадків можна подати у вигляді простого

(двогранного) клина, слід знайти вплив швидкості на опір обробці (копанню) ГСП простим клином.

Аналіз останніх досліджень

Автори робіт [1-4] всебічно дослідили процес обробки ґрунтів землерійними, землерійно-транспортними машинами й встановили основні закономірності взаємодії робочих органів вказаних машин з ГСП. Проте, стосовно ГСП такі дослідження не проведені у повному обсязі, тому, на думку авторів даного дослідження, слід вивчити всебічно виникаючі закономірності взаємодії робочих органів ґрунтообробних машин саме з ГСП.

Мета досліджень

Метою даної роботи є встановлення зв'язків та закономірностей між характеристиками ГСП й періодичністю зміни зусиль різання, а також впливу швидкості МТА на зусилля обробки ГСП, зокрема, у процесах копання.

Результати досліджень

Відомо [2,3], що при руйнуванні ґрунтів (у т.ч. ГСП) зсувом, як правило, тривалість циклу процесу руйнування обумовлюється у першу чергу швидкістю руху МТА й деформацією ГСП у напрямку різання, достатньою саме для зсуву елемента ґрунту по поверхні ковзання робочого органа (РО). У зв'язку з високими швидкостями деформування ГСП здатність ґрунту чинити опір деформаціям оцінюється динамічним коефіцієнтом деформації. Тоді $b = C_g \cdot x$. Тут b – напруження у ґрунті перед лезом ножа; x – деформація.

Підставляючи загальноприйняті значення параметрів ударника матимемо:

$$C_g = 90 / (mh^2 \cdot \sqrt{F}). \quad (1)$$

Всі позначення у (1) введені вище у частині дослідження. Для більшості випадків різання МТА (різання широким ножом) коефіцієнт $m=0,37$.

Площа контакту визначається з геометричних співвідношень розмірів елемента зколу при умові, що зкол відбувається по всій довжині ножа L :

$$F = L \cdot x \cdot \frac{\sin \alpha \cdot \sin x}{\sin(\alpha + x)}, \quad (2)$$

де α, x – кути різання й зколу.

Тоді напруження на лезі ножа може бути подане залежністю:

$$b = \frac{90 \cdot x}{0,37 \cdot h^2 \cdot \sqrt{L \cdot x \cdot \frac{\sin \alpha \cdot \sin x}{\sin(\alpha + x)}}}. \quad (3)$$

Із урахуванням співвідношення між глибиною занурення ударника (h) за перший удар й числом ударів (n) запишемо:

$$b = \frac{243}{h^2} \sqrt{\frac{x \cdot \sin(\alpha + x)}{L \cdot \sin \alpha \cdot \sin x}} = 2,43 \cdot n \cdot \sqrt{\frac{x \cdot \sin(\alpha + x)}{L \cdot \sin \alpha \cdot \sin x}}. \quad (4)$$

Прирівнюючи отримане напруження до граничного його значення, при якому відбувається зсув елемента ГСП, маємо рівняння:

$$2,43 \cdot \sqrt{\frac{x \cdot \sin(\alpha + x)}{L \cdot \sin \alpha \cdot \sin x}} = \frac{c \cdot f_1(\rho) + q_x + t_x^1 \cdot h}{\frac{k_2^2}{k_2} c t y^2 (\alpha + \delta) + f_2(\rho)} = b_{\text{гр}}. \quad (5)$$

(Всі позначення у правій частині (5) введені у частині дослідження).

Тоді шлях зколу (довжина різання, на котрій відбувається один цикл руйнування):

$$X = \frac{L \cdot \sin \alpha \cdot \sin x}{5,9 n^2 \cdot \sin(\alpha + x)} \cdot b_{\text{гр}}^2. \quad (6)$$

Тривалість одного циклу руйнування при швидкості машини v_M :

$$t_{\text{ц}} = \frac{L \cdot \sin \alpha \cdot \sin x}{5,9 \cdot v_M \cdot n^2 \cdot \sin(\alpha + x)} \cdot b_{\text{гр}}^2. \quad (7)$$

Частота коливань навантаження визначається виразом $f_k = 60/t_{\text{ц}}$, або:

$$f_k \approx \frac{v_M \cdot n^2 \cdot \sin(\alpha + x)}{10 \cdot L \cdot b_{\text{гр}} \cdot \sin \alpha \cdot \sin x}. \quad (8)$$

За широких ножів внаслідок різної міцності ділянок ГСП руйнування відбувається неодноразово по довжині ножа, завдяки чому амплітуда коливань навантаження знижується, а частота зростає.

Встановимо далі вплив швидкості руху МТА на величину зусилля, яке необхідне для обробки ГСП.

Відомо, що створення нових енергонасичених, швидкісних базових тракторів, тягачів, МТА викликає підвищення робочих швидкостей агрегованих з ними машин. Враховуючи, що ніж МТА у більшості випадків можна подати у виді простого (двогранного) клина, знаходимо вплив швидкості на опір обробці ГСП простим клином. Слід зазначити, що у подальшому швидкісним опором будемо називати зусилля, необхідне для розгону елементів ГСП, що відділяються, від стану спокою до деякої швидкості. Переміщення пласту ГСП по поверхні ножа МТА й по поверхням руйнування відбувається після подолання сил тертя, залежних за інших однакових умов від нормальних тисків (у т.ч. від відповідних інерційних сил). Тому зусилля тертя, виникаючі під дією інерційних сил, будемо включати у швидкісний опір. Можливі наступні основні схеми руйнування, а відповідно, й пов'язані з ними розрахункові схеми руху ГСП: руйнування зсувом з утворенням елементної стружки (рис. 1), руйнування відривом без деформування чи з надто малим деформуванням стружки (рис. 2).

Сила F , необхідна для надання швидкості v_a масі ГСП, яка надходить за час dt на ніж робочого органу (двогранний клин), визначається з рівняння Мещерського для руху змінної маси:

$$m \cdot \frac{dv_a}{dt} = \vec{F} + \frac{dm_1}{dt} \cdot (\vec{v}_n - \vec{v}_a) - \frac{dm_2}{dt} (\vec{v}_0 - \vec{v}_a). \quad (9)$$

Тут m – поточне значення змінної маси ГСП; $\frac{dm_1}{dt}$, $\frac{dm_2}{dt}$ – приріст приєднаної й відділеної мас; $\vec{v}_n, \vec{v}_0$ – абсолютні швидкості приєднуваної та відділеної мас; $\vec{v}_a$ – абсолютна швидкість маси ГСП; $\vec{F}$ – головний вектор прикладених сил.

При різанні ГСП з наступним зходженням ґрунтової стружки з площини ножа, тобто, коли $\frac{dm_1}{dt} = \frac{dm_2}{dt} = \frac{dm}{dt}$, вважаючи відношення швидкості $(\vec{v}_n - \vec{v}_a)$ і $(\vec{v}_0 - \vec{v}_a)$ рівними одна одній, матимемо:

$$\vec{F} = m \cdot \frac{d\vec{v}_a}{dt}. \quad (10)$$

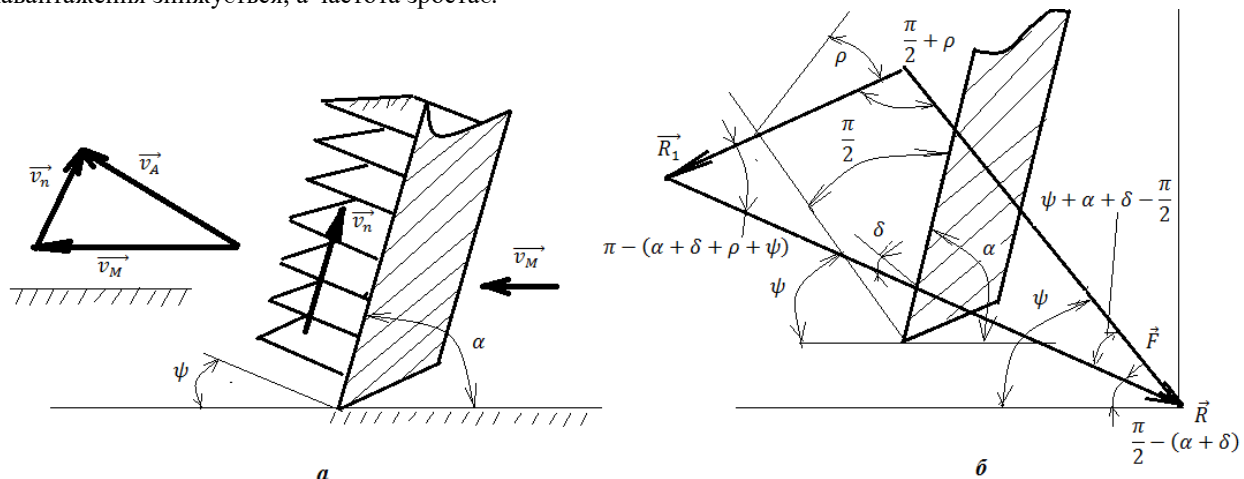


Рис. 1. Інерційний опір при руйнуванні ГСП зсувом: а – схема утворення стружки; б – силовий трикутник.
Fig. 1. The inertial resistance to the destruction of the GSP offset.

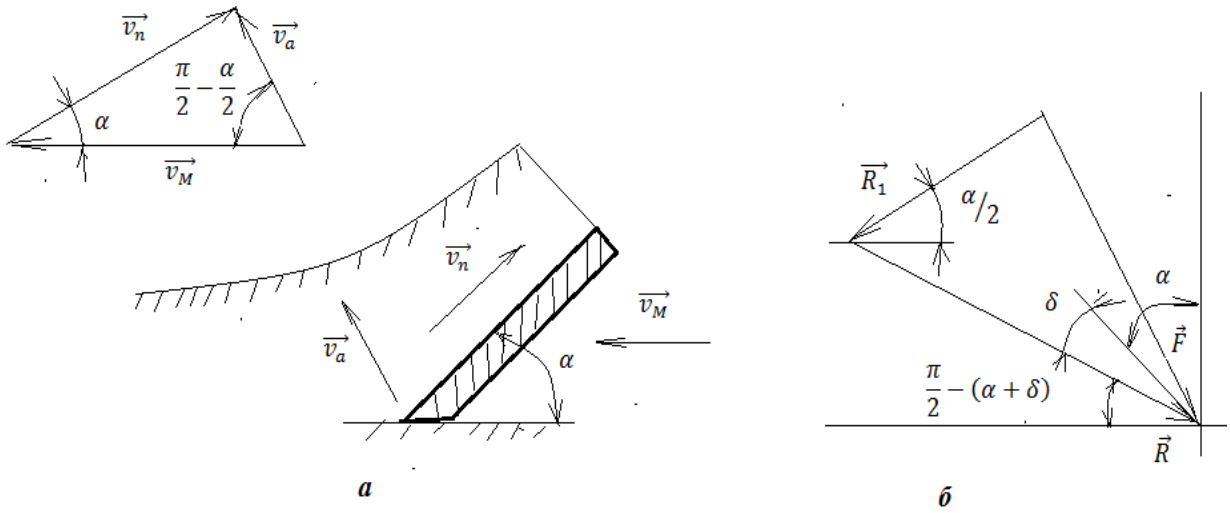


Рис. 2. Інерційний опір при руйнуванні ГСП відривом: а – схема утворення стружки; б – силовий трикутник.

Fig. 2. The inertial resistance to the destruction of the GSP margin.

Для знаходження приросту швидкості вважатимемо, що ГСП розганяється від швидкості $\vec{v}_n = 0$ до абсолютної швидкості $\vec{v}_a$ за час розгону t_p . Тоді, якщо прийняти процес рівноприскорення, $m \cdot \frac{d\vec{v}}{dt} = m \cdot \frac{\vec{v}}{t_p}$. При кроці руйнування $S \cdot m = L \cdot h \cdot S \cdot \gamma, t_p = S/v_M$. Отже, залежність (10) подано у вигляді:

$$\vec{F} = m \cdot \frac{d\vec{v}}{dt} = L \cdot h \cdot \gamma \cdot v_M. \quad (11)$$

Значення і напрямок абсолютної швидкості ГСП $\vec{v}$, а також напрямок зусилля $\vec{F}$ обумовлені розрахунковою схемою руйнування. При руйнуванні ГСП зсувом з елементною стружкою матимемо з трикутника швидкостей згідно теореми синусів (рис. 1):

$$v_a = v_M \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + x)}, \quad (12)$$

де: α – кут різання, x – кут зсуву ГСП, котрий знаходиться у відповідності з положеннями статки сипучого середовища.

Тоді:

$$F = L \cdot h \cdot \gamma \cdot v_M^2 \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + x)}. \quad (13)$$

Зусилля F діє на лобову грань ножа й на масив ГСП (площину зсуву), викликаючи реакції масиву й ножа на елемент ґрунта R_1, R (рис. 1), котрий почав рухатись. Напрямок реакцій визначається тертям при взаємодії елемента стружки з масивом і ножом, у результаті чого реакції ($\vec{R}, \vec{R}_1$) відхиляються на кут тертя у бік, протилежний рухові: тоді з трикутника сил випливає:

$$\begin{cases} R = L \cdot h \cdot \gamma \cdot v_M^2 \cdot \frac{\sin \alpha \cdot \cos \rho}{\sin(\alpha + x) \cdot \sin(\alpha + \delta + \rho + x)}; \\ R_1 = L \cdot h \cdot \gamma \cdot v_M^2 \cdot \frac{\sin \alpha \cdot \sin(x + \alpha + \delta - \frac{\pi}{2})}{\sin(\alpha + x) \cdot \sin(\alpha + \delta + \rho + x)}. \end{cases} \quad (14)$$

Тут ρ, δ – кути тертя ГСП по ГСП й ГСП по ножу.

Горизонтальні і вертикальні силові зусилля R, R_1 запишемо у вигляді:

$$\begin{cases} R_r = R \cdot \sin(\alpha + \delta); R_b = R \cdot \cos(\alpha + \delta); \\ R_{1r} = R_1 \cdot \sin(\rho + x); R_{1b} = R_1 \cdot \cos(\rho + x). \end{cases} \quad (15)$$

У випадку руйнування ГСП з випереджаючого тріщиною (відрив) пласта ґрунту, який надходить на ніж, практично не деформується, тому з достатньою точністю, можна вважати швидкості руху пласта й машини рівним. Абсолютна швидкість руху пласта (рис. 2):

$$v_a = \sqrt{v_n^2 + v_M^2 - 2v_M \cdot \cos \alpha} = 2v_M \cdot \sin(\alpha/2), \quad (16)$$

Кут відхилення швидкості v_a від горизонталі $x = \pi/2 - \alpha/2$. Зусилля F визначиться виразом:

$$F = 2 \cdot L \cdot h \cdot \gamma \cdot v_M^2 \cdot \sin(\alpha/2). \quad (17)$$

У зв'язку з тим, що довжина тріщини відриву у процесі різання ГСП змінюється, змінюється й напрямок пласта, а відповідно, реакцій R_1 . Для знаходження середніх значень реакцій приймаємо напрямок R_1 середнім між крайніми напрямками: руху машини й руху пласта, тобто під кутом $\alpha/2$ до горизонталі. Тоді з плану сил можна отримати (рис.2):

$$R = \frac{2 \cdot L \cdot h \cdot \gamma \cdot v_M^2}{\cos(\delta + \frac{\alpha}{2})};$$

$$R_1 = 2 \cdot L \cdot h \cdot \gamma \cdot v_M^2 \cdot \sin(\alpha/2) \cdot \tan(\delta + \alpha/2). \quad (18)$$

Вертикальні та горизонтальні силові зусилля R_1, R запишемо у вигляді:

$$\begin{cases} R_r = R \cdot \sin(\alpha + \delta); R_b = R \cdot \cos(\alpha + \delta); \\ R_{1r} = R_1 \cdot \sin \frac{\alpha}{2}. \end{cases} \quad (19)$$

На рис. 3 подані залежності швидкісного опору від параметрів різання (швидкість й кут різання) і характеристик механічних властивостей ГСП (кути внутрішнього та зовнішнього тертя) для різних схем руйнування ГСП. Швидкісний опір при швидкостях різання ГСП до 1 м/с незначний, у доволі несприятливих умовах (кут різання $\alpha = 60^\circ$, кут зовнішнього тертя $\delta = 30 \dots 40^\circ$) він досягає для глибини різання 10 см (0,8...1,0) кН на метр довжини ножа. Вище при швидкості 2 м/с швидкісний опір складає (1,6...2) кН на метр довжини ножа, що дає при середній довжині ножа МТА (2...2,5) м додаткове

навантаження (4...6) кН (20% тягового зусилля трактора класу 30 кН).

Вплив швидкості різання ГСП на опір різанню враховується за методикою Ю. О. Ветрова залежністю [1]:

$$P_v = k_v \cdot P + R_r, \quad (20)$$

де: k_v – експериментальний коефіцієнт [1]; P – середнє максимальне зусилля різання при швидкості різання, близькій до нуля; R_r – складова швидкісного опору, яка визначається у залежності від виду руйнування ГСП виразами (15) й (19).

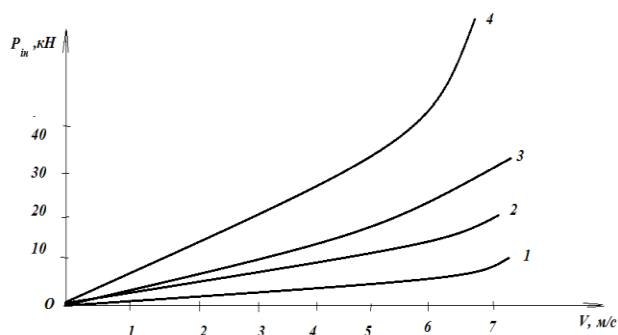


Рис. 3. Залежність інерційної складової P_{in} від швидкості v й кута різання a :

1 – $a=20^\circ$; 2 – $a=40^\circ$; 3 – $a=60^\circ$; 4 – $a=90^\circ$.

Fig. 3. The dependence of the inertial component P_{in} speed v and angle cutting a .

Висновки

1. Обґрунтована фізико-механічна й металатична модель для аналізу взаємодії робочих органів сільськогосподарських машин з оброблюваним ґрунтом, яка визначає зв'язки між характеристиками ГСП й періодичністю зміни зусиль його різання.

2. Встановлені основні закономірності та співвідношення між параметрами ГСП й кінематично-силовими параметрами робочих органів машин для різних способів руйнування ґрунту.

3. Встановлена залежність інерційної складової сили різання ГСП від кута різання й швидкісного опору при різних швидкостях різання ГСП.

4. Отримані у роботі результати можуть бути у подальшому використані для уточнення й вдосконалення інженерних методів розрахунку кінематично-силових параметрів робочих органів ґрунтообробних машин як на стадіях їх проектування / конструювання, так і у режимах реальної експлуатації.

Список літератури

1. Ветров Ю. А. Резания ґрунтов землеройных машинами. Москва. Машиностроения, 1971. 357 с.
2. Ничке В. В. Надежность прицепного и навесного оборудования тракторов. Харьков: гезд-во при ХГУ издательского объединения «Вища школа». 1985. 152 с.
3. Руднев В. К. Капание ґрунтов землройно-

транспортными машинами активного действия. Харьков: гуд-во при ХГУ, 1974. 143 с.

4. Холодов А. М. Основы динамики землеройно-транспортных машин. Москва. Машиностроения, 1968. 156 с.

References

1. Vetrov Yu. A. (1971). Soil cutting by earth-moving machinery. Moscow. Mechanical Engineering. 357.
2. Nitscheka V. V. (1971). Reliability of trailed and mounted tractor equipment. Kharkov. State.
3. Rudnev V. K. (1974). Dripping soil with earth moving transport vehicles. Kharkov: buzz at KSU, 1974. 143.
4. Kholodov A. M. (1968). Fundamentals of the dynamics of earth moving vehicles. Moscow. Mechanical Engineering. 156.

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ АНАЛИЗА
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН С
ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОЧВОЙ: ОПРЕДЕЛЕНИЕ
СВЯЗЕЙ МЕЖДУ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ПОЧВЫ
И ПЕРИОДИЧНОСТЬЮ СМЕНЫ УСИЛИЙ РЕЗАНИЯ

Ю. В. Човнюк, Ю. О. Гуменюк, И. Н. Сивак

Аннотация. В работе проведено определение связей между характеристиками обрабатываемого ґрунта и периодичностью изменения усилий резания. При разрушении почвы сельскохозяйственного назначения (ПСН) сдвигом продолжительность цикла разрушения определяется скоростью машинно-тракторного агрегата (МТА) и деформацией ґрунта в направлении резки, достаточно для смещения элемента по поверхности скольжения. В связи с высокими скоростями деформирования способность ПСН сопротивляться деформациям оценивается динамическим коэффициентом деформации. Создание новых энергонасыщенных, скоростных базовых тракторов и тягачей вызывает повышение рабочих скоростей агрегированных с ними машин. Учитывая, что чем МТА в большинстве случаев можно представить в виде простого (двугранного) клина, найденный влияние скорости на сопротивление копанию ПСН простым клином.

Ключевые слова: концепция, анализ, взаимодействие, рабочий орган, сельскохозяйственные машины, почва, обработка, связи, определения, характеристика почвы, периодичность, изменение, усилия, резки.

CONCEPTUAL BASES OF ANALYSIS
OF INTERACTION BETWEEN WORKING BODIES
OF AGRICULTURAL MACHINES AND TREATED
SOIL: DETERMINING THE LINKS BETWEEN SOIL
CHARACTERISTICS AND CHANGE OF CHANGE

I. M. Sivak, Yu. V. Chovnyuk, Yu. O. Gumenyuk

Abstract. In this work, the determination of the connections between the characteristics of the cultivated soil and the frequency of the change in the cutting effort

is carried out. In the case of destruction of agricultural soil (AS) with a displacement, the duration of the cycle of destruction is determined by the speed of the machine-tractor unit (MTA) and the deformation of the soil in the direction of cutting, sufficient for the displacement of the element along the surface of the slide. Due to high deformation rates, the ability of AS to resist deformations is estimated by the dynamic deformation coefficient. Creation of new energy-intensive, high-speed basic tractors and tractors causes increase of working speeds of aggregated with them cars. Taking into account that the MTA knife can, in most cases, be presented as a simple (double-sided) wedge, the effect of the speed on the AS digging resistance is found by a simple wedge.

Key words: concept, analysis, interaction, working body, agricultural machinery, soil, processing, communication, definition, soil characteristics, periodicity, change, effort, cutting.

I. М. Сівак ORCID 0000-0002-6297-587X.

Ю. В. Човнюк ORCID 0000-0003-1889-0876.

Ю. О. Гуменюк ORCID 0000-0001-8203-5749.

УДК 631.12 (1-22) : 502.117 : 620.95

ЕФЕКТИВНІСТЬ СПОСОБІВ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ПЛУНЖЕРНИХ ПАР ПАЛИВНИХ НАСОСІВ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

П. С. Попик¹, Л. Л. Роговський¹, О. М. Вечера¹, О. Г. Поліщук²

¹Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

²Таращанський державний технічний та економіко-правовий коледж, Україна.

Кореспонденція авторів: GTP2005@i.ua.

Історія статті: отримано – квітень 2019, акцептовано – червень 2019.

Бібл. 7, рис. 2, табл. 4.

Анотація. Наведено результати досліджень властивостей і розмірів деталей плунжерних пар після відновлення азотуванням, оксидуванням, карбонітуванням і роторним хромуванням. При відновленні прецизійних плунжерних пар, знос яких вимірюється десятками мікрометрів, є реальна можливість використати приріст розмірів деталей при хіміко-термічних методах зміцнення.

Ключові слова: плунжерні пари, способи відновлення, властивості, приріст розмірів.

Постановка проблеми

До 50% несправностей дизельних двигунів приходяться на паливну апаратуру. У найважчих умовах працюють плунжерні пари паливних насосів, зумовлених динамічними навантаженнями і високим тиском, наявністю агресивних компонентів і абразивних частинок у паливі, зношуванням.

У зв'язку з великою кількістю плунжерних пар і труднощі їх виготовлення доцільно відновлювати їх деталі, забезпечивши необхідними за технічними умовами їх властивості

Аналіз останніх досліджень

При відновленні прецизійних плунжерних пар, знос яких вимірюється десятками мікрометрів, є реальна можливість використати приріст розмірів деталей при хіміко-термічних методах зміцнення.

Так у роботі [1] встановлено, що газове азотування забезпечило приріст розмірів для сталі СК45 від 5 до 13 мм, а сталі 41Cr4-10...28мкм. При цьому азотування після поліпшення дало більший приріст ніж після нормалізації. Мікротвердість поверхні досягала 6000...11000МПа залежно від складу сталей. Карбонітування за температури 570°C, 6 год. збільшує діаметр зразків для сталі СК45 на 26...29 мкм, а легованої сталі 41Cr4 на 14...18 мкм.

Цементация [2] також призводить до приросту розмірів деталей. Так пластини із низько-вуглецевої сталі завтовшки 10мм після цементации за температури 910°C протягом 8 год. дали приріст

розміру на 50 мкм, після наступного високого відпуску – 60 мкм, а після гартування і низького відпуску – 75 мкм. У стержнів із хромонікельмолібденової сталі діаметром 10 мм збільшення діаметра склало відповідно 35, 50, 55 мкм.

Істотне збільшення розмірів деталей забезпечує борування. Встановлено [3], що борування сталі 25Х5М5А в розплавах бури з карбідом бору за температур 950 і 1000°C протягом 2, 4 і 6 год. дало діаметральний приріст розмірів зразків на 28...56 мкм. Найбільший приріст (56...58 мкм) дає борування протягом 6 год. Борування за температури 1050°C протягом 6 год. дає значний приріст діаметра до 108 мкм. Однак після борування за температури 950°C з наступною термообробкою приріст розмірів зразків із сталі 25Х5МА менший і складає 18...24 мкм, а після борування за температур 1000 і 1050°C такий приріст ще менший – всього 4...18 мкм. Математичні залежності приросту розмірів сталевих і чавунних деталей після борування сталей 10, 30, У8, ШХ15, ХВГ залежно від температури процесу наведено в роботі [4]. Борування також збільшує зносостійкість сталі 25Х5МА в 2...3 рази, а наступне, після борування, гартування підвищує зносостійкість у 3,5...5 раз.

Крім хіміко-термічних методів відновлення використовувалися залізнення, гальванічне електронатирання, хімічне нікелювання [5], які не рекомендовані через низьку їх зносостійкість.

Гальванічне хромування один із ефективних методів відновлення плунжерних пар, який забезпечує зносостійкість деталей вищу ніж для нових[6].

Вибір способів відновлення плунжерних пар визначається не лише досягненням необхідних розмірів але й забезпеченням підвищеної зносостійкості за рахунок твердості (мікротвердості), дисперсності карбідів, боридів та ін. твердих складових структури поверхневого шару.

Зносостійкість плунжерних пар залежить також від оптимального поєднання складу і властивостей матеріалу спряжених деталей, і в першу чергу їх поверхневих шарів [7]. Найвища зносостійкість досягається поєднанням різномісних матеріалів, наприклад, електротехнічний хром і азотована сталь, що запобігає схватуванню поверхонь тертя. Для

забезпечення оптимального поєднання властивостей матеріалів деталей твердість (мікротвердість) спряжених поверхонь має відрізнятися на HB50...100. Таким чином необхідно перевірити можливість відновлення плунжерних пар азотуванням, боруванням та іншими способами хіміко-термічної обробки та використання електролітичного хромовання однієї з деталей пари спряження.

Мета досліджень

Порівняння властивостей деталей плунжерних пар паливних насосів дизельних двигунів після азотування, оксидірування, карбонітрування і роторного хромовання для вибору найефективніших способів і їх режимів, які забезпечують необхідні механічні властивості і розмірні характеристики відновлювальних деталей.

Результати досліджень

Було проведені дослідження зносу плунжерних пар паливних насосів ТНВД СМД-60, які поступають на капітальний ремонт (табл. 1).

Деталі плунжерної пари насосів ТНВД СМД-60 виготовляються із сталі 25Х5М. У процесі виготовлення ці деталі піддаються азотуванню у дві стадії: 1-а стадія 510...520°C, 30 год ступінь дисоціації 20-35%; 2-а стадія – 550...560°C, 31год, ступінь дисоціації 40...60%, охолодження аміаком при 150°C, потім на повітрі. Після азотування

твердість поверхні NV 8500; серцевини HRC 20...26, глибина азотованого шару 0,25...0,50 мм.

Наведені дані (табл. 1) свідчать, що максимальний знос деталей плунжерних пар насосів ТНВД СМД-60 досягають 5...14 мкм, при високій твердості поверхонь тертя. Таким чином з точки зору зносостійкості плунжерних пар доцільно використовувати методи відновлення, які забезпечують високу твердість поверхневих шарів і приріст розмірів деталей більших за їх знос, що забезпечує їх відновлення.

Таблиця 1. Знос деталей плунжерних пар насосів.

Table 1. Wear and tear parts of the plunger pumps.

Деталь	Спрацювання до капітального ремонту, мкм	
	Максимальний	Середній
Плунжер	10	8
Втулка	14	12
Дозатор	5	5

Дослідження були виконанні на зношених деталях плунжерних пар насоса ТНВД СМД-60, які піддавались газовому і рідкому азотуванню, карбонітруванню, оксикарбонітруванню з метою забезпечення ефективності і якості відновлення. Плунжери насосів ТНВД СМД-60 піддавались також роторному хромованню.

Після відновлення деталей наведеними способами зміна їх основних розмірів, наведена в табл. 2.

Таблиця 2. Зміна розмірів відновлених деталей плунжерних пар, мкм.

Table 2. Resize the restored parts of the plunger, μm.

№ досл	Спосіб і режим відновлення	Збільшення діаметра плунжера	Зменшення діаметра отвору	
			корпуса (втулки)	дозатора
1	Заводський режим	12...19	11...21	8...12
2	Азотування за темп ератури 500...520 °C; ступінь дисоціації аміаку 20...40%; тривалість – 26 год	3...6	9...14	12...16
3	Ті ж умови; тривалість – 52 год.	8...10	9...18	5...18
4	Ті ж умови; тривалість – 78 год.	10...18	10...24	10...11
5	Азотування за темп ератури 590...610°C; ступінь дисоціації аміаку 40...60%; тривалість – 5 год; охолодження в оливі	20...45	26...37	18...45
6	Ті ж умови; тривалість – 6 год	30...36	20...32	10...37
7	Ціанування в розплаві 32% NaCNO, 38% KCl і 30% Na ₂ CO ₃ за т-ри 560...580°C – 5 год	9		
8	Ті ж умови тривалість 8 год	12		
9	Ті ж умови тривалість 10 год	10		
10	Оксикарбонітрування в аміаку, вуглекислому газі і продування парою за т-ри 620...640°C – 7 год. Охолодження в оливі	18...30	51...54	13...16
11	Карбонітрування в аміаку і вуглекислому газі за т-ри 600...620°C – 8 год. Охолодження з піччю. Ступінь дисоціації аміаку 40...60%	37...38	40...53	15...18
12	Роторне хромовання плунжера за т-ри 57...58°C; I=50А/дм ² , U=6...12В; тривалість – 60 хв.	48...50		

Таблиця 3. Різниця між зміною діаметра деталей плунжерних пар насоса ПНВТ СМД-60 і максимальним їх зносом до капітального ремонту, мкм.

Table 3. The difference between the change in diameter of parts of the plunger pump fuel injection pump SMD-60, and maximum wear and tear to major repairs, microns.

Спосіб відновлення	Приріст діаметра плунжера	Зменшення діаметра	
		корпуса	дозатора
Азотування за температури 590...610°C, 5 год.	10...35	12...23	13...30
оксикарбонітрування	8...20	37...40	8...11
карбонітрування	27...28	26...29	10...13
Роторне хромування	38...40		

Таблиця 4. Мікротвердість робочих поверхонь плунжерних пар.

Table 4. The microhardness of the working surfaces of the plunger.

Спосіб відновлення (зміцнення)	Назва деталі	Мікротвердість, МПа
Азотування за заводським режимом	Плунжер новий	7930
Азотування за заводським режимом	Плунжер зношений	8350
Азотування за заводським режимом зношеного плунжера	Плунжер відновлений	7930
Азотування за температури 590...610°C, 5 год	Плунжер	5720
	Корпус	5530
Аксикарбонітрування	Плунжер	6770
	Корпус	7180
Карбонітрування	Плунжер	6110
	Корпус	8240
Роторне хромування	Плунжер	9560

За даними табл. 2 азотування деталей плунжерних пар за заводським режимом забезпечує приріст діаметра плунжера 12...19 мкм, зменшення діаметра отвору корпуса до 11...21, дозатора до 8...12 мкм, що незначно перевищує їх допустимий знос при надходженні в ремонт (до 14 мкм).

Азотування за температури 500...520°C із збільшенням тривалості процесу з 26 до 78 год. дає незначний приріст діаметра плунжера в середньому від 4 до 14 мкм, зменшення діаметра отворів корпуса на 12...15 і дозатора на 10...12 мкм. Враховуючи наступне механічне оброблення азотування за заводським режимом і за температури 500...520°C не забезпечить відновлення деталей плунжерних пар.

Ціанування плунжерів тривалістю від 5 до 10 год дало приріст діаметра плунжера лише на 9...12 мкм, що менше ніж граничний знос і також не придатне для їх відновлення.

Серед досліджених способів відновлення деталей плунжерних пар найефективнішими є азотування деталей за температури 590...610°C тривалістю 5 год, оксикарбонітрування і карбонітруванні, а для плунжерів і роторне хромування.

Перевищення приросту розмірів деталей після цих способів відновлення над їх максимальним зносом до капітального ремонту наведено в табл. 3.

Дані табл. 3 свідчать про достатній запас приросту діаметрів спряжених поверхонь деталей плунжерних пар паливних насосів дизельних двигунів для відновлення їх після капітального ремонту.

Для оцінки якості відновлення деталей плунжерних пар вимірювали мікротвердість їх робочих поверхонь, які наведені в табл. 4.

За даними досліджень (табл.4) нові, зношені і плунжери відновлені по заводському режиму мають мікротвердість поверхні 7930...8350 МПа. Відновлення азотуванням за температури 590...610°C забезпечує дещо меншу мікротвердість поверхонь плунжера і корпуса, яка складає 5530...5720 МПа. Це зумовлено вищою температурою процесу азотування. Але як свідчать досліди [1], виконані на азотованих сталях 28ХМЮА і 40Х, що азотування за вищих температур (620°C) значно перевершують зносостійкість цих сталей, азотованих за температури 560°C, хоч і мають меншу твердість.

Оксикарбонітрування забезпечує мікротвердість робочих поверхонь плунжера і корпуса близьку до азотованих за заводським режимом деталей.

Карбонітрування плунжера дало меншу мікротвердість 6110 МПа робочої поверхні, тоді як поверхня корпуса мала досить високу мікротвердість 8240 МПа.

Найвищу мікротвердість 9560 МПа відновленої поверхні плунжера було досягнуто після роторного хромування.

Для оцінки властивостей відновлених деталей у поверхневому шарі проведені вимірювання мікротвердості в їх перерізі. Результати вимірювання мікротвердості в перерізі відновлених деталей подані на рис. 1 і 2.

Встановлено, що мікротвердість нового (рис. 1, крива 1) і відновленого (рис.1 крива 3) плунжерів на глибині до 0,1 мм складає 7200...7930 МПа. При цьому глибина азотованого (зміцненого) шару склала. 0,2...0,3 мм для нового і зношеного плунжерів. Зношені плунжери навіть мали більшу до 8350...8590 МПа мікротвердість. Товщина зміцненого

шару відновленого за заводським режимом плунжера (рис. 1, крива 3) досягала до 0,35...0,45 мм за більшої (4710...6370 МПа) мікротвердості на такій глибині.

Дослідження мікроструктури нових, зношених і відновлених за заводським режимом плунжерів

засвідчило, що зміцнені шари мають структуру азотистого сорбіту, а серцевини сорбіту, не відрізняються між собою.

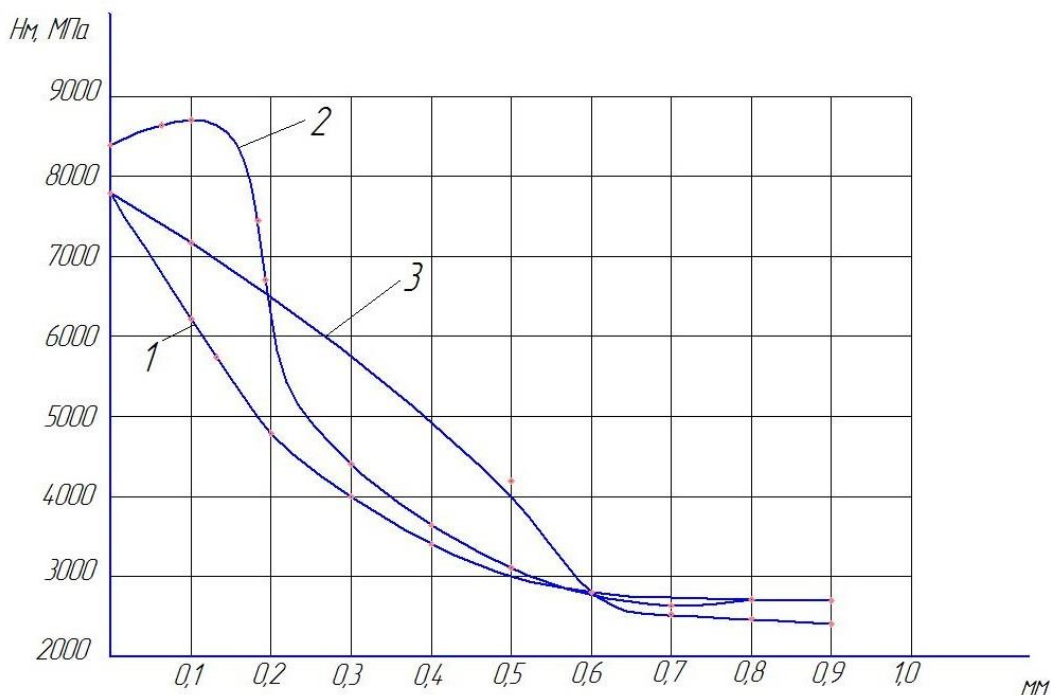


Рис. 1. Мікротвердість у перерізі плунжерів насоса ПНВТ СМД-60: 1 – новий плунжер; 2 – зношений плунжер; 3 – плунжер відновлений азотуванням за заводським режимом.

Fig. 1. Microhardness in cross section of the plunger pump fuel injection pump SMD-60.

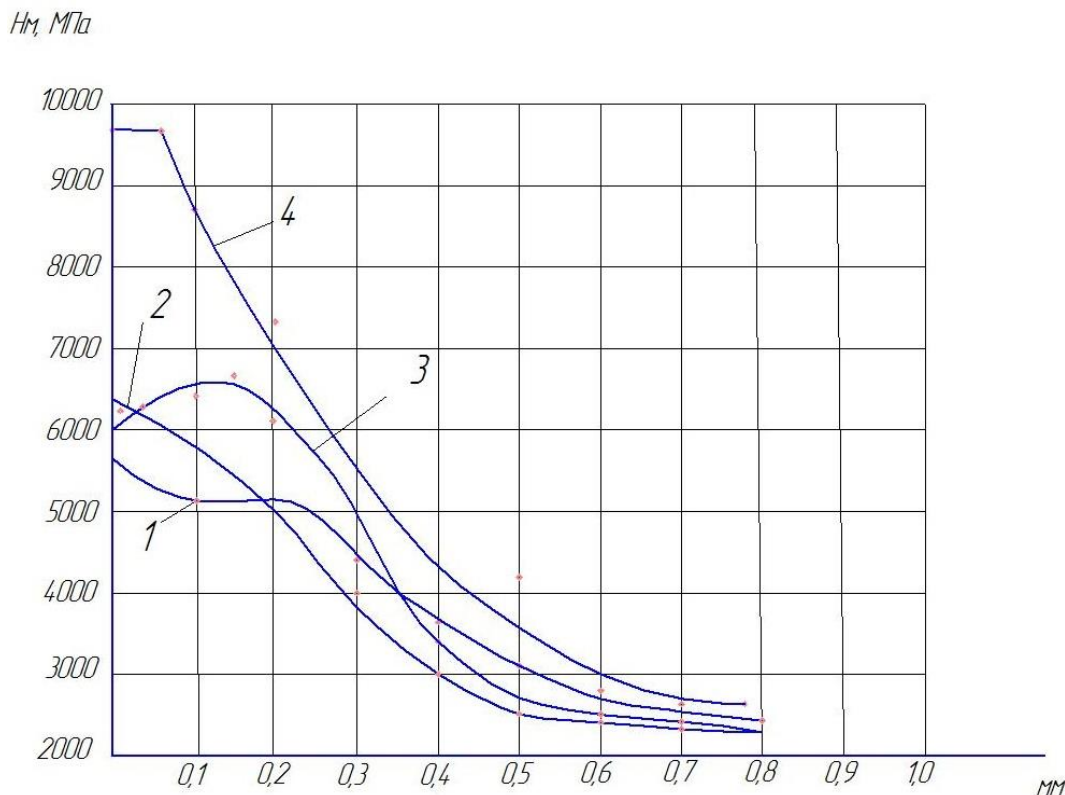


Рис. 2. Мікротвердість у перерізі плунжерів відновлених: 1 – азотуванням за 590...610°C; 2 – карбонітруванням; 3 – оксидуванням; 4 – роторним хромуванням.

Fig. 2. Microhardness in cross section of the restored plungers.

Як засвідчили дослідження відновлення зношених плунжерів азотуванням за температури 590...610°C, 7 год (рис. 2, крива 1) забезпечує дещо меншу мікротвердість 5210...5720 МПа на глибині до 0,15 мм, за дещо більшої глибини азотованого шару 0,35...0,4 мм.

Карбонітрування дає вищу 5350...6110 МПа (рис. 2, крива 2) мікротвердість поверхневого шару на глибині до 0,15 мм ніж азотування за температури 590...610°C (рис. 2, крива 1) при глибині зміцненого шару 0,2...0,3 мм.

Оксікарбонітрування (рис. 2, крива 3) забезпечує ще вищу мікротвердість поверхневого шару ніж карбонітрування, яка на глибині 0,1...0,2 мм складає 6370...6770 МПа за глибини зміцненого шару 0,25...0,35 мм.

Найбільшу мікротвердість 9560...10150 МПа поверхневого шару плунжера забезпечує роторне хромування (рис. 2, крива 4). Товщина шару хрому досягає до 50 мкм. Значного вища мікротвердість 7180...8380 МПа поверхневого шару на глибині до 0,2 мм порівняно з іншими способами відновлення. Крім того загальна товщина зміцненого шару більша і досягає 0,3...0,4 мм.

Мікроструктура серцевини відновлених цими способами плунжерів істотно не відрізняються порівняно із азотуванням за заводським режимом.

Висновки

За результатами виконаних досліджень ефективності способів відновлення деталей плунжерних пар паливних насосів ПНВТ СМД-60 можна зробити такі висновки.

1. Деталі плунжерних пар паливних насосів ТНВД СМД-60 не можна відновити азотуванням за заводським режимом, бо зміна (приріст) діаметрів їх робочих поверхонь складає: для плунжера 12...19 мкм, корпусу 11...21 мкм, дозатора 8...12 мкм, що є недостатнім тому, що максимальний знос складає для плунжера – 10 мкм, корпусу – 14 мкм і дозатора 5 мкм та необхідно виконати шліфування і притирання цих деталей.

2. Азотування за температури 500...520°C і тривалості 26, 52 і 78 год. забезпечує збільшення діаметра плунжера на 3...18 мкм, зменшення діаметрів отвору корпусу на 9...24 мкм і дозатора на 5...18 мкм, що недостатньо для відновлення цих деталей.

3. Ціанування плунжерів тривалістю 5,8 і 10 год. дає приріст його діаметра лише на 9...12 мм, що недостатньо для відновлення.

4. Деталі плунжерних пар можна відновити азотуванням за температури 590...610°C протягом 5 год., оксікарбонітруванням, карбонітруванням і роторним хромуванням.

5. Азотування за температури 590...610°C, 5 год, оксікарбонітрування і карбонітрування забезпечують приріст розмірів відновлених деталей: для плунжера, відповідно, – 20...45 мкм, 18...30 мкм і 37...38 мкм; для корпусу, відповідно, 26...37 мкм; 51...54 мкм і 40...53 мкм; для дозатора, відповідно, –

18...45 мкм; 13...16 мкм і 15...18 мкм, що значно перевершує максимальний знос відповідних деталей.

6. Перевищення приросту розмірів робочих поверхонь деталей плунжерних пар над їх зносом складає:

– після азотування за температури 590...610°C, 5 год для плунжера 10...35 мкм; корпусу – 12...23 мкм і дозатора 13...30 мкм;

– після оксікарбонітрування: для плунжерів 8...20 мкм, корпусу 37...40 мкм, дозатора 13...30 мкм;

– після карбонітрування: для плунжера 27...28 мкм, корпусу 26...29 мкм, дозатора 13-30 мкм;

– після роторного хромування плунжера 38...40 мкм.

7. Мікротвердість поверхні відновлених деталей складає:

– після азотування плунжера за заводським режимом ту ж, що й для нового – 7930 МПа;

– після азотування плунжера і корпусу за температури 590...610°C, 5 год значно менша – 5530...5720 МПа;

– після оксікарбонітрування – 6770...7180 МПа, а карбонітрування – 6110...8240 МПа;

– роторного хромування плунжера – 9560 МПа.

8. Товщина зміцненого шару відновлених деталей складала:

– після азотування за заводським режимом 0,35...0,45 мм при мікротвердості 4710...6370 МПа;

– після азотування за температури 590...610°C – 0,35...0,4 мм при мікротвердості 5210...5720 МПа;

– після карбонітрування 0,2...0,3 мм при мікротвердості 5350...6110 МПа;

– після оксікарбонітрування – 0,25...0,35 мм при мікротвердості 6370...6670 МПа;

– після роторного хромування до 50 мкм при мікротвердості шару 9560...10150 МПа.

Список літератури

1. *Sergejeva N., Aboltins A., Strupule L., Aboltina B.* Mathematical knowledge in elementary school and for future engineers. Proceedings of 17th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 23-25, 2018, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 17, pp. 1166-1172.

2. *Rogovskii I. L.* Analysis of model of recovery of agricultural machines and interpretation of results of numerical experiment. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2016. Вип. 254. С. 424-431.

3. *Rogovskii I. L.* Probability of preventing loss of efficiency of agricultural machinery during exploitation. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 258. С. 399-407.

4. *Rogovskii I. L.* Conceptual framework of management system of failures of agricultural machinery.

Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 262. С. 403-411.

5. *Роговський І. Л.* Загальні теоретичні положення технічного контролю паливної апаратури сільськогосподарських машин за параметрами процесу паливоподачі. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 275. С. 356-371.

6. *Роговський І. Л.* Основні чинники забезпечення продуктивності процесів відновлення працездатності сільськогосподарських машин. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2018. Вип. 282. С. 379-394.

7. *Роговський І. Л.* Методологічні підходи ефективності забезпечення коефіцієнта готовності сільськогосподарських машин. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research.* Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No 1, P. 177-187.

machinery. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. Vol. 10, No 1, 177-187.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СПОСОБОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПЛУНЖЕРНЫХ ПАР ТОПЛИВНЫХ НАСОСОВ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

*П. С. Попик, Л. Л. Роговский, О. Н. Вечера,
А. Г. Полищук*

Аннотация. Приведены результаты исследований свойств и размеров деталей плунжерных пар после восстановления азотированием, оксинитруванием, карбонитруванием и роторным хромированием. При восстановлении прецизионных плуженных пар, износ которых измеряется десятками микрометров, есть реальная возможность использовать прирост размеров деталей при химико-термических методов упрочнения.

Ключевые слова: плунжерные пары, способы восстановления, свойства, прирост размеров.

References

1. *Sergejeva N., Aboltins A., Strupule L., Aboltina B.* (2018). Mathematical knowledge in elementary school and for future engineers. Proceedings of 17th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 23-25, 2018, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 17, 1166-1172.

2. *Rogovskii I. L.* (2016). Analysis of model of recovery of agricultural machines and interpretation of results of numerical experiment. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and Energy of APK. Kyiv. Vol. 254. 424-431.

3. *Rogovskii I. L.* (2017). Probability of preventing loss of efficiency of agricultural machinery during exploitation. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and Energy of APK. Kyiv. Vol. 258. 399-407.

4. *Rogovskii I. L.* (2017). Conceptual framework of management system of failures of agricultural machinery. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and Energy of APK. Kyiv. Vol. 262. 403-411.

5. *Rogovskii I. L.* (2017). General theoretical principles of technical control of fuel equipment of agricultural machinery on the parameters of the process fuel. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and Energy of APK. Kyiv. Vol. 275. 356-371.

6. *Rogovskii I. L.* (2018). Main factors for the productivity of processes of restoration of agricultural machinery. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and Energy of APK. Kyiv. Vol. 282. 379-394.

7. *Rogovskii I. L.* (2019). Methodological approaches of efficiency ensure availability of agricultural

EFFECTIVENESS OF METHODS TO RESTORE PARTS OF PLUNGER PAIRS OF FUEL PUMPS OF DIESEL ENGINES AGRICULTURAL MACHINERY

*P. S. Popyk, L. L. Rogovskii, O. M. Vechera,
O. G. Polischuk*

Abstract. The results of studies of the properties and dimensions of the parts of the plunger after re-nitriding, oksnerhallen, carbontrust and rotary chrome. When you restore precision plugina pairs, the depreciation of which is measured in tens of micrometers, there is a real opportunity to use the increase in size of parts in chemical and thermal methods of hardening.

Key words: plunger pair, recovery methods, properties, increase in size.

П. С. Попик ORCID 0000-0002-1320-3603.

Л. Л. Роговський ORCID 0000-0002-6957-1616.

О. М. Вечера ORCID 0000-0002-8828-7119.

О. Г. Поліщук ORCID 0000-0002-8435-2876.

УДК 631.171.075.3

ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ДЛЯ ЕКОНОМІЧНОГО АНАЛІЗУ НАДІЙНОСТІ ТВАРИННИЦЬКОЇ ТЕХНІКИ

Н. І. Болтянська¹, О. О. Заболотько²

¹Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, Україна.

²Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Кореспонденція авторів: nataliia.boltianska@tsatu.edu.ua.

Історія статті: отримано – квітень 2019, акцентовано – червень 2019.

Бібл. 19, рис. 0, табл. 0.

Анотація. В сьогоденні умовах, коли спостерігається старіння машинно-тракторного парку в тваринництві особливо гостро стає проблема ефективного використання вітчизняної і зарубіжної техніки. Крім того, велика увага приділяється проблемі підвищення якості та надійності розроблюваних вітчизняних машин і устаткування. Вимоги до техніки безперервно зростають як до якості, так і діапазону виконання сільськогосподарських робіт і операцій, підвищення надійності і продуктивності. Це призводить до збільшення завантаженості машин. З іншого боку, збільшення напруження на кожен агрегат призводить до збільшення відмов, а відповідно і часу перебування машин і устаткування в ремонті, тому забезпечення надійності окремих деталей і складальних одиниць, а також тваринницької техніки в комплексі має вирішальне значення. При низькій надійності машин відбувається збільшення простоїв, браку продукції, що виготовляється, витрат на обслуговування і ремонт, а отже, зниження продуктивності і підвищення собівартості продукції. Річне напруження машин і їх надійність залежать, в основному, від умов і рівня їх використання і обслуговування, які включають: якість виконання операцій технічного обслуговування і ремонту, кваліфікацію обслуговуючого персоналу, стан виробничої бази, природно-кліматичні умови. Означено, що основними кількісними показниками для економічного аналізу надійності машин є: вартість заходів по підвищенню надійності, економічний ефект від підвищення надійності та термін окупності заходів з підвищення надійності. Наведено рівняння для визначення терміну окупності заходів щодо підвищення надійності та експлуатаційних витрат з підвищенням надійності. Визначено умову економічної доцільності проведення робіт по підвищенню рівня надійності.

Ключові слова: тваринництво, машинно-тракторний парк, ефективне використання, підвищення надійності, економічна доцільність.

Постановка проблеми

В сьогоденні умовах, коли спостерігається старіння машинно-тракторного парку в тваринництві осо-

бливо актуальною стає проблема ефективного використання вітчизняної і зарубіжної техніки. Крім того, велика увага приділяється проблемі підвищення якості та надійності розроблюваних вітчизняних машин і устаткування.

Проблема забезпечення якості продукції завжди привертала увагу учених, виробників і експлуатувальників [1-4].

Ще гостріше вона стоїть в даний час у зв'язку з переходом на ринкові умови господарювання, загостренням конкуренції вітчизняних товаровиробників, як між собою, так і з іноземними фірмами.

Особливе значення має підвищення якості продукції у галузі машинобудування, рівень якої визначає темпи технічного прогресу в решті всіх галузей.

При цьому підвищення якості продукції повинне здійснюватися з урахуванням економічної доцільності, оскільки межі підвищення якості визначаються зрештою не технічними можливостями, а економічною ефективністю [5-9].

Аналіз останніх досліджень

Основою для економічної оцінки і встановлення оптимальних термінів служби машин, що кількісно виражають їх довговічність є дані про зміну поточних і капітальних витрат при використанні техніки через фізичний і моральний знос.

Економічні наслідки цього у загальних рисах вивчені, проте практично відсутнє теоретичне обґрунтування залежностей зміни витрат в часі, конкретний вид цих функцій, недостатня диференціація цих витрат по статтях калькуляції [10, 11].

Питанням забезпечення надійності тваринницької техніки, підтримання її в робочому стані та ефективного її використання приділяли увагу такі науковці: А.І. Бойко, А.В. Новицький, З.В. Ружи́ло, С.В. Кропивко, В.С. Лове́йкін, К.І. Почка та ін. Але на даний час залишається невирішеними ще дуже багато питань [12-15].

Мета досліджень

Мета досліджень полягає у визначенні основних кількісних показників для економічного аналізу надійності тваринницької техніки: термін окупності заходів щодо підвищення надійності та експлуатаційні витрати з підвищенням надійності та визначенні умови економічної доцільності проведення робіт по підвищенню рівня надійності.

Результати досліджень

Вимоги до техніки безперервно зростають як до якості, так і діапазону виконання сільськогосподарських робіт і операцій, підвищення надійності і продуктивності. Це призводить до збільшення завантаженості машин. Надійність - одна з головних оцінок якості та експлуатаційних переваг техніки.

З іншого боку, збільшення напруження на кожен агрегат призводить до збільшення відмов, а відповідно і часу перебування машин і устаткування в ремонті, тому забезпечення надійності окремих деталей і складальних одиниць, а також тваринницької техніки в комплексі має вирішальне значення. При низькій надійності машин відбувається збільшення простоїв, браку продукції, що виготовляється, витрат на обслуговування і ремонт, а отже, зниження продуктивності і підвищення собівартості продукції. Крім того, у ряді галузей, наприклад, сільському господарстві і виробництві продуктів харчування, це призводить до безповоротної втрати урожаю, молока і інших продуктів харчування.

Встановлення оптимальних термінів машини і оцінку їх надійності необхідно розглядати спільно з системою ремонту, оскільки вона визначає швидкість фізичного зносу машин, а звідси безвідмовність і довговічність. Забезпечення надійності машин - проблема комплексна. Вона починається на етапі проектування машини, закладається при її виробництві, реалізується на етапі експлуатації і підтримується за допомогою системи технічного обслуговування і ремонту до закінчення терміну служби машини.

За відсутності необхідного рівня надійності техніки відбувається передчасне вибуття її з процесу виробництва, тобто передчасне списання. Для того, щоб забезпечити виконання завдань, що стоять перед конкретною галуззю, наприклад, сільським господарством, транспортом, будівництвом, необхідно буде збільшити виробництво машин, що практично неможливо зробити в сучасних умовах через відсутність капітальних додаткових вкладень і недоліку оборотних коштів у підприємств. В той же час, якщо навіть на етапах проектування і виробництва вдалося закласти і забезпечити необхідну надійність машин, то реалізація цієї потенційно високої надійності залежить від умов експлуатації техніки і, перш за все від системи її обслуговування і ремонту та якості їх проведення. Для повної реалізації потенційної надійності необхідно керувати процесом експлуатації машин за рахунок створення і використання оптимальної системи їх технічного обслуговування та ремонту і науково-обґрунтованих до-

ремонтних, міжремонтних і повних ресурсів та термінів служби виробів. Повна реалізація надійності техніки, що закладено на етапах проектування і виробництва дозволить підвищити її продуктивність, а отже і поліпшити всі економічні показники роботи без використання капітальних додаткових вкладень і значного збільшення оборотних коштів [9,10].

Встановлення і дотримання оптимальних термінів служби машин - одна з головних умов підвищення ефективності виробництва як в окремо взятому підприємстві, так і в галузях виробництва в цілому. Із всіх властивостей надійності найбільший вплив на кінцеві економічні результати роботи машин і устаткування надає довговічність і безвідмовність, оскільки їх рівень визначає величину витрат на капітальні і поточні ремонти, на усунення відмов в процесі експлуатації техніки, а звідси показники економічної ефективності її застосування.

Інші властивості, що є складовими частинами надійності: ремонтпридатність і збереженість, закладаються, в основному, на етапі проектування і істотно вплинути на них в процесі експлуатації машини важко. Велика частина вітчизняної і зарубіжної літератури, головним чином, присвячена питанням загальної економічної оцінки впливу фізичного і морального зносу на економічні результати роботи машин. При цьому часто не враховуються особливості конструкції машин, системи обслуговування, структура ремонтного циклу і оптимальні терміни служби машин. Методично правильне рішення задачі можливе тільки, коли дослідження проводиться з урахуванням вищезазначених чинників, оскільки для різних типів машин і різних сфер їх використання існують значні відмінності в підходах до забезпечення надійності в процесі їх експлуатації, наприклад, авіація, наземний транспорт, сільське господарство і тому подібне [16,17].

Забезпечення надійності машин - проблема комплексна. Вона починається на етапі проектування машини, закладається при її виробництві, реалізується на етапі експлуатації і підтримується за допомогою системи технічного обслуговування і ремонту до закінчення терміну служби машини. Ефективність використання потенційної надійності виробу, закладеної на етапах проектування і виробництва, головним чином залежить від системи обслуговування і ремонту техніки і якості їх проведення. Для повної реалізації потенційної надійності машини необхідно, щоб система технічного обслуговування і ремонту, а також міжремонтні ресурси і термін служби машини були науково обґрунтованими. Це дозволить підвищити експлуатаційну надійність машин, а, отже, їх продуктивність і поліпшити всі економічні показники роботи без використання додаткових капітальних вкладень і значного збільшення оборотних коштів [18,19].

З точки зору надійності необхідно підвищувати безвідмовність і коефіцієнт готовності машин і устаткування, що є важливою, актуальною задачею в даний час.

Основними кількісними показниками для економічного аналізу надійності машин є:

- вартість заходів по підвищенню надійності ΔE_1 ;
- економічний ефект від підвищення надійності ΔE_2 ;

• термін окупності заходів з підвищення надійності η .

Перший показник визначається за формулою:

$$\Delta E_1 = \Delta E_0 \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_n} \right)^\alpha \quad (1)$$

де ΔE_0 - вартість витрат по забезпеченню надійності старого блоку з інтенсивністю відмов λ_0 ;

λ_1 - інтенсивність відмов блоку з підвищеним рівнем надійності ($\lambda_0 > \lambda_n$);

$\alpha = 0,5 \dots 1,5$ - коефіцієнт, що залежить від якості виготовлення блоку. При експоненціальному законі розподілу відмов маємо

$$\Delta E_1 = \Delta E_0 \left(\frac{\ln P_0(t)}{\ln P_n(t)} \right)^\alpha \quad (2)$$

де $P_0(t)$ і $P_n(t)$ - відповідно ймовірності безвідмовної роботи старого і нового блоків.

Економічний ефект від підвищення надійності обчислюється за такою формулою

$$\Delta E_2(t) = (e^{-\lambda_0 t} - e^{-\lambda_n t}) A \cdot z \quad \Delta E_2(t) = (e^{-\lambda_0 t} - e^{-\lambda_n t}) A \cdot z(3)$$

де A - річний випуск блоків;

z - собівартість одного блоку;

t - час, що минув з моменту підвищення надійності.

Якщо підвищення рівня надійності збільшує собівартість блоку від величини z_0 до z_n ($z_n > z_0$), то

$$\Delta E_2(t) = (e^{-\lambda_0 t} - J \cdot e^{-\lambda_n t}) A \cdot z_n \quad (4)$$

де $J_z = \frac{z_n}{z_0} > 1$ - індекс собівартості одиниці нового варіанту блоку в порівнянні зі старим [10].

Термін окупності η заходів щодо підвищення надійності визначається за формулою

$$\eta = \frac{\ln J_z}{\lambda_0 - \lambda_n} \quad (5)$$

Показник η не повинен бути занадто великий, тому що економічний ефект ΔE_2 може бути не реалізований.

Тому приймають, що термін окупності не повинен перевищувати половину середнього часу безвідмовної роботи старого варіанту машини, тобто

$$\eta \leq 0,5 \cdot T_{cp}^0 = \frac{1}{2} \lambda_0 \quad (6)$$

В такому випадку умова економічної доцільності проведення робіт по підвищенню рівня надійності машин набуде вигляду

$$\frac{\lambda_0 - \lambda_n}{2\lambda_0} \geq \ln \frac{z_n}{z_0} \quad (7)$$

Експлуатаційні витрати з підвищенням надійності зменшуються за залежністю:

$$C_e(t) = R_n \frac{T_p}{t} [-\ln P_n(t)] \quad (8)$$

де R_n - середня вартість однієї відмови нової машини;

T_p - середній ресурс нової машини.

служби машини були науково обґрунтованими. Наведено рівняння для визначення терміну окупності заходів щодо підвищення надійності та експлуатаційних витрат з підвищенням надійності. Визначено умову економічної доцільності проведення робіт по підвищенню рівня надійності.

Список літератури

1. Болтянська Н. І. Сучасний стан машинно-тракторного парку підприємств агропромислового комплексу. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. 2008. Вип. 36. С. 3-7.

2. Роговський І. Л. Методологічні підходи ефективності забезпечення коефіцієнта готовності сільськогосподарських машин. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No 1, P. 177-187.

3. Молодик М. В. Оцінювання надійності машин при експлуатації, технічному обслуговуванні і ремонті. Механізація та електрифікація сільського господарства. 2008. Вип. 92. С. 381-389.

4. Болтянський О. В., Болтянська Н. І. Використання нанотехнологій при безрозбірному сервісі автотракторної техніки. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: Наукове фахове видання. 2011. Вип. 11. Т. 2. С. 97-102.

5. Скляр О. Г., Болтянська Н. І. Механізація технологічних процесів у тваринництві: навч. посібник. Колор Принт, 2012. 720 с.

6. Роговський І. Л. Основні чинники забезпечення продуктивності процесів відновлення працездатності сільськогосподарських машин. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2018. Вип. 282. С. 379-394.

7. Болтянський О. В., Болтянська Н. І. Аналіз основних тенденцій розвитку світової та вітчизняної сільськогосподарської техніки для рослинництва. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2011. Вип. 166, ч. 1. С. 255-261.

8. Rogovskii I. L. Conceptual framework of management system of failures of agricultural machinery. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 262. С. 403-411.

9. Болтянская Н. І. Анализ основных направлений ресурсосбережения в животноводстве. Motrol: Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa. 2016. Vol. 18. No 13, b. P. 49-54.

10. Лезина Е. Г. Влияние безотказности на экономическую эффективность машин. Межвузовский сборник научных трудов. 2000. №7. С. 215.

11. Болтянська Н. І. Зміни техніко-експлуатаційних показників МЕЗ під впливом на них надійності. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2009. Вип. 89. С. 106-111.

12. Скляр О. Г., Болтянська Н. І. Основи проектування тваринницьких підприємств: підручник. Видавничий дім «Кондор», 2018. 380 с.

Висновки

1. Для повної реалізації потенційної надійності машини необхідно, щоб система технічного обслуговування і ремонту, а також міжремонтні ресурси і термін

13. Болтянський О. В., Болтянська Н. І. Аналіз шляхів підвищення ефективності використання машино-тракторного парку. Праці ТДАТУ. 2014. Вип. 14. Т. 4. С. 204-209.

14. Лімонт А. С. Теоретичні основи забезпечення працездатності машин. Навч. посіб. Житомир: ДАУ, 2008. 420 с.

15. Болтянський О. В., Болтянська Н. І. Екологічна безпека виробництва та зменшення витрат матеріальних і енергетичних ресурсів для отримання сільськогосподарської продукції. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2015. Вип. 212, ч. 1. С. 275-283.

16. Заболотько О. О., Болтянська Н. І. Показники експлуатаційної безвідмовності фермського обладнання. Збірник тез доповідей IV Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» 2017. С. 155-158.

17. Болтянська Н. І. Забезпечення якості продукції у галузі сільськогосподарського машинобудування. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2014. Вип. 196, ч. 1. С. 239-245.

18. Лычева В. В. Формирование себестоимости продукции в сельском хозяйстве: проблемы оценки затрат. Межвузовский сборник научных трудов. 2000. №6. С. 104.

19. Некрасов С. С. Экономические критерии предельного состояния сложных машин. Механизация и электрификация сельского хозяйства. №4. 1999. С. 20-23.

References

1. Boltyanska N. I. (2008). The current state of the machine-tractor fleet of enterprises in the agro-industrial complex. Proceedings of the Tavrida State Agrotechnological University. No. 36, 3-7.

2. Rogovskii I. L. (2019). Methodological approaches of efficiency ensure availability of agricultural machinery. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. Vol. 10, No 1, 177-187.

3. Molodyk M. V. (2008). Evaluation of machine reliability during operation, maintenance and repair. Mechanization and electrification of agriculture. No. 92. 381-389.

4. Boltyansky O. V., Boltyansky N. I. (2011). Use of nanotechnology in the indiscriminate service of autotractor technology. Issue 11. Vol. 2. 97-102.

5. Sklar O. G., Boltyansky N. I. (2012). Mechanization of technological processes in animal husbandry: textbook. manual. Color Print. 720.

6. Rogovskii I. L. (2018). Main factors for the productivity of processes of restoration of agricultural machinery. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and Energy of APK. Kyiv. Vol. 282. 379-394.

7. Boltyansky O. V., Boltyansky N. I. (2011). An analysis of the main trends in the development of world and domestic agricultural machinery for crop production. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and Energy of APK. Kyiv. Vol. 166, Part 1. 255-261.

8. Rogovskii I. L. (2017). Conceptual framework of management system of failures of agricultural machinery. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and Energy of APK. Kyiv. Vol. 262. 403-411.

9. Boltyanskaya N. I. (2016). Analysis of the main areas of resource conservation in animal husbandry. Motrol: Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa. Vol. 18. No 13, b. 49-54.

10. Lezina E. G. (2000). The impact of dependability on the economic efficiency of machines. Interuniversity collection of scientific papers. Number 7. 215.

11. Boltyanskaya N. I. (2009). Changes in MEZ technical and operational performance under the influence of their reliability. Bulletin of the Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Peter Vasylenko. Vol. 89. 106-111.

12. Sklar O. G., Boltyansky N. I. (2018). Fundamentals of Livestock Enterprise Design: A Textbook. Condor Publishing House, 380.

13. Boltyansky O. V., Boltyansky N. I. (2014). Analysis of ways of increasing the efficiency of the use of the machine-tractor park. Against TDAT. No. 14. Vol. 4. 204-209.

14. Limont A. S. (2008). Theoretical foundations of machine performance. Educ. tool. Zhytomyr: GAU. 420.

15. Boltyansky O. V., Boltyansky N. I. (2015). Environmental safety of production and reduction of material and energy resources consumption for agricultural production. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and Energy of APK. Kyiv. Vol. 212, Part 1. 275-283.

16. Zabolotko O. O., Boltyanskaya N. I. (2017). Performance indicators of farm equipment. Proceedings of the IV International Scientific and Technical Conference "Kramar Readings". 155-158.

17. Boltyanskaya N. I. (2014). Product quality assurance in the field of agricultural machinery. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and Energy of APK. Kyiv. Vol. 196, Part 1. 239-245.

18. Lycheva V. V. (2000). Formation of production costs in agriculture: problems of cost estimation. Interuniversity collection of scientific papers. No. 6. 104.

19. Nekrasov S. S. (1999). Economic criteria for the limit state of complex machines. Mechanization and electrification of agriculture. Number 4. 20-23.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ ЭКОНОМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ ЖИВОТНОВОДЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Н. И. Болтянская, О. А. Заболотько

Аннотация. В современных условиях, когда наблюдается старение машинно-тракторного парка в животноводстве особенно остро стоит проблема эффективного использования отечественной и зарубежной техники. Кроме того, большое внимание уделяется проблеме повышения качества и надежности разрабатываемых отечественных машин и оборудования. Требования к технике непрерывно растут как к качеству, так и диапазону выполняемых работ и операций,

повышения надежности и производительности. Это приводит к увеличению загруженности машин. С другой стороны, увеличение наработки на каждый агрегат приводит к увеличению отказов, а соответственно и времени пребывания машин и оборудования в ремонте, поэтому обеспечение надежности отдельных деталей и сборочных единиц, а также животноводческой техники в комплексе имеет решающее значение. При низкой надежности машин происходит увеличение простоев, брака изготавливаемой продукции, расходов на обслуживание и ремонт, а следовательно, снижение производительности и повышение себестоимости продукции. Годовое наработки машин и их надежность зависят, в основном, от условий и уровня их использования и обслуживания, которые включают: качество выполнения операций технического обслуживания и ремонта, квалификации обслуживающего персонала, состояние производственной базы, природно-климатических условий. Отмечено, что основными количественными показателями для экономического анализа надежности машин являются: стоимость мероприятий по повышению надежности, экономический эффект от повышения надежности и срок окупаемости мероприятий по повышению надежности. Приведены уравнения для определения срока окупаемости мероприятий по повышению надежности и эксплуатационных расходов с повышением надежности. Определены условия экономической целесообразности проведения работ по повышению уровня надежности.

Ключевые слова: животноводство, машинно-тракторный парк, эффективное использование, повышение надежности, экономическая целесообразность.

conditions. It is noted that the main quantitative indicators for the economic analysis of the reliability of machines are: the cost of measures to improve reliability, the economic effect of increasing reliability and the payback period of measures to improve reliability. The equations for determining the payback period of measures to improve the reliability and operating costs with increased reliability are given. The conditions for the economic feasibility of work to improve the level of reliability are determined.

Key words: animal husbandry, machine and tractor fleet, efficient use, increased reliability, economic feasibility.

Н. І. Болтянська ORCID 0000-0002-7887-4715.

О. О. Заболотько ORCID 0000-0003-1024-7798.

ECONOMIC COMPONENT OF ENSURING LEVEL OF RELIABILITY OF AGRICULTURAL MACHINERY

N. I. Boltianska., O. O. Zabolotko

Abstract. In today's conditions, when an aging machine and tractor park is observed in animal husbandry, the problem of the effective use of domestic and foreign equipment is particularly acute. In addition, much attention is paid to the problem of improving the quality and reliability of the developed domestic machines and equipment. Requirements for technology are constantly growing as to the quality and range of work and operations performed, increasing reliability and productivity. This leads to an increase in the workload of the machines. On the other hand, an increase in operating time for each unit leads to an increase in failures and, accordingly, the residence time of machinery and equipment under repair, therefore ensuring the reliability of individual parts and assembly units, as well as livestock equipment in the complex, is crucial. With low reliability of machines there is an increase in downtime, defective manufactured products, the cost of maintenance and repair, and consequently, a decrease in productivity and an increase in the cost of production. The annual operating time of the machines and their reliability depend mainly on the conditions and the level of their use and maintenance, which include: the quality of maintenance and repair operations, the qualifications of the maintenance personnel, the state of the production base, and climatic

УДК 621.311

ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЬ РОЗТАШУВАННЯ ДЖЕРЕЛ РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ ТА ВЕЛИЧИН ЇХ ПОТУЖНОСТІ В РАДІАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ НАПРУГОЮ 35 кВ

Д. П. Кожан

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Кореспонденція автора: kozhan14@i.ua.

Історія статті: отримано – квітень 2019, акцептовано – червень 2019.

Бібл. 11, рис. 1, табл. 5.

Анотація. Запропонований підхід щодо математичних моделей визначення економічно доцільних місць розташування та обґрунтованих величин потужностей джерел розподіленої генерації (ДРГ) при впровадженні їх в радіальних розподільних електричних мережах напругою 10 кВ [4–6], рекомендується використати і для радіальних розподільних мереж напругою 35 кВ, що живляться від системного електропостачання. При цьому в економічно доцільних місцях розташування ДРГ враховується принцип рівності модулів напруги і їх кутів як критерій мінімізації втрат активної потужності та стабілізації рівнів напруги при зміні експлуатаційного режиму електричної мережі напругою 35 кВ.

Економічно доцільні місця розташування ДРГ визначаються по найбільшому значенню вузлових питомих транспортних витрат (ПТВ) в кожному окремому взятому відгалуженні мережі, а величини активних і реактивних потужностей у відповідних місцях визначаються згідно математичної моделі усталеного режиму з можливістю реалізації вибору складу відомих та пошукових вузлових характеристик.

Проведені та представлені в якості доказової бази експериментальні модельні дослідження щодо ефективності використання запропонованого в [4–6] підходу при впровадженні ДРГ в радіальних розподільних мережах напругою 35 кВ.

Ключові слова: розподільна електрична мережа, системне електропостачання, джерело розподіленої генерації, градієнтний метод, питомі транспортні витрати.

Постановка проблеми

Широке впровадження ДРГ (таких як, перетворювачі сонячної і вітрової енергії, ГЕС на малих ріках і т. п.) в радіальних розподільних електричних мережах напругою 6–35 кВ забезпечує чистоту навколишнього середовища, зменшує як витрати паливних і водних ресурсів, так і втрати електроенергії в мережах за рахунок наближення виробників електричної енергії до споживачів [1].

Однак, виникають проблемні питання пов'язані як з режимами напруги в мережі з ДРГ [8], так і з

впливом ДРГ на властивості централізованого системного електропостачання [7].

При цьому одними із важливих питань є визначення економічно доцільних місць розташування ДРГ та обґрунтованих величин їх потужностей в розподільних мережах різного рівня напруги з врахуванням розподілу між живлячими мережу об'єктами [2, 3, 9–11].

Для вирішення вище вказаних питань щодо мереж напругою 35 кВ в даній статті пропонується запропонований і успішно вирішений в [4–6] підхід в два етапи:

1) визначення економічно доцільних місць розташування ДРГ згідно величин вузлових ПТВ;

2) визначення обґрунтованих величин активних і реактивних або тільки активних потужностей ДРГ в місцях економічного їх розташування за допомогою математичної моделі усталеного режиму з можливістю реалізації вибору складу відомих та пошукових вузлових характеристик.

Аналіз останніх досліджень

Питанням щодо визначення економічно доцільних місць розташування та обґрунтованих величин потужності ДРГ в радіальних розподільних електричних мережах займалися у різні часи такі вчені як Jegadeesan M. [9], Nitin Singh [10], Haesen E. [11], Воропай М.І., Кириленко О.В., Лежнюк П.Д., Козирський В.В. [3], Кирик В.В. [2], Тугай Ю.І., Кулик В.В. та інші.

Мета досліджень

Мета досліджень полягає в обґрунтуванні ефективності використання математичних моделей визначення економічно доцільних місць розташування та величин потужності ДРГ запропонованих в [4–6] при впровадженні малої генерації в радіальних розподільних електричних мережах напругою 35 кВ, що живляться від системного електропостачання.

Результати досліджень

Як і в [4–6] для визначення економічно доцільних місць розташування ДРГ в радіальних розподільних електричних мережах напругою 35 кВ, які живляться від системного електропостачання, використано градієнтний метод, який реалізує вузлові ПТВ на передачу активної і реактивної потужностей по елементах електричної мережі. Математична модель вказаного методу на основі лінеаризованої системи рівнянь має вид

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial \varepsilon_i^P}{\partial P_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^P}{\partial Q_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^P}{\partial \theta_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^P}{\partial U_i} \\ \frac{\partial \varepsilon_i^Q}{\partial P_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^Q}{\partial Q_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^Q}{\partial \theta_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^Q}{\partial U_i} \end{bmatrix}^T \times \begin{bmatrix} \frac{\partial \pi}{\partial P_i} \\ \frac{\partial \pi}{\partial Q_i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \pi}{\partial \theta_i} \\ \frac{\partial \pi}{\partial U_i} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

де: $[\]^T$ – транспонована матриця частинних похідних (матриця Якобі) елементами якої є частинні похідні від небалансів активних і реактивних потужностей у вузлах схеми електричної мережі

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_i^P &= P_i + U_i^2 G_{ii} - \sum U_i U_j [G_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j) + B_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j)] \\ \varepsilon_i^Q &= Q_i - U_i^2 B_{ii} - \sum U_i U_j [G_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j) - B_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j)] \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

по відповідних пошукових вузлових характеристиках P_i, Q_i, θ_i і U_i , ε – символ нев'язки, i – індекс вузла, який розглядається, j – поточний індекс вузла, який має безпосередній електричний зв'язок з вузлом що розглядається, $G_{ii}, B_{ii}, G_{ij}, B_{ij}$ – відповідно власні та взаємні активні і реактивні провідності ділянок мережі (дійсні та уявні складові елементів матриці вузлової провідності), $\theta_i, \theta_j, U_i, U_j$ – кути (фази) та модулі напруги i – го і j – го вузлів, P_i, Q_i – задані значення вузлових потужностей, π – сумарні втрати активної потужності в елементах схеми електричної мережі

$$\pi = \sum_{K=1}^m [U_i^2 + U_j^2 - 2U_i U_j \cos(\theta_i - \theta_j)] G_{ij}, \quad (3)$$

m – кількість ділянок мережі в якій пропонується встановлення ДРГ, $\partial \pi / \partial P_i$ – витрати активної потужності на транспорт одиниці активної потужності до i – го вузла схеми, $\partial \pi / \partial Q_i$ – витрати активної потужності на транспорт одиниці реактивної потужності до i – го вузла схеми, $\partial \pi / \partial \theta_i$ – похідна від сумарних втрат активної потужності в елементах мережі по куту напруги i – го вузла схеми

$$\frac{\partial \pi}{\partial \theta_i} = \sum_{j=1}^n [2U_i U_j \sin(\theta_i - \theta_j)] G_{ij}, \quad (4)$$

$\partial \pi / \partial U_i$ – похідна від сумарних втрат активної потужності в елементах мережі по модулю напруги i – го вузла схеми

$$\frac{\partial \pi}{\partial U_i} = \sum_{j=1}^n [2U_i - 2U_j \cos(\theta_i - \theta_j)] G_{ij}, \quad (5)$$

n – кількість ділянок мережі, що примикають до i – го вузла схеми.

Величини вузлових ПТВ $\partial \pi / \partial P_i$ і $\partial \pi / \partial Q_i$ визначаються для всіх вузлів схеми електричної мережі на основі результатів розрахунків режимів її максимального або перспективного вузлового навантаження.

Максимальні значення вузлових ПТВ $\partial \pi / \partial P_i$ і $\partial \pi / \partial Q_i$ вказують на найбільш економічно доцільні місця встановлення джерел відповідно активної і реактивної потужностей.

В розімкнених мережах напругою 35 кВ, які мають декілька відгалужень від вузла системного живлення, максимальні значення вузлових ПТВ, а відповідно і найбільш економічно доцільні місця встановлення джерел потужності, визначаються окремо по кожному відгалуженню.

Для визначення обґрунтованих величин потужностей джерел активної і реактивної або тільки активної генерації використано модифікований метод Ньютона [5] матриця частинних похідних якого на відміну від класичного методу Ньютона включає частинні похідні $\partial \varepsilon_i^P / \partial P_i$, $\partial \varepsilon_i^P / \partial Q_i$, $\partial \varepsilon_i^Q / \partial P_i$ і $\partial \varepsilon_i^Q / \partial Q_i$. Ітераційний процес модифікованого методу виглядає згідно (2) як

$$\begin{bmatrix} P_i \\ Q_i \\ \theta_i \\ U_i \end{bmatrix}^{(K+1)} = \begin{bmatrix} P_i \\ Q_i \\ \theta_i \\ U_i \end{bmatrix}^{(K)} - \begin{bmatrix} \frac{\partial \varepsilon_i^P}{\partial P_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^P}{\partial Q_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^P}{\partial \theta_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^P}{\partial U_i} \\ \frac{\partial \varepsilon_i^Q}{\partial P_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^Q}{\partial Q_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^Q}{\partial \theta_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^Q}{\partial U_i} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} \varepsilon_i^P \\ \varepsilon_i^Q \end{bmatrix}^{(K)}, \quad (6)$$

При цьому поправки $\delta P_i, \delta Q_i, \delta \theta_i$ і δU_i до невідомих величин в (6) визначаються на кожному кроці ітераційного процесу розв'язанням системи лінійних рівнянь

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial \varepsilon_i^P}{\partial P_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^P}{\partial Q_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^P}{\partial \theta_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^P}{\partial U_i} \\ \frac{\partial \varepsilon_i^Q}{\partial P_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^Q}{\partial Q_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^Q}{\partial \theta_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^Q}{\partial U_i} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \delta P_i \\ \delta Q_i \\ \delta \theta_i \\ \delta U_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varepsilon_i^P \\ \varepsilon_i^Q \end{bmatrix}, \quad (7)$$

Система лінійних рівнянь (7) розв'язується методом найменших квадратів і розглядається як визначена (кількість відомих дорівнює кількості невідомих) з різними комбінаціями відомих і пошукових величин. Виходячи з того, що в електричних системах існує тісний зв'язок між активними потужностями і кутами напруги та реактивними потужностями і модулями напруги, аналіз функції (3) показує, що для всіх генеруючих об'єктів (включаючи джерело системного живлення) розосереджених в електричній мережі рівність їх кутів напруги і (або) рівність модулів напруги призводить до збільшення кутів і (або) модулів напруги як у суміжних вузлах, так і у вузлах споживання між генеруючими об'єктами. При цьому відбувається перерозподіл потужностями між усіма генеруючими об'єктами із зменшенням значення функції (3).

При моделюванні усталеного режиму електричної мережі вибір складу відомих і пошукових вузлових характеристик у місцях розташування ДРГ дозволяє використовувати наступні вузлові моделі:

1) вузли з джерелами активної і реактивної потужності

$$\begin{aligned} U &= \text{const}, \theta = \text{const}, \\ P &= \text{var}, Q = \text{var}; \end{aligned}$$

2) вузли з джерелами тільки активної потужності

$$Q = \text{const}, \theta = \text{const},$$

$$P = \text{var}, U = \text{var};$$

3) вузли з джерелами тільки реактивної потужності

$$\begin{aligned} U &= \text{const}, P = \text{const}, \\ Q &= \text{var}, \theta = \text{var}; \end{aligned}$$

Моделі вузлів 2) і 3) можуть використовуватись в одному і тому ж відгалуженні у різних місцях, коли ПТВ по активній і реактивній потужності не співпадають по максимальній величині. Використання мо-

делі вузла 2) можливе тільки при моделюванні усталеного режиму модифікованим методом Ньютона.

Крім того на відміну від класичного методу Ньютона і його модифікацій використання модифікованого методу Ньютона надає можливість всі пошукові активні і реактивні потужності у вузлах електричної схеми визначати безпосередньо без додаткового їх розрахунку після закінчення ітераційного процесу.

Моделювання щодо вище вказаного підходу в два етапи виконано на прикладі реальної схеми роз-

подільної електричної мережі напругою 35 кВ (рис.1) з параметрами ділянок та величинами вузлового навантаження (згідно відгалужень I, II, III, IV і V), приведені відповідно в табл. 1 і 2.

Схема включає 20 вузлів і 19 ділянок. Вузол живлення має номер 20.

Примітка. Відгалуження I, V, IV, II і III для визначення активних і реактивних потужностей ДРГ, а відгалуження I, V, III, IV і II тільки для активних.

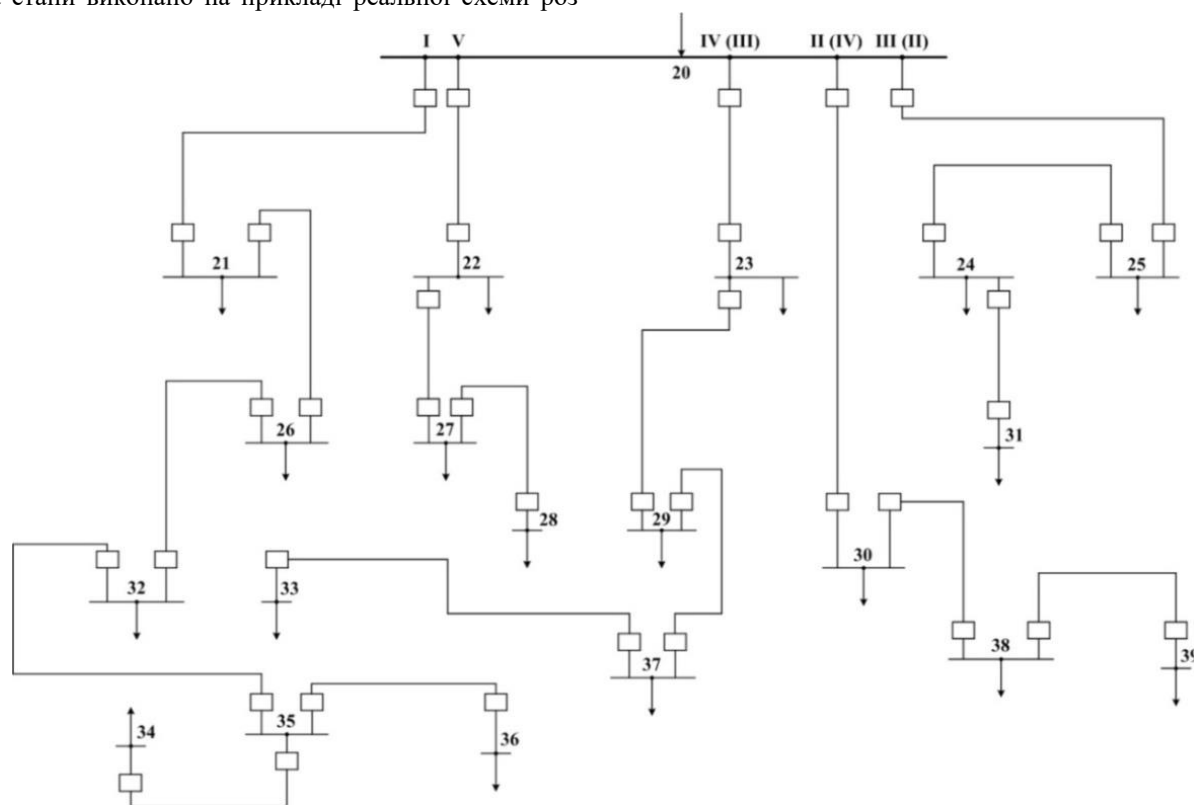


Рис. 1. Схема розподільної електричної мережі напругою 35 кВ.

Fig. 1. The scheme of power distribution networks with voltage of 35 kV.

Таблиця 1. Параметри ділянок мережі.

Table 1. The parameters of the network.

Ділянка мережі	Номинальна напруга, кВ	Марка проводу	Довжина ділянки (L), км	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	R, Ом	X, Ом	КТ, в.о.
20-21	35	АС-150	11	0,198	0,406	2,178	4,466	-
21-26	35	АС-95	4,47	0,306	0,421	1,368	1,882	-
26-32	35	АС-95	11,25	0,306	0,421	3,443	4,736	-
32-35	35	АС-95	25,5	0,306	0,421	7,803	10,74	-
35-34	35	АС-95	2,3	0,306	0,421	0,704	0,968	-
35-36	35	АС-95	10	0,306	0,421	3,06	4,21	-
20-22	35	АС-95	18,49	0,306	0,421	5,658	7,784	-
22-27	35	АС-70	5,15	0,428	0,432	2,204	2,225	-
27-28	35	АС-50	7,36	0,63	0,435	4,637	3,202	-
20-23	35	АС-95	6,5	0,306	0,421	1,989	2,737	-
23-29	35	АС-95	10,95	0,306	0,421	3,351	4,61	-
29-37	35	АС-95	6,2	0,306	0,421	1,897	2,61	-
37-33	35	АС-95	17,21	0,306	0,421	5,266	7,245	-
20-30	35	АС-95	16,41	0,306	0,421	5,021	6,909	-
30-38	35	АС-95	2,13	0,306	0,421	0,652	0,897	-
38-39	35	АС-70	11,5	0,428	0,432	4,922	4,968	-
20-25	35	АС-120	23,4	0,249	0,414	5,827	9,688	-
25-24	35	АС-120	4,95	0,249	0,414	1,233	2,049	-
24-31	35	АС-70	6,4	0,428	0,432	2,739	2,765	-

Таблиця 2. Вузові навантаження мережі в максимальному режимі.**Table 2.** Nodal network load at max.

№ вузла	21	26	32	35	34	36	22	27	28	23	29	37	33	30	38	39	25	24	31
P_n , кВт	2160	1800	2160	0	1800	1800	1150	1150	1300	4320	1050	1350	2160	1450	1800	1400	1800	1800	1070
Q_n , кВар	1040	800	1040	0	870	870	560	700	150	2090	150	1500	1040	950	870	700	870	870	700

Таблиця 3. Розрахункові значення вузових напруг схеми.**Table 3.** The calculated values of the nodal scheme.

№ вузла	21	26	32	35	34	36	22	27	28	23	29	37	33	30	38	39	25	24	31
U , кВ	35,22	34,69	33,67	32,2	32,13	31,91	35,61	35,4	35,22	35,61	34,8	34,41	33,85	35,34	35,24	34,94	35,03	34,83	34,69

Дані щодо результатів моделювання режиму максимального навантаження у виді вузових напруг приведені в табл. 3.

Втрати активної потужності в режимі максимального навантаження реальної розподільної електричної мережі склали $\Delta P = 1246,33$ кВт.

1. Проведені розрахунки вузових ПТВ для активних і реактивних потужностей ДРГ на основі результатів моделювання режиму максимального навантаження реальної схеми, приведені в табл. 4.

Таблиця 4. Результати розрахунку вузових питомих транспортних витрат.**Table 4.** The results of the calculation of nodal transport costs per unit.

Номер вузла схеми	Напруга вузла системного електропостачання	
	36,5 кВ	
	Величини похідних	
	$\partial\pi/\partial P_i$	$\partial\pi/\partial Q_i$
21	-0,00712	0,05811
26	0,00174	0,03550
32	0,02183	0,10071
35	-0,00938	-0,03912
34	-0,00900	-0,03340
36	-0,00346	0,00736
22	0,04198	0,09223
27	0,05365	-0,03782
28	-0,03843	-0,27340
23	0,00593	0,02046
29	0,04071	0,04554
37	0,00371	0,01618
33	0,02539	0,13593
30	0,01257	0,00654
38	-0,02638	-0,05056
39	0,04960	0,02543
25	-0,04780	-0,33159
24	0,04160	-0,24492
31	0,02400	-0,35168

Значення вузових ПТВ у наступних відгалуженнях схеми визначались з врахуванням економічно обґрунтованих потужностей розрахованих у попередніх відгалуженнях.

При цьому максимуму $\partial\pi/\partial P_i$ і $\partial\pi/\partial Q_i$ відповідають вузол 32 відгалуження I, вузол 39 відгалуження II, вузол 24 відгалуження III, вузол 29 відгалуження IV і вузол 27 відгалуження V, що відповідає умовам для розташування в них ДРГ.

2. Згідно з модифікованим методом Ньютона [5], проведені експериментальні дослідження щодо визначення обґрунтованих величин генерації активної і реактивної потужності у вузлах 32, 39, 24, 29 і 27 реальної схеми електричної мережі в порядку зменшення в них ПТВ, але найбільших у відповідному відгалуженні схеми. Експериментальні розрахунки показали, що найбільш ефективним є визначення обґрунтованої величини активної і реактивної генерації при рівності вузових напруг та їх кутів у місцях розташування джерел живлення, включаючи місце системного електропостачання.

Виходячи із рівності напруг та їх кутів усіх джерел живлення величини активної і реактивної генерації у вузлах 32, 39, 24, 29 і 27 реальної схеми електричної мережі визначались при напрузі рівній 36,5 кВ, включаючи вузол системного електропостачання. При цьому величина активної генерації у вузлі 32 складала 7762,5 кВт, реактивної 3644,8 кВар, а втрати активної потужності в мережі зменшились з 1246,33 кВт до 801,13 кВт. Для додаткових розташувань ДРГ у вузлах 39, 24, 29 і 27 величини активної генерації склали 3268,43 кВт, 4360,36 кВт, 6228,56 кВт і 3341 кВт, реактивної 1593,91 кВар, 2293,82 кВар, 3549,93 кВар і 1245,33 кВар із зменшенням втрат активної потужності відповідно до 697,82 кВт, 556,65 кВт, 326,69 кВт та 248,89 кВт. Загальна величина економії становить 1246,33 кВт – 248,89 кВт = 997,44 кВт. Величини реактивних потужностей ДРГ визначались відповідно до рівності модулів вузових напруг, а коефіцієнти їх потужностей склали для вузла 32 – 0,91, для вузла 39 – 0,9, для вузла 24 – 0,9, для вузла 29 – 0,9 і для вузла 27 – 0,94, які знаходяться в границях 0,9 – 0,95, що відповідає технічним характеристикам перетворювачам сонячної та вітрової енергії.

Основні результати приведених вище модельних експериментальних досліджень згідно вибраної для досліджень реальної схеми електричної мережі наведені в табл. 5.

Таблиця 5. Основні результати експериментальних досліджень.**Table 5.** The main results of experimental studies.

Порядок впровадження ДРГ	Місця розташування (вузли)	Модуль напруги, кВ	Генерація активної потужності, кВт	Генерація реактивної потужності, кВар	$\cos \varphi$	Зниження втрат ΔP_{Σ} по схемі, кВт
1	32	36,5	7762,5	3644,8	0,91	801,13
2	39	36,5	3268,43	1593,91	0,9	697,82
3	24	36,5	4360,36	2293,82	0,9	556,65
4	29	36,5	6228,56	3549,93	0,9	326,69
5	27	36,5	3341	1245,33	0,94	248,89

Аналіз модельних експериментальних досліджень показав, що зміна місць розташування ДРГ або збільшення чи зменшення визначеної генерації у вузлах з найбільшими ПТВ призводять до збільшення втрат активної потужності в мережі, що свідчить про економічну доцільність визначених місць розташування та обґрунтованість величин активних і реактивних потужностей ДРГ для заданих умов експлуатації розподільної електричної мережі.

3. Проведені також експериментальні дослідження щодо визначення обґрунтованих величин активних потужностей ДРГ при рівності кутів вузлових напруг. Вузли ПТВ для активних потужностей ДРГ відповідають наступним вузлам і їх величинам: вузол 32 – $\partial \pi / \partial P_i = 0,02183$, вузол 31 – $\partial \pi / \partial P_i = 0,05956$, вузол 33 – $\partial \pi / \partial P_i = 0,02495$, вузол 39 – $\partial \pi / \partial P_i = 0,66549$ і вузол 28 – $\partial \pi / \partial P_i = 0,01416$. При цьому величина активної генерації джерел живлення у вузлі 32 склала 5428,4 кВт, у вузлі 31 – 2469,02 кВт, у вузлі 33 – 2367,55 кВт, у вузлі 39 – 1930,81 кВт і у вузлі 28 – 2046,13 кВт. Сумарні втрати активної потужності по схемі зменшились з 1246,33 до 542,17 кВт.

Крім того в результаті досліджень було виявлено: використання принципу рівності напруг джерел живлення в процесі експлуатації надає можливість отримувати обґрунтовані значення активних потужностей впроваджених в радіальну розподільну електричну мережу ДРГ при зміні експлуатаційного режиму вузлового навантаження мережі; найбільш ефективним при впровадженні ДРГ є використання в різних комбінаціях як активних, так і реактивних джерел енергії.

Висновки

1. Використання методу ПТВ надає можливість розробки простих і достатньо ефективних моделей для визначення економічно доцільних місць розташування ДРГ в радіальних розподільних електричних мережах, що живляться від системного електропостачання.

2. Для визначення обґрунтованих потужностей ДРГ з розташуванням їх в економічно доцільних місцях пропонується використовувати модифікований метод Ньютона з визначенням поправок до невідомих на кожному кроці ітераційного процесу вирішення системи лінеаризованих рівнянь методом найменших квадратів (включення частинних похідних по активній і реактивній вузлових потужностях призводить до несиметричності матриці частинних похідних відносно діагоналі).

3. Модифікований метод Ньютона, який полягає в доповненні матриці частинних похідних похідними $\partial \varepsilon_i^P / \partial P_i$, $\partial \varepsilon_i^P / \partial Q_i$, $\partial \varepsilon_i^Q / \partial P_i$ та $\partial \varepsilon_i^Q / \partial Q_i$ надає можливість використовувати вузлові характеристики P_i , Q_i , θ_i і U_i в різних комбінаціях відомих та пошукових вузлових величин.

4. Модельні експериментальні дослідження показали, що при визначенні потужностей ДРГ в радіальних розподільних мережах 35 кВ, найбільш доцільним є рівність напруги величиною 36,5 кВ в місцях приєднання виробників електроенергії, включаючи місце системного живлення.

Також модельні експерименти показали ефективність використання методик запропонованих в [4–6] і при впровадженні ДРГ в радіальних розподільних електричних мережах напругою 35 кВ, що живляться від системного електропостачання.

Проводяться дослідження по використанню методики щодо економічно доцільних місць розташування і обґрунтованих величин потужності ДРГ в складнозамкнених електричних мережах.

Список літератури

1. Зміни встановленої потужності ОЕС України [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://www.ukrenergo.energy.gov.ua/ukrenergo/control/uk/publish/article?art_id=149524&cat_id=35061_2014.
2. Кирик В. В., Губатюк О. С. Сенсорний метод пошуку місця встановлення джерела розподіленого генерування. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2015. № 6. С. 136–140.
3. Козирський В. В., Гай О. В., Бодунов В. М. Рекомендації щодо вибору потужності джерел розподіленої генерації в розподільних електричних мережах сільських регіонів. *Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК*. 2012. Вип. 174 (2). С. 24–30.
4. Скрипник А. М., Кожан Д. П. Пропозиції щодо пошуку економічних місць розташування та величин потужності джерел розподіленої генерації в розподільних електричних мережах, які живляться від системного електропостачання. *Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК*. 2017. Вип. 268. С. 125–135.
5. Скрипник А. Н., Кожан Д. П., Ковалева В. В. Модификация метода Ньютона и ее использование при расчетах режимов распределительных электрических сетей напряжением до 110 кВ. *Инновации в сельском хозяйстве*. 2015. Вып. 4 (14). С. 14–20.

6. Скрипник А. М., Кожан Д. П. Визначення економічно доцільних місць розташування та обґрунтованих величин потужності джерел розподіленої генерації в розподільних електричних мережах, які живляться від системного електропостачання. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2017. Вип. 186. С. 114–118.

7. Бартоломей П. И., Паниковская Т. Ю., Чечушков Д. А. Анализ влияния распределенной генерации на свойства ЭЭС. *Объединенный симпозиум в рамках проекта АТЭС. Энергетические связи между Россией и Восточной Азией: стратегии развития в XXI ВЕКЕ*. Иркутск, 2010. С. 4–5.

8. Яндулський О. С., Труніна Г. О. Визначення зон ефективного регулювання напруги джерелами розосередженої генерації з інверторним приєднанням у розподільній електричній мережі. *Наукові праці Вінницького національного технічного університету*. 2014. № 4.

9. Jegadeesan M., Keerthana V. Optimal Sizing and Placement of Distributed Generation in Radial Distribution Feeder Using Analytical Approach. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. 2014. Vol. 3. P. 358–364.

10. Singh N., Ghosh S., Murari K. Optimal Sizing and Placement of DG in a Radial Distribution Network using Sensitivity based Methods. *International Electrical Engineering Journal*. 2015. Vol. 6, No. 1. P. 1727–1734.

11. Haesen E., Espinoza M., Pluymers B., Goethals I., Thong V. V., Driesen J., Belmans R., Moor B. D. Optimal placement and sizing of distributed generator units using genetic optimization algorithms. *Electrical Power Quality and Utilisation Journal*. 2005. Vol. 1, No. 1. P. 97–104.

References

1. Changes in the installed capacity of the UES of Ukraine. Available at : http://www.ukrenergo.energy.gov.ua/ukrenergo/control/uk/publish/article?art_id=149524&cat_id=35061_2014.

2. Kyryk, V. V. & Hubatiuk, O. S. (2015). Sensory method of searching for the location of the source of distributed generation. *The bulletin of the Vinnytsia Polytechnic Institute*, No. 6, 136–140.

3. Kozyrskyi, V. V., Hai, O. V. & Bodunov, V. M. (2012). Recommendations on the choice of power of distributed generation sources in distributive electric networks of rural regions. *Scientific bulletin of the NUBiP of Ukraine. Series: Technique and Power Engineering of Agroindustrial Complex*, Iss. 174, Pt. 2, 24–30.

4. Skrypnyk, A. M. & Kozhan, D. P. (2017). Suggestions on search of economic places of location and the magnitudes of power the sources of distributed generation in distribution electric networks, which are powered by the systemic electricity supply. *Scientific bulletin of the NUBiP of Ukraine. Series: Technique and Power Engineering of Agroindustrial Complex*, Iss. 268, 125–135.

5. Skripnik, A. N., Kozhan, D. P. & Kovaleva, V. V. (2015). Modification of the method of Newton and its use

in modes calculation electricity distribution networks with voltage up to 110 kV. *Innovations in agriculture*, No. 4 (14), 14–20.

6. Skrypnyk, A. M. & Kozhan, D. P. (2017). Determination of economically perfect places of location and based values of power of sources of distributed generation in distribution electric networks which feed from system electrical supply. *Bulletin of the Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Peter Vasylenko*, Iss. 186, 114 – 118.

7. Bartolomey, P. I., Panikovskaya, T. Yu. & Chechushkov, D. A. (2010). Analysis distributed generation effect on the properties of EES. Joint symposium within the framework of the APEC project. *Energy ties between Russia and East Asia: Development Strategy in the XXI century*. Irkutsk, 4–5.

8. Yandulskyi, O. S. & Trunina, H. O. (2014). Determination of zones of effective regulation of voltage by sources of dispersed generation with inverter connection in the distribution electric network. *Scientific works of Vinnitsa National Technical University*, 4.

9. Jegadeesan, M. & Keerthana, V. (2014). Optimal Sizing and Placement of Distributed Generation in Radial Distribution Feeder Using Analytical Approach. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. Vol. 3, 358–364.

10. Singh, N., Ghosh S. & Murari, K. (2015). Optimal Sizing and Placement of DG in a Radial Distribution Network using Sensitivity based Methods. *International Electrical Engineering Journal*. Vol. 6. No. 1, 1727–1734.

11. Haesen E., Espinoza M., Pluymers B., Goethals I., Thong V. V., Driesen J., Belmans R. & Moor B. D. (2005). Optimal placement and sizing of distributed generator units using genetic optimization algorithms. *Electrical Power Quality and Utilisation Journal*. Vol. 1. No. 1, 97–104.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТ РАСПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ И ВЕЛИЧИН ИХ МОЩНОСТИ В РАДИАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НАПЯЖЕНИЕМ 35 кВ

Д. П. Кожан

Аннотация. Предложенный подход относительно математических моделей определения экономически целесообразных мест расположения и обоснованных величин мощностей источников распределенной генерации (ИРГ) при внедрении их в радиальных распределительных электрических сетях напряжением 10 кВ [4–6], рекомендуется использовать и для радиальных распределительных сетей напряжением 35 кВ, питающихся от системного электроснабжения. При этом в экономически целесообразных местах расположения ИРГ учитывается принцип равенства модулей напряжения и их углов как критерий минимизации потерь активной мощности и стабилизации уровней напряжения при изменении эксплуатационного режима электрической сети напряжением 35 кВ.

Экономически целесообразные места расположения ИРГ определяются по наибольшему значению узловых удельных транспортных расходов (УТР) в

каждом отдельно взятом ответвлении сети, а величины активных и реактивных мощностей в соответствующих местах определяются согласно математической модели установившегося режима с возможностью реализации выбора состава известных и поисковых узловых характеристик.

Проведенные и представлены в качестве доказательной базы экспериментальные модельные исследования относительно эффективности использования предложенного в [4–6] подхода при внедрении источников распределенной генерации в радиальных распределительных сетях напряжением 35 кВ.

Ключевые слова: распределительная электрическая сеть, системное электроснабжения, источник распределенной генерации, градиентный метод, удельные транспортные расходы.

SUGGESTIONS FOR DETERMINING OF LOCATION SOURCES OF DISTRIBUTED GENERATION AND THE MAGNITUDES OF THEIR POWER IN RADIAL ELECTRIC NETWORKS WITH VOLTAGE OF 35 kV

D. P. Kozhan

Abstract. The proposed approach to mathematical models for determining economically feasible locations and reasonable values of the power of sources of distributed generation (SDG) when they are introduced into 10 kV radial distribution electric networks [4–6], is recommended to be used for 35 kV radial distribution networks that are powered by a system power supply. Moreover, in economically feasible locations of SDG, the principle of equality of voltage modules and their angles is taken into account as a criterion for minimizing active power losses and stabilizing voltage levels when changing the operating mode of an electric network with a voltage of 35 kV.

Economically feasible locations of SDG are determined by the highest value of nodal specific transport costs (STC) in each individual network branch, and the values of active and reactive capacities in appropriate places are determined according to the mathematical model of the steady state with the possibility of making a choice of the composition of known and search nodal characteristics.

Experimental model studies conducted and presented as evidence base on the effectiveness of using the approach proposed in [4–6] when introducing sources distributed generation in 35 kV radial distribution networks.

Key words: distribution electrical network, systemic electricity supply, the source of distributed generation, the gradient method, specific transport costs.

Д. П. Кожан ORCID 0000-0002-9873-6344.

УДК 622.12.95

АНАЛІТИЧНА МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ВІДНОВЛЕННЯ РЕСУРСУ АГРЕГАТИВ МАШИН ДЛЯ ЛІСОТЕХНІЧНИХ РОБІТ

Л. Л. Тітова

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Кореспонденція автора: titovall@ukr.net.

Історія статті: отримано – квітень 2019, акцептовано – червень 2019.

Бібл. 9, рис. 0, табл. 3.

Анотація. Практика показує, що більшість показників технічної експлуатації: якість технічного обслуговування, якість ремонтів, паливно-мастильних матеріалів, кваліфікація інженерно-технічних працівників і якість зберігання техніки забезпечується безпосередньо в сільгоспвиробників.

В даний час повнокомплектні машини в сервісних структурах типу технічного сервісу через економічну скруту власники техніки ремонтують рідко. В більшості випадків ремонтують окремі агрегати машин: двигуни, коробки перемиї передач, паливну апаратуру, трансмісії. Оцінку можливого відновлення ресурсу агрегату розглянемо на прикладі відновлення ресурсу двигунів.

Ключові слова: модель, ресурс, готовність, машина.

В умовах ремонтного виробництва можна прогнозувати і оцінювати коефіцієнт відновлення ресурсу, який представляє собою відношення середнього міжремонтного до середнього доремонтного ресурсу.

Нормативно-технічною орієнтацією передбачається, що при дотриманні високого значення коефіцієнта організаційно-технічного рівня ремонтного підприємства можна забезпечувати міжремонтний ресурс на рівні 80% від доремонтного. Для оцінки фактичного рівня ремонтних підприємств використовується система балів певних технологічних, а в основному організаційних факторів ремонтного виробництва, а для оцінки впливу на міжремонтний ресурс виробничих факторів, використовують метод множинного регресійного аналізу.

Постановка проблеми

Практика показує, що більшість показників технічної експлуатації: якість ТО, якість ТР, паливно-мастильних матеріалів, кваліфікація інженерно-технічних працівників і якість зберігання техніки забезпечується безпосередньо в сільгоспвиробників.

В даний час повнокомплектні машини в сервісних структурах типу РТП через економічну скруту власники техніки ремонтують рідко. В більшості випадків ремонтують окремі агрегати машин: двигуни, коробки перемиї передач, паливну апаратуру, трансмісії. Оцінку можливого відновлення ресурсу агрегату розглянемо на прикладі відновлення ресурсу двигунів.

Безвідмовність і довговічність – найважливіші споживчі показники якості ремонту агрегатів. Практика показує, що через тривалість визначення (2–5 років) значень довговічності (середній міжремонтний і гамма-ресурс) інформація втрачає свою актуальність, оскільки оцінює рівень ремонтного виробництва значного терміну давнини. Крім того, якість ремонту в недостатній мірі характеризується при порівнянні фактичного міжремонтного ресурсу агрегатів, який істотно залежить від умов експлуатації (кліматичних і дорожніх, рівня технічного обслуговування й ін.), з нормативними значеннями.

Аналіз останніх досліджень

Організаційні фактори ремонтного виробництва впливають на якість ремонту шляхом впливу на його технологію, тобто впливають на якість виконання окремих технологічних операцій [1]. Тому при прогнозуванні коефіцієнту відновлення ресурсу за рівнем технології необхідно дотримуватися наступних шести умов [2-7]:

- існуючий на даному ремонтному підприємстві рівень технології необхідно порівнювати з рівнем технології, визначеним НТД;
- нормативний коефіцієнт відновлення ресурсу при дотриманні НТД повинен бути відомий;
- умови експлуатації нових і відремонтованих машин повинні бути однаковими;
- оцінюючі показники рівня технологічних операцій повинні бути однозначними, легко і швидко визначатися, охоплювати з достатньою повнотою технологічний процес ремонту;
- методика повинна враховувати можливе використання найбільш сучасних і освоєних технологічних операцій, що дозволяють одержати більш довговічні сполучення, складальних одиниць і механізмів при порівнянні з технологією НТД;
- значимість впливу окремих і комплексних факторів визначається експертним методом.

Оцінка експертів проводилася за ДСТ 23554.1 «Експертні методи оцінки якості промислової продукції» [8].

Організація і проведення експертної оцінки якості продукції» шляхом їхньої самооцінки, взаємної оцінки, оцінки експертів членами робочої групи, статистичної оцінки по відхиленню від середньої думки експертної групи і по відтворюваності результатів [9].

Мета досліджень

Мета дослідження – підвищення достовірності аналітичної моделі визначення коефіцієнта відновлення ресурсу агрегатів машин для лісотехнічних робіт.

Результати досліджень

Для оцінки експертів і формування експертної групи на підставі цього розроблені спеціальні таблиця 1, таблиця 2, таблиця 3.

Таблиця 1. Карта самооцінки експерта з питань якості ремонту.

Table 1. Map-esteem expert on the quality of the repair.

Джерело інформації з питань якості ремонту	Вага джерела інформації	Регулярність читання			
		читає часто і регулярно	читає часто, але не регулярно	читає рідко	не читає
Книги і брошури по технології і організації ремонту, журнали:	0.4				
Спеціальні журнали і ін.	0.2				
Відомча інформація, рекомендації ГОСНИТИ й інших інститутів	0.3				
Відповідна інформація в газетах	0.1				

Знайомство з питаннями оцінки й підвищення якості ремонту двигунів	Вага показника знайомства	Ступінь знайомства			
		Висока	Середня	Низька	Відсутня
Рівень знання сучасних технологічних процесів ремонту деталей, мийки, дефектації, обкатування, іспиту й ін.	0,25				
Рівень знайомства зі способами підвищення твердості і зносостійкості деталей, якості зборки, обкатування і випробування двигунів	0,2				
Знання технології для свого підприємства	0,2				
Вміння бачити недоліки на своєму й інших підприємствах	0,15				
Рівень знань і вмінь по збору і аналізу експлуатаційної інформації	0,2				
Вагомість ступеней показників інформації і знайомства	1	0,67	0,33	0,15	0

Таблиця 2. Карта взаємооцінки експертів.

Table 2. Map of waimairi experts.

Ознаки професійної компетентності	Вага ознаки	Оцінка експертів (ПІБ)
Рівень знання технології й організації ремонту	0,25	
Досвід роботи з ремонту машин	0,25	
Критичний підхід до стану технології на своєму й інших підприємствах	0,25	
Вміння оцінювати якість ремонту	0,25	

Таблиця 3. Карта оцінки експерта робочою групою.

Table 3. Map assessment expert working group.

Показник	Вага показника	Значення показників для експертів (ПІБ)
Відношення експерта до виконуваної ним експертної оцінки	0,3	
Якість заповнення анкети	0,15	
Активність під час обговорення оцінок	0,2	
Оцінка рівня знань, досвіду, роботи, ділових і інших якостей експерта	0,35	

Робоча група експертів визначає зміст і вагомість показників приведених в таблицях. Оцінки в таблицях експерти і члени робочої групи проставляють по системі 5, 4, 3, 2; ці оцінки при розрахунках трансформувалися в 1; 0,67; 0,33, 0. Значення самооцінки визначається по формулі

$$K_{CAM} = \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^n m_i K_i \quad (1)$$

де m_i – вагомість показників інформованості і ознайомлення;

K_i – фактичне значення і-го показника;

n – кількість показників інформації і ознайомлення.

Коефіцієнт взаємооцінки знаходять за формулою

$$K_{B3} = \frac{1}{\mathcal{E}} \cdot \sum_{j=1}^{\mathcal{E}} \sum_{i=1}^n m_i \phi_{ij} \quad (2)$$

де ϕ_{ij} – оцінка експерта по і-му показнику взаємо оцінки виставлена j-м експертом;

$\mathcal{E}$ – кількість експертів, що беруть участь у взаємооцінці даного експерта.

Для підвищення об'єктивності взаємооцінки експерти розділяються на групи чисельністю від 4 до 6 чоловік.

Відхилення від середньої думки експертної групи визначається по відстані між середнім рядом значень оцінок і значеннями оцінок, виставлених даним експертом:

$$K_{OC} = 1 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n (K_i - K_{ij}) \right)}{2 \cdot \sum_{i=1}^n K_i} \quad (3)$$

де K_i – середнє значення і-й оцінюваної величини;

K_{ij} – значення і-й величини, зазначене j-м експертом.

Перевірка погодженості думок експертів визначається попередньо до основної експертизи шляхом відповіді передбачуваних експертів на наступні питання:

- вказати, який середній ресурс відремонтованих дизельних двигунів забезпечується в даний час у % від нового;

- вказати, яка довговічність у % від нового агрегату забезпечується при ремонті колінчатих валів дизельних двигунів перешліфовкою і наплавленням під шаром флюсу.

Результати усереднюються із усіх питань. Відтворюваність результатів експерта (K_{BP}) визначається аналогічно відхиленню від середньої думки оцінок у двох турах оцінки того самого об'єкта.

Оцінка експерта членами робочої групи (K_{PG}) проводиться згідно таблиці 6, що враховує його відношення до виконуваної експертної оцінки якості продукції і їхньої активності під час обговорення значень оцінок. Розрахунок коефіцієнта K_{PG} проводився по формулі, аналогічній (2):

$$K_{PG} = \frac{1}{p} \cdot \sum_{z=1}^p \sum_{i=1}^4 I_i \phi_{iz} \quad (4)$$

де I_i – вагомість 4 показників (див. табл. 6);

ϕ_{iz} – оцінка експерта основної групи по і-му показнику z-м експертом робочої групи;

p – кількість експертів робочої групи.

Комплексна оцінка якості експерта визначається за формулою

$$K_{\mathcal{E}} = 0,15 \cdot K_{CAM} + 0,2 \cdot K_{B3} + 0,1 \cdot K_{PG} + 0,25 \cdot K_{OC} + 0,3 \cdot K_{BP} \quad (5)$$

однак ГОСТ 2.3554 1–79 допускає і спрощену комбіновану оцінку:

$$K_{\mathcal{E}} = 0,4 \cdot K_{CAM} + 0,6 \cdot K_{B3} \quad (6)$$

Перевірка належності експерта до погодженої групи виробляється за ГОСТ 11.002–73 «Правила оцінки аномальності результатів спостережень».

Робочою групою експертів розробляється анкета по оцінці впливу рівня технологічних факторів на довговічність двигуна. Після опитування експертів основної групи й обробки анкет встановлюються коефіцієнти вагомості комплексних і одиничних факторів і їхніх ступенів. Для перевірки і уточнення методики група експертів визначає значення коефіцієнтів відновлення ресурсу двигунів ЯМЗ-238НБ, відремонтованих у підприємстві.

За результатами анкетування виявляють одиничні фактори, при оцінці яких через нечіткі формулювання і призначення ступенів спостерігалися відносно велика різниця думок, у результаті чого вносяться відповідні корективи в таблицю експертної оцінки коефіцієнта відновлення ресурсу.

При використанні розробленої методики у відповідній таблиці експерт відзначає ступені значень одиничних факторів в залежності від дотримання НТД ремонту двигунів на даному ремонтному підприємстві. Значення відповідного і-го комплексного фактора дорівнює сумі зафіксованих експертом значень одиничних показників:

$$\Phi_i = \sum_{j=1}^m f_{ij} \quad (7)$$

де m – число одиничних показників.

Прогнозований коефіцієнт відновлення ресурсу:

$$K_{BP} = K_{HTD} \cdot \sum_{i=1}^n K_{Bi} \cdot K_{CTi} \cdot \Phi_i \quad (8)$$

де K_{HTD} – коефіцієнт, що характеризує рівень технології нормативно-технічної документації (НТД) за ГОСТ 18523–79 і 22581–77 (коефіцієнт відновлення ресурсу автотракторних двигунів повинний бути не менш 0,8, тому при подальших розрахунках приймаємо $K_{HTD} = 0.8$);

K_{Bi} – коефіцієнт вагомості і-го комплексного фактора;

n – число комплексних факторів;

K_{CTi} – коефіцієнт збільшення ресурсу при вдосконалюванні технології в порівнянні з НТД.

У розрахункову таблицю визначення коефіцієнта відновлення ресурсу автотракторних двигунів включають наступні значення одиничних показників Φ_i в залежності від рівня технології ремонту.

Якість приймання і збереження двигуна ($K_B = 0,05$)

Комплектність: повна – 0,28; не вистачає окремих деталей – 0,21; відсутні складальні одиниці (СЕ) – 0.

Наявність підставки: спеціальної – 0,15; випадкової – 0,12; без підставки – 0.

Наявність пробок, заглушок і т.д.: комплект – 0,12; мається 90-100% – 0,11; 50-90% – 0,07; практично відсутні – 0.

Наявність замінних деталей і СЕ: заміни не було – 0,28; замінені деякі деталі, відсутні окремі кріплення – 0,20; замінені деякі СЕ, відсутні кріплення – 0.

Збереження двигунів: у приміщенні на підставках – 0,17; на закритих площадках і на підставках – 0,14; на відкритих площадках і без підставок – 0.

Якість зовнішньої мийки і розбирання двигуна ($K_B = 0,09$)

Якість зовнішньої мийки: гарне – 0,34; маються сліди масляних і ґрунтових забруднень – 0,24; практично не промиваються – 0.

Розбирання виконується: на спеціальних постах і на відповідних стендах – 0,33; на підставках і на столі – 0,26; на підлозі – 0.

Застосування знімачів і інструмента: цілком на всіх СЕ й операціях – 0,33; частково – 0,23; застосовується універсальний інструмент, різак, кувалда і т.д. – 0.

Якість ремонту блоку циліндрів ($K_B = 0,12$). Якість мийки блоку: проводиться повноцінне виварення, промиваються канали – 0,16; тільки виварення без промивання каналів – 0,11; тільки струминна мийка – 0,03; практично не промивається – 0.

Якість дефектовки (перевірка на герметичність, співвісність площин, відхилення від паралельності привалочних площин і т.д.): проводяться цілком – 0,24; не дефектуються несуттєві параметри – 0,17; не дефектується за допомогою приладів – 0,05; практично не дефектується – 0.

Стан площин під вкладиші колінчатого вала: відповідає НТД – 0,19; незначні (тут і далі під поняттям «незначні» мають на увазі не більш 10% відхилень у партії виробів, а «значні» – понад 10%) відхилення від НТД у співвісності і розмірах – 0,15; значні відхилення хоча б одного параметра – 0,09; не перевіряється, а відхилення істотні – 0.

Стан отворів під підшипники розподільчого вала: відповідає НТД – 0,18; відхилення, у розмірах незначні – 0,12; значні – 0.

Технологія усунення тріщин і пробойн: забезпечує надійну працездатність до наступного капітального ремонту – 0,11; забезпечує задовільну працездатність – 0,07, низьку – 0.

Якість ремонту колінчатого вала ($K_B = 0,16$).

Якість мийки: проводиться виварення, промиваються внутрішні порожнини – 0,21; не проводиться промивання внутрішніх порожнин –

0,12; тільки струминна мийка – 0,04; практично не промивається – 0.

Якість дефектації: проводиться перевірка на згин, перевіряються розміри шийок, визначаються приховані дефекти – 0,21; не перевіряються істотні параметри – 0,16; не визначаються приховані дефекти – 0,11; не перевіряються згин і приховані дефекти – 0,04. Виправлення: проводиться – 0,10; не проводиться – 0.

Динамічне балансування: проводиться – 0,14; не проводиться – 0.

Якість ремонту шийок: у повній відповідності з НТД – 0,34; перешліфовка і полірування, відхилення у твердості, шорсткості і розмірах незначні – 0,28; тільки перешліфовка, маються відхилення в розмірах – 0,22; тільки перешліфовка, овальність і конусність шийок, відхилення радіусів кривошипів і галтелей значні – 0,11; наплавлення під шаром легуючого флюсу, шліфування і полірування відповідно до НТД – 0,31; наплавлення під шаром флюсу, твердість і шорсткість незначно нижче НТД, маються відхилення в розмірах – 0,21; те ж, значно нижче НТД – 0.

За даною методикою були визначені наступні показники: якість ремонту колінчатого вала ($K_B = 0,16$), якість ремонту циліндро-поршневої групи – ЦПГ ($K_B = 0,14$), якість ремонту механізму газорозподілу ($K_B = 0,09$), якість збирання двигуна ($K_B = 0,14$), якість обкатування та дослідження ($K_B = 0,17$), якість фарбування, консервації і збереження ($K_B = 0,04$).

При обробці результатів експлуатаційних випробувань нових і відремонтованих двигунів знаходять середні доремонтні і міжремонтні ресурси і підраховані фактичні коефіцієнти відновлення ресурсу.

Дослідженнями було виявлено (1), що прогнозовані коефіцієнти відновлення ресурсу двигунів і фактично отримані значення відновлення ресурсу для різних двигунів не співпадають: двигун СМД-600,62 – 0,52/0,46, ЯМЗ-236НБ – 0,60/0,69, ЯМЗ-238НБ – 0,53/0,63, Д-65 – 0,54/0,56.

Як видно, розбіжність невелика, що можна вважати цілком прийнятним для прогнозованих досліджень.

В умовах рядової експлуатації середній міжремонтний ресурс агрегатів знижується через відхилення в технології ремонту і низького рівня експлуатації:

$$T_{MP} = T_{НТД} - \Delta T_P - \Delta T_3 \quad (9)$$

де $T_{НТД}$ – нормативний ресурс агрегатів;

$\Delta T_P, \Delta T_3$ – втрата ресурсу відповідно через зниження рівня технології ремонту й експлуатації агрегатів.

Виходячи з того, що

$$T_{НТД} = K_{НТД} \cdot T_{ДР} \quad (10)$$

одержуємо

$$K_{BP} = K_{НТД} - \frac{\Delta T_P + \Delta T_3}{T_{ДР}} \quad (11)$$

На ремонтних підприємствах на основі даної методики можна визначити втрати ресурсу

автотракторних двигунів через зниження рівня технології ремонту.

Висновки

Рівні технології по підприємствах різні, а коефіцієнти відновлення ресурсу нижче нормативних, технологічні операції цілком відповідають НТД по підприємствах лише в небагатьох випадках, тому коефіцієнт відновлення ресурсу в середньому є набагато нижче нормативного.

Втрати ресурсу двигунів через недотримання технології ремонту розподілилися таким чином, (%): ремонт колінчатого вала – 4.6, обкатування і випробування – 2.9, ремонт ЦППГ – 2.6, збирання двигунів – 2.6, ремонт блоку циліндрів – 2.6, ремонт механізму газорозподілу – 2.6, зовнішня мийка і розбирання – 1.7, фарбування, консервація і збереження – 1.4, приймання і збереження ремфонду – 1.0, всього – 22%.

За цими даними можна порівняти якісні показники і вказати недоліки технології на конкретних ремонтних підприємствах, тобто дати можливість ефективно впливати на виробництво.

Список літератури

1. Rogovskii Ivan. Graph-modeling when the response and recovery of agricultural machinery. MOTROL. Motorization and power industry in agriculture. Lublin. 2016. Vol. 18. №3. P. 155-164.

2. Тітова Л. Л. Математична модель виникнення віброударного імпульсу в циліндро-поршневій групі двигунів машин для лісотехнічних робіт. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2018. Вип. 298. С. 117-122.

3. Titova L. L., Rogovskii I. L. Technology recovery of power device of machines for forestry work. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 258. С. 369-380.

4. Rogovskii I. L. Analysis of model of recovery of agricultural machines and interpretation of results of numerical experiment. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2016. Вип. 254. С. 424-431.

5. Rogovskii I. L. Probability of preventing loss of efficiency of agricultural machinery during exploitation. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 258. С. 399-407.

6. Rogovskii I. L. Conceptual framework of management system of failures of agricultural machinery. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 262. С. 403-411.

7. Lyudmila Titova, Ivan Rogovskii. The effectiveness of technical exploitation of the forest MES. MOTROL. Motorization and power industry in agriculture. 2014. Vol. 16, № 3. P. 313-321.

8. Lyudmila Titova, Ivan Rogovskii. Improving the recovery efficiency of machines for forestry work. MOTROL. Motorization and Energetics in Agriculture. 2015. Vol. 17, № 3. P. 298-310.

9. Lyudmila Titova, Ivan Rogovskii. System of control of parameters technical condition of machines for forestry work. TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. Lublin–Rzeszów. 2017. Vol. 17. No 3. P. 73-82.

References

1. Rogovskii Ivan. (2016). Graph-modeling when the response and recovery of agricultural machinery. MOTROL. Motorization and power industry in agriculture. Lublin. Vol. 18. №3. 155-164.

2. Titova L. L. (2018). Mathematical model of vibroimpact occurrence of pulse in cylinder-piston group of engines of machines for forestry work. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kyiv. No 298. 117-122.

3. Titova, L. L., Rogovskii, I. L. (2017). Technology recovery of power device of machines for forestry work. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kyiv. No 258. 369-380.

4. Rogovskii, I. L. (2016). Analysis of model of recovery of agricultural machines and interpretation of results of numerical experiment. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kyiv. No 254. 424-431.

5. Rogovskii, I. L. (2017). Probability of preventing loss of efficiency of agricultural machinery during exploitation. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kyiv. No 258. 399-407.

6. Rogovskii, I. L. (2017). Conceptual framework of management system of failures of agricultural machinery. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kyiv. No 262. 403-411.

7. Lyudmila Titova, Ivan Rogovskii. (2014). The effectiveness of technical exploitation of the forest MES. MOTROL. Motorization and power industry in agriculture. Vol. 16, № 3. 313-321.

8. Lyudmila Titova, Ivan Rogovskii. (2015). Improving the recovery efficiency of machines for forestry work. MOTROL. Motorization and Energetics in Agriculture. Vol. 17, № 3. 298-310.

9. Lyudmila Titova, Ivan Rogovskii. (2017). System of control of parameters technical condition of machines for forestry work. TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. Lublin–Rzeszów. Vol. 17. No 3. 73-82.

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
КОЭФФИЦИЕНТА ВОССТАНОВЛЕНИЯ РЕСУРСА
АГРЕГАТОВ МАШИН
ДЛЯ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТ

Л. Л. Титова

Аннотация. Практика показывает, что большинство показателей технической эксплуатации: качество технического обслуживания, качество ремонтов, горюче-смазочных материалов, квалификация инженерно-технических работников и качество хранения техники обеспечивается непосредственно у сельхозпроизводителей.

В настоящее время полнокомплектные машины в сервисных структурах типа технического сервиса из-за экономических трудностей владельцы техники ремонтируют редко. В большинстве случаев ремонтируют отдельные агрегаты машин: двигатели, коробки перемены передач, топливную аппаратуру, трансмиссии. Оценку возможного восстановления ресурса агрегата рассмотрим на примере восстановления ресурса двигателей.

Ключевые слова: модель, ресурс, готовность, машина.

ANALYTICAL MODEL TO DETERMINE RATE
OF RECOVERY OF RESOURCE UNITS
OF MACHINES FOR FORESTRY WORK

L. L. Titova

Abstract. Practice shows that most of indicators of technical maintenance: quality maintenance, quality of repairs, fuel and lubricants, qualified engineering and technical personnel and quality of equipment storage is provided directly to agricultural producers.

Currently the complete machine in the service structure type of technical service due to economic difficulties, the owners of vehicles are repaired rarely. In most cases, repair of individual units of machinery, including the engine, the gearbox, fuel system, transmission. Assessment of possible resource recovery unit consider the example of resource recovery engines.

Key words: model, resource, readiness, machine.

Л. Л. Тітова ORCID 0000-0001-7313-1253.

УДК 681.51

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ПЕРЕМІШУВАННЯ БЕТОННОЇ СУМІШІ НА ІМІТАЦІЙНІЙ МОДЕЛІ

В. О. Мірошник, Т. І. Лендел

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Кореспонденція авторів: taraslendel@gmail.com.

Історія статті: отримано – квітень 2019, акцептовано – червень 2019.

Бібл. 11, рис. 6, табл. 0.

Анотація. На базі математичної моделі пристрою по виготовленню бетонних сумішей розроблено імітаційну модель пристрою, де досліджено вплив зовнішніх збурень на зазначений технологічний процес. Створено параметричну схему змішувача бетонної суміші та вказані параметри увійшли в математичну модель.

У реалізованій математичній моделі враховано дії зовнішніх і внутрішніх збурень на процес отримання бетонної суміші із заданими параметрами міцності бетону та заданий рівень розчину у змішувачі. Регулювання рівня розчину у змішувачі виконано за рахунок зміни витрат щебеню, а міцність бетону, яка залежить в першу чергу від концентрації цементу в розчині, від витрат цементу.

У результаті проведення експериментальних і теоретичних досліджень отримано передатну функцію об'єкта керування по каналу концентрації суміші, що дозволить розробити алгоритми керування процесом, а також систему керування в цілому.

Отримано розгінні характеристики об'єкту регулювання по зазначених параметрах

Ключові слова: технологічний процес, імітаційна модель, дослідження, концентрація, бетонна суміш, система керування.

Постановка проблеми

Автоматичне керування технологічним процесом отримання бетонної суміші має забезпечувати автоматичний контроль за режимами роботи агрегатів, контроль якості суміші і облік на виході продукції. В технологічному процесі виробництва бетонних сумішей виконуються такі операції як: подача матеріалів в витратні бункера, дозування, перемішування і видача готової суміші. Для дозування матеріалів використовується дозатори з уніфікованим циферблатним показчиком ваги, в яких є датчики аварійного перезавантаження, датчики контролю завантаження дозатора і датчики завдання маси порції.

Схема технологічного процесу приготування бетону зображена на рис. 1. Окремі інгредієнти бетону поступають в дозатори 1. Із дозаторів матеріали поступають в змішувач 2, де за допомогою мішалки 3 готується розчин бетону. Готовий розчин

витікає в бункер 4 звідки насосом 5 викачується в бетоновози або на будівництво. Швидкість приготування і витікання розчину залежить від режимів перемішування і добавок (пластифікаторів).

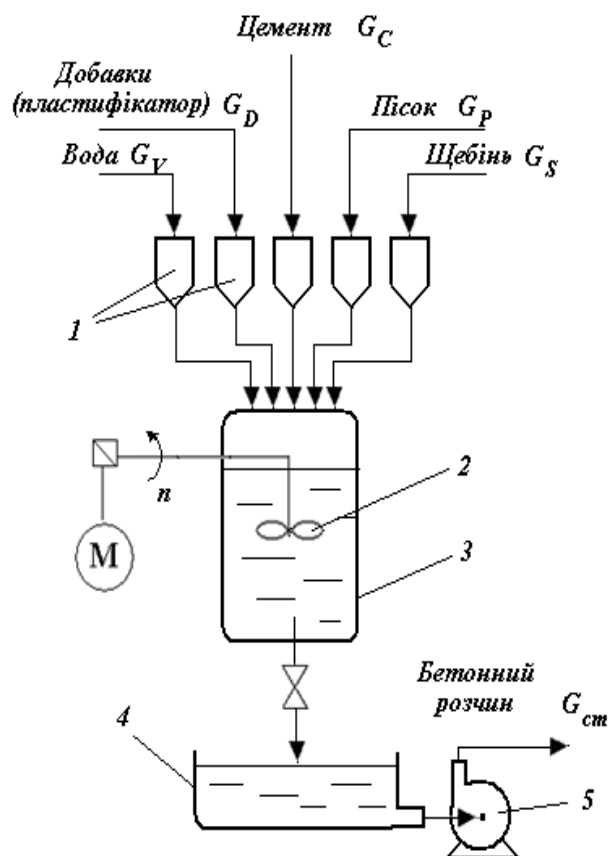


Рис. 1. Схема технологічного процесу приготування бетону: G_P , G_S , G_C , G_V , G_{cm} – витрати мас піску, щебеню, цементу, води, готового розчину, кг/с; n – швидкість обертання мішалки, об/с; ρ – густина суміші, кг/м³.

Fig. 1. Scheme of the concrete preparation process: G_P , G_S , G_C , G_V , G_{cm} – consumption of masses of sand, gravel, cement, water, ready mortar, kg/s; n is the speed of rotation of the stirrer, rpm; ρ is the density of the mixture, kg/m³.

В змішувач подаються речовини з індексами V, P, C, S і D (вода, пісок, цемент, щебінь і добавки)

після чого відбувається перемішування цих речовин до тих пір доки суміш (см) не досягне потрібної однорідності.

Задача розробки системи автоматизації полягає в забезпеченні, при дії зовнішніх і внутрішніх збурень на процес, отримання бетонної суміші із заданими параметрами міцності і заданий рівень розчину у змішувачі.

Аналіз останніх досліджень

У вже розроблених теоретичних та експериментальних дослідженнях агрегатів для отримання бетонної суміші машин обґрунтовано їхні конструктивні параметри та продуктивність [1, 6, 7]. Разом з тим недостатньо уваги приділено дослідженню діючим збуренням, що в значній мірі впливають на технологічний процес при зміні марки цементу. Означене в свою чергу впливає та на якість готової продукції.

Мета досліджень

Розробити імітаційну модель процесу отримання бетонної суміші заданої міцності із заданим співвідношення цемент/тверда фаза розчину при подачі цементу заданої марки цементу та підтриманні необхідного рівня змішування.

Результати досліджень

Параметрична схема змішувача бетонної суміші показана на рис. 2. Міцність бетону задається вибором марки цементу MK_C і співвідношенням мас цементу, щебеню і піску – M_C , M_S , M_P .

Процес змішування бетонного розчину залежить від роботи мішалки і характеристик розчину. При обертанні гвинта мішалки в резервуарі виникає рух суміші, який описується модифікованим критерієм Ейлера Eu_m [2]:

$$Eu_m = f(Re_m, \Gamma, K_N), \quad (1)$$

який залежить від модифікованого критерію Рейнольдса Re_m :

$$Re_m = \frac{\rho \cdot n \cdot d_m^2}{\mu}, \quad (2)$$

геометричного комплексу:

$$\Gamma = d_m / D_{ap} \quad (3)$$

і критерію потужності:

$$K_N = \frac{N_m}{\rho \cdot n^3 \cdot d_m^5}, \quad (4)$$

де d_m – діаметр мішалки, м; D_{ap} – діаметр апарату, м; n – швидкість обертання мішалки, об/с; ρ – густина суміші, кг/м³; N_m – потужність, яка використана мішалкою, Вт; μ – динамічна в'язкість суміші, Па·с.

У визначеному рівнянні балансу маса добавок внаслідок їх невеликої кількості не враховано, як і вологість матеріалів:

$$G_P + G_S + G_C + G_V = G_{cm} \quad (5)$$

де G_P , G_S , G_C , G_V , G_{cm} – витрати мас піску, щебеню, цементу, води, готового розчину, кг/с, які подаються і виходять із змішувача.

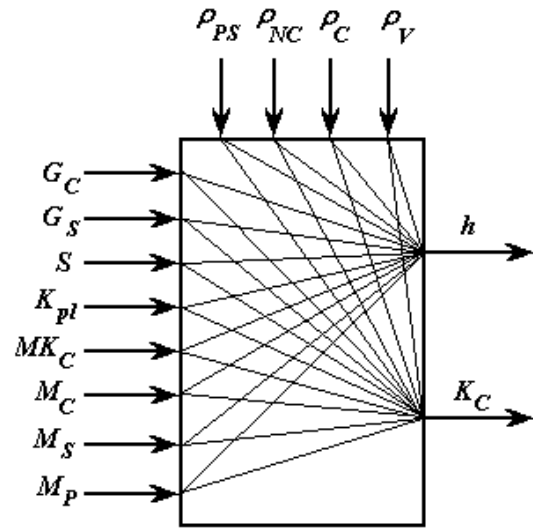


Рис. 2. Параметрична схема змішувача бетонної суміші: K_C , h – вміст цементу (міцність бетону) і рівень суміші в змішувачі; ρ_{PS} , ρ_{NC} , ρ_C , ρ_V – густина складових суміші; G_C , G_S – витрати цементу і щебеню; S – площа поперечного розрізу перемішувача; MK_C – марка цементу; M_C , M_S , M_P , K_{pl} – параметри міцності бетону.

Fig. 2. Parametric diagram of concrete mixer: K_C , h – cement content (concrete strength) and mix level in mixer; ρ_{PS} , ρ_{NC} , ρ_C , ρ_V – density of constituent mixtures; G_C , G_S – costs of cement and crushed stone; S – the cross-sectional area of the mixer; MK_C – cement brand; M_C , M_S , M_P , K_{pl} – concrete strength parameters.

Визначена маса розчину бетону в мішалці, кг:

$$G_m = S \cdot h \cdot \rho_{cm}, \quad (6)$$

рівняння динаміки зміни маси в мішалці має вигляд.

$$\rho_{cm} \cdot S \cdot \frac{dh}{dt} = G_P + G_S + G_C + G_V - G_{cm} \quad (7)$$

де S – площа поперечного розчину апарату, м²; h – рівень розчину в мішалці, м; ρ_{cm} – щільність розчину бетону, кг/м³, яка описана рівнянням:

$$\rho_{cm} = \frac{G_C \cdot \rho_C + (G_P + G_S) \cdot \rho_{PS} + G_V \cdot \rho_V}{G_C + G_P + G_S + G_V}. \quad (8)$$

Прийнято щільність цементу $\rho_C = 3200$ кг/м³, а щільність піску і щебеню в розчині однакові, складає $\rho_{PS} = 2630$ кг/м³,

Витрати суміші із мішалки, кг/с, залежать від рівня розчину і коефіцієнту пластифікації K_{pl} :

$$G_{cm} = K_{pl} \cdot S \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}, \quad (9)$$

Визначено рівняння динаміки зміни маси цементу на змішувачі бетону:

$$\rho_{cm} \cdot S \cdot h \cdot \frac{dK_C}{dt} = G_C - G_{cm} \cdot K_C, \quad (10)$$

де K_C – коефіцієнт вмісту цементу в готовому розчині, кг цементу/ кг розчину, який рахується по формулі:

$$K_C = \frac{G_C}{G_P + G_S + G_C + G_V} \quad (11)$$

Витрати води, кг/с, рахуємо як половина об'єму насипної маси цементу:

$$G_V = 0.5 \cdot \frac{G_C \cdot \rho_V}{\rho_{NC}}, \quad (12)$$

де щільність води $\rho_V = 1000$ кг/м³, а насипна щільність цементу складає $\rho_{NC} = 1400$ кг/м³, тобто:

$$G_V = 0.357 \cdot G_C.$$

Регулювання рівня розчину у змішувачі виконується за рахунок зміни витрат щебеню, а міцність бетону, яка залежить в першу чергу від концентрації цементу в розчині, від витрат цементу. Тому постійну часу об'єкту (с) при регулюванні концентрації цементу в розчині отримано з рівняння (10):

$$T_O = \frac{S \cdot h \cdot \rho_{cm}}{G_{cm}} \quad (13)$$

Коефіцієнт передачі об'єкту по цьому ж каналу знайдено при моделюванні об'єкту змінюючи витрати цементу G_C і контролюючи зміни керованого

параметра, концентрації цементу в розчині K_C на виході:

$$K_O = \frac{K_{C0} - K_{C1}}{G_{C0} - G_{C1}} \quad (14)$$

Запізнення при регулюванні концентрації цементу розраховано в залежності від час транспортування цементу від дозатора до змішувача розчину:

$$\tau_O = \frac{\rho_{NC} \cdot V_T}{G_C}, \quad (15)$$

де V_T – об'єм труби від дозатора до входу в змішувач.

Передатна функція об'єкту по каналу керування $G_C - K_C$:

$$W(p) = \frac{K_O}{T_O \cdot p + 1} \cdot e^{-p \cdot \tau_O} \quad (16),$$

По рівняннях математичної моделі реалізовано імітаційну модель програмному середовищі в Simulink MATLAB (рис. 3).

Задавши час моделювання 100 с. отримано розгінні характеристики об'єкту регулювання по параметрах h і K_C (рис. 4).

За формулою (13) знайдено постійну часу по каналу регулювання K_C .

$$T_O = (2,3 \cdot 1,5 \cdot 2648) / 980 = 9,3 \text{ с.}$$

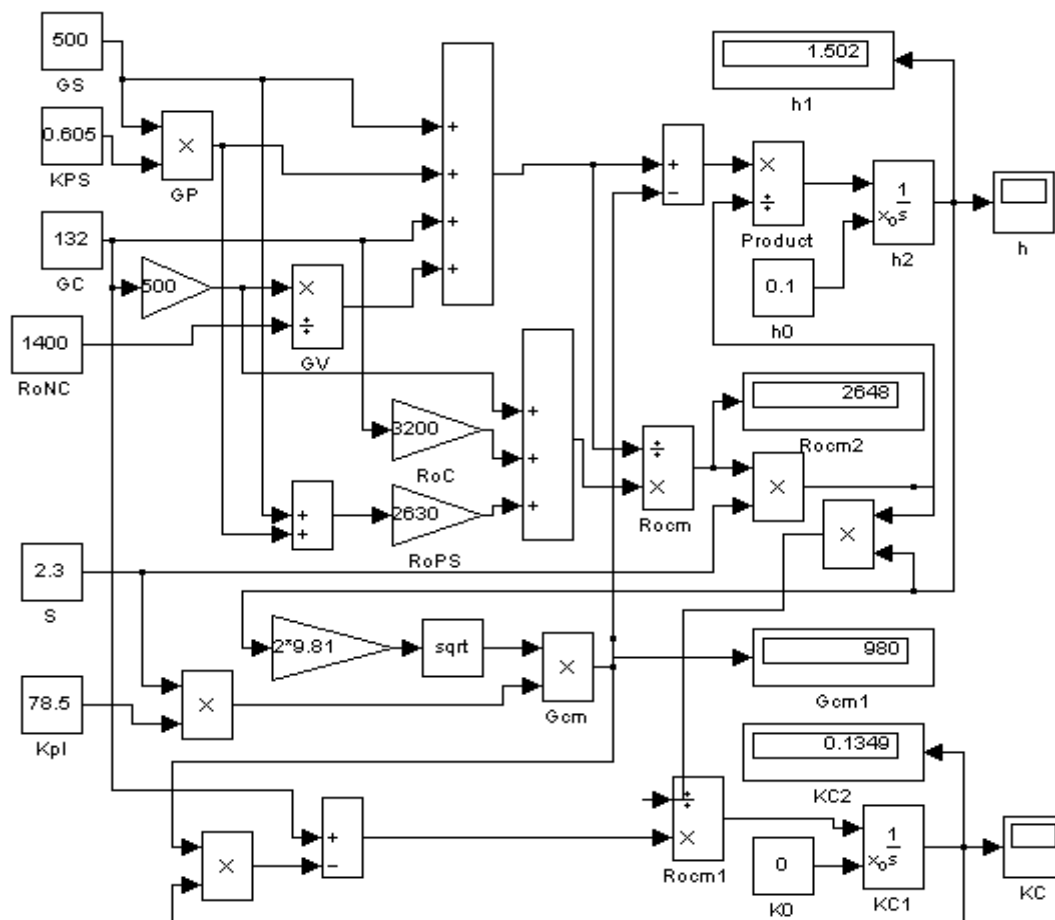


Рис. 3. Імітаційна модель приготування бетонної суміші.

Fig. 3. Simulation model of concrete mix preparation.

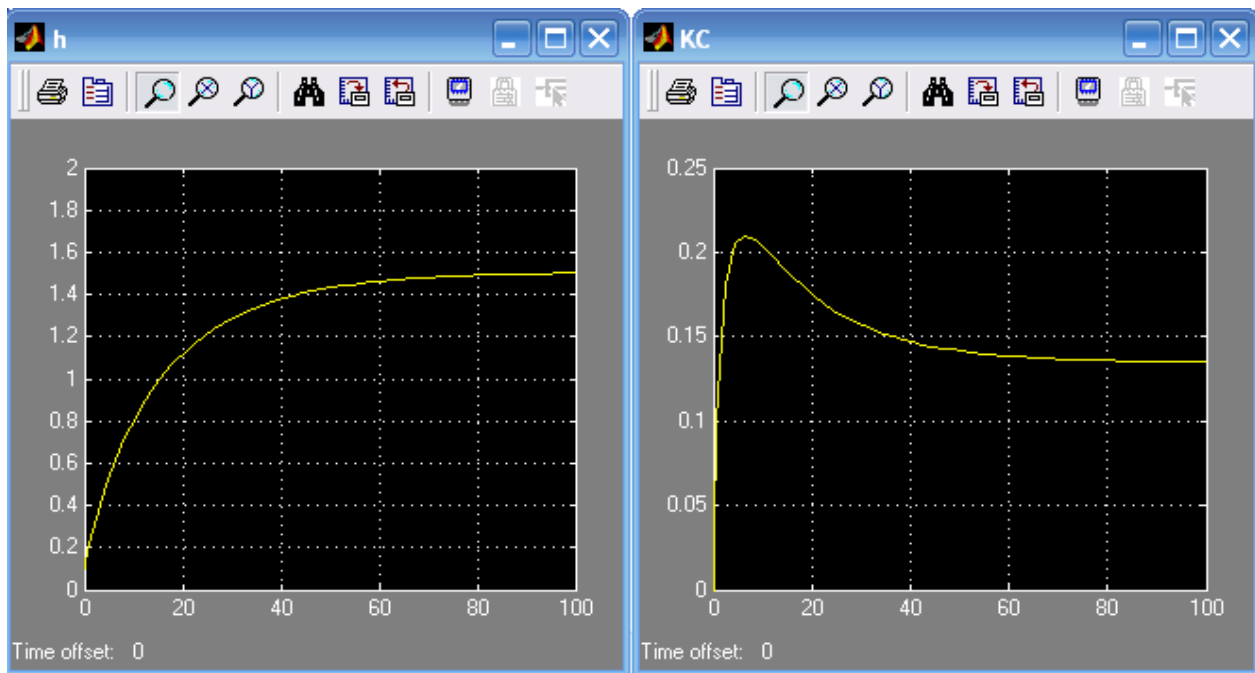


Рис. 4. Розгінні характеристики об'єкту регулювання по параметрах h і K_c .

Fig. 4. Accurate characteristics of the control object by parameters h and K_c .

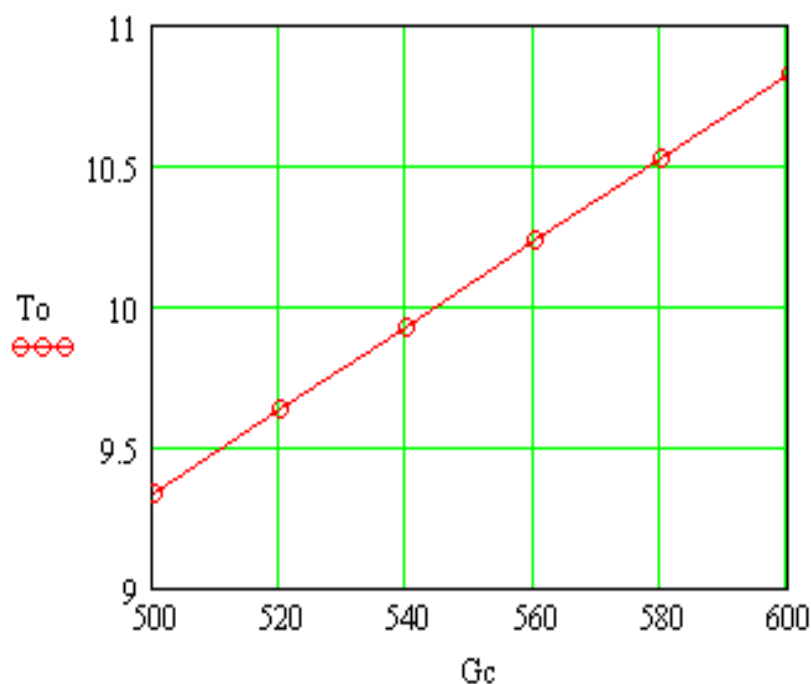


Рис. 5. Зміна постійної часу об'єкту від витрат щебеню.

Fig. 5. Change of object time constant from rubble loss.

Коефіцієнт передачі об'єкту буде рівним (14):
 $K_o = (0,1349 - 0,1432)/(132 - 142) = 0,00083$.

Час запізнення при об'ємі труби для подачі цементу від дозатора $V_T = 0,08 \text{ м}^3$ дорівнює (15), с:

$$\tau_o = \frac{\rho_{NC} \cdot V_T}{G_C} = \frac{1400 \cdot 0,08}{132} = 0,85.$$

Передатна функція об'єкту регулювання по каналу подачі цементу буде мати такий вигляд:

$$W_o(p) = \frac{K_o}{T_o \cdot p + 1} \cdot e^{-\tau_o p} = \frac{0,00083}{9,3p + 1} \cdot e^{-0,85p}.$$

Враховуючи формулу (13) визначено в моделі постійну часу об'єкта та досліджено вплив на T_o витрат щебеню, G_S , що наведено на графіку (рис. 5).

При цьому:

$$G_c = (500 \ 520 \ 540 \ 560 \ 580 \ 600)^T,$$

$$T_o = (9,331 \ 9,631 \ 9,93 \ 10,23 \ 10,53 \ 10,83)^T$$

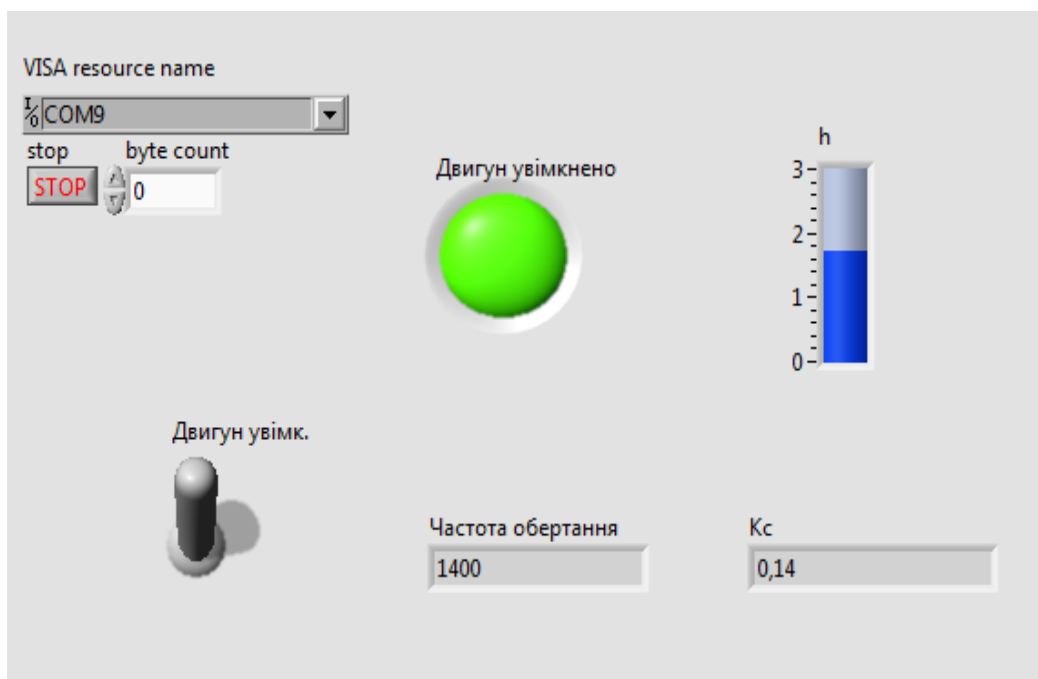


Рис. 6. Фронтальна панель проекту LabVIEW.

Fig. 6. LabVIEW project front panel.

Для даного об'єкта створено програмне забезпечення в програмному середовищі LabVIEW, що також дозволяє відпрацьовувати створені проекти в діючих установках [8]. На фронтальній панелі передбачено візуалізацію роботи мішалки, що наведено на рис. 6.

Висновки

Розроблено імітаційну модель процесу отримання бетонної суміші заданої міцності із заданим коефіцієнтом співвідношення цемент/тверда фаза розчину при подачі цементу заданої марки та підтриманні необхідного рівня змішування. Отримано перехідні характеристики об'єкту керування по параметрах вміст цементу (міцність бетону) і рівень суміші в змішувачі. Зазначене дозволить використати зазначені результати в розробці алгоритму керування процесом. Показано реалізацію технологічного процесу отримання бетонної суміші в програмному середовищі LabVIEW, що дозволяє перевести проектування автоматизованих систем керування технологічними процесами на новий рівень.

Список літератури

1. Солдатенко Л. В. Введение в математическое моделирование строительно-технологических задач [Текст]: учебное пособие. Оренбург: ГОУ ОГУ, 2009, 161 с.
2. Алабовский А. Н., Недужий И. А. Техническая термодинамика и теплопередача, Москва: Выща школа, 1990, 255 с.
3. Альянах И. Н. Моделирование вычислительных систем. Ленинград, Машинострой, 1998, 223 с.

4. Кириченко І. Г., Єфименко О. В., Плучина Т. В., Кириченко І. Г., Єфименко А. В., Плучина Т. В. Комп'ютерне моделювання елементів технологічного процесу виготовлення цементобетону. 2014, Весник ХНАДУ, вип. 65–66, 2014, с. 75–78.

5. Ємельянова І. А., Аніщенко А. І. Визначення основних показників роботи технологічного комплексу обладнання, що складається з бетонозмішувача гравітаційно-примусового дії та стрічково-скребкового живильника. Збірник наукових праць [Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка]. Сер.: Галузеве машинобудування, будівництво, 2012 (1), 28–34.

6. Singh, K. L., & Panda, D. Study on strength characteristics improvement of polyethylene modified bituminous concrete mixes. 9th International Conference on Advanced Materials Research, ICAMR 2019; Volume 803 KEM, 2019, Pages 216–221 doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.803.216

7. Мартинцев В. С. Оцінка та аналіз конструкцій і параметрів змішувачів примусової дії. Техніка будівництва, 2013, (31), 25–29.

8. Лисенко В. П., Болбот І. М., Лендел Т. І., Чернов І. І. Програмно-апаратне забезпечення системи фітотомоніторингу в теплиці, Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2014. Вип. 154. С. 42–45.

9. Свиридюк, Д. Я. Аналіз та оцінка конструктивно-технологічних параметрів бетонозмішувачів. Теорія і практика будівництва, 2011 (8), 11–14.

10. Gálvez-Moreno, D., Feys, D., & Riding, K. Characterization of air dissolution and reappearance under pressure in cement pastes by means of rheology. Frontiers in Materials, 2019, 6 doi:10.3389/fmats.2019.00073.

11. Tazky, M., Osuska, L., & Bodnarova, L. Influence of type and composition of aggregate on

mechanical parameters of concrete. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, 549(1) doi:10.1088/1757-899X/549/1/012048.

References

1. Soldatenko L. (2009). Introduction to mathematical modeling of construction and technological problems [Text]: a textbook. Orenburg: GOU OSU, 161.
 2. Alabovsky A., Neduzhii I. A. (1990). Technical thermodynamics and heat transfer, Moscow: Higher School, 255.
 3. Alianakh I. (1998). Modeling of Computing Systems, Leningrad, Mechanical Engineering, 223.
 4. Kirichenko, I., Efimenko, O., Plugina, T., Kirichenko, I., Efimenko, A., Plugina, T. (2014). Computer simulation of technological process elements production of cement concrete. 2014, VNADU Bulletin, vol. 65–66, 75–78.
 5. Yemlyanova, I., Anischenko, A. (2012). Determination of the main parameters of the technological set of equipment consisting of a gravity-forced concrete mixer and a tape-scraper feeder. Collection of scientific works [Poltava National Technical University. Y. Kondratyuk]. Ser.: Mechanical Engineering, Construction, (1), 28–34.
 6. Singh, K. L., & Panda, D. (2019). Study on strength characteristics improvement of polyethylene modified bituminous concrete mixes. 9th International Conference on Advanced Materials Research, ICAMR 2019; Volume 803 KEM, Pages 216–221 doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.803.216.
 7. Martintsev, V. (2013). Evaluation and analysis of designs and parameters of forced-action mixers. Construction Engineering, (31), 25–29.
 8. Lysenko V., Bolbot I., Lendel T., Chernov I. (2014). Software and hardware for phytomonitoring system in a greenhouse, Bulletin of the Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture.. Vip. 154. 42–45.
 9. Sviridyuk, D. (2011). Analysis and evaluation of structural and technological parameters of concrete mixers. Construction Theory and Practice, (8), 11–14.
 10. Gálvez-Moreno, D., Feys, D., & Riding, K. (2019). Characterization of air dissolution and reappearance under pressure in cement pastes by means of rheology. Frontiers in Materials, 6 doi:10.3389/fmats.2019.00073.
 11. Tazky, M., Osuska, L., & Bodnarova, L. (2019). Influence of type and composition of aggregate on mechanical parameters of concrete. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 549(1) doi:10.1088/1757-899X/549/1/012048.
- разработана имитационная модель устройства, где исследовано влияние внешних возмущений на указанный технологический процесс. Создан параметрическую схему смесителя бетонной смеси и указаны параметры вошли в математическую модель.
- В реализованной математической модели учтено действия внешних и внутренних возмущений на процесс получения бетонной смеси с заданными параметрами прочности и заданный уровень раствора в смесителе. Регулировка уровня раствора в смесителе выполнен за счет изменения затрат щебня, а прочность бетона, которая зависит в первую очередь от концентрации цемента в растворе, от расхода цемента.
- В результате проведения экспериментальных и теоретических исследований получены передаточную функцию объекта управления по каналу концентрации смеси, что позволит разработать алгоритмы управления процессом, а также систему управления в целом.
- Получено разгонные характеристики объекта регулирования по параметрам
- Ключевые слова:** технологический процесс, имитационная модель, исследования, концентрация, бетонная смесь, система управления.

RESEARCH OF CONCRETE MIXTURE MIXING SYSTEM IN AN IMITATION MODEL

V. O. Miroshnik, T. I. Lendel

Abstract. Based on the mathematical model of the device for the production of concrete mixtures, a simulation model of the device is developed, where the influence of external disturbances on the specified technological process is investigated. A parametric diagram of the concrete mixer has been created and the parameters indicated are included in the mathematical model.

The implemented mathematical model takes into account the effects of external and internal perturbations on the process of obtaining concrete mix with specified strength parameters and a given level of solution in the mixer. The level of the solution in the mixer was adjusted by changing the cost of crushed stone, and the strength of concrete, which depends primarily on the concentration of cement in the solution, on the consumption of cement.

As a result of experimental and theoretical studies, the transfer function of the control object along the mixture concentration channel is obtained, which will allow developing process control algorithms, as well as the control system as a whole.

Acceleration characteristics of the regulatory object in terms of parameters

Key words: technological process, simulation model, research, concentration, concrete mix, control system.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕМЕШИВАНИЕ БЕТОННОЙ СМЕСИ НА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

В. А. Мірошник, Т. І. Лендел

Аннотация. На базе математической модели устройства по изготовлению бетонных смесей

В. О. Мірошник ORCID: 0000-0001-5329-0337.

Т. І. Лендел ORCID: 0000-0002-6356-1230.

УДК 514.18

КОЧЕННЯ БАГАТОКУТНИКА ПО КРИВОЛІНІЙНОМУ ПРОФІЛЮ

Т. А. Кресан, С. Ф. Пилипака, В. М. Бабка, Я. С. Кременець

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Кореспонденція авторів: tanyakresan@i.ua.

Історія статті: отримано – квітень 2019, акцептовано – червень 2019.

Бібл. 5, рис. 13, табл. 0.

Анотація. В статті розглянуто кочення плоскої фігури у вигляді рівностороннього багатокутника по криволінійному профілю. Профіль є періодичним і утворюється послідовним повторенням дуги симетричної кривої в прямолінійному напрямку. Рівняння кривої, з дуги якої конструюється криволінійний профіль, знайдено за умови, що центр багатокутника при його коченні по профілю, має рухатися по прямій лінії. Кочення відбувається за відсутності ковзання, тому довжина дуги кривої дорівнює довжині сторони багатокутника. При з'єднанні сусідніх дуг профілю утворюється точка звороту, у якій можна провести дотичні до обох дуг. Кут між цими дотичними має бути рівним куту між сусідніми сторонами багатокутника. Наприклад, для квадрата цей кут є прямим. Виконання цієї умови необхідно для забезпечення плавного перекочування багатокутника при проходженні його вершини через точку звороту.

На основі встановлення залежностей між сторонами і кутами розглянутих фігур, одна з яких перекочується по іншій, було складено диференціальне рівняння першого порядку, яке має аналітичний розв'язок. Цим розв'язком є явне рівняння розшукуваної кривої. Переходом від явного до натурального рівняння з'ясовано, що знайденою кривою є відома ланцюгова лінія. Знайдено координати точок на кривій, які обмежують дугу потрібної довжини. Наведено вираз для визначення періоду криволінійного профілю.

В статті показано доцільність застосування супровідного тригранника кривої для перевірки достовірності отриманого результату. При русі тригранника вздовж плоскої кривої один його орт є дотичним до неї, а другий – перпендикулярний до першого. В системі цих двох взаємно перпендикулярних ортів (дотичної і головної нормалі) задається такий відносний рух точки, який моделює перекочування дотичної по кривій. Сума двох рухів – відносного руху точки в системі тригранника і переносного руху самого тригранника по кривій – дає абсолютну траєкторію точки. Для застосування такого підходу необхідно мати рівняння кривої у функції довжини власної дуги. За таке рівняння було взято натуральне рівняння ланцюгової лінії. Було складено рівняння відносного руху точки, яка є центром багатокутника, в рухомій системі супровідного тригранника. При додаванні відносного і переносного рухів було отримано абсолютну

траєкторію, якою є пряма лінія. Цим було підтверджено той факт, що розшукуваною кривою є саме ланцюгова лінія. В статті сформульовано відповідне твердження. Також показано, що число сторін багатокутника повинне бути більше трьох. Для трикутника кочення стає неможливим в момент проходження точки звороту криволінійного профілю.

Ключові слова: рівносторонній багатокутник, криволінійний профіль, кочення, ланцюгова лінія.

Постановка проблеми

В праці [1] розглянуто деякі плоскі фігури, в тому числі багатокутники, які можуть перекочуватися по криволінійному періодичному профілю без ковзання. Автором розглянута можливість їх руху по такому профілю під дією сили власної ваги.

Аналіз останніх досліджень

Відомою є задача утворення циклоїди, яка є траєкторією точки кола, що котиться по прямій лінії [2]. В праці [3] розглянуто траєкторії фокуса кривої другого порядку, яка котиться по прямій лінії. Зокрема, траєкторією фокуса параболи є відома крива – ланцюгова лінія. Кочення еліпса по прямій лінії розглянуто в праці [4].

Мета досліджень

Розробити аналітичний опис криволінійного профілю, по якому рівносторонній багатокутник буде перекочуватися без ковзання і його центр рухатиметься по прямій лінії.

Результати досліджень

Нехай частинка має форму квадрата, а криволінійним профілем кочення буде дуга кола. З умови кочення без ковзання довжина дуги має бути рівною довжині сторони квадрата AB . Радіус кола R знайдемо за умови, що на кінцях дуги кола перетинає горизонтальну пряму під кутом 45° . Це забезпечить плавне

перекочування квадрата через точку, в якій діагональ квадрата розташована вертикально (рис. 1). Побудувавши проміжні положення квадрата при його коченні за допомогою комп'ютерної програми можна побачити, що точка C – центр квадрата – описує криву лінію, подібну до синусоїди малої амплітуди (рис. 2).

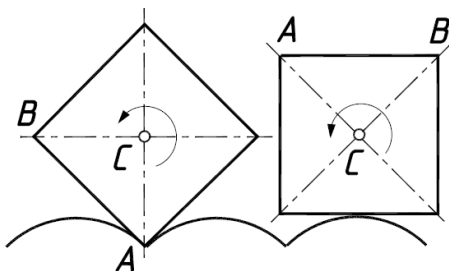


Рис. 1. Перекочування квадрата по періодичному криволінійному контуру, що складається із рівних дуг кіл.

Fig. 1. Rolling a square along a periodic curvilinear contour consisting of equal arcs of circles.

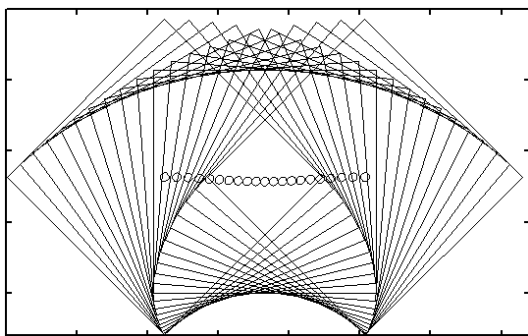


Рис. 2. Проміжні положення квадрата при його коченні по дузі кола.

Fig. 2. Intermediate positions of a square when it is rolling in an arc of a circle.

Виникає питання: якої форми має бути крива, щоб із її дуги можна було створити такий профіль, щоб центр квадрата, який перекочується, рухався по прямій лінії?

Розглянемо четвертину квадрата, тобто трикутник ABC в довільному положенні при його коченні по кривій розшукуваного профілю (рис. 3). Точка контакту T є миттєвим центром обертання трикутника ABC . Оскільки за умовою точка C має рухатися паралельно осі OX і вектор її швидкості має бути перпендикулярним відрізка CT , то CT буде розташований паралельно осі OY . Сума $CT+y$, де y – поточна координата розшукуваної кривої буде величиною сталою і дорівнюватиме діагоналі квадрата, тобто радіусу R описаного навколо нього кола.

На основі взаємної перпендикулярності сторін можна записати рівність кутів: $\alpha = \psi - \varphi$. Через похідну кривої знаходимо кут нахилу дотичної, якою є сторона квадрата:

$$y' = \frac{dy}{dx} = \operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg}(\psi - \varphi). \quad (1)$$

Із прямокутного трикутника CNT можна записати: $CN/CT = \cos(\psi - \varphi)$. В свою чергу $CN = R \cos \psi$, $CT = R - y$. Із врахуванням цього запишемо:

$$\frac{R \cos \psi}{R - y} = \cos(\psi - \varphi). \quad (2)$$

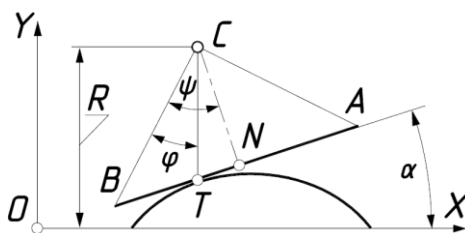


Рис. 3. Положення сторони AB квадрата та його центра C в довільній точці розшукуваної кривої.

Fig. 3. The position of the side AB of the square and its center C at an arbitrary point in the curve.

Після переходу від косинуса до тангенса у рівності (1) і підстановці отриманого виразу в (1) одержимо диференціальне рівняння:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\sqrt{(R-y)^2 - R^2 \cos^2 \psi}}{R \cos \psi}. \quad (3)$$

Рівняння (3) має аналітичний розв'язок. Виходячи із умови, що при $x=0$ $y=0$ розв'язок має вигляд:

$$y = R \left(1 - \cosh \frac{x}{R \cos \psi} + \sin \psi \sinh \frac{x}{R \cos \psi} \right). \quad (4)$$

На рис. 4 за рівнянням (4) побудовано криву, на якій потрібна дуга показана потовщеною лінією.

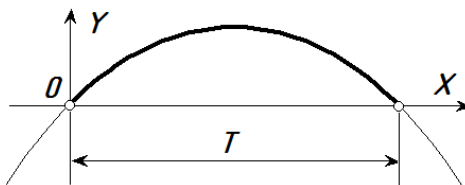


Рис. 4. Дуга кривої, побудованої за рівнянням (4), довжина якої дорівнює довжині сторони квадрата.

Fig. 4. The arc of the curve constructed by equation (4) which length is equal to the length of the side of the square.

Профіль буде складатися із періодичного повторення цієї дуги послідовним з'єднанням. Період T профілю знайдемо, прирівнявши (4) до нуля:

$$T = R \operatorname{Arc} \cosh \left(\frac{1 + \sin^2 \psi}{\cos^2 \psi} \right) \cos \psi. \quad (5)$$

Величина кута ψ , який входить до рівняння (4), залежить від числа сторін багатокутника. Він визначається із залежності $\psi = \pi/n$, де n – число сторін багатокутника. Наприклад, для шестикутника $\psi = \pi/6$. На рис. 5 за рівнянням (4) побудовано фрагменти профілів для квадрата і шестикутника з рівними радіусами описаного кола.

При русі автомобільного транспорту існує граничне значення кута підйому дороги, по якій він зможе рухатися. Якщо величина кута перевищує це значення, то автомобіль навіть із заблокованими колесами буде сповзати вниз. З цієї причини переміщення фунікулерів здійснюється з допомогою лебідки. Альтернативою цьому може бути оригінальний транспортний засіб із квадратними ведучими колесами, які в конк-

ретний момент часу контактують з різними точками криволінійного профілю (рис. 6).

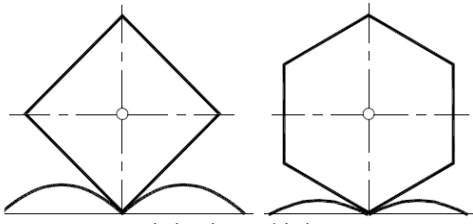


Рис. 5. Криволінійні профілі для кочення квадрата і шестикутника з рівними радіусами R описаного кола.

Fig. 5. Curvilinear profiles for rolling a square and hexagon with equal radii R of the described circle.

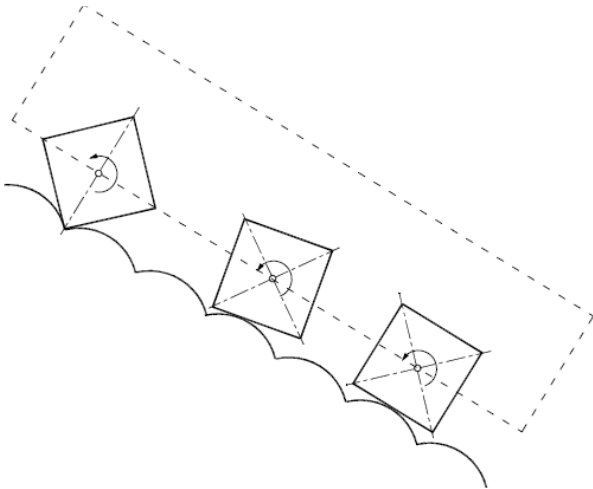


Рис. 6. Схема транспортного засобу із квадратними колесами, який здатен долати крутий підйом.

Fig. 6. The schema of a vehicle capable of overcoming steep lifting with square wheeled.

Зауважимо, що кількість сторін багатокутника обмежена числом $n=4$. Якщо взяти трикутник, то кочення стає неможливим. Кут між кривими профіля в точці звороту буде меншим прямого кута. Якщо початкове положення трикутника буде таким що його вершина збігатиметься із точкою звороту профіля, то при коченні кінець сторони трикутника має рухатися по евольвенті, що вимагає прямого кута. Теоретично умова кочення виконується, але практично воно стає неможливим.

Знайдемо натуральне рівняння кривої профілю у вигляді $k=k(s)$, де k – кривина кривої, s – довжина її дуги. Для спрощення перетворень візьмемо інший розв’язок диференціального рівняння (3), отриманий при прирівнюванні сталої інтегрування до нуля:

$$y = \frac{1}{4} e^{\frac{x}{R \cos \psi}} + R^2 e^{-\frac{x}{R \cos \psi}} \cos^2 \psi. \quad (6)$$

Рівняння (6) описує ту ж саму криву, що і рівняння (4), тільки спрямовану вітками вгору і з іншим розташуванням вершини в системі координат. Знайдемо довжину дуги s кривої (6) за формулою:

$$s = \int \sqrt{1 + y'^2} dx. \quad (7)$$

Диференціюємо рівняння (6), що входить до формули (7), і знаходимо:

$$y' = \frac{\cos \psi}{4R} e^{\frac{x}{R \cos \psi}} - R e^{-\frac{x}{R \cos \psi}} \cos \psi. \quad (8)$$

Підстановкою (8) у (7) з наступним інтегруванням знаходимо:

$$s = \int e^{\frac{x}{R \cos \psi}} \left(\frac{1}{4R \cos \psi} e^{\frac{2x}{R \cos \psi}} + R \cos \psi \right) dx = \frac{1}{4} e^{\frac{x}{R \cos \psi}} - R^2 e^{-\frac{x}{R \cos \psi}} \cos^2 \psi. \quad (9)$$

Розв’язуємо (9) відносно x :

$$x = R \cos \psi \ln \left(s + \sqrt{s^2 + R^2 \cos^2 \psi} \right). \quad (10)$$

Підставимо вираз x із (10) у (6) і після спрощень отримаємо:

$$y = \sqrt{s^2 + R^2 \cos^2 \psi}. \quad (11)$$

Рівняння (10) і (11) є параметричними рівняннями $x=x(s)$, $y=y(s)$ кривої профілю, у яких незалежною змінною є довжина дуги s . В цьому випадку для знаходження кривини кривої потрібно мати перші і другі похідні рівнянь (10) і (11). Диференціюємо рівняння (10):

$$x' = \frac{R \cos \psi}{\sqrt{s^2 + R^2 \cos^2 \psi}}; \quad x'' = -\frac{R s \cos \psi}{(s^2 + R^2 \cos^2 \psi)^{3/2}}. \quad (12)$$

Диференціюємо рівняння (11):

$$y' = \frac{s}{\sqrt{s^2 + R^2 \cos^2 \psi}}; \quad y'' = \frac{R^2 \cos^2 \psi}{(s^2 + R^2 \cos^2 \psi)^{3/2}}. \quad (13)$$

За відомою формулою знаходимо кривину кривої:

$$k = \sqrt{x''^2 + y''^2} = \frac{R \cos \psi}{s^2 + R^2 \cos^2 \psi}. \quad (14)$$

Рівняння (14) є натуральним рівнянням відомої кривої – ланцюгової лінії, де роль сталої a відіграє добуток $a=R \cos \psi$, фізична суть якого полягає у відстані від центра багатокутника до його сторони (відрізок CN) на рис. 3.

Із праці [2] відома фізична суть сталої a , яка відноситься до способу утворення цієї кривої. Якщо взяти абсолютно гнучку нитку, яка має рівномірно розподілену вагу вздовж своєї довжини, і підвісити її в двох точках, то вона прийме форму ланцюгової лінії (рис. 7).

Точка O є центром багатокутника, який перекочується по ланцюговій лінії. Потрібна дуга кривої знаходиться в межах періоду T , який визначається за формулою (5). Крайні точки цієї дуги можна знайти на перетині кривої з прямою лінією, проведеною паралельно осі OX на відстані R від початку координат. Відстань R (радіус описаного кола) перебуває в залежності між числом n сторін багатокутника і відстанню a : $R=a/\cos(\pi/n)$. Кут у точках звороту складеного профілю визначається автоматично і дорівнює кутів між сусідніми сторонами багатокутника.

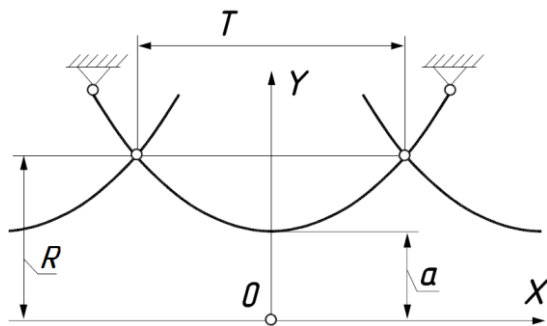


Рис. 7. До зв'язку геометричних характеристик дуги кривої в межах періоду T із сталою a , яка входить до рівняння кривої.

Fig. 7. To solving geometric characteristics of the arc of the curve within period T with constant a , which is included in the equation of the curve.

При перекочуванні трикутника ABC (рис. 3) точку C можна вважати жорстко прикріпленою до перпендикуляра CN , який повертається разом із прямою AB . Сама ж пряма AB при русі залишається дотичною до кривої. Отже, дві взаємно перпендикулярні рухомі сторони – BN і CN – можна прийняти за орти $\bar{\tau}$ і $\bar{n}$ супровідного тригранника. Нехай в початковому положенні вершина тригранника знаходиться в точці 1 кривої (рис. 8).

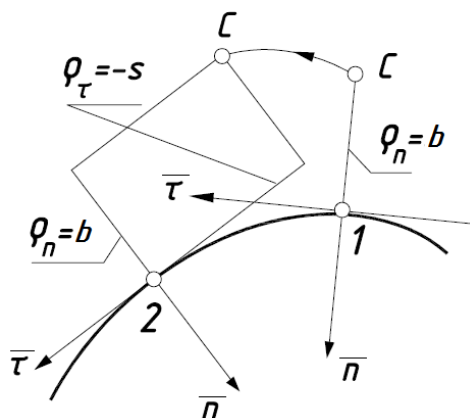


Рис. 8. Положення точки C в системі супровідного тригранника кривої.

Fig. 8. Position of point C in the system of the accompanying three-edge of Frenet.

Координати точки C на орти тригранника запишуться: $\rho_\tau=0$, $\rho_n=b=\text{const}$. При переході тригранника із точки 1 в точку 2 (а цей перехід здійснюється ковзанням орта $\bar{\tau}$ по кривій) положення точки C в триграннику зміниться. Координата ρ_n залишиться такою ж, а координата ρ_τ стане рівною довжині дуги s між точками 1 і 2, оскільки за умовою сторона AB не ковзає по кривій, а перекочується по ній. Отже, положення точки C в системі тригранника можна записати через її проекції на орти $\bar{\tau}$ і $\bar{n}$:

$$\begin{aligned} \rho_\tau &= -s; \\ \rho_n &= b. \end{aligned} \quad (15)$$

В (15) дугу s взято із знаком «мінус», оскільки її зростання відбувається в сторону, протилежну напрямку

орта $\bar{\tau}$ дотичної. Стала b може приймати як додатне, так і від'ємне значення. На рис. 7 вона має від'ємне значення.

Рівняння (15) є параметричними рівняннями переміщення точки C по відношенню до ортів рухомої системи тригранника. Отже, це рух є відносним. Для знаходження абсолютної траєкторії точки C , тобто кривої в нерухомій системі OXY , застосуємо відомі формули переходу [5]:

$$x_C = \rho_\tau \cos \alpha - \rho_n \sin \alpha + \int \cos \alpha \, ds; \quad (16)$$

$$y_C = \rho_\tau \sin \alpha + \rho_n \cos \alpha + \int \sin \alpha \, ds,$$

де кут α між ортом $\bar{\tau}$ рухомого тригранника і віссю OX нерухомої системи координат визначається інтегруванням натурального рівняння:

$$\alpha = \int k \, ds. \quad (17)$$

Застосуємо формули (16), (17) по відношенню до ланцюгової лінії, в натуральному рівнянні (14) якої стала $R \cdot \cos \psi$ позначена через a . Знаходимо кут α :

$$\alpha = \int \frac{a}{s^2 + a^2} \, ds = \text{Arctg} \frac{s}{a}. \quad (18)$$

Підставляємо (18) у (16) і після інтегрування і перетворень отримаємо:

$$x_C = \frac{a \rho_\tau}{\sqrt{a^2 + s^2}} - \frac{s \rho_n}{\sqrt{a^2 + s^2}} + a \text{Arcsinh} \frac{s}{a}; \quad (19)$$

$$y_C = \frac{s \rho_\tau}{\sqrt{a^2 + s^2}} + \frac{a \rho_n}{\sqrt{a^2 + s^2}} + \sqrt{a^2 + s^2}.$$

Наступний крок – підставляємо рівняння (15) у (19) і після спрощень остаточно отримуємо:

$$x_C = a \text{Arcsinh} \frac{s}{a} - \frac{s(a+b)}{\sqrt{a^2 + s^2}}; \quad (20)$$

$$y_C = \frac{a(a+b)}{\sqrt{a^2 + s^2}}.$$

Якщо $a = -b$, то y_C у рівняннях (20) стає рівним нулю, тобто рівняння (20) в цьому випадку опишуть пряму лінію, що збігається із віссю OX . Таким чином, ми отримали підтвердження достовірності отриманого раніше рівняння (4). Властивість, що точка C при обкочуванні прямої по ланцюговій лінії опише пряму справедлива для всієї її довжини.

Твердження. Якщо в початковому положенні провести дотичну до ланцюгової лінії у її вершині і жорстко прив'язати до неї точку на відстані сталої a від точки дотику в сторону, протилежну напрямку віток, яка входить до її натурального рівняння, то траєкторією цієї точки при обкочуванні дотичної без ковзання по кривій буде пряма лінія, перпендикулярна осі симетрії ланцюгової лінії.

Цією властивістю можна доповнити відомі властивості ланцюгової лінії, наведені в праці [2].

Одержані рівняння (19) дають можливість побудувати і інші траєкторії точки C , яка в початковому положенні розташована на орті головної нормалі на довільній відстані b від вершини.

Якщо побудувати ланцюгову лінію за рівняннями (10) і (11), то її вершина буде зміщена вздовж осі OX від початку координат на певну величину. Це пояснюється тим, що явне рівняння (6) ланцюгової лінії

було взято без накладення додаткових вимог. Щоб такого зміщення не було, знайдемо параметричні рівняння кривої за допомогою переходу від натурального рівняння. Враховуючи те, що $a=R\cos\psi$, натуральне рівняння (14) ланцюгової лінії запишеться:

$$k = \frac{a}{s^2 + a^2}. \quad (21)$$

Перехід до параметричних рівнянь відбувається за формулами:

$$\begin{aligned} x &= \int \cos\alpha \, ds; \\ y &= \int \sin\alpha \, ds, \end{aligned} \quad (22)$$

де кут α визначається інтегруванням виразу (17). Цей кут знайдено у (18). Підставивши (18) у (22), знаходимо нові параметричні рівняння ланцюгової лінії, які небагато відрізняються від рівнянь (10), (11):

$$\begin{aligned} x &= a \operatorname{Arcsinh} \frac{s}{a}; \\ y &= \sqrt{a^2 + s^2}. \end{aligned} \quad (23)$$

На рис. 9 побудована ланцюгова лінія за параметричними рівняннями (23), яка показана потовщеною лінією, і траєкторії точки C , побудовані за (20) рівняннями.

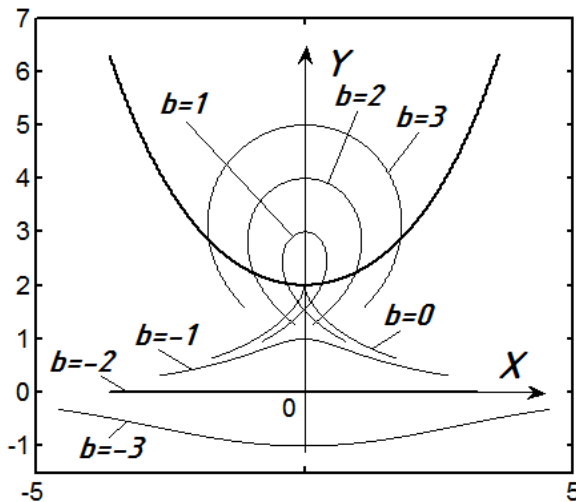


Рис. 9. Ланцюгова лінія, побудована при $a=2$ і траєкторії точки C , побудовані при різних значеннях сталої b .

Fig. 9. The chain line constructed at $a=2$ and the trajectories of point C constructed at different values of constant b .

При $b = -a$, тобто при $b = -2$ траєкторією є пряма лінія, яка теж позначена потовщеною. При $b=0$ побудовано траєкторією є евольвенти ланцюгової лінії. Змінюючи величину сталої b , можна отримувати різні криві. Всі вони є траєкторіями точки C , яка жорстко прив'язана до прямої, що обкочується по ланцюговій лінії.

На рис. 2 побудовано траєкторію точки C (центра квадрата) у вигляді дискретного ряду точок, сторона якого обкочується по дузі кола. Побудуємо за рівняннями (16) неперервну криву. Натуральне рівняння кола має вигляд:

$$k = \frac{1}{r} = \text{const}, \quad (23)$$

де r – його радіус.

За формулою (17) знаходимо кут α :

$$\alpha = \frac{s}{r}. \quad (24)$$

Після підстановки (15) і (24) у (16) і подальших перетворень одержимо:

$$\begin{aligned} x_C &= (r-b) \sin \frac{s}{r} - s \cos \frac{s}{r}; \\ y_C &= -(r-b) \cos \frac{s}{r} - s \sin \frac{s}{r}. \end{aligned} \quad (25)$$

На рис. 10 побудовано половину кола радіуса $r=2$ і відповідну траєкторію точки C за рівняннями (25). Потовщеною лінією виділено ділянки дуги і траєкторії точки, що відповідають рис. 2. Для цього випадку (тобто для квадрата) було знайдено значення сталої $b=r\cos(\pi/4)$ і межі зміни дуги s : $s = -\pi r/2 \dots \pi r/2$.

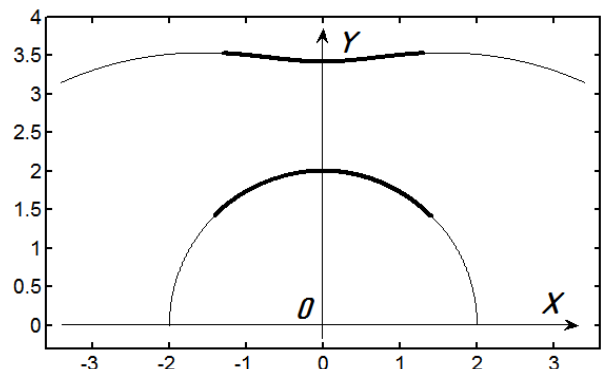


Рис. 10. Траєкторія центра квадрата, сторона якого перекочується по дузі кола відповідно до рис. 3.

Fig. 10. The trajectory of the center of the square, the side of which is rolled over the arc of the circle in accordance with Fig. 3.

На рис. 11 траєкторію точки C , фрагмент якої показано на рис. 10, побудовано для всього кола. Інша крива побудована при тому ж значенні b , але з протилежним знаком. При $b=0$ побудовано евольвенти кола. З рис. 11 видно, що при тривалому обкочуванні прямої по колу траєкторія точки C наближається до евольвенти кола.

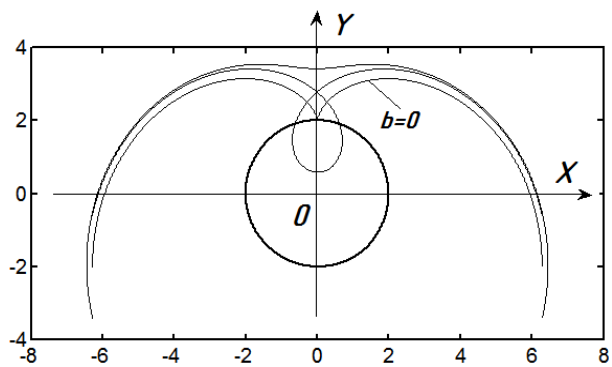


Рис. 11. Траєкторія точки C при різних значеннях сталої b і для дуги всього кола.

Fig. 11. The trajectory of point C at different values of constant b and for the arc of the whole circle.

Візьмемо ще одну криву, у якої кривина в кожній точці більша в два рази, ніж у ланцюгової лінії при однаковому значенні довжини дуги s . Відповідно і її натуральне рівняння отримано множенням на 2 натурального рівняння ланцюгової лінії:

$$k = \frac{2a}{s^2 + a^2}. \quad (26)$$

Після здійснення переходу від натурального до параметричних рівнянь за формулами (17) і (22) отримаємо:

$$\begin{aligned} x &= 2a \cdot \operatorname{Arctg}\left(\frac{s}{a}\right) - s; \\ y &= a \cdot \ln\left(\frac{a^2 + s^2}{a^2}\right). \end{aligned} \quad (27)$$

За формулою (17) знаходимо кут α :

$$\alpha = \int \frac{2a}{s^2 + a^2} ds = 2 \operatorname{Arctg} \frac{s}{a}. \quad (28)$$

Траєкторію точки C знаходимо за рівняннями (16). У них правою частиною є параметричні рівняння (22) вихідної кривої. Підставляємо в (16) вираз кута α із (28) і рівняння відносного руху точки C із (15) і отримуємо:

$$\begin{aligned} x_C &= s - \frac{2a(a+b)s}{a^2 + s^2} + x; \\ y_C &= \frac{a^2b - (2a+b)s^2}{a^2 + s^2} + y, \end{aligned} \quad (29)$$

де $x=x(s)$ і $y=y(s)$ наведено в (27).

На рис. 12 за рівняннями (27) побудовано вихідну криву і за рівняннями (29) евольвенту при $b=0$. Для наочності показано, що дотичні перпендикулярні до неї.

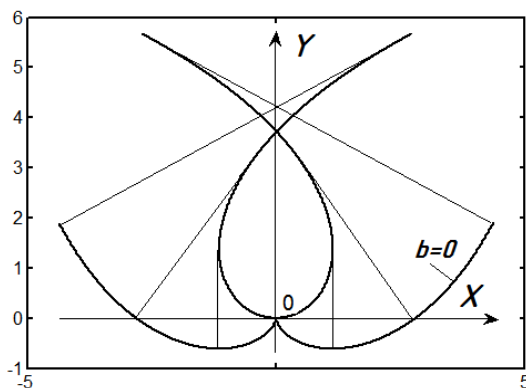


Рис. 12. Крива, побудована за рівняннями (27) і її евольвента, побудована за рівняннями (29).

Fig. 12. The curve constructed by equations (27) and its involute, constructed by equations (29).

Слід зауважити, що координата ρ_n може приймати не тільки сталі значення, а і бути функцією дуги s , тобто під час руху тригранника здійснювати відносний рух паралельно головній нормалі по заданому закону. Наприклад, поставимо задачу, координата x траєкторії точки C в кожен момент руху дорівнювала відповідній координаті вихідної кривої. Для цього прирівняємо ліву складову першого рівняння (29) до нуля:

$$s - \frac{2a(a+b)s}{a^2 + s^2} = 0 \quad (30)$$

Розв'язком рівняння (30) буде залежність:

$$b = \rho_n = \frac{s^2 - a^2}{2a} \quad (31)$$

Після підстановки (31) в (29) отримаємо параметричні рівняння абсолютної траєкторії точки C , у якої встановлено відповідність, яка полягає у рівності координати x при однакових значеннях змінної s .

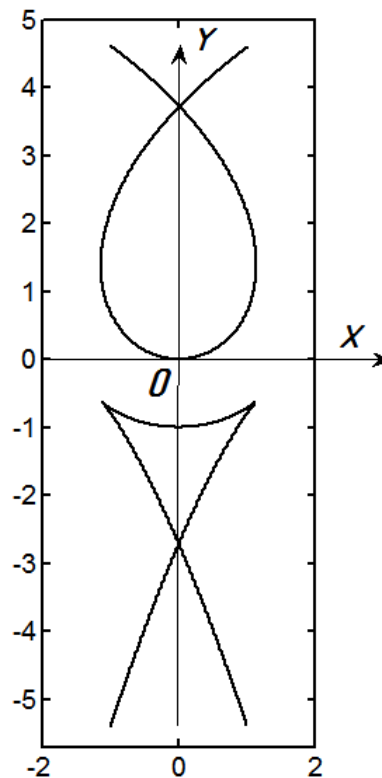


Рис. 13. Абсолютна траєкторія точки C , рівняння відносного руху якої є заданими функціями.

Fig. 13. The absolute trajectory of point C , the equation of relative motion of which are given functions.

Висновки

Знайдено параметричні рівняння кривої та межі потрібної дуги для конструювання криволінійного профілю. Профіль конструюється за умови кочення по ньому рівностороннього багатокутника таким чином, що його центр рухається по прямій лінії. Доведено, що такою кривою є ланцюгова лінія, стала a якої є відстанню від центра багатокутника до його сторони. Для забезпечення можливості фізичного кочення число сторін багатокутника має бути більше трьох.

Список літератури

1. Заика П. М. Избранные задачи земледельческой механики. Киев. Изд-во УСХА, 1992. 507 с.
2. Савелов А. А. Плоские кривые. Систематика, свойства, применения. Москва. Физматгиз, 1960. 294 с.

3. Гильберт Д., Кон-Фоссен С. Наглядная геометрия. Изд. 3-е. Москва. Наука, 1981. 344 с.

4. Руденко С. Ю. Геометричне моделювання траєкторії фокуса еліпса, який котиться по прямій. *Праці ТДАТУ. Вип. 4. Прикладна геометрія та інженерна графіка*. 2011. Т. 49. С. 171 – 177.

5. Пилипак С. Ф. Теорія складного руху матеріальної точки на площині. Частина перша. Абсолютна швидкість і траєкторія. *Електротехніка і механіка*. 2006. №1. С.84-94.

References

1. Zaika P. M. (1992). Selected tasks of agricultural mechanics. Kyiv. USHA Publishing House, 507.

2. Savelov A. A. (1960). Flat curves. Systematics, properties, applications. Moscow: Fizmatgiz, 294.

3. Hilbert D., Kon-Vossen S. (1981). Visual geometry. Ed. 3rd Moscow: Science, 344.

4. Rudenko S. Yu. (2011). Geometric modeling of the trajectory of the focus of the ellipse, which rolls in a straight line. *Against TDAT. Applied geometry and engineering graphics*. Vol. 49, No. 4, 171 - 177.

5. Pylypaka S. F. (2006). Theory of complex motion of a material point on a plane. Part One. Absolute speed and trajectory. *Electrical engineering and mechanics*. №1, 84-94.

КАЧЕНИЕ МНОГОУГОЛЬНИКА ПО КРИВОЛИНЕЙНОМУ ПРОФИЛЮ

Т.А. Кресан, С.Ф. Пилипак, В.Н. Бабка, Я.С. Кремец

Аннотация. В статье рассмотрено качение плоской фигуры в виде равностороннего многоугольника по криволинейному профилю. Профиль является периодическим и образуется последовательным повторением дуги симметричной кривой в прямолинейном направлении. Уравнение кривой, с дуги которой конструируется криволинейный профиль, найдено при условии, что центр многоугольника при его качении по профилю, должен двигаться по прямой линии. Качения происходит при отсутствии скольжения, поэтому длина дуги кривой равна длине стороны многоугольника. При соединении соседних дуг профиля образуется точка возврата, в которой можно провести касательные к обеим дугам. Угол между этими касательными должен быть равным углу между соседними сторонами многоугольника. Например, для квадрата этот угол является прямым. Выполнение этого условия необходимо для обеспечения плавного перекачивания многоугольника при прохождении его вершины через точку возврата.

На основе установления зависимостей между сторонами и углами рассмотренных фигур, одна из которых перекачивается по другой, было составлено дифференциальное уравнение первого порядка, которое имеет аналитическое решение. Этим решением является явное уравнение разыскиваемой кривой. Переходом от явного к натуральному уравнению выяснено, что найденной кривой является известная цепная линия. Найдены координаты точек на кривой, ограничивающие дугу нужной длины. Приведены

выражения для определения периода криволинейного профиля.

В статье показана целесообразность применения сопровождающего трехгранника кривой для проверки достоверности полученного результата. При движении трехгранника вдоль плоской кривой один его орт является касательным к ней, а второй – перпендикулярным к первому. В системе этих двух взаимно перпендикулярных ортов (касательной и главной нормали) задается такое относительное движение точки, которое моделирует перекачивание касательной по кривой. Сумма двух движений - относительного движения точки в системе трехгранника и переносного движения самого трехгранника по кривой - дает абсолютную траекторию точки. Для применения такого подхода необходимо иметь уравнение кривой в функции длины собственной дуги. За такое уравнение было взято натуральное уравнение цепной линии. Были составлены уравнения относительного движения точки, которая является центром многоугольника, в подвижной системе сопровождающего трехгранника. При сложении относительного и переносного движений было получено абсолютную траекторию, которой является прямая линия. Этим был подтвержден тот факт, что разыскиваемой кривой является именно цепная линия. В статье сформулировано соответствующее утверждение. Также показано, что число сторон многоугольника должно быть более трех. Для треугольника качение становится невозможным в момент прохождения точки возврата криволинейного профиля.

Ключевые слова: равносторонний многоугольник, криволинейный профиль, качение, цепная линия.

ROLLING OF POLYGON ON CURVINAL PROFILE

T. A. Kresan, S. F. Pylypaka, V. M. Babka, Ya. S. Kremets

Abstract. Rolling a flat figure in the form of an equilateral polygon along a curvilinear profile is considered in the article. The profile is periodic and is formed by the successive repetition of the arc of the symmetric curve in the straight-line direction. The equation of the curve from which the curvilinear profile is constructed is found provided that the center of the polygon, when rolling it on the profile, must move on a straight line. Rolling occurs in the absence of slip, so the length of the arc of the curve is equal to the length of the side of the polygon. When connecting adjacent arcs of a profile, a return point is formed at which tangents to both arcs can be drawn. The angle between these tangents must be equal to the angle between the adjacent sides of the polygon. For example, for a square, this angle is straight. This condition is necessary to ensure a smooth rolling of the polygon at the origin of its vertex through the return point.

Based on the relationship between the sides and the angles of the considered figures, one of which is rolled over the other, a first-order differential equation is constructed which has an analytical solution. This solution is an explicit equation of the wanted curve. The transition from the explicit to the natural equation reveals that the curve found is a known chain line. The coordinates of the points on the curve that limit the arc of the desired length

are found. The expression for determining the period of curvilinear profile is given.

The expression for determining the period of curvilinear profile is given. When moving a three-edge along a plane curve, one orth is tangent to it, and the second is perpendicular to the first. In the system of these two mutually perpendicular orts (tangent and principal normal), a relative motion of a point is given, which simulates the rolling of the tangent along the curve. The sum of two motions - the relative motion of a point in the system of the three-edge and the figurative movement of the three-edge itself on the curve - gives the absolute trajectory of the point. To apply this approach, it is necessary to have an equation of the curve in the function of the length of its arc. For this equation, the natural equation of the chain line was taken. The equation of the relative motion of a point, which is the center of the polygon, in the moving system of the accompanying three-edge was drawn up. When adding relative and portable motions, an absolute trajectory was obtained, which is a straight line. It confirmed the fact that the curve is the chain line. The corresponding statement is formulated in the article. It is also shown that the number of sides of a polygon should be more than three. For a triangle, rolling becomes impossible at the point of return of the curvilinear profile.

Key words: equilateral polygon, curved profile, rolling, chain line.

Т. А. Кресан ORCID 0000-0002-8280-9502.

С. Ф. Пилипака ORCID 0000-0002-1496-4615.

В. М. Бабка ORCID 0000-0003-4971-4285.

Я. С. Кремець ORCID 0000-0003-0675-5757.

УДК 658.531:631.3

РЕСУРСНО-ДІАГНОСТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КОРМОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ

М. В. Гненюк

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Кореспонденція автора: gnenyuk@gmail.com.

Історія статті: отримано – квітень 2019, акцептовано – червень 2019.

Бібл. 11, рис. 2, табл. 0.

Анотація. Наведено та обґрунтовано напрями розроблення системи технічних норм в ремонтному виробництві агропромислового комплексу. в статті розглянуті особливості аналітичних підходів до системності відновлення працездатності кормозбиральних комбайнів. В статті зроблено висновок, що розглянута загальна формалізована постановка задачі оцінки допустимого рівня технічного стану в процесі управління технічною готовністю машин для лісотехнічних робіт обумовлює можливість ефективного використання розробленої ресурсно-діагностичної моделі технічного стану об'єктів та їх елементів і підсистем при наявності кількісної оцінки впливу умов та режимів експлуатації на інтенсивність витрат назначеного ресурсу і оцінки фактичних залишкових ресурсів. Використання таких формалізованих методик та моделей опису технічного стану об'єктів зі створенням спеціальних комп'ютерно-орієнтованих програмних засобів дають можливість розробникам та експлуатаційному персоналу проводити більш достовірну оцінку про виконання об'єктом призначених йому функцій і більш ефективно керувати процесом підтримки необхідної технічної готовності об'єкта із його підсистем.

Ключові слова: система, норма, ремонт, виробництво, комбайн.

Постановка проблеми

За роки незалежності України в агропромисловому комплексі відбулися суттєві зміни кількісного і якісного складу машинно-технічного парку [1]. В господарствах залишилось менше половини наявних тракторів і комбайнів, які придбані в минулому сторіччі, а придбати нові машини у багатьох товаровиробників не має можливості [2].

Щорічно споживачам реалізовується лише 2-3% від річної потреби фізичних тракторів, зерно-, кукурудзо-, кормо- і льнозбиральних комбайнів, а ґрунтообробних і посівних машин менше 1 відсотка.

Фондооновлення сільськогосподарських підприємств дійшло до крайньої межі [3]. Через це з кожним роком загострюється проблема механізації і

енергозабезпечення виробництва [4].

сільськогосподарського

Аналіз останніх досліджень

Як показують дослідження [5], щоб вийти АПК із такої затьняної кризи необхідно провести комплекс заходів по оновленню технічними засобами сільськогосподарські підприємства, залучаючи при цьому, як власні кошти так і кошти інших джерел. Залучаючи власні кошти від амортизаційних відрахувань, кошти інвесторів, членів колективу підприємств та партнерів по участі в реалізації певних спільних проектів, кредитів банків та використовуючи лізинговий довгостроковий товарний кредит можна порівняно в короткий термін сформувати якісно новий машинно-технічний парк і довести його склад до технологічної потреби [6].

Можливість виконувати режим ρ визначається станом системи $S_r(t_\rho)$, а це означає, що $\rho = \rho(S_r(t_\rho))$, де ρ – відносна готовність системи [7].

Якщо задані Θ_ρ , t_ρ , $\rho(S_r(\Theta_\rho)) > \rho(S_r(t_\rho))$, а також задані ресурси (стан ресурсів, які використовуються при керуванні готовністю) $V(\Theta_\rho)$, тоді виникають дві задачі [8].

1. Перевести систему $S_r(\Theta_\rho)$ у $S_r(t_\rho)$ за час $|\Theta_\rho, t_\rho|$, якщо необхідні для цього ресурси $V(S_r(\Theta_\rho); S_r(t_\rho); |\Theta_\rho, t_\rho|) \leq V(\Theta_\rho)$. При цьому ресурси повинні бути використані оптимальним чином. А поняття оптимальності визначається раніш.
2. Нехай $V(S_r(\Theta_\rho); S_r(t_\rho); |\Theta_\rho, t_\rho|) > V(\Theta_\rho)$. Тоді необхідно обрати режим, який належить до цієї ж стадії відновлення працездатності,

найбільш близький по заданій мірі до режиму, що визначається.

Незалежно від типу задачі в її розв'язку присутня умова наявності інформації про $S_r(t), t \in (0, T]$ [9]. Крім того, необхідно мати прогноз розвитку $S_r(t), \Theta; t < T$ [10], для того, щоб передбачити визначену реакцію на конкретний альтернативний варіант розвитку стану, та необхідну інформацію про $V(t)$ [3], прогноз витрат ресурсів для кожного варіанту розвитку $S_r(t)$ [11], оскільки у будь-який момент можуть виконуватися або буде необхідне виконання визначених об'ємів робіт по підтримці готовності [5].

Таким чином, готовність машини можна означити як стан, з якого система може з заданою ймовірністю перейти до будь-якого режиму. Який належить виділеній підмножині режимів при наявності визначеної кількості ресурсів.

Мета досліджень

Визначення напрямків розроблення системи технічних норм в ремонтному виробництві для підвищення ефективного виробництва в обслуговуючих галузях АПК.

Результати досліджень

У сучасних умовах, коли вітчизняне виробництво знаходиться в стадії технічної кризи, український ринок інтенсивно наповнюється імпоротною технікою і споживачеві не уникнути проблем з її ремонтом і

технічним обслуговуванням. Дистриб'ютори не вирішують питання її ремонту і забезпечення дорогими запасними частинами, а у споживачів не завжди вистачає власних коштів на їх придбання.

Проведені дослідження свідчать, що трактор за перші чотири роки експлуатації зношується в середньому на 80%. Кожні 25–30 днів роботи в ньому відкажує якийсь вузол. При капітальному ремонті в тракторі замінюється до 40% деталей [3]. Наведені обставини зумовлюють підвищені вимоги не тільки до експлуатації такої техніки, але і до технології та організації її ремонту.

За останні роки суттєво змінились технологія і організація ремонтно-обслуговуючих робіт. Зменшились обсяги ремонту повнокомплектних машин, а збільшились обсяги ремонту агрегатів та вузлів, а також відновлення спрацьованих деталей машин, що базуються на типових та групових технологічних процесах. В ремонтних майстернях загального призначення, як правило, з низьким рівнем оснащення та механізації, виконуються розбирально-складальні роботи і ремонт нескладної сільськогосподарської техніки та обладнання.

Для організації та планування ремонтних робіт було створено відповідно і нормативну базу. Технічні та технологічні чинники є базовими для встановлення змісту робіт і їх трудомісткості при ремонті. Трудомісткість ремонту – це функція конструктивно-технологічних особливостей машини.

Зміст робіт при капітальному ремонті встановлюється на основі типового технологічного процесу на ремонт, а зміст робіт при технічному обслуговуванні – за заводською інструкцією або за технологічними вказівками з комплексу ремонтної документації.

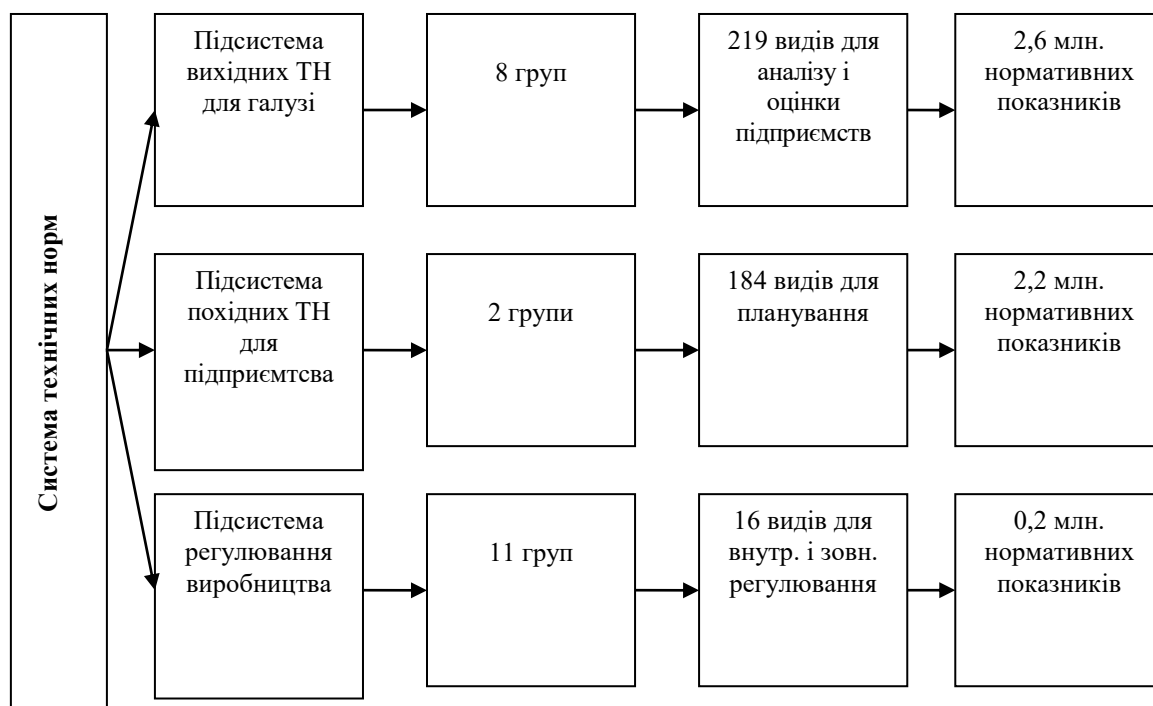


Рис. 1. Узагальнена модель нормативної системи ремонтного підприємства.

Fig. 1. Generalized model of normative system repair business.

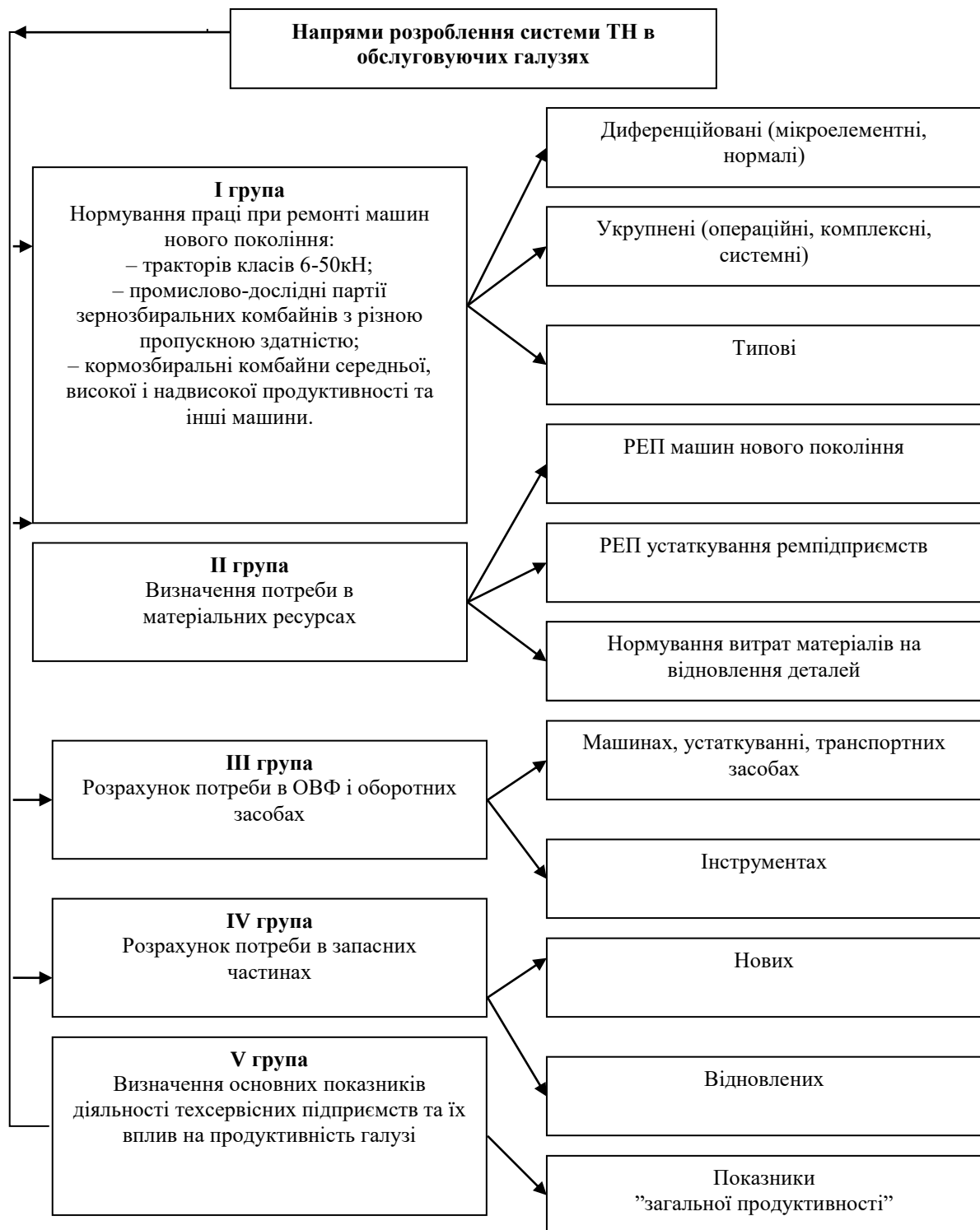


Рис. 2. Напрями розроблення систем технічних норм в ремонтному виробництві.

Fig. 2. Directions of development of systems of technical standards in the repair industry.

Через організаційні чинники відбувається реалізація змісту робіт. Вони дають змогу знаходити найбільш раціональні прийоми виконання операцій і враховувати режими роботи та ступінь використання обладнання.

З часом змінилися і об'єкти нормування. Якщо раніше в першу чергу приділяли більше уваги мікроелементному нормуванню, то в ринкових умовах на рівні підприємств нормується час, який затрачається на ремонт і технічне обслуговування одиниці виробу, тобто укрупненому нормуванню –

розроблення комплексних норм на вузол, агрегат, збірну одиницю і системних норм на товар, що пропонується на ринку.

Укрупнені норми часу є методичною основою та інженерно-економічною базою для визначення орієнтованих обсягів техсервісних робіт та їх прогнозування для різних видів ремонту і технічного обслуговування.

Це база для складання бізнес-планів. З їх допомогою визначається: необхідна чисельність робітників; склад, кількість і завантаження

обладнання; фонд заробітної плати і потрібний річний кошторис.

Виходячи із визначення понять «норма» і «норматив» система економічних норм і нормативів являє собою сукупність нормативно-технічних, економічних, юридично-технічних, юридично-економічних показників, що виражають відношення людей до матеріального змісту відтворення виробництва, а також взаємини людей в його процесі. Модель системи технічних норм приведена на рис. 1. Методологією є незворотна пряма необхідність витрачання ресурсів для надавання послуг і (або) ремонтного виробництва продукції підприємствами обслуговуючої галузі за організаційно-економічною функцією нормативного формування за структурою самих витрат ресурсів й механізму практичного прийняття управлінських рішень з їх витрачання.

Оптимізоване витрачання ресурсів рекомендується розглядати за цільовою функцією нормативної продуктивності:

$$P_{\text{нормат}} \{V_{\text{орг-тех}_i}, i \in [1; n]\} = \frac{R_{\text{нормат}}}{S_{\text{нормат}}} \rightarrow \max,$$

де: $P_{\text{нормат}}$ – величина нормативної продуктивності; $R_{\text{нормат}}$ – величина нормативних результатів; $S_{\text{нормат}}$ – величина нормативних витрат; $V_{\text{орг-тех}_i}$ – i -й організаційно-технологічний варіант ведення ремонтного підприємства обслуговуючої галузі із n скінченої множини.

Застосування певних видів ресурсів лежить в площині нормування витрат ресурсів та їх зведення у систему взаємовпливових об'єктів, тобто ресурс розглядається не як самостійна фасета, а як фасета, що має тісні зв'язки із суміжними фасетами з обмеженнями нормативами по видах ресурсів.

У сільськогосподарських підприємствах використовується понад 5 млн. нормативних показників 419 видів. Із них 219 видів використовується для аналізу й оцінки підприємств, 184 – для їх планування, 16 – для зовнішнього і внутрішнього економічного регулювання. На кожний вид припадає в середньому 10-12 тис. нормативних показників.

Основними методами розроблення і формування системи технічних норм являються розрахунково-аналітичний і аналітично-дослідний.

Крім того використовуються вже сформовані роками: статистичний метод, метод динамічних коефіцієнтів, метод аналогії, метод типових представників. Ними ні в якому разі не можна нехтувати, а необхідно тільки збагачувати новим змістом передового досвіду господарської діяльності в конкурентному середовищі. Наприклад в "Агро-Союзі" тільки на нормативній основі вдалось обґрунтувати і реалізувати альтернативні енерго- та ресурсозберігаючі технології ремонтного

виробничого підрозділу, в яких було закладено оптимізовані витрати за видами ресурсів, що дозволило мінімізувати ризики інновацій на підприємстві.

Приймаючи таке означення мети досліджень. Можна виділити перелік проблем, які пов'язані з підтримкою готовності:

- означення достовірності ідентифікації стану $S_r(t)$;
- означення дійсного стану (ресурсу) $V(t)$;
- означення досяжності $S_r(t_\rho)$, $S_r(\Theta_\rho)$;
- розрахунок необхідних ресурсів $V(S_r(\Theta_\rho); S_r(t_\rho); |\Theta_\rho, t_\rho|)$;
- конструювання гіпотез про шляхи розвитку $S_r(t), \Theta; t < T$;
- розробка рішень про розподіл та призначення ресурсів;
- розробка технологічного процесу реалізації розв'язків та використання ресурсів;
- керування процесом переводу з $S_r(\Theta_\rho)$ у $S_r(t_\rho)$;
- інформування керівництва про $S_r(t)$.

Готовність таким чином, є функція часу, стану відновлення працездатності машини для лісотехнічних робіт та ресурсів. Для кожного режиму функціонування системи характерно притягнення конкретної множини технічних засобів, які при їх використанні забезпечують або вхід у новий (наступний) режим, або знаходження у поточному (заданому) режимі. Така система технічних засобів складає цілісну структуру засобів з механічними, енергетичними та інформаційними зв'язками. Тоді, готовність визначається знаннями про структури технічних засобів, їх характеристики тощо, інакше кажучи, потрібно мати моделі технічних засобів системи і мати діапазони значень усіх атрибутів. Ця інформація може бути зафіксована у даних про кваліфікацію персоналу або базі знань інформаційного забезпечення систем підтримки й прийняття рішень.

Таким чином технічна готовність машини визначає можливість досягнення мети, для якої створювалась система, тобто для досягнення визначеного ефекту. Пониження рівня готовності знижує ефективність машини або призводить, у деяких випадках, до втрат, які перевищують не тільки вартість засобів підтримки готовності або самої системи, але й вартості об'єкту, на якому така система встановлюється.

Рівень технічної готовності можна характеризувати залишковим призначенням ресурсом технічних складових об'єкту, які представляють собою установки, агрегати, механізми та інше обладнання, що забезпечує працездатність машини для лісотехнічних робіт у відповідності з призначенням. Важливою умовою достовірності оцінки технічної готовності є виявлення

закономірностей інтенсивності витрат ресурсу від умов і режимів експлуатації шляхом спеціальної організації ресурсних випробувань, цілеспрямованого збору і обробці дослідних даних про результати діагностичних операцій.

В цьому випадку загальну формалізовану постановку задачі оцінки та проектування технічної готовності можна здійснити на основі ресурсно-діагностичної моделі технічного стану (РДМ ТС) наступним чином.

Нехай існує функція зміни ТС об'єкту, або дискретного параметру t , яка характеризується набором, або вектором ознак w , які належать деякому діагностичному простору ознак W . Припустимо, що існує деяке розв'язуюче правило екстраполяції результатів виміру $W_1...W_x$ у моменти $t_1...t_x$, які утворюють множини $T_k = (t_1...t_n)$, $W(T_k) = (w_1...w_x)$.

Позначимо через $w(1/T_k)$ процес, який можна спрогнозувати на відрізку (t_x, t_{x+1}) , отриманий за допомогою правила екстраполяції. Тоді при умові існування області Ω_x у просторі, яка відповідає працездатним станам об'єкту, для всіх $t \in (t_x, t_{x+1})$, при всіх $w(t/T_k) \in \Omega_x$, ТС буде також відповідати працездатності об'єкту. Для оцінки впливу умов експлуатації позначимо вектор зовнішніх впливів $g(t)$, а вектор параметрів об'єкту позначимо через a .

Домовимось також, що при оцінці вектора ознак W стає відомим вектор помилок вимірів $n(t)$. Крім того, нехай існує вектор системи вимірів W та об'єкту b , який забезпечує формування деякого вектору технічного стану об'єкту $u(t)$ за допомогою функції $w = G(u, n, b)$.

Тоді зміни технічної готовності будуть характеризуватися диференціальним рівнянням: $du/dt = f(u, g, a)$, яке розглядається у просторі $ТС - U$. Внаслідок цього існує область допустимих станів у просторі U , яка відповідає Ω_x .

Таким чином можна знайти і $U(T_k)$, яке відповідає $w(T_k)$, та провести екстраполяцію процесу $u(t)$ на відрізку (t_x, t_{x+1}) . Аналогічно можна стверджувати, що ТС на відрізку (t_x, t_{x+1}) не досягне граничного стану (ГС), якщо $u(t) \in \Omega_x$ при всіх $t \in (t_x, t_{x+1})$.

Апостеріорна ймовірність досягнення об'єктом граничного стану (ГС) буде дорівнювати $P(t/T_k) = P(u(t)) \in \Omega_x; t \in (t_x, t)/w(T_k)$. Оскільки задача розглядається стосовно до

прогнозування ТС, межа Ω_x повинна відповідати граничним станам.

Апостеріорна функція розподілу ймовірності досягнення граничного стану, яка відповідає фіксованим значенням процесу $U(T_k)$ на множині (T_k) буде дорівнювати

$$P\{t/u(T_k) = P(u(t)) \in \Omega_x; t \in (t_k, t)/u(T_k)\}.$$

Тоді можна записати:

$$P(t/T_k) = \int_{\Omega_x} P[t/u(T_k)]P[u(T_k)/w(T_k)]du(T_k)$$

де: x – число моментів часу $t_1...t_x$, в яких відбувалися вимірювання процесу $w(t)$.

При значенні допустимої ймовірності досягнення об'єктом граничного стану – $P_{дон}$ індивідуальний або залишковий ресурс $t_{зал}$ буде визначатися нерівністю $P(t_k + t_{зал})/\Gamma \geq P_{дон}$. Гранично допустимий фактично залишковий ресурс можна знайти з рівності $P(t_k + t_{зал})/\Gamma = P_{дон}$.

Інформація, яка необхідна для оцінки технічної готовності знаходиться, головним чином, у результатах спостережень $w(T_k)$, за значеннями яких визначаються оцінки вектору стану $\bar{u}((T_k)) = (\bar{u}_1, ..., \bar{u}_x)$, параметрів об'єкту $\bar{a}$ та система вимірів $\bar{b}$. В цьому випадку ідентифікація ТС здійснюється за допомогою співвідношення $P(t/T_k) = P[t/\bar{u}(T_k)]$. Така оцінка є більш грубою в порівнянні з оцінкою. В якій використовується функція розподілу ймовірностей.

Функція розподілу залишкового ресурсу як показника ТС та технічної готовності буде мати вигляд: $F_{зал}(t_{зал}/T_k) = 1 - P(t_k + t_{зал}/T_k)$.

Розглянуті поняття та показники відображають конструктивно-технологічні особливості системи та їх елементів як ресурсоносіїв і залежать від пристосованості системи ТОР до виконання поновлювальних операцій.

Висновки

Розроблення системи технічних норм в ремонтному виробництві повинно забезпечувати підвищення не тільки продуктивності праці, а і оптимального використання ресурсного потенціалу (фінансів, ресурсів, енергетики, інформації тощо). При цьому продуктивність розглядається, як відношення результатів праці до затрат.

Можна зробити висновок, що розглянута загальна формалізована постановка задачі оцінки допустимого рівня технічного стану в процесі управління технічною готовністю машин для лісотехнічних робіт обумовлює можливість ефективного використання розробленої ресурсно-діагностичної моделі технічного стану об'єктів та їх

елементів і підсистем при наявності кількісної оцінки впливу умов та режимів експлуатації на інтенсивність витрат назначеного ресурсу і оцінки фактичних залишкових ресурсів. Використання таких формалізованих методик та моделей опису технічного стану об'єктів зі створенням спеціальних комп'ютерно-орієнтованих програмних засобів дають можливість розробникам та експлуатаційному персоналу проводити більш достовірну оцінку про виконання об'єктом призначених йому функцій і більш ефективно керувати процесом підтримки необхідної технічної готовності об'єкта із його підсистем.

Список літератури

- 1.Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Аналітичні положення визначення коефіцієнта динамічності параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки, технологій для сільського господарства України. Дослідницьке. 2017. Вип. 21 (35). С. 55–61.
- 2.Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Аналіз систем і стратегій технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів та їх складових частин. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 258. С. 380–390.
- 3.Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Штучні когнітивні системи в процесах технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 262. С. 353–361.
- 4.Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Математичний апарат опису маршруту технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів з урахуванням виявлення комбінацій відмов. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 275. С. 337–346.
- 5.Kalinichenko Dmytro, Rogovskii Ivan. Decision for technical maintenance of combine harvesters in system of RCM. MOTROL. Lublin. 2017. Vol. 19. No 3. P. 179–184.
- 6.Kalinichenko Dmytro, Rogovskii Ivan. Modeling technology in centralized technical maintenance of combine harvesters. TEKA. 2017. Lublin–Rzeszów. Vol. 17. No 3. P. 103–114.
- 7.Войтюк В. Д., Рубльов В. І., Роговський І. Л. Системні принципи забезпечення якості технічного сервісу сільськогосподарської техніки: монографія. Київ. НУБіП України. 2016. 360 с.
- 8.Роговський І. Л. Відновлення працездатності складальних одиниць сільськогосподарської машини. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків. 2015. Вип. 159. С. 224–232.

9.Роговський Іван. Стохастические модели обеспечения работоспособности сельскохозяйственных машин. Motrol: Motorization and power industry in agriculture. 2014. Tom 16. №3. P. 296–302.

10. Rogovskii I. L. Conceptual framework of management system of failures of agricultural machinery. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 262. С. 403–411.

11. Kalinichenko Dmytro, Rogovskii Ivan. Method for Determining Time of next Maintenance of Combine Harvesters. TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. 2018. Lublin–Rzeszów. Vol. 18. No 1. P. 105–115.

References

- 1.Kalinichenko D. Yu., Rogovskii, I. L. (2017). Analytical position determination of the coefficient of dynamic parameters of the technical condition of combine harvesters. Technical and technological aspects of the development and testing of new equipment and technologies for agriculture of Ukraine. Doslidnitske. Vol. 21 (35). 55-61.
- 2.Kalinichenko D. Yu., Rogovskii, I. L. (2017). Systems analysis and strategies for technical maintenance of combine harvesters and their parts. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kyiv. Vol. 258. 380-390.
- 3.Kalinichenko D. Yu., Rogovskii, I. L. (2017). Artificial cognitive systems in the processes of technical maintenance of combine harvesters. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kyiv. Vol. 262. 353-361.
- 4.Kalinichenko D. Yu., Rogovskii, I. L. (2017). Mathematical apparatus of the description of the route maintenance of combine harvesters in accordance with the detection of combinations of failures. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kiev. Vol. 275. 337-346.
- 5.Kalinichenko Dmytro, Rogovskii Ivan. (2017). Decision for technical maintenance of combine harvesters in system of RCM. MOTROL. Lublin. Vol. 19. No 3. 179-184.
- 6.Kalinichenko Dmytro, Rogovskii Ivan. (2017). Modeling technology in centralized technical maintenance of combine harvesters. TEKA. Lublin–Rzeszów. Vol. 17. No 3. 103-114.
7. Voytyuk, V. D., Rublyov, V. I., Rogovskii, I. L. (2016). System guidelines for quality assurance of technical service of agricultural machinery. Kiev. NULESU. 360.
8. Rogovskii, I. L. (2015). Recovery Assembly units of agricultural machines. Bulletin of Kharkov National Technical University of Agriculture named Peter Vasilenko. Kharkov. Vol. 159. 224-232.

9. Rogovskii Ivan. (2014). Stochastic models ensure efficiency of agricultural machinery. Motrol: Motorization and power industry in agriculture. Tom 16. № 3. 296-302.

10. Rogovskii, I. L. (2017). Conceptual framework of management system of failures of agricultural machinery. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kiev. Vol. 262. 403-411.

11. Kalinichenko Dmytro, Rogovskii Ivan. (2018). Method for Determining Time of next Maintenance of Combine Harvesters. TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. Lublin–Rzeszów. Vol. 18. No 1. 105-115.

РЕСУРСНО-ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОРМОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

М. В. Гненюк

Аннотация. Приведены и обоснованы направления разработки системы технических норм в ремонтном производстве агропромышленного комплекса. в статье рассмотрены особенности аналитических подходов к системности восстановления работоспособности кормоуборочных комбайнов. В статье сделан вывод, что рассматриваемая общая формализованная постановка задачи оценки допустимого уровня технического состояния в процессе управления технической готовностью машин для лесотехнических работ обуславливает возможность эффективного использования разработанной ресурсно-диагностической модели технического состояния объектов и их элементов и подсистем при наличии количественной оценки влияния условий и режимов эксплуатации на интенсивность расхода назначенного ресурса и оценки фактических остаточных ресурсов. Использование таких формализованных методик и моделей описания технического состояния объектов с созданием специальных компьютерно-ориентированных программных средств дают возможность разработчикам и эксплуатационному персоналу проводить более достоверную оценку о выполнении объектом предназначенных ему функций и более эффективно управлять процессом поддержания необходимой технической готовности объекта и его подсистем.

Ключевые слова: система, норма, ремонт, производство, комбайн.

acceptable level of technical condition in the process of management the technical readiness of machines for forestry work makes the possibility of effective use of the developed resource and diagnostic models for technical state of objects and their elements and subsystems in the presence of a quantitative assessment of the influence of the conditions and modes of operation on the intensity of consumption of the resource assigned and an assessment of the actual remaining resource. The use of such formal methods and models for description of technical condition, building a special computer-based software tools enable developers and operational staff to implement a more reliable estimate of accomplishing the object intended for it functions, and more effectively manage the process of maintaining the technical readiness of the object and its subsystems.

Key words: system, norm, repair, production, combine.

М. В. Гненюк ORCID 0000-0002-9654-9051.

RESOURCE-DIAGNOSTIC MODEL OF FORECASTING THE TECHNICAL STATUS OF HARVESTERS

M. V. Grenyuk

Abstract. Given and the directions of development of system of technical standards in the repair and manufacture of agriculture, in the article the peculiarities of the analytical approaches to the systematic recovery of forage harvesters. The article concluded that the General formal statement of the problem the assessment of

УДК 658.531:631.3

АНАЛІТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНІЧНОЇ ГОТОВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ

Ю. О. Черник

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Кореспонденція автора: chernik@gmail.com.

Історія статті: отримано – квітень 2019, акцептовано – червень 2019.

Бібл. 16, рис. 0, табл. 2.

Анотація. Основною властивістю пайової коефіцієнта динамічності є те, що він дозволяє визначити найбільш слабка ланка (параметр) даного механізму за ознакою максимального впливу на зміну параметра рівня, тобто по максимуму пайової коефіцієнта. В статті визначено, що прогнозування цілком реально на основі причинно-наслідкового аналізу і для нього нами отримані прості розрахункові формули, що оптимізують прогнозований період за критеріями мінімуму збитків, пов'язаних з простоями об'єкта і заміною зношених деталей, а також за критерієм максимуму виробленої або переданої механізмом енергії.

Ключові слова: система, готовність, коефіцієнт, комбайн.

Постановка проблеми

Якщо галузь прогнозування відновлення технічного стану зернозбиральних комбайнів, як причинно-наслідкового моделі має L рівнів, то для параметра $(L-1)$ -го рівня коефіцієнт динамічності матиме значення $D^{L-1} = S^L \cdot D^L$ і аналогічно $D^{L-2} = S^{L-1} D^{L-1} = S^{L-1} S^L D^L$ [1-6]:

$$D^N = D^L \prod_{L}^{N+1} S^m, \quad (1)$$

де: $m = L, L-1, L-2, \dots, N+1$.

Формула (1) дає можливість простежити послідовність впливу параметрів по деякому одному шляху від нижчого до вищого рівня [7, 8].

Якщо параметр $\prod_{ci}^N$ залежить від n параметрів-причин $(N+1)$ -го рівня, то для кожної пари зв'язків $\prod_c \left(\prod_{nk}^{N+1} \right)$, де $k=1, 2, \dots, n$, можуть бути знайдені значення коефіцієнтів динамічності [9]:

$$D_i = S_{ki} D_k. \quad (2)$$

Аналіз останніх досліджень

Сумарний вплив всіх параметрів-причин $(N+1)$ -го рівня на параметр-наслідок N -го рівня виражається формулою [10]:

$$D_i = \sum_{k=1}^n S_{ki} D_k, \quad (3)$$

З формули (3) неважко також зауважити, що для визначення залежності параметра вищого рівня від часу немає необхідності досліджувати цю залежність безпосередньо [11]. Достатньо лише визначити коефіцієнти динамічності параметрів-причин нижчого рівня та не допустити істотних прорахунків у визначенні переліку цих параметрів-причин [12-16].

Мета досліджень

Визначення напрямків розроблення аналітичних положень прогнозування забезпечення технічної готовності експлуатації зернозбиральних комбайнів.

Результати досліджень

Крім основного коефіцієнта динамічності, кожен параметр має ще й частковий коефіцієнт динамічності d , Що показує ту частину зміни параметра вищого рівня (в нашому випадку – індикаторної потужності) у часі, яка вноситься дією даного параметра. Пайовий коефіцієнт динамічності будь-якого параметра має розмірності коефіцієнта динамічності параметра вищого рівня. Формула для підрахунку коефіцієнта динамічності має вигляд:

$$d_i = D_i \prod_i^2 S^k, \quad (4)$$

де D_i – власний коефіцієнт динамічності i -го параметра; S^k – Передавальні коефіцієнти параметрів ланцюжка від i -го до I -го рівня.

Основною властивістю пайової коефіцієнта динамічності є те, що він дозволяє визначити найбільш слабка ланка (параметр) даного механізму за ознакою максимального впливу на зміну параметра I -го рівня, тобто по максимуму пайової коефіцієнта.

Ще однією кількісною характеристикою причинно-наслідкового моделі є коефіцієнт впливу, що представляє собою твір передавальних коефіцієнтів на послідовній ланцюжку від нижчого до

$$\text{вищого рівня: } \beta_i = \prod_i S^k.$$

Коефіцієнт впливу може мати різні значення на різних шляхах впливу даного параметра на параметр вищого рівня. Шляхів впливу може бути від одного до декількох десятків, як наприклад, у параметра «Зазор між коромислом і стрижнем клапана» (для одного циліндра двигуна), що має 23 різних шляхи впливу на величину індикаторної потужності.

У розрахунку повинен використовуватися сумарний коефіцієнт впливу по всіх шляхах впливу.

Знак коефіцієнта впливу може бути позитивним, так і негативним, причому, на різних шляхах впливу коефіцієнта може бути різним і лише при підсумовуванні остаточно визначається знак коефіцієнта впливу.

Перераховані вище характеристики причинно-наслідкового моделі дають можливість вирішувати цілий ряд важливих практичних завдань. На деяких з цих завдань ми зупинимося нижче, але перш розглянемо одну особливість зміни коефіцієнта динамічності параметра нижнього рівня в процесі експлуатації об'єкта, на яку вказав у своїх роботах В. М. Міхліна. Мова йде про те, що величина параметра нижнього рівня в загальному випадку в силу ряду причин змінюється в часі нелінійно.

Спостерігаються лінійні залежності є лише окремими випадками загальної залежності, описуваної елементарної статичної функцією типу:

$$P = at^b, \quad (5)$$

де: t – поточний час; a – коефіцієнт, що характеризує масштаб залежності; b – показник, постійний для даного типу сполучення.

Продиференціювавши вираз (5) за часом, отримаємо загальний вираз для коефіцієнта динамічності параметра:

$$D = abt^{b-1}. \quad (6)$$

Маючи в своєму розпорядженні експериментальними даними про величини коефіцієнтів a і показників b параметрів нижнього рівня, користуючись причинно-наслідковою моделлю можна визначити показники залежностей від часу параметрів вищих рівнів, у тому числі і параметра першого рівня (основного сигналу).

Використавши наявні експериментальні дані нами отримані значення показників ступеня для всіх параметрів, що входять в дану модель. Деякі з них наведені в табл. 1.

Використовуючи причинно-наслідковий модель, можна встановити граничні значення параметрів нижніх рівнів, задавшись граничним зміною параметра першого рівня.

Поставивши собі зменшенням циліндричної індикаторної потужності за 100 годин роботи, ми визначили, на яку величину зміняться за цей же період параметри нижніх рівнів. Деякі результати цього розрахунку наведені в табл. 2.

Аналіз даних табл. 2 вказує на найбільш слабкі місця системи «Двигун». Проведення подібного розрахунку дозволяє досить обгрунтовано встановлювати допустимі і граничні значення параметрів стану механізму.

При цьому, звичайно, всебічно повинно бути обгрунтовано заданий зміна параметра першого рівня. На закінчення розглянемо, як причинно-наслідковий модель допомагає встановити оптимальну періодичність регулювальних і інших робіт, спрямованих на часткове або повне відновлення працездатності механізму.

Як уже зазначалося вище, на зміну основного вихідного сигналу впливає одночасно і незалежно один від одного дві групи параметрів стан: регульовані і нерегульовані.

Таблиця 1. Значення показників ступеня, отримані розрахунком причинно-наслідкового моделі.
Table 1. The values of the exponents obtained by the calculation of a causal model.

Найменування параметрів	Значення показника b
Фази газорозподілу	1,16
Тиск кінця випуску газів	1,13
Тиску кінця всмоктування	1,98
Циклонна подача палива	1,09
Кут початку впорскування палива	1,25
Дисперсність розпилювання палива	1,05
Пневматична щільність циліндра	1,86
Показник політропи стиснення	1,39
Тиску кінця стиснення	2,00
Показник політропи розширення	1,93
Тиск кінця горіння палива	1,37
Індикаторна потужність двигуна	1,88

Таблиця 2. Значення змін параметрів за 100 год, отримані розрахунком причинно-наслідкового моделі.
Table 2. The value of the parameter changes for 100 h obtained by calculation of the causal model.

Найменування параметрів	Зміна параметрів
Циклова подача палива	-7,02%
Кут початку впорскування палива	-1,0%
Тиск початку уприскування	-40%
Натяг ременя вентилятора	-52,5%
Зазор в механізмі газорозподілу	+0,16 Мм
Засміченість повітроочисника	+ 200%
Утопання клапанів	+0,056 Мм
Знос кулачків розподільного вала	+0,14 Мм
Знос по товщині зуба розподільної шестерні	+0,055 Мм
Знос підшипників розподільного валу	+0,27 Мм
Засміченість водяного радіатора	+ 0,5%
Збільшення шару накипу в сорочці	+0,2 Мм
Знос деталей розпилювача	+ 48%
Зміна жорсткості пружин регулятора	-2%

Запропонуємо, що відновлення номінальних значень регульованих параметрів відбувається одночасно. З початку експлуатації до моменту першої регулювання величина основного вихідного сигналу змінюється по деякому закону: $\Pi_1 = a_1 t_{i_1}^{b_1}$, де t_{i_1} – поточний час в першому періоді.

Зміни, що вносяться до величину Π_1 параметрами першої групи, можна виразити аналогічним законом:

$$\Pi_p = a_p t_{i_1}^{b_p}, \quad (7)$$

а параметрами другої групи - подібною ж формулою:

$$\Pi_n = a_n t_{i_1}^{b_n}. \quad (8)$$

Відповідно коефіцієнти динамічності основного вихідного сигналу і двох груп параметрів-причин мають вигляд:

$$D_1 = \frac{d\Pi_1}{dt} = a_1 b_1 t_{i_1}^{b_1-1}, \quad (9)$$

$$D_1 = \frac{d\Pi_p}{dt} = a_p b_p t_{i_1}^{b_p-1}, \quad (10)$$

$$D_1 = \frac{d\Pi_n}{dt} = a_n b_n t_{i_1}^{b_n-1}. \quad (11)$$

Отже, в початковий період: $\Pi_1 = \Pi_p + \Pi_n$,

$$D_1 = D_p + D_n.$$

Після того, як була проведена перша регулювання всіх регульованих параметрів одночасно і їх значення були відновлені до нормальних, величина зміни параметра вищого рівня буде рівна лише частці зміни, внесеної групою нерегульованих параметрів за час t_1 : $\Pi_1 = \Pi_n$.

Для групи регульованих параметрів з моменту регулювання відлік часу починається з нуля, через що група регульованих параметрів у другому періоді

вносить зміни у величину Π_1 по колишньому

закону: $\Pi_p = a_p t_{i_2}^{b_p}$, $D_p = a_p b_p t_{i_2}^{b_p-1}$.

У той же час група нерегульованих параметрів змінюється відповідно до формулами:

$$\Pi_n = a_n (t_1 + t_{i_2})^{b_n}, \quad D_n = a_n b_n (t_1 + t_{i_2})^{b_n-1},$$

де t_1 – тривалість першого періоду; t_{i_2} – поточний час між першою і другою регулювання. У зв'язку з цим

$$\Pi_1 = \Pi_p + \Pi_n = a_p t_{i_2}^{b_p} + a_n (t_1 + t_{i_2})^{b_n};$$

$$D_1 = D_p + D_n = a_p b_p t_{i_2}^{b_p-1} + a_n b_n (t_1 + t_{i_2})^{b_n-1}$$

Описаний процес відбуватиметься і в наступних періодах між регулюваннями, тому в загальному вигляді в період m величина зміни параметра вищого рівня і його коефіцієнт динамічності складуть:

$$\Pi_1 = a_p t_{i_m}^{b_p} + a_n \left(\sum_{k=1}^{m-1} t_k + t_{i_m} \right)^{b_n}, \quad (12)$$

$$D_1 = a_p b_p t_{i_m}^{b_p-1} + a_n b_n \left(\sum_{k=1}^{m-1} t_k + t_{i_m} \right)^{b_n-1}. \quad (13)$$

Так як регулювання по потребі проводиться лише в момент, коли Π_1 одно граничного зміни $\Pi_1^{\text{пред}}$, То величина періоду до наступної регулювання визначається з умови:

$$\Pi_1^{\text{пред}} = a_p t_m^{b_p} + a_n \left(\sum_{k=1}^{m-1} t_k + t_m \right)^{b_n}. \quad (14)$$

Для розрахунків за формулою (17) можуть бути використані розрахункові значення a_p , b_p , a_n і

b_n , Одержувані в результаті причинно-наслідкового аналізу об'єкта, або ці ж значення, уточнені в період експлуатації об'єкта.

Величина t_m , що представляє собою прогноз роботи об'єкта після регулювання до моменту досягнення граничного значення зміни параметра вищого рівня, підраховується за формулою:

$$t_m = \left[\frac{P_1^{\text{пред}}}{a_p(1+z)} \right]^{\frac{1}{b_p}}. \quad (15)$$

Тут

$$Z = \frac{a_n \left[t_s^{b_n} - \left(\sum_{k=1}^{m-1} t_k \right) \right]}{a_p \left(t_s - \sum_{k=1}^{m-1} t_k \right)^{b_p}}. \quad (16)$$

У формулі (16) t_s – значення часу від початку експлуатації, при якому P_n досягає значення $P_1^{\text{пред}}$. Аналіз формули (16) показує, що з

наближенням значення $\sum t_k$ до t_s величина Z

зростає, що свідчить про постійне зростання ролі нерегульованих параметрів у формуванні технічного стану об'єкта за умови, якщо регульовані параметри будуть всі одночасно відновлюватися до номінальних значень. У момент, коли подальша регулювання параметрів першої групи вже не приносить потрібного результату. Виникає необхідність у відновленні номінальних значень і параметрів другої групи, що досягається шляхом проведення ремонтних операцій.

Висновки

Можна вказати, що прогнозування цілком реально на основі причинно-наслідкового аналізу і для нього нами отримані прості розрахункові формули, що оптимізують прогнозований період за критеріями мінімуму збитків, пов'язаних з простоями об'єкта і заміною зношених деталей, а також за критерієм максимуму виробленої або переданої механізмом енергії.

Список літератури

1. Калініченко Д. Ю., Rogovskii I. L. Аналітичні положення визначення коефіцієнта динамічності параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки, технологій для

сільського господарства України. Дослідницьке. 2017. Вип. 21 (35). С. 55–61.

2. Калініченко Д. Ю., Rogovskii I. L. Аналіз систем і стратегій технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів та їх складових частин. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 258. С. 380–390.

3. Калініченко Д. Ю., Rogovskii I. L. Штучні когнітивні системи в процесах технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 262. С. 353–361.

4. Калініченко Д. Ю., Rogovskii I. L. Математичний апарат опису маршруту технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів з урахуванням виявлення комбінацій відмов. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 275. С. 337–346.

5. Kalinichenko Dmytro, Rogovskii Ivan. Decision for technical maintenance of combine harvesters in system of RCM. MOTROL. Lublin. 2017. Vol. 19. No 3. P. 179–184.

6. Kalinichenko Dmytro, Rogovskii Ivan. Modeling technology in centralized technical maintenance of combine harvesters. TEKA. 2017. Lublin–Rzeszów. Vol. 17. No 3. P. 103–114.

7. Войтюк В. Д., Рубльов В. І., Rogovskii I. L. Системні принципи забезпечення якості технічного сервісу сільськогосподарської техніки: монографія. Київ. НУБіП України. 2016. 360 с.

8. Rogovskii I. L. Відновлення працездатності складальних одиниць сільськогосподарської машини. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків. 2015. Вип. 159. С. 224–232.

9. Rogovskii Ivan. Стохастические модели обеспечения работоспособности сельскохозяйственных машин. Motrol: Motorization and power industry in agriculture. 2014. Tom 16. №3. P. 296–302.

10. Rogovskii I. L. Conceptual framework of management system of failures of agricultural machinery. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 262. С. 403–411.

11. Kalinichenko Dmytro, Rogovskii Ivan. Method for Determining Time of next Maintenance of Combine Harvesters. TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. 2018. Lublin–Rzeszów. Vol. 18. No 1. P. 105–115.

12. Rogovskii I., Grubrin O. Accuracy of converting videoendoscopy combine harvester using generalized mathematical model. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: technique and energy of APK. Kyiv, Ukraine.

vol. 298, 2018, pp. 149-156. doi: 10.31548/me.2018.04.149-156.

13. Viba J., Lavendelis E. Algorithm of synthesis of strongly non-linear mechanical systems. In *Industrial Engineering – Innovation as Competitive Edge for SME*, 22 April 2006. Tallinn, Estonia, pp. 95-98.

14. Luo A.C.J., Guo Y. *Vibro-impact Dynamics*. Berlin: Springer-Verlag, 2013. 213 p.

15. Astashev V., Krupenin V. Efficiency of vibration machines. *Proceedings of 16th International Scientific Conference “Engineering for rural development”*. Jelgava, Latvia, May 24-26, 2017, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 16, pp. 108-113.

16. Zagurskiy O., Ohiienko M., Rogach S., Pokusa T., Titova L., Rogovskii I. Global supply chain in context of new model of economic growth. Conceptual bases and trends for development of social-economic processes. *Monograph*. Opole. Poland, 2018, pp. 64-74.

References

1. Kalinichenko D. Yu., Rogovskii, I. L. (2017). Analytical position determination of the coefficient of dynamic parameters of the technical condition of combine harvesters. *Technical and technological aspects of the development and testing of new equipment and technologies for agriculture of Ukraine*. Doslidnitske. Vol. 21 (35). 55-61.

2. Kalinichenko D. Yu., Rogovskii, I. L. (2017). Systems analysis and strategies for technical maintenance of combine harvesters and their parts. *Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK*. Kyiv. Vol. 258. 380-390.

3. Kalinichenko D. Yu., Rogovskii, I. L. (2017). Artificial cognitive systems in the processes of technical maintenance of combine harvesters. *Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK*. Kyiv. Vol. 262. 353-361.

4. Kalinichenko D. Yu., Rogovskii, I. L. (2017). Mathematical apparatus of the description of the route maintenance of combine harvesters in accordance with the detection of combinations of failures. *Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK*. Kiev. Vol. 275. 337-346.

5. Kalinichenko Dmytro, Rogovskii Ivan. (2017). Decision for technical maintenance of combine harvesters in system of RCM. *MOTROL*. Lublin. Vol. 19. No 3. 179-184.

6. Kalinichenko Dmytro, Rogovskii Ivan. (2017). Modeling technology in centralized technical maintenance of combine harvesters. *TEKA*. Lublin–Rzeszów. Vol. 17. No 3. 103-114.

7. Voytyuk, V. D., Rublyov, V. I., Rogovskii, I. L. (2016). System guidelines for quality assurance of technical service of agricultural machinery. *Kiev. NULESU*. 360.

8. Rogovskii, I. L. (2015). Recovery Assembly units of agricultural machines. *Bulletin of Kharkov National Technical University of Agriculture named Peter Vasilenko*. Kharkov. Vol. 159. 224-232.

9. Rogovskii Ivan. (2014). Stochastic models ensure efficiency of agricultural machinery. *Motrol: Motorization and power industry in agriculture*. Tom 16. № 3. 296-302.

10. Rogovskii, I. L. (2017). Conceptual framework of management system of failures of agricultural machinery. *Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK*. Kiev. Vol. 262. 403-411.

11. Kalinichenko Dmytro, Rogovskii Ivan. (2018). Method for Determining Time of next Maintenance of Combine Harvesters. *TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering*. Lublin–Rzeszów. Vol. 18. No 1. 105-115.

12. Rogovskii I., Grubrin O. (2018). Accuracy of converting videoendoscopy combine harvester using generalized mathematical model. *Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: technique and energy of APK*. Kyiv, Ukraine. vol. 298, 149-156. doi: 10.31548/me.2018.04.149-156.

13. Viba J., Lavendelis E. (2006). Algorithm of synthesis of strongly non-linear mechanical systems. In *Industrial Engineering – Innovation as Competitive Edge for SME*, 22 April 2006. Tallinn, Estonia, 95-98.

14. Luo A.C.J., Guo Y. (2013). *Vibro-impact Dynamics*. Berlin: Springer-Verlag. 213.

15. Astashev V., Krupenin V. (2017). Efficiency of vibration machines. *Proceedings of 16th International Scientific Conference “Engineering for rural development”*. Jelgava, Latvia, May 24-26, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 16, 108-113.

16. Zagurskiy O., Ohiienko M., Rogach S., Pokusa T., Titova L., Rogovskii I. (2018). Global supply chain in context of new model of economic growth. Conceptual bases and trends for development of social-economic processes. *Monograph*. Opole. Poland, 64-74.

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ГОТОВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗЕРНУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

Ю. А. Черник

Аннотация. Основным свойством долевого коэффициента динамичности является то, что он позволяет определить наиболее слабое звено (параметр) данного механизма по признаку максимального влияния на изменение параметра уровня, то есть по максимуму долевого коэффициента. В статье определено, что прогнозирование вполне реально на основе причинно-следственного анализа и для него нами получены простые расчетные формулы, оптимизируют прогнозируемый период по критериям минимума потерь, связанных с простоями объекта и заменой изношенных деталей, а также по критерию

максимума произведенной или переданной
механизмом энергии.

Ключевые слова: система, готовность,
коэффициент, комбайн.

ANALYTICAL PRINCIPLES OF FORECASTING
TO ENSURE THE TECHNICAL READINESS
OF OPERATION OF COMBINE HARVESTERS

Yu. O. Chernik

Abstract. A basic property of a proportion of agility is that it allows you to determine the weakest link (option) this mechanism on the basis of maximum impact on the change in parameter level that is the maximum proportional factor. In the article it is determined that the prediction is realistic based on causal analysis and to him we have obtained simple formulas, optimize the forecast period according to the criteria of the minimum of losses associated with downtime of the facility and the replacement of worn parts, as well as the criterion of the maximum produced or transferred by the mechanism of energy.

Key words: system, availability, efficiency, combine.

Ю. О. Черник ORCID 0000-0002-9654-9051.

УДК 621.81

СТІЙКІСТЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МЕЗ ЗА ПАРАМЕТРАМИ ОХОРОНИ ПРАЦІ НА ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСАХ ЗБЕРІГАННЯ ЗЕРНА

С. М. Виговський, І. Л. Роговський

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Кореспонденція автора: rogovskii@nubip.edu.ua.

Історія статті: отримано – квітень 2019, акцептовано – червень 2019.

Бібл. 9, рис. 3, табл. 2.

Анотація. З метою виявлення причин перекидання, усю інформацію по травматизму з летальним кінцем по цій ситуації ми розподілили на чотири групи. В якості кваліфікаційної ознаки групи використали вид агрегування, при якому сталося перекидання агрегату (трактори без навісних і причіпних знарядь або машин, трактори з навісними знаряддями, трактори з причіпними знаряддями і трактори з причепами).

Вибір і обґрунтування одного узагальненого показника для характеристики безпеки руху тракторів і інших самохідних сільгоспмашин нині не представляється можливим. Проте, шляхом порівняння оптимальних умов експлуатації (кутів, висоти нерівностей мікрорельєфу і швидкостей) можна знайти критичний кут нахилу місцевості, найбільшу допустиму висоту мікрорельєфу і найбільшу допустиму безпечну швидкість руху агрегату.

Ключові слова: моделювання, небезпека, виробництво, процес, зерносклад.

Постановка проблеми

У сільськогосподарському виробництві країни більше 50% об'єму перевезень здійснюється колісними тракторами з причепами [1, 2]. В той же час, експлуатація цього виду транспорту відбувається в господарствах в далеко не ідеальних умовах [3, 4].

Аналіз останніх досліджень

До їх числа відноситься незадовільний стан внутрішньогосподарських доріг [5], недотримання водіями затвердженого маршруту і режиму руху [6], низька кваліфікація трактористів і незадовільна організація технічного обслуговування тракторів перед виходом з машинного двору [7]. Цей комплекс невідповідностей або відхилень сприяє виникненню високого рівня дорожньо-транспортних подій з колісними тракторами і комбайнами [8]. Найбільш поширеною ситуацією серед цих подій є бічне перекидання машин, яке, як правило, закінчується для

трактористів і комбайнерів травмою з важким або смертельним результатом [9-14].

Мета досліджень

Мета досліджень обґрунтувати підвищення динамічної стійкості сільськогосподарських транспортних засобів за параметрами охорони праці.

Результати досліджень

З метою виявлення причин перекидання, усю інформацію по травматизму з летальним кінцем по цій ситуації ми розподілили на чотири групи. В якості кваліфікаційної ознаки групи використали вид агрегування, при якому сталося перекидання агрегату (трактори без навісних і причіпних знарядь або машин, трактори з навісними знаряддями, трактори з причіпними знаряддями і трактори з причепами). Враховуючи, що кількість перекидань колісних тракторів з причепами складає 45,4% від усіх перекидань, ми виділили їх в самостійну групу (табл. 1).

Аналіз даних табл. 1 показує, що найбільше число перекидань відбувається при використанні колісних тракторів на транспортних роботах (трактор + причіп). Це свідчить про негативний вплив причепа на динамічні характеристики трактора, особливо за відсутності на тракторі і причепі справних гальм.

Зробимо класифікацію колісних тракторів, які перекинулися, за загальними причинами. Всього було виділено 8 класів.

1-й клас. Не були підключені або були відсутні гальма на причепі або причіпному знарядді.

2-й клас. Не дотримані затверджені маршрути руху або правила перевезення великогабаритних вантажів.

3-й клас. Допущені до експлуатації машини з несправними рульовим керуванням, гальмівною системою і за відсутності страхувального троса.

4-й клас. Керування машиною в нетверезому стані.

5-й клас. Незадовільний стан дороги: ожеледь, нальоти бруду на дорогах з твердим покриттям, аварійний стан мостів і переправ.

6-й клас. Інші причини, не залежні від тракториста і технічного стану машини: засліплення тракториста світлом фар зустрічного транспорту; зіткнення із зустрічним транспортом, що вийшов з полоси руху; перекидання буксированого трактора по слизькій дорозі; недостатня оглядовість з робочого місця.

7-й клас. Стоплення тракториста, пов'язане з порушенням тривалості роботи агрегату; відсутність пристроїв для прикурювання при керуванні трактором, хворобливий стан тракториста.

8-й клас. Низька кваліфікація тракториста, що виражається в неправильному виборі режимів руху трактора при маневрах (обгоні), при русі на спусках і підйомах.

У табл. 2 представлена питома вага кожного з восьми класів причин перекидання.

Таблиця 1. Розподіл перекидань колісних тракторів по виду агрегування, %.

Table 1. The shifting distribution of wheel tractors according to the type of aggregation, %.

Марка трактора	Вид агрегування			
	з причепом	з причіпним знаряддям	з навісним знаряддям	без причіпних і навісних знарядь
T-150K	62,5	25,0	0	12,5
ЮМЗ-6АКМ	61,5	23,1	15,7	0
МТЗ-80(82)	65,0	12,5	5,0	15,5
T-150	50,0	21,4	0	23,6
K-700A	51,1	2,2	11,1	35,6
МТЗ-100	65,1	5,6	14,2	15,1
ХТЗ-121	0	24,2	32,3	43,5
T-25A	0	38,5	38,5	23,0

Таблиця 2. Питома вага класу причин перекидання по марках тракторів %.

Table 2. The proportion of the class the reasons for the transfer of the brands of tractors %.

Марка трактора	Клас причин							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
T-150K	15,4	7,7	7,7	15,3	15,3	15,3	7,7	15,3
ЮМЗ-6АКМ	37,5	5,0	5,0	17,5	10,0	7,5	2,5	15,0
МТЗ-80(82)	18,8	6,3	25,0	12,5	6,3	12,5	18,5	0
T-150	7,1	7,1	7,1	14,4	28,6	7,1	0	28,6
K-700A	13,3	8,9	6,7	26,7	11,1	4,4	13,3	15,6
МТЗ-100	19,8	18,0	16,0	13,2	13,2	9,4	6,5	4,7
ХТЗ-121	1,6	6,5	29,0	8,1	12,9	19,4	6,5	16,1
T-25A	3,8	3,8	7,7	3,8	19,2	23,0	7,7	30,8

Дані, представлені в табл. 2, дозволяють виявити домінуючий клас причин перекидання по окремих марках машин. Так, наприклад, трактори МТЗ-80(82) в 37,5 і 19,8% випадків відповідно перевертаються із-за невідключення до причепа гальм, що агрегуються, а трактори Т-150К – через непристосованості до роботи в незадовільних дорожніх умовах (VI клас причин). Найбільший відсоток перекидань (26,7%) енергонасичених тракторів марки К-700А відбувається внаслідок нетверезого стану водіїв. Трактори марки ХТЗ-121 в 29% випадків перевертаються через незадовільний технічний стан системи рульового керування, а трактори Т-25А – внаслідок низької кваліфікації трактористів.

Статистика показує, що колісні трактори і комбайни різних класів значно відрізняються по коефіцієнту травматизму по ситуації перекидання, хоча відмінність у величині кута статичної стійкості у них незначна. Причому трактори і комбайни з більшою масою і габаритами, наприклад, К-700А, Т-150 або СК-6А, перевертаються частіше. На підставі цього ми робимо припущення про те, що окрім організаційних причин, що обумовлюють перекидання машин, одночасно є присутніми і діють зовні приховані

технічні причини, незалежні від обслуговуючого персоналу. З метою виявлення характеру дії цих причин і розробки пропозицій по зниженню їх впливу нами розроблена логічна модель перекидання.

При розробці такої моделі прийнято, що перекидання колісних тракторів і комбайнів на греблях, узгір'ях і поворотах відбувається переважно внаслідок втрати стійкості курсового руху і виходу машини за межі допустимого коридору руху. При цьому вважається, що стійкість курсового руху є функція деяких параметрів дороги і машини. Зокрема, ширина проїжджої частини дороги H , колії машини B , висоти центру мас машини h_c величини рискання, пов'язаної з величиною люфта рульового колеса.

Нехай ці параметри пов'язані між собою деякою залежністю, що обумовлює курсову стійкість машини на дорозі:

$$X = \frac{(H - B) \cdot B}{10 \cdot h_c \cdot \varphi}. \quad (1)$$

Тоді, задаючись значенням ширини коридору руху H і підставляючи відповідні значення параметрів

B , h_c і φ машини, обчислюємо величину параметра X . Відкладаючи на вертикальній осі статистичні значення коефіцієнтів травматизму ($K_4^{лет}$) з летальним кінцем по ситуації «перекидання», скоректовані з урахуванням однакового річного напруження тракторів, а по горизонтальній осі – значень параметра X набуваємо розподіл коефіцієнта травматизму від деякого комплексного якісного показника дороги і машини.

Проведемо апроксимацію отриманої кривої (рис. 1) методом квадратних форм. Тепер ця залежність набере вигляду:

$$K_4^{років} = \frac{4,43}{0,43 + \frac{(H-B) \cdot B}{10 \cdot h_c \cdot \varphi}} \quad (2)$$

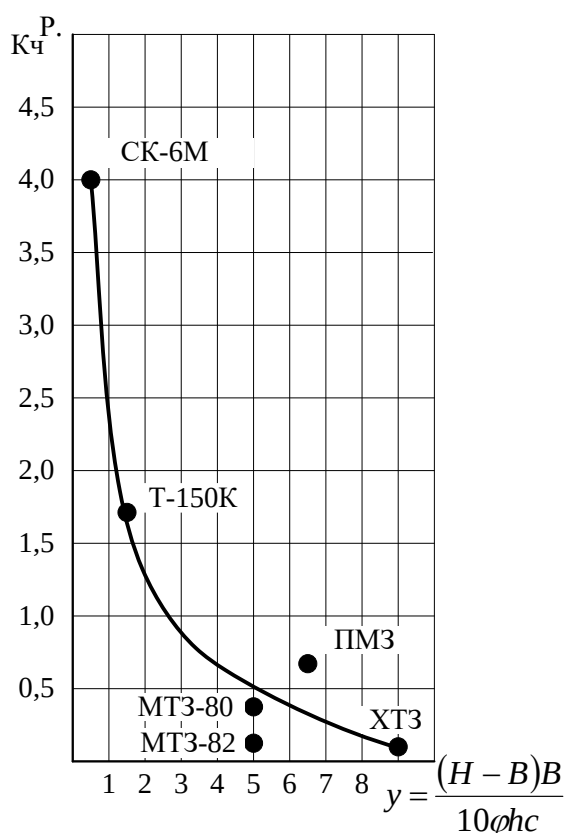


Рис. 1. Залежність приведенного коефіцієнта травматизму з летальним кінцем при перекиданні сільгоспмашин і тракторів від характеристик B , H , φ , h_c .

Fig. 1. Given the dependence of the coefficient of fatal injuries in the rollover of agricultural machines and tractors characteristics B , H , φ , h_c .

Аналіз залежності (2) показує, що підвищення безпеки руху машин може йти у напрямі збільшення ширини коридору руху $\Delta H = (H - B)$ посилення величини люфта системи рульового управління,

пов'язаного з люфтом рульового колеса φ_1 і зниження висоти центру мас h_c машини.

Не виключено, що у міру поглиблення досліджень на пізнішому етапі з'явиться можливість уточнення залежності (2), що дозволить сформулювати науково обґрунтовані вимоги до технічних характеристик машин і доріг.

Вибір і обґрунтування одного узагальненого показника для характеристики безпеки руху тракторів, МТА і інших самохідних сільгоспмашин нині не представляється можливим. Проте, шляхом порівняння оптимальних умов експлуатації (кутів, висоти нерівностей мікрорельєфу і швидкостей) можна знайти критичний кут нахилу місцевості, найбільшу допустиму висоту мікрорельєфу і найбільшу допустиму безпечну швидкість руху агрегату.

Цим способом можна отримати критичні величини, цілком достатні для визначення діапазону безпечної експлуатації тракторного агрегату або самого трактора. У конкретних умовах експлуатації на основі цих показників можна встановити міру безпеки і вжити заходи по попередженню перекидання трактора.

Так, автори робіт [1, 2] пропонують характеризувати безпеку руху колісних тракторів шляхом оцінки їх стійкості по керованості і визначення числа відривів керованих коліс:

$$v = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{D_\varepsilon}{D_\varepsilon}} \cdot e^{-\frac{\varepsilon_{дон}^2}{2D_\varepsilon}} \quad (3)$$

де D_ε – дисперсія швидкості деформації шин, $\text{см}^2/\text{с}^2$;

D_ε – дисперсія деформації шпильки, см^2 ;

$\varepsilon_{дон}$ – деформація шини відносно середнього значення, см .

Допустимим значенням за першим критерієм рекомендується $v = 1$ відриву/с.

Стійкість до перекидання колісних машин при русі по дорозі з поперечним ухилом нами запропоновано характеризувати величиною гранично-допустимої швидкості V_{np} , яка визначається з умов руху машини без бічного перекидання:

$$[V_{np}]^2 \leq \frac{\tau [\beta - \alpha \sqrt{B^2 - \gamma^2}] - 0,5\gamma}{\rho^2 + \beta^2} \frac{\text{км}^2}{\text{год}^2}, \quad (4)$$

де

$$\tau = 3,6^2 \cdot 2g \cdot B^2 \cdot \frac{1}{D_{ij'} A_{2^2}};$$

$$\beta = \sqrt{\frac{B^2}{4} + h_c^2};$$

$$\alpha = \frac{h_c}{B}; \quad \gamma = B \sin \psi - A_1 \sigma_y;$$

$$\rho^2 = \frac{1}{12}(a^2 + B^2) - \text{квадрат радіусу інерції машин}$$

відносно подовжньої осі, що проходить через центр мас, м^2 ;

a – висота машини, м ;

ψ – поперечний кут нахилу дороги, град;

$A_1 = A_2 = 4$ – коефіцієнти, що визначають вірогідність неперекидання;

D_{ij} ; σ_y – коефіцієнти, що характеризують

дорожнє покриття.

Оцінка машин на динамічну стійкість повинна проводитися по більшому значенню числа відривів коліс або по гранично допустимій швидкості руху.

Математичні викладення і обробка даних за визначенням числа відривів коліс трактора від поверхні дороги і гранично допустимій швидкості руху викладені в роботах [1, 2].

Порівняльну оцінку динамічної стійкості машин слід проводити шляхом зіставлення розрахункових величин гранично допустимих швидкостей руху (з умови неперекидання) із заданими характеристиками рельєфу.

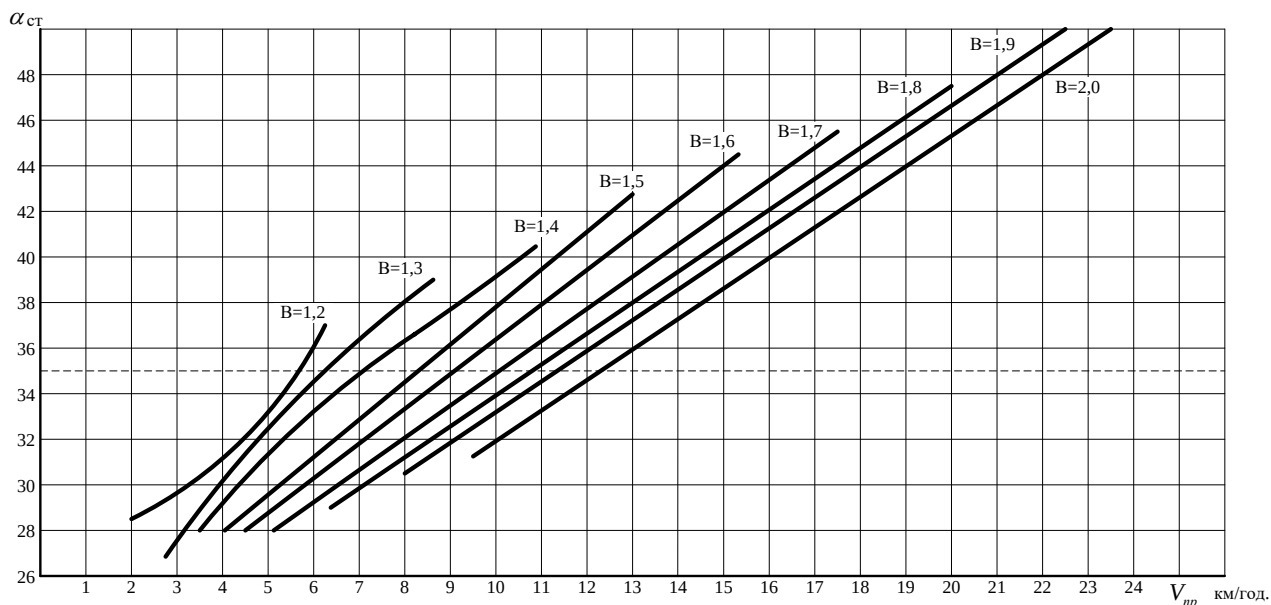


Рис. 2. Графічні залежності боково-допустимих швидкостей руху машин V_{np} від величини кута їх статичної остійності α і ширини колії машини B .

Fig. 2. Graphic curves laterally permissible speeds of the machines V_{np} from the angle of their static stability α and the track width of the machine B .

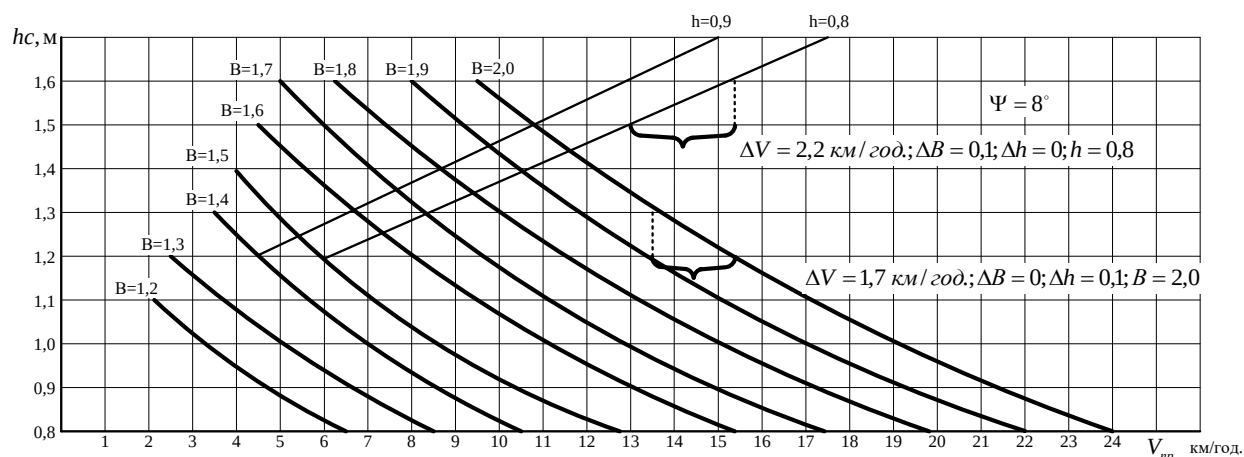


Рис. 3. Графічні залежності гранично допустимих швидкостей руху машин V_{np} від ширини колії машини B і висоти центру мас машини h_c .

Fig. 3. Graphic curves laterally permissible speeds of the machines V_{np} from track width of the machine B and the height of the center of mass of the machine h_c .

На рис. 2 представлені у вигляді графіків розраховані по формулі (4) значення гранично допустимих, безпечних з умови неперекидання швидкостей руху самохідного тракторного шасі Т-16МГ [V_{np}] при варіюванні поперечної ширини колін машини в діапазоні $B=1, 2...2,0$ м і кута статичної стійкості від $\alpha_{ст} = 26...50^\circ$.

В якості розрахункового рельєфу взятий трек з Британського стандарту 4220, математичне очікування кута нахилу рельєфу $\psi = 5...10$ з кроком 1. Кут $\psi = 8$ вибраний в якості оптимального, тому що при $\psi < 5$ нерівностей рельєфу не роблять істотного впливу на динамічну стійкість машини.

Розрахунки показали, що лінійного зв'язку між статичним кутом і динамічною стійкістю не існує і що ця залежність не лінійна і є функцією двох змінних $V_{np} = f(\alpha, B)$.

Дослідження графічних залежностей V_{np} (рис. 3)

як функції B і h_c показує, що V_{np} змінюється у більшому діапазоні при збільшенні ширини колії машини B (при постійній величині h_c), чим при зниженні висоти центру мас h_c на таку ж величину (при незмінній ширині колії машини B).

Отже, для підвищення динамічної стійкості спочатку слід максимально збільшити ширину колії, що у багатьох випадках для самохідних машин виконати конструктивно простіше, ніж понизити центр мас.

Висновки

1. Серед машин, що агрегуються з колісними тракторами, найбільшу негативну дію на його стійкість чинять причепа. На цей вид агрегування доводиться 50-65% від усіх перекидань тракторів.

2. Отримана емпірична залежність між статистичними показниками травматизму при перекиданні колісних тракторів і комбайнів і деякими технічними характеристиками машин і дороги. Залежність має нелінійний характер, а по графічному виду – параболу.

3. Показано, що підвищення динамічної стійкості тракторів доцільніше розпочинати зі збільшення ширини колії, а потім переходити на зниження центру мас.

Список літератури

1. Ivanovs S., Bulgakov V., Nadykto V., Kuvachov V. Theoretical investigation of turning ability of two-machine sowing aggregate. Proceedings of 17th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 23-25, 2018, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 17, pp. 314-322.

2. Bulgakov V., Ivanovs S., Adamchuk V., Nowak J. Theoretical investigation of steering ability of movement of asymmetric swath header and tractor aggregate. Proceedings of 17th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 23-25, 2018, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 17, pp. 301-308.

3. Knapczyk A., Francik S., Pedryc N., Hebda T. Bibliometric analysis of research trends in engineering for rural development. Proceedings of 17th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 23-25, 2018, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 17, pp. 700-707.

4. Dubbini M., Pezzuolo A., De Giglio M., Gattelli M., Curzio L., Covi D., Yezekyan T., Marinello F. Last generation instrument for agriculture multispectral data collection. CIGR Journal, vol. 19, 2017, pp. 158-163.

5. Виговський С. М., Rogovskiy I. Л. Інженерні заходи забезпечення охорони праці при експлуатації МЕЗ на зерноскладах підприємств АПК. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: механізація та автоматизація виробничих процесів. Суми, 2016. Вип. 10/3 (31). С. 168-173.

6. Виговський С. М., Rogovskiy I. Л. Логічна модель процесу перебігу подій-небезпек в заходах охорони праці при експлуатації МЕЗ на зерноскладах підприємств АПК. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК [Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK]. Київ. 2017. Вип. 275. С. 325-335.

7. Виговський С. М., Rogovskiy I. Л. Вдосконалення навчання з охорони праці при експлуатації МЕЗ на зерноскладах підприємств АПК. Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування. XVIII Міжнародна конференція науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів: збірник тез. м. Київ, Україна, 26-30 березня 2018 року. Київ. 2018. С. 180-183.

8. Виговський С. М., Rogovskiy I. Л. Підвищення безпеки праці при забезпеченні стійкості руху МЕЗ на зерноскладах підприємств АПК. Збірник тез доповідей XIV Міжнародної наукової конференції «Раціональне використання енергії в техніці. TechEnergy 2018» (19-22 травня 2018 року). Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2018. С. 136-138.

9. Виговський С. М., Rogovskiy I. Л. Імітаційне моделювання фізичних небезпек на виробничих процесах при експлуатації МЕЗ на зерноскладах. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No 1, 189-194.

References

1. Ivanovs S., Bulgakov V., Nadykto V., Kuvachov V. (2018). Theoretical investigation of turning ability of two-machine sowing aggregate. Proceedings of 17th International Scientific Conference "Engineering for rural

development". Jelgava, Latvia, May 23-25, 2018, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 17, 314-322.

2. *Bulgakov V., Ivanovs S., Adamchuk V., Nowak J.* (2018). Theoretical investigation of steering ability of movement of asymmetric swath header and tractor aggregate. Proceedings of 17th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 23-25, 2018, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 17, 301-308.

3. *Knapczyk A., Francik S., Pedryc N., Hebda T.* (2018). Bibliometric analysis of research trends in engineering for rural development. Proceedings of 17th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 23-25, 2018, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 17, 700-707.

4. *Dubbini M., Pezzuolo A., De Giglio M., Gattelli M., Curzio L., Covi D., Yezekyan T., Marinello F.* (2017). Last generation instrument for agriculture multispectral data collection. CIGR Journal, vol. 19, 158-163.

5. *Vygovskii, S. M., Rogovskii I. L.* (2016). Engineering measures to ensure safety in the operation of the IES at the granaries of agricultural enterprises. Bulletin of Sumy National Agrarian University. Series: mechanization and automation of production processes. The amount of, Vol. 10/3 (31). 168-173.

6. *Vygovskii, S. M., Rogovskii I. L.* (2017). Logical process model flow of events-dangers in the activities of occupational safety in the operation of the extraction plant on silos of agribusiness. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kyiv. Vol. 275. 325-335.

7. *Vygovskii, S. M., Rogovskii I. L.* (2018). Improvement of education on labor protection during operation of the IES at the granaries of agricultural enterprises. Problems and prospects of development of technical and bioenergetic environmental management systems. XVIII International conference of scientific and pedagogical workers, scientific employees and postgraduates: abstracts. Kyiv, Ukraine, 26-30 March 2018. Kyiv. 180-183.

8. *Vygovskii, S. M., Rogovskii I. L.* (2018). Improving workplace safety while ensuring the sustainability of the movement MEZ on the granaries of agricultural enterprises. The book of abstracts XIV International scientific conference "Rational use of energy in technology. TechEnergy 2018" (19-22 May 2018). National University of life and environmental Sciences of Ukraine. Kyiv. 136-138.

9. *Vygovskii, S. M., Rogovskii I. L.* (2019). Simulation of physical hazards in production processes when operating the extraction plant on silos. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No 1, 189-194.

УСТОЙЧИВОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МЭС ПО ПАРАМЕТРАМ ОХРАНЫ ТРУДА НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССАХ ХРАНЕНИЯ ЗЕРНА

С. М. Виговський, І. Л. Роговський

Аннотация. С целью выявления причин опрокидывания, всю информацию по травматизма с летальным исходом по этой ситуации мы распределили на четыре группы. В качестве квалификационной признаки группы использовали вид агрегатирования, при котором произошло опрокидывание агрегата (трактора без навесных и прицепных орудий или машин, тракторы с навесными орудиями, тракторы с прицепными орудиями и трактора с прицепами).

Выбор и обоснование одного обобщенного показателя для характеристики безопасности движения тракторов и других самоходных сельхозмашин в настоящее время не представляется возможным. Однако, путем сравнения оптимальных условий эксплуатации (углов, высоты неровностей микрорельефа и скоростей) можно найти критический угол наклона местности, наибольшую допустимую высоту микрорельефа и наибольшую допустимую безопасную скорость движения агрегата.

Ключевые слова: моделирование, опасность, производство, процесс, зерносклад.

SUSTAINABILITY OF AGRICULTURAL MEZ IN PARAMETERS OF LABOR PROTECTION ON PRODUCTION PROCESSES OF GRAIN STORAGE

S. M. Vygovskii, I. L. Rogovskii

Abstract. With the aim of identifying the reasons for overturning all the information on fatal injuries in the situation we were divided into four groups. As qualifying signs of the groups used a form of aggregation, which occurred on the rollover of the unit (tractor without mounted and trailed implements or machines, tractor with trailer, tractor with towed implements and tractors with trailers).

Selection and justification of a generalized indicator for characterizing the safe movement of tractors and other self-propelled agricultural machines is currently not possible. However, by comparing the optimal operating conditions (angles, height of the irregularities of the microrelief and velocities) can find the critical angle of inclination of the terrain, the highest permissible height of microrelief and maximum safe speed of movement of the unit.

Key words: modeling, risk, manufacture, process, granary.

С. М. Виговський ORCID 0000-0002-0357-3141.

І. Л. Роговський ORCID 0000-0002-6957-1616.

УДК 631.1.004

АНАЛІТИЧНІСТЬ МЕХАНІЗМУ ВІДНОВЛЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН НА ОСНОВІ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ

І. Л. Роговський

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Кореспонденція автора: rogovskii@nubip.edu.ua.

Історія статті: отримано – квітень 2019, акцентовано – червень 2019.

Бібл. 12, рис. 0, табл. 0.

Анотація. В статті представлені результати обґрунтування аналітичної моделі механізму відновлення працездатності сільськогосподарських машин на основі залишкового ресурсу. В статті розглянуті особливості аналітичних підходів до обґрунтування моделі оцінки технічної готовності на основі залишкового ресурсу одиниць сільськогосподарських машин.

Ключові слова: методологія, коефіцієнт готовності, ефективність, сільськогосподарська машина.

Постановка проблеми

Стан елементів механізмів сільськогосподарських машин (далі – машин) змінюється в процесі його експлуатації в тісному взаємозв'язку один з одним.

Незважаючи на те, що цей процес схильний до впливу ряду випадкових факторів, взаємозв'язок між зміною стану окремих елементів або ланок може бути описана причинно-наслідковими зв'язками, що утворюють причинно-наслідковий модель механізму і піддається кількісній оцінці.

На характер зміни технічної готовності (діла – ТГ) системи та її елементів впливають різні фактори, і в першу чергу, такі як надійність технічних засобів, експлуатації, інтенсивність використання тощо.

Однак, характер змін ТГ буде визначатися головним чином операціями технічного обслуговування і ремонту (далі – ТОР), так як їх реалізація забезпечує досягнення технічного стану (далі – ТС) по призначеному ресурсу працездатності.

Аналіз останніх досліджень

Для того, щоб надалі не відбувалося термінологічної плутанини, коротко зупинимось на деяких термінах, використовуваних нами при проведенні діагностичного аналізу механізму [1, 2].

Під станом механізму ми розуміємо якісну оцінку здатності об'єкта виконувати задані при конструюванні функції. Властивість об'єкта, що визначає його здатність виконувати задані функції, отримало назву параметра стану. Якщо в якості

загальної оцінки стану механізму прийняти його основний вихідний сигнал, то на його величину прямо або побічно будуть впливати так активні параметри стану [3].

Однак у кожному механізмі є група параметрів стану [4]. Що не роблять впливу на величину основного вихідного сигналу, і в той же час визначають працездатність окремих вузлів механізму. Такі параметри отримали найменування пасивних [5]. Як активні.

Так і пасивні параметри стану, можуть бути регульованими, ніж в значній мірі визначається характер їх впливу на стан механізму. Для цього використовуються діагностичні сигнали, що виникають в процесі роботи механізму і сприймаються спеціальною вимірювальною апаратурою [6, 7].

Приступаючи до діагностичного аналізу об'єкта, необхідно насамперед визначити його основний вихідний сигнал [8, 9]. Для тракторного двигуна, наприклад, таким сигналом є ефективна потужність, для будь-якого насоса основним вихідним сигналом є його продуктивність (за певних умов) і т.д. [10].

Наступним кроком є визначення причин. Безпосередньо впливають на величину основного вихідного сигналу. Вимога безпосередності впливу є обов'язковим. Якщо ми хочемо отримати правильне уявлення про суму причин, що впливають на величину основного вихідного сигналу механізму. Правильному визначенню причин часто сприяє наявна аналітична залежність основного вихідного сигналу від величини параметрів-причин. Якщо такої залежності немає, то параметри-причини встановлюються емпіричним шляхом [10].

Необхідно підкреслити, що характеристика поняття ТГ буде повною в тому випадку, якщо вона буде враховувати не тільки оцінку фактичного стану ресурсу [11], але й витрати [12], які пов'язані з відновленням ресурсу працездатності, тобто враховувати показники працездатності [3].

В загальному випадку ТГ об'єкта можна характеризувати залишковим призначеним ресурсом [4], величиною витрат [5] на повне поновлені витрачених раніш ресурсів елементів об'єкту $Q_p(t_n)$

– функції часу експлуатації (напрацювання) – t_n або

величиною витрат [6] на прогнозований період експлуатації $Q_P(t_n)$ у функції періоду, що прогнозується t_n [7].

При такому підході до аналізу змісту поняття ТГ буде оцінюватись величиною залишкового ресурсу $t_{зал}$ для запропонованого періоду перебування у стані, що аналізується – t [8, 9].

В цьому випадку в якості кількісного показника ТГ можна розглянути ймовірність виробітки залишкового ресурсу $t_{зал}$ за час $t: P(t \leq t_{зал})$ або величину витрат на поновлення витрачених за час t ресурсів елементів та вузла сільськогосподарських машин ТСО: $Q_P(t)$ [10].

Мета досліджень

Мета досліджень – описати особливості аналітичних підходів до обґрунтування моделі оцінки технічної готовності на основі залишкового ресурсу одиниць сільськогосподарських машин.

Результати досліджень

Оцінка ТГ системи в цілому, з обліком запропонованого підходу в оцінці ТГ елементів системи, пов'язана з визначенням сумарної трудомісткості ТО та ремонту $H(\tau)$ за час:

$$H_{mo}(\tau) = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^n H_{ij}^{TO}, \quad (1)$$

де: $j=1, \dots, N$ – кількість елементів, які підлягають ТО та ремонту за визначений період (τ – рік, протяжність, весь період експлуатації);

$i=1, \dots, n$ – кількість видів ТО j -го елемента машини, які виконуються за визначений період;

H_{ij}^{TO} – трудомісткості i -го виду ТО j -го

елемента машини за визначений період τ люд год).

Аналогічно сумарна трудомісткість ремонтів дорівнює:

$$H_P(\tau) = \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^m H_{kj}^P, \quad (2)$$

де: $k=1, \dots, m$ – кількість видів ремонтів системи, які виконуються за означений період τ .

H_{kj}^P – трудомісткості k -го ремонту j -го

елемента системи за означений період (люд год).

Звідси випливає:

$$H(\tau) = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^n H_{ij}^{TO} + \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^m H_{kj}^P. \quad (3)$$

Сумарна трудомісткості технічного обслуговування та ремонтів за означений період експлуатації враховує сумісний вплив властивостей довгостроковості, безвідмовності та ремонтоздатності і достатньо щільно відображає ефективність управління ТГ систем та їх елементів.

Час та трудомісткість ТОР системи об'єктивно визначає характер змін ТГ її основних елементів. Одним з показників оцінки ТГ можуть служити коефіцієнти, які характеризують зміни ТС системи в залежності від ресурсів основних елементів системи $t_{зал}$ та $t_{назн}$ та часу експлуатації:

$$K_{TG} = \frac{t_{зал}}{t_{назн}}, \quad (4)$$

де: $t_{зал}$ та $t_{назн}$ – відповідно залишковий та назначений ресурс.

Залишковий ресурс $t_{зал} = t_{назна} - t_v$, де t_v – витрачений ресурс. Витрачений ресурс можна представити добутком швидкості витрачання ресурсу на фактично відпрацьований час (термін служби) або напрацювання T :

$$K_{TG} = \frac{t_{назн} - t_p}{t_{назн}} = 1 - \frac{V_s T}{t_{назн}}. \quad (5)$$

Якщо прийняти K_{TG} рівним 0, то момент повного вичерпання об'єктом ресурсу (досягнення ГС) буде дорівнювати:

$$t_{pi} = \frac{t_i}{V_{Si}}, \quad (6)$$

де: t_{pi} – час до початку j відновлення системи, визначене як прогнозуємий залишковий термін служби i -го елемента системи до ремонту;

t_i – запас ресурсу i -го елемента;

V_{Si} – термін вичерпання ресурсу i -го елемента.

Час початку j -го ремонту слід встановлювати за базовими та основними елементами сільськогосподарських машин, які мають на момент часу оцінки найменший ресурс і для яких K_{TG} буде наближено або дорівнювати мінімальному значенню залишкового ресурсу.

Виводити систему з експлуатації для відновлення рівня ТГ слід при одному й тому ж значенню K_{TG} , так як при $K_{TG} < K_{TG \min}$ можуть виникнути аварійні ситуації.

Передчасний вивід системи у ремонт понижує її показники функціонування, збільшує витрати на відновлення та підтримку ТГ системи.

В розвиток визначеного поняття технічної готовності складної технічної системи під технічною готовністю сільськогосподарських машин або підсистем до виконання заданих функціональних задач будемо розуміти характеристики їх ТС, при яких протягом визначеного часу сільськогосподарських машин або підсистем будуть спроможні виконувати ці задачі з ймовірністю, яка визначається призначенням ресурсом працездатності.

У свою чергу, встановлені параметри-причини, самі є наслідком дії ряду інших причин. При визначенні яких також обов'язковий принцип безпосередності. Продовжуючи подібну деталізацію причин і наслідків, можна досягти будь-якого рівня причин, аж до молекулярного. Якщо причини і наслідки встановлені правильно, тобто враховані всі зв'язки причин і наслідків, то в результаті ми отримуємо причинно-наслідковий модель механізму.

Для практичних цілей діагностики виявляється цілком достатнім на нижньому рівні причин обмежитися зовнішніми умовами, в яких працює те чи інше ланка механізму. Цей рівень причин нами умовно узагальнюється поняттям «час роботи», хоча конкретно на цьому рівні можуть знаходитися такі причини, як величина прикладеного навантаження, пройдений шлях, температура, вологість, тиск, запиленість повітря і т.п. Однак, оскільки ці причини є зовнішніми стосовно розглянутого механізму, вони об'єднуються зазначеним поняттям «час». Далі буде показана ефективність цього прийому для отримання результатів причинно-наслідкового аналізу.

Розглядаючи питання причинно-наслідкового аналізу механізмів, не можна не згадати про те, що перші практичні спроби такого підходу до опису процесу зміни стану механізмів зроблені ще Я. Я. Осіс і З.П. Марковичем щодо гальмівної системи автомобіля з гідравлічним приводом. Аналогічну методику застосували А. Р. Авотін, П. М. Кевіш, Д. С. Христинка і Ю. Н. Смирнов при побудові функціональної моделі карбюраторного двигуна внутрішнього згорання. Як вказували самі автори, отримані граф-моделі систем служили більше ілюстрацією, ніж інструментом дослідження кількісних показників зв'язків причин і наслідків.

Почавши наші дослідження приблизно з такого ж рівня, ми потім виявили, що причинно-наслідковий модель піддається вельми ефективному аналізу з застосуванням ряду кількісних характеристик. У цих цілях ми використовували насамперед аналогію даної системи зі структурою вимірювальних приладів при проведенні аналізу причин, що впливають на точність їхніх показань.

Зв'язок між параметром-причиною і параметром-наслідком може бути описана як аналітичної. Так і емпіричної залежності. При цьому, якщо параметр є наслідком декількох параметрів-причин, то залежність з кожним з них описується в припущенні сталості, інших параметрів-причин.

Зазначені залежності визначаються тільки між параметрами сусідніх рівнів (принцип

безпосередності). У загальному вигляді ці залежності можуть бути представлені як $\Pi_{ci}^N (\Pi_{nj}^{N+1})$, де N – номер рівня, i, j – номери параметрів на відповідному рівні. Індексом « N » і « C » позначені причина і наслідок.

Скориставшись термінологією структурного аналізу механізмів, введемо поняття передавального коефіцієнта S , що представляє собою границя відношення приросту параметра-слідства до приросту параметра-причини, коли останнє прагне до нуля:

$$S_{jl} = \lim_{\Delta \Pi_{lj}^{N+1} \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta \Pi_{ci}^N}{\Delta \Pi_{lj}^{N+1}} \right). \quad (7)$$

Ця формула дає можливість помітити, що передавальний коефіцієнт S може бути як безрозмірним у випадку, якщо порівнюються величини з однаковими розмірностями, так і розмірним, якщо розмірності Π_{Π} і Π_C різні. Надалі буде показано, що на кінцевому результаті розрахунку ця особливість не відбивається.

Якщо залежність $\Pi_C (\Pi_{\Pi})$ нелінійна, то очевидно, що величина S не матиме постійного значення на всьому діапазоні зміни Π_{Π} . Для спрощення практичного розрахунку таку залежність можна апроксимувати прямою із застосуванням, наприклад, методу найменших квадратів. При цьому, природно, з'являється деяка похибка, величина якої застосована на всьому діапазоні зміни Π_{Π} . З огляду на те, що величини Π_{Π} і Π_C , Як правило, змінюються лише на невеликій ділянці можливого діапазону змін, апроксимацію прямий можна здійснювати лише для цієї ділянки, що значно знижує помилку апроксимації.

Залежність $\Pi_C (\Pi_{\Pi})$ Може бути як прямий, так і зворотній. В останньому випадку коефіцієнт S матиме знак мінус, який свідчить про те, що зі збільшенням параметра - причини відбувається зменшення параметра-слідства.

Передавальний коефіцієнт S служить допоміжним засобом для визначення ряду інших кількісних зв'язків між параметрами. Характерно, що для всіх зв'язків, крім зв'язку з причиною «час», ймовірнісна складова у величині передавального коефіцієнта досить незначна (за винятком помилок вимірювальних приладів, присутніх в емпіричних зв'язках).

Між зміною параметра нижнього рівня і зміною «часу» також існує певна залежність, яка може бути охарактеризована передавальним коефіцієнтом. Цей передавальний коефіцієнт відображає динаміку зміни параметра в часі. Він являє собою відношення приросту зміни параметра до приросту часу. На відміну від звичайного передавального коефіцієнта це відношення названо нами коефіцієнтом динамічності D параметра.

Очевидно, що кожен з параметрів, що входять в причинно-наслідковий модель механізму, повинен мати свій коефіцієнт динамічності, так як в зміна даного параметра вносить свою частку і параметр-причина, що має безпосередній зв'язок з параметром «час», що служить для визначення коефіцієнта динамічності D_i деякого параметра Π_{Ci} , Пов'язаного залежністю з параметром Π_{Cj} .

$$\text{Впливає, що } \frac{d\Pi_{Ci}}{d\Pi_{Cj}} = tg\theta, \text{ а } \frac{d\Pi_{nj}}{dt} = tg\alpha,$$

внаслідок чого $d\Pi_{Ci} = tg\theta tg\alpha$ звідки:

$$\frac{d\Pi_{Ci}}{dt} = D_t = tg\theta tg\alpha = S_{ji} D_j \quad (8)$$

Висновки

1. Таким чином, для визначення коефіцієнта динамічності i -го параметра N -го рівня необхідно знати передавальний коефіцієнт між j -м параметром $(N+1)$ -го рівня і i -м параметром N -го рівня, а також коефіцієнт динамічності j -го параметра $(N+1)$ -го рівня.

2. Проведений вище аналіз різних підходів до оцінки ТГ, факторів та особливостей, які впливають на цей показник, говорить про їх варіантності на різних рівнях – вузли, деталі, підсистеми та відмінності в залежності від режимів та умов експлуатації.

Список літератури

1. *Sergejeva N., Aboltins A., Strupule L., Aboltina B.* Mathematical knowledge in elementary school and for future engineers. Proceedings of 17th International Scientific Conference “Engineering for rural development”. Jelgava, Latvia, May 23-25, 2018, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 17, pp. 1166-1172.
2. *Dubbini M., Pezzuolo A., De Giglio M., Gattelli M., Curzio L., Covi D., Yezekyan T., Marinello F.* Last generation instrument for agriculture multispectral data collection. CIGR Journal, vol. 19, 2017, pp. 158-163.
3. *Yata V.K., Tiwari B.C., Ahmad, I.* Nanoscience in food and agriculture: research, industries and patents. Environmental Chemistry Letters, vol. 16, 2018, pp. 79-84.
4. *Masek J., Novak P., Jasinskis A.* Evaluation of combine harvester operation costs in different working conditions. Proceedings of 16th International Scientific Conference “Engineering for rural development”. Jelgava, Latvia, May 24-26, 2017, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 16, pp. 1180-1185.
5. *Rogovskii I., Grubrin O.* Accuracy of converting videoendoscopy combine harvester using generalized mathematical model. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: technique and energy of APK. Kyiv, Ukraine.

vol. 298, 2018, pp. 149-156. doi: 10.31548/me.2018.04.149-156.

6. *Viba J., Lavendelis E.* Algorithm of synthesis of strongly non-linear mechanical systems. In Industrial Engineering – Innovation as Competitive Edge for SME, 22 April 2006. Tallinn, Estonia, pp. 95-98.

7. *Luo A.C.J., Guo Y.* Vibro-impact Dynamics. Berlin: Springer-Verlag, 2013. 213 p.

8. *Astashev V., Krupenin V.* Efficiency of vibration machines. Proceedings of 16th International Scientific Conference “Engineering for rural development”. Jelgava, Latvia, May 24-26, 2017, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 16, pp. 108-113.

9. *Zagurskiy O., Ohienko M., Rogach S., Pokusa T., Titova L., Rogovskii I.* Global supply chain in context of new model of economic growth. Conceptual bases and trends for development of social-economic processes. Monograph. Opole. Poland, 2018, pp. 64-74.

10. *Drga R., Janacova D., Charvatova H.* Simulation of the PIR detector active function. Proceedings of 20th International conference on Circuits, Systems, Communications and Computers (CSCC 2016), July 14-17, 2016, E D P Sciences, 17 Ave Du Hoggar Parc D Activites Coutaboeuf Bp 112, F-91944 Cedex A, France, vol. 76, UNSP 04036.

11. *Novotny J.* Technical and natural sciences teaching at engineering faculty of FPTM UJEP. Proceedings of 15th International Scientific Conference “Engineering for rural development”. Jelgava, Latvia, May 23-25, 2016, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 15, pp. 16-20.

12. *Pinzi S., Cubero-Atienza A.J., Dorado M.P.* Vibro-acoustic analysis procedures for the evaluation of the sound insulation characteristics of agricultural machinery. Journal of Sound and Vibration, vol. 266 (3), 2016, pp. 407-441.

References

1. *Sergejeva N., Aboltins A., Strupule L., Aboltina B.* (2018). Mathematical knowledge in elementary school and for future engineers. Proceedings of 17th International Scientific Conference “Engineering for rural development”. Jelgava, Latvia, May 23-25, 2018, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 17, 1166-1172.
2. *Dubbini M., Pezzuolo A., De Giglio M., Gattelli M., Curzio L., Covi D., Yezekyan T., Marinello F.* (2017). Last generation instrument for agriculture multispectral data collection. CIGR Journal, vol. 19, 158-163.
3. *Yata V.K., Tiwari B.C., Ahmad, I.* (2018). Nanoscience in food and agriculture: research, industries and patents. Environmental Chemistry Letters, vol. 16, 79-84.
4. *Masek J., Novak P., Jasinskis A.* (2017). Evaluation of combine harvester operation costs in different working conditions. Proceedings of 16th International Scientific Conference “Engineering for rural development”. Jelgava, Latvia, May 24-26, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 16, 1180-1185.

5. Rogovskii I., Grubrin O. (2018). Accuracy of converting videoendoscopy combine harvester using generalized mathematical model. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: technique and energy of APK. Kyiv, Ukraine. vol. 298, 149-156. doi: 10.31548/me.2018.04.149-156.

6. Viba J., Lavendelis E. (2006). Algorithm of synthesis of strongly non-linear mechanical systems. In Industrial Engineering – Innovation as Competitive Edge for SME, 22 April 2006. Tallinn, Estonia, 95-98.

7. Luo A.C.J., Guo Y. (2013). Vibro-impact Dynamics. Berlin: Springer-Verlag. 213.

8. Astashev V., Krupenin V. (2017). Efficiency of vibration machines. Proceedings of 16th International Scientific Conference “Engineering for rural development”. Jelgava, Latvia, May 24-26, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 16, 108-113.

9. Zagurskiy O., Ohiienko M., Rogach S., Pokusa T., Titova L., Rogovskii I. (2018). Global supply chain in context of new model of economic growth. Conceptual bases and trends for development of social-economic processes. Monograph. Opole. Poland, 64-74.

10. Drga R., Janacova D., Charvatova H. (2016). Simulation of the PIR detector active function. Proceedings of 20th International conference on Circuits, Systems, Communications and Computers (CSCC 2016), July 14-17, 2016, E D P Sciences, 17 Ave Du Hoggar Parc D Activites Coutaboeuf Bp 112, F-91944 Cedex A, France, vol. 76, UNSP 04036.

11. Novotny J. (2016). Technical and natural sciences teaching at engineering faculty of FPTM UJEP. Proceedings of 15th International Scientific Conference “Engineering for rural development”. Jelgava, Latvia, May 23-25, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 15, 16-20.

12. Pinzi S., Cubero-Atienza A.J., Dorado M.P. (2016). Vibro-acoustic analysis procedures for the evaluation of the sound insulation characteristics of agricultural machinery. Journal of Sound and Vibration, vol. 266 (3), 407-441.

ANALYTIC MECHANISM OF RECOVERY OF AGRICULTURAL MACHINERY BASED ON RESIDUAL RESOURCE

I. L. Rogovskii

Abstract. It is established that the planning and organization of engineering service of agricultural enterprises is in the running state. It is urgently necessary to streamline the engineering service of agricultural enterprises through the creation of an integrated system of recovery from ensuring the availability of agricultural machines by equipping it with the necessary technical means and clear division of labor between the performers.

Key words: methodology, availability, efficiency, agricultural machine.

I. Л. Роговський ORCID 0000-0002-6957-1616.

АНАЛІТИЧНОСТЬ МЕХАНИЗМА ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН НА ОСНОВЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА

И. Л. Роговский

Аннотация. В статье представлены результаты обоснования аналитической модели механизма восстановления работоспособности сельскохозяйственных машин на основе остаточного ресурса. В статье рассмотрены особенности аналитических подходов к обоснованию модели оценки технической готовности на основе остаточного ресурса единиц сельскохозяйственных машин.

Ключевые слова: методология, коэффициент готовности, эффективность, сельскохозяйственная машина.

Зміст

1. Оптимізація режиму пуску стрічкового конвеєра за комплексним критерієм <i>В. С. Ловейкін, Ю. О. Ромасевич, Р. А. Кульпін</i>	5-11
2. Вплив водню на якість сталевих виробів <i>Є. Г. Афтандіяни</i>	13-22
3. Дослідження поперечної нерівності смугового обробітку ґрунту <i>Г. А. Голуб, А. В. Дворник</i>	23-30
4. Аналіз ринку вантажних перевезень в Україні <i>О. М. Загурський</i>	33-38
5. Концепція розвитку сільських територій із впровадженням комплексних екобезпечних технологій виробництва і використання біопалив <i>В. М. Поліщук</i>	39-47
6. Основні фактори впливу на ринок транспортних послуг України <i>О. М. Загурський, Б. С. Марченко</i>	47-55
7. Оцінка зернових культур після зберігання у зерносховищі із застосуванням зворушення <i>С. В. Кюрчев, В. О. Верхованцева, Л. М. Кюрчева</i>	57-62
8. Сучасні методи дослідження розсіяного пошкодження в конструкційних матеріалах та прогнозування довговічності <i>Г. Г. Писаренко, О. В. Войналович, А. М. Майло</i>	63-69
9. Математична модель умовного руху автомобіля в режимах європейського їздового циклу при використанні біогазу як моторного палива <i>Р. В. Симоненко, С. І. Шиманський</i>	71-75
10. Модульне вирощування птиці в промислових умовах з використанням енергоефективних систем опалення <i>Н. А. Сподинок</i>	77-82
11. Дослідження виходу та властивостей осаду в установках для виробництва продукції аквакультури <i>Г. А. Голуб, О. А. Завадська, С. Д. Щербак</i>	83-88
12. Визначення функції готовності систем «людина – машина» при зростанні інтенсивностей відмов <i>А. В. Новицький, З. В. Ружило</i>	89-96
13. Оптимізація навантаження збиральних ланок залежно від терміну експлуатації <i>О. В. Надточій, Л. Л. Тітова</i>	97-102
14. Хвилі розвантаження при обробці ущільнених ґрунтів сільськогосподарського призначення <i>Ю. В. Човнюк, Ю. О. Гуменюк, І. М. Сівак</i>	103-107
15. Концептуальні основи аналізу взаємодії робочих органів сільськогосподарських машин з оброблюваним ґрунтом: визначення зв'язків між характеристиками ґрунту й періодичністю зміни зусиль різання <i>І. М. Сівак, Ю. В. Човнюк, Ю. О. Гуменюк</i>	109-113
16. Ефективність способів відновлення деталей плунжерних пар паливних насосів дизельних двигунів сільськогосподарської техніки <i>П. С. Попик, Л. Л. Rogovskiy, О. М. Вечера, О. Г. Поліщук</i>	115-120
17. Визначення кількісних показників для економічного аналізу надійності тваринницької техніки <i>Н. І. Болтянська, О. О. Заболотько</i>	121-125

18. Пропозиції щодо визначення місць розташування джерел розподіленої генерації та величин їх потужності в радіальних електричних мережах напругою 35 кВ <i>Д. П. Кожан</i>	127-133
19. Аналітична модель визначення коефіцієнта відновлення ресурсу агрегатів машин для лісотехнічних робіт <i>Л. Л. Тітова</i>	135-140
20. Дослідження системи перемішування бетонної суміші на імітаційній моделі <i>В. О. Мірошник, Т. І. Лендєл</i>	141-146
21. Кочення багатокутника по криволінійному профілю <i>Т. А. Кресан, С. Ф. Пилипака, В. М. Бабка, Я. С. Кремець</i>	147-154
22. Ресурсно-діагностична модель прогнозування технічного стану кормозбиральних комбайнів <i>М. В. Гненюк</i>	155-162
23. Аналітичні положення прогнозування забезпечення технічної готовності експлуатації зернозбиральних комбайнів <i>Ю. О. Черник</i>	163-168
24. Стійкість сільськогосподарських МЕЗ за параметрами охорони праці на виробничих процесах зберігання зерна <i>С. М. Виговський, І. Л. Роговський</i>	169-174
25. Аналітичність механізму відновлення працездатності сільськогосподарських машин на основі залишкового ресурсу <i>І. Л. Роговський</i>	175-179

Contents

1. Optimization of belt conveyor start by complex criteria V. S. Loveikin, Yu. O. Romasevych, R. A. Kulpin	5-11
2. Hydrogen influence of steel product quality Ye. G. Aftandilants	13-22
3. Study of transverse negativity of strip tilling soil G. A. Golub, A. V. Dvornyk	19-31
4. Analysis of freight transport market in Ukraine O. M. Zagursky	33-38
5. Concept of agricultural development with integration of integrated economic technologies of manufacture and use of biofuels V. M. Polishchuk	39-47
6. Main factors that have impact on Ukrainian market of transport services O. M. Zagursky, B. S. Marchenko	49-55
7. Evaluation of grains after storage in storage unit with use of movement S. V. Kiurchev, V. A. Verkholtantseva, L. N. Kiurcheva	57-62
8. Modern methods of investigating multiple damage in construction materials and forecasting longness G. G. Pisarenko, O. V. Voinalovych, A. M. Maylo	63-69
9. Mathematical model of conditional driving modes of European driving cycle when using biogas as motor fuel R. V. Simonenko, S. I. Shzymanski	71-75
10. Modular poultry farming in industrial breeding with using an energy efficient heating system N. A. Spodyniuk	77-82
11. Investigation of output and properties of sediment in installations for production of aquaculture products G. A. Golub, O. A. Zavadska, S. D. Scherbak	83-88
12. Determination of function of readiness of “human-machine” systems during growth of fault rate A. V. Novitskiy, Z. V. Rozhilo	89-96
13. Optimization of load of cleaning link in depending on service life O. V. Nadochy, L. L. Titova	97-102
14. Unloading waves during the processing of compacted soils of agricultural purpose Yu. V. Chovnyuk, Yu. O. Gumenyuk, I. M. Sivak	103-107
15. Conceptual bases of analysis of interaction between working bodies of agricultural machines and treated soil: determining the links between soil characteristics and change of change I. M. Sivak, Yu. V. Chovnyuk, Yu. O. Gumenyuk	109-113
16. Effectiveness of methods to restore parts of plunger pairs of fuel pumps of diesel engines agricultural machinery P. S. Popik, L. L. Rogovskii, O. G. Polischuk	115-120
17. Economic component of ensuring level of reliability of agricultural machinery N. I. Boltianska, O. O. Zabolotko	121-125
18. Suggestions for determining of location sources of distributed generation and the magnitudes of their power in radial electric networks with voltage of 35 kV D. P. Kozhan	127-133

19. Analytical model to determine rate of recovery of resource units of machines for forestry work <i>L. L. Titova</i>	135-140
20. Research of concrete mixture mixing system in an imitation model <i>V. O. Miroshnik, T. I. Lendiel</i>	141-146
21. Rolling of polygon on curvinal profile <i>T. A. Kresan, S. F. Pylypaka, V. M. Babka, Ya. S. Kremets</i>	147-154
22 Resource-diagnostic model of forecasting the technical status of harvesters <i>M. V. Grenyuk</i>	155-161
23 Analytical principles of forecasting to ensure the technical readiness of operation of combine harvesters <i>Yu. O. Chernik</i>	163-168
24. Sustainability of agricultural mez in parameters of labor protection on production processes of grain storage <i>S. M. Vygovskii, I. L. Rogovskii</i>	169-174
25 Analytic mechanism of recovery of agricultural machinery based on residual resource <i>I. L. Rogovskii</i>	175-179

Guidelines for authors (2019)

The journal publishes the original research papers. The papers (min. 5 pages) should not exceed 16 pages including tables and figures. Acceptance of papers for publication is based on two independent reviews commissioned by the Editor.

Authors are asked to transfer to the Publisher the copyright of their articles as well as written permissions for reproduction of figures and tables from unpublished or copyrighted materials.

Articles should be submitted electronically to the Editor and fulfill the following formal requirements:

- Clear and grammatically correct script in English,
- Format of popular Windows text editors (A4 size, 10 points Times New Roman font, single interline, left and right margin of 2,0 cm),
- Every page of the paper including the title page, text, references, tables and figures should be numbered,
- SI units should be used.

Please organize the script in the following order (without subtitles):

Title, Author(s) name (s), Affiliations, Full postal addresses, Corresponding author's e-mail

Abstract (up to 200 words), Keywords (up to 5 words), Introduction, Materials and Methods, Results, Discussion (a combined Results and Discussion section can also be appropriate), Conclusions (numbered), References, Tables, Figures and their captions.

Note that the following should be observed:

An informative and concise title; Abstract without any undefined abbreviations or unspecified references; No nomenclature (all explanations placed in the text);

References cited by the numbered system (max 5 items in one place); Tables and figures (without frames) placed out of the text (after References) and figures additionally prepared in the graphical file format jpg or cdr.

Make sure that the tables do not exceed the printed area of the page. Number them according to their sequence in the text. References to all the tables must be in the text.

Do not use vertical lines to separate columns. Capitalize the word 'table' when used with a number, e.g. (Table 1).

Number the figures according to their sequence in the text. Identify them at the bottom of line drawings by their number and the name of the author. Special attention should be paid to the lettering of figures – the size of lettering must be big enough to allow reduction (even 10 times). Begin the description of figures with a capital letter and observe the following order, e.g. Time(s), Moisture (% vol), (% m³m⁻³ or (% gg⁻¹), Thermal conductivity (W m⁻¹K⁻¹).

Type the captions to all figures on a separate sheet at the end of the manuscript.

Give all the explanations in the figure caption. Drawn text in the figures should be kept to a minimum. Capitalize and abbreviate 'figure' when it is used with a number, e.g. (Fig. 1).

Colour figures will not be printed.

Make sure that the reference list contains about 30 items. It should be numbered serially and arranged al-phabatically by name of first author and then others, e.g.

7. Zhen Zhang, Menglong Liu, Zhongqing Su, Yi Xiao. (2019). Quantitative evaluation of residual torque of a loose bolt based on wave energy dissipation and vibro-acoustic modulation: A comparative study. *Journal of Sound and Vibration*. 383. 156-170.

References cited in the text should be given in parentheses and include a number e.g. [7].

Any item in the References list that is not in English, French or German should be marked, e.g. (in Italian), (in Ukrainian).

Leave ample space around equations. Subscripts and superscripts have to be clear. Equations should be numbered serially on the right-hand side in parentheses. Capitalize and abbreviate 'equation' when it is used with a number, e.g. Eq. (1). Spell out when it begins a sentence. Symbols for physical quantities in formulae and in the text must be in italics. Algebraic symbols are printed in upright type.

Acknowledgements will be printed after a written permission is sent (by the regular post, on paper) from persons or heads of institutions mentioned by name.

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Machinery & Energetics
Journal of Rural Production Research

since 2010 till 2018
[Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series:
Technique and Energy of APK]

Техніка та енергетика
Журнал наукових досліджень сільськогосподарського виробництва

з 2010 року до 2018 року
[Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України.
Серія: техніка та енергетика АПК]

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

ВИПУСК 10

№ 2

Свідоцтво про державну реєстрацію
Серія KB №23828 – 13668 ПР від 01.03.2019

Редактор І. Л. Роговський

03041, Київ-41, вул. Героїв оборони, 15

Здано до набору 22.06.2019
Формат 60×84/16
Наклад 100 прим.

Підписано до друку 22.06.2019
Папір офсетний.
Зам. № 7843 від 22.06.2019

Редакційно-видавничий відділ НУБіП України
03041, Київ, пров. Сільськогосподарський, 4.
т. 527-80-49