

ISSN 2312 – 6590

doi.org/10.32347/gbdmm2019.93

**Гірничі,
будівельні,
дорожні
та меліоративні
МАШИНИ**

93

2019

**Всеукраїнський збірник
наукових праць**

**Mining, constructional,
road and melioration
machines**

**Allukrainian collection
of scientificworks**



Національна бібліотека України імені В. І. Вернадського



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет будівництва і архітектури

ГРНИЧІ, БУДІВЕЛЬНІ, ДОРОЖНІ ТА МЕЛІОРАТИВНІ МАШИНИ

Всеукраїнський збірник наукових праць

Видається в КНУБА з 1965 р. двічі на рік

Випуск 93

(Січень – Червень, 2019)



Allukrainian collection
of scientific works
GBDMM

MINING, CONSTRUCTIONAL, ROAD AND MELIORATION MACHINES

Allukrainian collection of scientific works

Founded KNUCA in 1965

Number 93

(January – June, 2019)

<http://gbdmm.knuba.edu.ua>
(<http://gbdmm.at.ua>)

Київ / Kyiv

Свідоцтво про державну реєстрацію: КВ № 15433-4005Р від 09.07.2009

Включено до Переліку наукових фахових видань України

відповідно до Наказу МОН України від 10.05.2017 р., № 693

Засновник: Київський національний університет будівництва і архітектури

Головний редактор *Михайло Сукач*, д.т.н., проф.
Заступник редактора *Микола Кузьмінець*, д.т.н., доц.

Проблематика

Моделювання робочих процесів машин
 Гірничі та піднімально-транспортні машини
 Будівельні машини і технологічне обладнання
 Машини для земляних, дорожніх і лісотехнічних робіт
 Автоматизація і інформаційні технології

Редакційна колегія

<i>Юрій Абрашкевич</i> , д.т.н., проф. (КНУБА, Київ)	<i>Юрій Науменко</i> , д.т.н., проф. (НУВГП, Рівне)
<i>Олександр Вольченко</i> , д.т.н., проф. (ІФНТУНГ, Івано-Франківськ)	<i>Леонід Пелевін</i> , к.т.н., проф. (КНУБА, Київ)
<i>Дмитро Гончаренко</i> , д.т.н., проф. (ХНУБА, Харків)	<i>Ігор Ребезнюк</i> , д.т.н., проф. (НЛТУУ, Львів)
<i>Володимир Гришин</i> , д.т.н., проф. (ОДАБА, Одеса)	<i>Роман Рогатинський</i> , д.т.н., проф. (ТНТУ, Тернопіль)
<i>Леонід Заміховський</i> , д.т.н., проф. (ІФНТУНГ, Івано-Франківськ)	<i>Володимир Сівко</i> , д.т.н., проф. (НТУ, Київ)
<i>Святослав Кравець</i> , д.т.н., проф. (НУВГП, Рівне)	<i>Всеволод Франчук</i> , д.т.н., проф. (ДВНЗ НГУ, Дніпро)
<i>В'ячеслав Ловейкін</i> , д.т.н., проф. (НУБіП, Київ)	<i>Леонід Хмара</i> , д.т.н., проф. (ПДАБА, Дніпро)
<i>Леонід Мазуренко</i> , д.т.н., проф. (КНУБА, Київ)	<i>Валерій Яковенко</i> , д.т.н., проф. (КНУБА, Київ)
<i>Володимир Лебедев</i> , д.т.н., проф. (ІЕЗ ім. Є.О.Патона, Київ)	<i>Goran Bryntse</i> , ass. prof. (SERO, Borlange, Sweden)
<i>Олександр Маслов</i> , д.т.н., проф. (КрНУ ім. М.Остроградського, Кременчук)	<i>Stanislaw Fic</i> , prof., dr hab (Lublin University of Technology, Poland)
<i>Володимир Надутий</i> , д.т.н., проф. (ІГТМ ім. М.С.Полякова НАНУ, Дніпро)	<i>Jerzy Grudzinski</i> , dr hab (University of Life Sciences in Lublin, Poland)
<i>Іван Назаренко</i> , д.т.н., проф. (КНУБА, Київ)	<i>Eugeniusz Krasowski</i> , prof., dr hab (Polish Academy of Science in Lublin, Poland)

Рекомендовано до друку

вченою радою Київського національного університету
 будівництва і архітектури 21.06.2019 р., протокол № 24

Усі права застережені. Відповідальність за зміст та достовірність
 наведених даних несуть автори публікацій



Моделювання робочих процесів

Юрій Абрашкевич, Григорій Мачишин, Олександр Марченко, Тетяна Щербина

Дослідження процесу коливання пружного волокна при його обертанні
Леонід Пелевін, Анатолій Фомін, Євгеній Горбатюк, Вадим Шаленко
Проведення ефективного прогнозування роботи машин для земляних робіт..... 12

Будівельні машини і технологічне обладнання

Іван Назаренко, Олег Дєдов, Олександр Дьяченко

Обґрунтування алгоритму розрахунку вібраційної установки для ущільнення бетонних сумішей зі змінним режимом роботи..... 19

Леонід Пелевін, Григорій Мачишин, Микола Кузьмінець

Технологічні умови роботи абразивного інструменту..... 27

Машини для земляних, дорожніх і лісотехнічних робіт

Володимир Волянюк, Дмитро Міщук, Євгеній Горбатюк

Робоче обладнання скрепера зі шнековими інтенсифікаторами..... 35

Автоматизація і інформаційні технології

Дмитро Міщук, Андрій Бойченко

Розробка концепції системи керування робота для штукатурних робіт на основі нейронної мережі..... 46

Modeling workflows

Yuri Abrashkevych, Grygory Machyshyn, Alexander Marchenko, Tatiana Shcherbina

Research process of elastic fiber oscillation during its rotation 5

Leonid Pelevin, Anatoliy Fomin, Ievgenii Gorbatyuk, Vadym Shalenko

Realization of effective prognostication of work of machines for earth-movings..... 12

Construction machines and technical equipment

Ivan Nazarenko, Oleg Dedov, Olexsandr Diachenko

Substantiation of the algorithm of calculation of a vibrating installation for compaction of concrete mixes with variable operating mode 19

Leonid Pelevin, Hryhorii Machyshyn, Nikolai Kyzminec

Technological conditions of abrasive tool operation..... 27

Machines for earthworks, road and forestry work

Vladimir Volianiuk, Dmitry Mishchuk, Eugene Gorbatyuk

Scraper work equipment with auger intensifiers..... 35

Automation and information technology

Dmitry Mishchuk, Andriy Boychenko

Development of the concept of control system work for plaster works based on neural network..... 46

Інформація

Михайло Сукач

Проведено V міжнародну конференцію з трансферу інноваційних технологій.....

61

Information

Mikhail Sukach

The V International Conference by Transfer of Innovative Technologies was held.....

61

УДК 621.923

Дослідження процесу коливання пружного волокна при його обертанні

Юрій Абрашкевич¹, Григорій Мачишин², Олександр Марченко³, Тетяна Щербина⁴

Київський національний університет будівництва і архітектури
Повітрофлотський просп. 31, Київ, Україна, 03680,

¹abrashkevych.iud@knuba.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0001-8396-7812>

²machyshyn.gm@knuba.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-8230-0060>

³marchenko.oa@knuba.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0003-2136-6071>

⁴scherbyna.tf@knuba.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-4268-5963>

Received: 18.04.2019; Accepted: 20.05.2019

<https://doi.org/10.32347/gbdmm2019.93.0101>

Анотація. З кожним роком гнучкий абразивомісний інструмент знаходить все більше застосування при виконанні операцій з очищення металевих і неметалевих поверхонь від лакофарбових покриттів, іржі та різного роду забруднень.

Метою даної роботи є дослідження процесу коливання пружного волокна при його стаціонарному обертанні, що дозволить визначати ресурс полімерно-абразивної щітки.

Використовуючи теоретичний метод виконувалися наступні дослідження: користуючись принципом Д'Аламбера досліджувалась рівновага елемента волокна; визначалися складові інтенсивності повного інерційного навантаження, яке діє на елемент стрижня при його обертанні; описано відносні взаємозв'язані згинні повздовжні коливання консольного стрижня ротора при його стаціонарному обертанні.

Результати виконаної роботи дозволяють продовжити дослідження коливання полімерно-абразивного волокна при горизонтальному розташуванні диску щітки. Що дозволить визначати ресурс робочого органу.

Рівномірний розподіл абразивних зерен однієї маси та крупності по всій довжині та в перерізі волокон дозволяє зменшити частоти згинальних коливань. Це призводить до збільшення робочого ресурсу щітки, оскільки зменшуються напруження від втоми.

Результати роботи можна використовувати для дослідження ресурсу гнучких абразивних робочих органів, які в даний час набувають значного поширення.

Ключові слова: Полімер-абразивна щітка, еластичне волокно, обертання, абразив, вібрації волокна.

ВСТУП

Полімерно-абразивні щітки (ПАЩ) та абразивні армовані круги застосовуються для очищення металевих і неметалевих поверхонь від лакофарбових покриттів, іржі та забруднень при виконанні будівельно-монтажних робіт (Рис. 1) [1-8]. ПАЩ застосовують при зачищенні друкованих плат в приладобудуванні, деталей будівельних і гірничих машин при діагностиці, в автосервісі та інших галузях. Це пояснюється їх універсальністю, здатністю обробляти складні по профілю геометричні поверхні, високою експлуатаційною стійкістю. ПАЩ безпечні в роботі, а для їх приводу використовуються малопотужні ручні машини, що мають невелику масу або переносні машини з щітковим робочим органом.

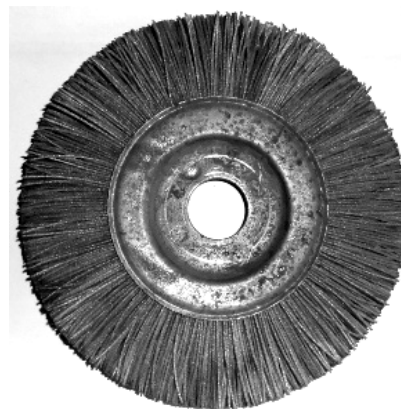


Рис. 1. Полімерно-абразивна щітка

Fig. 1. Polymer-abrasive brush

МЕТА РОБОТИ

У процесі подальшого вдосконалення, як самого інструменту, так і визначення оптимальних параметрів його експлуатації при різних конкретних умовах, ставилися та вирішувалися різні технологічні, конструктивні та інші завдання. Метою та завданням даної роботи є дослідження процесу коливання пружного волокна при його стаціонарному обертанні.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Розглянемо ротор (диск щітки), який складається з диска й жорстко приєднаних до нього радіально-спрямованих волокон (Рис. 2). Волокна представляють собою прямі не скручені стрижні з постійним по довжині розподілом маси жорсткості. Ротор обертається з постійною кутовою швидкістю ω навколо своєї вісі симетрії [9-11].

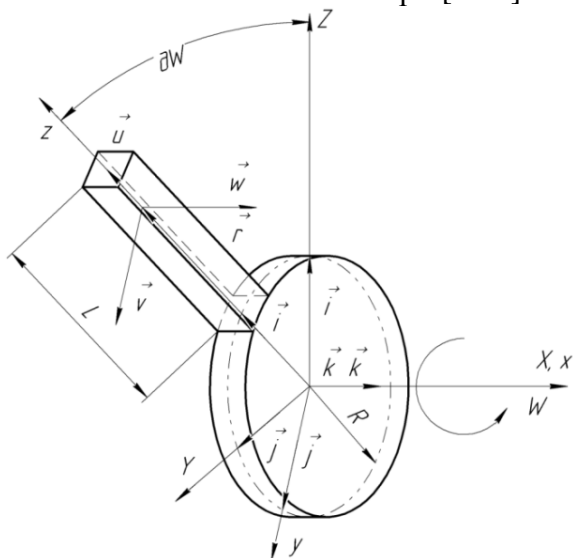


Рис. 2. Розрахункова схема механічної полімерно-абразивної щітки

Fig. 2. Calculation scheme of mechanical polymer-abrasive brush

Введемо наступні праві прямокутні системи координат:

$OXYZ$ – інерційна система координат з початком у центрі ротора;

$Oxuz$ – система координат, жорстко зв'язана з ротором. Осі OX й Ox сумісні з

віссю власного обертання ротору. Виділимо для розгляду одну зі складових системи – конкретне волокно, систему координат $Oxuz$ замінюємо так, щоб її вісь Oz співпадала з повздожньою віссю стрижня. Система координат $OXYZ$ розміщена так, щоб вісь власного обертання здійснювала обертання у площині OXZ (рис.2). Центри мас та інерції поперечних перерізів волокна лежать на вісі Oz . Поперечні перерізи волокна симетричні відносно осей Oy й Ox .

Користуючись принципом Д'Аламбера, дослідимо рівновагу елемента волокна положення котрого у системі $Oxuz$ визначається координатою z . Використаємо лінійну теорію прямолінійних стрижнів. Проектуючи на осі системи координат $Oxuz$ діючі на елемент сили пружності та інерційні сили, отримаємо рівняння поздовжніх та змінних у двох площинах коливань волокна:

$$\begin{cases} E \times F \times \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} - \rho \times F \times a_z = 0, \\ -E \times I_x \times \frac{\partial^4 v}{\partial z^4} - \rho \times F \times a_y + \frac{\partial}{\partial z} \left[\frac{\partial v}{\partial z} \times T(z) \right] = 0, \\ -E \times I_y \times \frac{\partial^4 w}{\partial z^4} - \rho \times F \times a_x + \frac{\partial}{\partial z} \left[\frac{\partial w}{\partial z} \times T(z) \right] = 0, \end{cases} \quad (1)$$

де E , ρ - відповідно модуль пружності й щільність (густина) матеріалу волокна;

F , I_x , I_y – відповідно площа поперечного перерізу та його момент інерції відносно вісі Ox й Oy ;

u , v , w – компоненти вектора переміщення елемента волокна вздовж осей Ox , Oy , Oz ; a_x , a_y , a_z – відповідні компоненти вектора абсолютного прискорення елемента.

Повздожня сила (T_z), обумовлена власним обертанням ротора з кутовою швидкістю ω й діє у поперечному перерізі волокна з координатою x , обчислюється за наступною формулою:

$$T(z) = \rho \int_{z-R}^L (R+s) \times F \times ds, \quad (2)$$

де R – радіус диска ротору; L – довжина волокна; $s = (x-R)$ – позадвжжня координата елемента волокна, яка обраховується від краю диска.

Вектор навантаження та обумовлене інерцією руху волокна інерційне навантаження, які діють на елемент волокна обчислюються за формулами:

$$\begin{aligned} q_x^{(I)} &= -\rho \times F \times a_x, \\ q_y^{(I)} &= -\rho \times F \times a_y, \\ q_z^{(I)} &= -\rho \times F \times a_z. \end{aligned} \quad (3)$$

Вектор абсолютного прискорення \vec{a} , з яким рухається елемент волокна при обертанні, визначається за теоремою Коріоліса:

$$\vec{a} = \vec{a}^e + \vec{a}^r + \vec{a}^c, \quad (4)$$

де як і вище, \vec{a}^e , \vec{a}^r , \vec{a}^c – вектори переносного, відносного та Коріолісового прискорення елемента відповідно.

Вектор переносного прискорення \vec{a}^e визначається за формулою:

$$\vec{a}^e = \left[\vec{\lambda} \times \left[\vec{\lambda} \times \vec{r} \right] \right], \quad (5)$$

де $\vec{\lambda}$ – вектор абсолютної кутової швидкості рухомої системи координат $Oxyz$;

\vec{r} – радіус-вектор елемента волокна у системі координат $Oxyz$.

У базисі $(\vec{i}_1, \vec{j}_1, \vec{k}_1)$ системи координат $OXYZ$ вектори $\vec{\lambda} = \vec{\omega}$ має вид (Рис. 2):

$$\vec{\lambda} = 0 \times \vec{i}_1 + 0 \times \vec{j}_1 + \omega \times \vec{k}_1. \quad (6)$$

Введемо фазову координату $\tau = \omega \times t$ (див. Рис. 2) й визначимо радіус-вектор елемента стрижня у системі координат $OXYZ$:

$$\vec{r} = z \times \cos \tau \times \vec{i}_1 + z \times \sin \tau \times \vec{j}_1 + 0 \times \vec{k}_1. \quad (7)$$

Виконавши відповідні векторні операції, отримаємо проекції вектору переносного

прискорення \vec{a}^e на осі системи координат $OXYZ$:

$$\begin{aligned} a_x^e &= 0, \\ a_y^e &= -z \times \omega^2 \times \sin \tau, \\ a_z^e &= -z \times \cos \tau \times \omega^2. \end{aligned} \quad (8)$$

У рухомій системі координат $Oxyz$ компонент вектора \vec{a}^e визначаємо наступним чином:

$$\begin{cases} a_x^e = a_x^e = 0, \\ a_y^e = -a_z^e \times \sin \tau + a_y^e \times \cos \tau = 0, \\ a_z^e = a_z^e \times \cos \tau + a_y^e \times \sin \tau = -z \times \omega^2. \end{cases} \quad (9)$$

Складові вектору відносного прискорення \vec{a}^r у напрямку осей системи координат $Oxyz$:

$$\begin{aligned} a_x^r &= \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}, \\ a_y^r &= \frac{\partial^2 v}{\partial t^2}, \\ a_z^r &= \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}. \end{aligned} \quad (10)$$

Вектор прискорення Коріоліса \vec{a}^c елемента стрижня обчислюється за формулою:

$$\vec{a}^c = \left[2\vec{\lambda} \times \vec{V}^r \right], \quad (11)$$

де \vec{V}^r – вектор відносної швидкості елемента зі складовими:

$$\begin{aligned} V_x^r &= \frac{\partial w}{\partial t}, \\ V_y^r &= \frac{\partial v}{\partial t}, \\ V_z^r &= \frac{\partial u}{\partial t}. \end{aligned} \quad (12)$$

Вектор кутової швидкості рухомої системи координат $Oxyz$ у базисі $(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ виражається формулою:

$$\vec{\lambda} = 0 \times \vec{i} + 0 \times \vec{j} + \omega \times \vec{k}. \quad (13)$$

Складаючи відповідні частини з виразів (9)–(11), отримуємо проекції вектору абсолютного прискорення \vec{a} елемента стрижня

на вісі системи координат $Oxuz$. Потім за формулами (3) визначаємо складові інтенсивності повного інерційного навантаження, діючого на елемент стрижня при його обертанні,

$$\begin{cases} q_x^{(I)} = -\rho \times F \times \left[\frac{\partial^2 W}{\partial t^2} \right], \\ q_y^{(I)} = -\rho \times F \times \left[\frac{\partial^2 v}{\partial t^2} + 2\omega \times \frac{\partial u}{\partial t} \right], \\ q_z^{(I)} = -\rho \times F \times \left[-z \times \omega^2 + \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - 2\omega \times \frac{\partial v}{\partial t} \right]. \end{cases} \quad (12)$$

Замінюючи у виразах (12) частинні похідні по часу t похідними по фазовій координаті τ за допомогою співвідношень

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial t} = \omega \times \frac{\partial}{\partial \tau}, \\ \frac{\partial^2}{\partial t^2} = \omega^2 \times \frac{\partial^2}{\partial \tau^2}. \end{cases} \quad (13)$$

й підставляючи (12) у (1), отримаємо систему диференціальних рівнянь частинних похідних, що описує відносні коливання стрижня ротору при обертанні,

$$\begin{cases} E \times F \times \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} - \rho \times F \times \left[\omega^2 \times \frac{\partial^2 u}{\partial \tau^2} - 2 \times \omega^2 \times \frac{\partial v}{\partial \tau} \right] = \\ = -\rho \times F_z \times \omega^2, \\ E \times I_x \times \frac{\partial^4 v}{\partial z^4} + \rho \times F \times \left[\omega^2 \times \frac{\partial^2 v}{\partial \tau^2} + 2 \times \omega^2 \times \frac{\partial u}{\partial \tau} \right] - \\ - \rho \times F \times \omega^2 \times \frac{[(R+L)^2 - z^2]}{2} \times \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} + \\ + \rho \times F \times \omega^2 \times z \times \frac{\partial v}{\partial z} = 0, \\ E \times I_y \times \frac{\partial^4 W}{\partial z^4} + \rho \times F \times \left[\omega^2 \times \frac{\partial^2 W}{\partial \tau^2} \right] + \\ + \rho \times F \times \omega^2 \times (-1) \times \frac{[(R+L)^2 - z^2]}{2} \times \frac{\partial^2 W}{\partial z^2} + \\ + \rho \times F \times \omega^2 \times z \times \frac{\partial W}{\partial z} = 0. \end{cases} \quad (14)$$

Отже, коливання в площині обертання ($\sim W(z, \tau)$) не пов'язані з коливаннями повздовжніх ($\sim U(z, \tau)$) та згинальних ($\sim V(z, \tau)$) коливань у площині обертання. (Останні зв'язані між собою). Усі коливання відбуваються з частотою ω .

Отримані рівняння системи (14) для елемента стрижня доповнюємо граничними умовами: на краю диску ротора ($z = R$) виконується умова жорсткого закріплення, на кінці стрижня ($z = R + L$) – умови вільного краю (взаємодія з поверхнею, що обробляється, не враховується):

$$\begin{cases} U|_{z=R} = 0, v|_{z=R} = 0, W|_{z=R} = \\ = 0, \frac{\partial v}{\partial z}|_{z=R} = 0, \frac{\partial W}{\partial z}|_{z=R} = 0, \\ \frac{\partial U}{\partial z}|_{z=R+L} = 0, \frac{\partial^2 v}{\partial z^2}|_{z=R+L} = 0, \frac{\partial^2 W}{\partial z^2}|_{z=R+L} = \\ = 0, \frac{\partial^3 W}{\partial z^3}|_{z=R+L} = 0, \frac{\partial^3 v}{\partial z^3}|_{z=R+L} = 0. \end{cases} \quad (15)$$

Система диференціальних рівнянь разом з граничними умовами описує відносні взаємозв'язані згинальні повздовжні коливання консольного стрижня ротора при стаціонарному обертанні останнього.

З урахуванням виду системи (14), (15) розв'язок будемо шукати у наступній формі:

$$\begin{cases} U(z, \tau) = \sum_{m=0}^k U_m^c(z) \times \cos m\tau + \\ + \sum_{m=1}^k U_m^s(z) \times \sin m\tau, \\ V(z, \tau) = \sum_{m=0}^k V_m^c(z) \times \cos m\tau + \\ + \sum_{m=1}^k V_m^s(z) \times \sin m\tau, \\ W(z, \tau) = \sum_{m=0}^k W_m^c(z) \times \cos m\tau + \\ + \sum_{m=1}^k W_m^s(z) \times \sin m\tau. \end{cases} \quad (16)$$

Використовуючи у якості координатних функції $\sin p\tau$, $\cos p\tau$ ($p = 0, 1, \dots, k$) за допомогою проєкційного методу з системи (14) після додаткових перетворень отримуємо систему звичайних диференціальних рівнянь з незалежною змінною z , яка наближено замінює вихідну. Як показують розрахунки на ЕОМ, в області розглянутих значень вихідних параметрів за умовами збіжності обчислень можна обмежитись числом $k = 4$. При цьому коефіцієнти $U_1^c(z), U_3^c(z), V_1^s(z), V_3^s(z), W_2^s(z), W_4^s(z)$

виявились близькими до нуля. Включаючи їх отримуємо відповідну такій постановці систему звичайних диференціальних рівнянь, залежних від аргументу z , представлених системою (17).

Система (17) інтегрувалась чисельно за допомогою методу скінчених різниць (MATHCAD). При цьому для перевірки збіжності обчислень відрізок $R \leq z \leq (R+L)$ розбивався на 50, 100 й 200 скінчено різницевих ділень. Як показали подальші розрахунки, максимальна розбіжність отриманих результатів у цих випадках не перевищувала 1%.

ВИСНОВКИ

Використання абразивів однієї маси та крупності з рівномірним їх розподілом як по всій довжині так і в перерізі волокон дозволяє зменшити частоти згинальних коливань, що призводить до збільшення

$$\left\{ \begin{aligned} & E \times \frac{d^2 U_0^c}{dz^2} = -\rho \times \omega^2 \times z, E \times \frac{d^2 U_2^c}{dz^2} + \rho (4 \times \omega^2 \times U_2^c + 4 \times \omega^2 \times v_2^s) = 0, \\ & E \times \frac{d^2 U_4^c}{dz^2} + \rho (16 \times \omega^2 \times U_4^c + 8 \times \omega^2 \times v_4^s) = 0, \\ & E \times I_x \times \frac{d^4 v_2^s}{dz^4} - \rho \times F \times (4 \times \omega^2 \times U_2^c + 4 \times \omega^2 \times v_2^s) - \rho \times F \times \omega^2 \times \\ & \times \left[\frac{\{(R+L)^2 - z^2\}}{2} \times \frac{d^2 v_2^s}{dz^2} - z \times \frac{dv_2^s}{dz} \right] = 0, \\ & E \times I_x \times \frac{d^4 v_4^s}{dz^4} + \rho \times F (8 \times \omega^2 \times U_4^c - 16 \times \omega^2 \times v_4^s) - \rho \times F \times \omega^2 \times \\ & \times \left[\frac{\{(R+L)^2 - z^2\}}{2} \times \frac{d^2 v_4^s}{dz^2} - z \times \frac{dv_4^s}{dz} \right] = 0, \\ & E \times I_y \times \frac{d^4 W_1^s}{dz^4} + \rho \times F \times (-\omega^2 \times W_1^s) - \rho \times F \times \omega^2 \times \\ & \times \left[\frac{\{(R+L)^2 - z^2\}}{2} \times \frac{d^2 W_1^s}{dz^2} - z \times \frac{dW_1^s}{dz} \right] = 0, \\ & E \times I_y \times \frac{d^4 W_3^s}{dz^4} + \rho \times F \times (-9 \times \omega^2 \times W_3^s) - \rho \times F \times \omega^2 \times \\ & \times \left[\frac{\{(R+L)^2 - z^2\}}{2} \times \frac{d^2 W_3^s}{dz^2} - z \times \frac{dW_3^s}{dz} \right] = 0. \end{aligned} \right. \quad (17)$$

робочого ресурсу щітки за рахунок зменшення напружень від втоми.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Механізація трудомістких процесів** / Ю. Д. Абрашкевич, В. М. Смірнов, Л. Є. Пелевін, В. П. Рашківський. – Київ: КНУБА, 2006. – 180 с. – (КНУБА).
2. **Абрашкевич Ю. Д.** Вплив армування на безпеку експлуатації абразивних кругів / Ю. Д. Абрашкевич, Г. М. Мачишин, В. П. Тишковець. // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2015. – № 85. – С. 54-59.
3. **Абрашкевич Ю. Д.** Эксплуатация абразивных армированных кругов / Ю. Д. Абрашкевич, Л. Е. Пелевин, Г. Н. Мачишин. // Монтажные и специальные работы в строительстве. Ежемесячный научно-технический и производственный журнал. – 2016. – № 4. – С. 30-32.
4. **Абрашкевич Ю. Д.** Підвищення ефективності машин з абразивним інструментом / Ю. Д. Абрашкевич, Г. М. Мачишин, О. В. Човнюк, Т. Ф. Щербина. // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2016. – № 87. – С. 56-62.
5. **Абрашкевич Ю.** Вимоги до технології виготовлення, зберігання та безпечної експлуатації абразивних армованих кругів / Ю. Абрашкевич, Г. Мачишин, В. Тишковець. // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2017. – № 89. – С. 48-55.
6. **Абрашкевич Ю. Д.** Влияние конструкции приводной машины на износостойкость абразивных армированных кругов / Абрашкевич Ю.Д., Пелевин Л.Е., Мачишин Г.Н. // Монтажные и специальные работы в строительстве. Ежемесячный научно-технический и производственный журнал. - № 4. - 2017. - С. 7-9.
7. **Основи теорії робочих процесів обробки будівельних матеріалів і конструкцій абразивним інструментом: монографія** / Ю. Д. Абрашкевич, Л. Є. Пелевін, А. В. Фомін, О. М. Гаркавенко. – К.: КНУБА, 2011. – 176 с.
8. **Абрашкевич Ю.Д.** Математична модель теплових процесів при роботі полімерно-абразивної щітки / Ю. Д. Абрашкевич, Г. М. Мачишин, О. В. Човнюк. // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. - Київ, 2014 - № 83 - С. 91-96.
9. **Гусев Л. М.** Основы теории и расчета машин для подметания городских дорог:

автореферат дис. канд. техн. наук / Л.М. Гусев - Московский автомобильно-дорожный институт. - М., 1961. - 36 с.

10. **Щеголев В. А., Уланова М. Е.** Эластичные абразивные и алмазные инструменты (теория, конструкция, применение) / В. А. Щеголев, М. Е. Уланова. - Л.: «Машиностроение» (Ленинград. отд-ние), 1977. – 184 с.
11. **Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технология машиностроения** /Под общей редакцией Ф. В. Новикова и А. В/ Якимова. В десяти томах. – Т. 4. «Теория абразивной и алмазноабразивной обработки материалов» - Одесса: ОНПУ, 2002. – 802 с. Глава 6. Шлифование полимер-абразивными эластичными кругами. – С. 289-328.

REFERENCES

1. **Abrashkevich Ju. D., Smirnov V. M., Pelevin L. E., Rashkivs'kij V. P.** (2006). *Mehanizacija trudomistkih procesiv* [Mechanization of labor-intensive processes]. Kyiv, KNUBA Publ., 180. - (in Ukrainian).
2. **Abrashkevich Ju. D., Machishin G. M., Tishkovec' V. P.** (2015). *Vpliv armuvannja na bezpeku ekspluatacij abrazivnih krugiv* [Effect of reinforcement on the safety of the operation of abrasive wheels]. *Girnichy, budivel'ni, dorozhni ta meliorativni mashini* [Mining, construction, road and reclamation machines], No. 85, 54-59. - (in Ukrainian).
3. **Abrashkevich Ju. D., Pelevin L. E., Machishin G. N.** (2016). *Jekspluatacija abrazivnyh armirovannyh krugov* [Operation of abrasive reinforced wheels]. *Montazhnye i special'nye raboty v stroitel'stve. Ezhemesjachnyj nauchno-tehnicheskij i proizvodstvennyj zhurnal* [Assembly and special works in construction. Monthly scientific, technical and production magazine], No. 4, 30-32. - (in Russian).
4. **Abrashkevich Ju. D., Machishin G. M., Chovnjuk O. V., Shherbina T. F.** (2016). *Pidvishhennja efektyvnosti mashin z abrazivnim instrumentom* [Improving the efficiency of machines with abrasive tool]. *Girnichy, budivel'ni, dorozhni ta meliorativni mashini* [Mining, construction, road and reclamation machines], No. 87, 56-62. - (in Ukrainian).
5. **Abrashkevich Ju., Machishin G., Tishkovec' V.** (2017). *Vimogi do tehnologii vigotvorennya, zberigannja ta bezpechnoi ekspluatacij abrazivnyh armovanih krugiv* [Requirements for the technology of manufacturing, storage and safe operation of abrasive reinforced circles]. *Gir-*

nichi, budivel'ni, dorozhni ta meliorativni mashini [Mining, construction, road and reclamation machines], No. 89, 48-55. - (in Ukrainian).

6. **Abrashkevich Ju. D., Pelevin L. E., Machishin G. N.** (2017). Vliyanie konstrukcii privodnoj mashiny na iznosostojkost' abrazivnyh armirovannyh krugov [Influence of the design of the drive machine on the wear resistance of abrasive reinforced wheels]. *Montazhnye i special'nye raboty v stroitel'stve. Ezhemesjachnyj nauchno-tehnicheskij i proizvod-stvennyj zhurnal* [Assembly and special works in construction. Monthly scientific, technical and production magazine], No. 4, 7-9. – (in Russian).
7. **Abrashkevich Ju. D., Pelevin L. S., Fomin A. V., Garkavenko O. M.** (2011). Osnovi teorii robochih procesiv obrobki budivel'nih materialiv i konstrukcij abrazivnim instrumentom: monografija [The basis of the theory of the robotic processes of the obrobki of the ordinary material and the design of the abrasive tool: monograph]. Kyiv, KNUBA Publ., 176. - (in Ukrainian).
8. **Abrashkevich Ju. D., Machishin G. M., Chovnjuk O. V.** (2014). Matematichna model' teplovih procesiv pri roboti polimerno-abrazivnoї shhitki [Mathematical model of thermal processes in the work of a polymer-abrasive brush]. *Girnichі, budivel'ni, dorozhni ta meliorativni mashini* [Mining, construction, road and reclamation machines], No. 83, 91-96. - (in Ukrainian).
9. **Gusev L. M.** (1961). Osnovy teorii i rascheta mashin dlja podmetanija gorodskih dorog: avtoreferat dis. kand. tehn. nauk. Moskovskij avtomobil'no-dorozhnyj institut. Moscow, 36. - (in Russian).
10. **Shhegolev V. A., Ulanova M. E.** (1977). Jelasticnye abrazivnye i almaznye instrumenty (teoriya, konstrukcija, primenenie). *Mashinostroenie*, 184. - (in Russian).
11. **Novikova F. V., Jakimova A. V.** (2002). Fiziko-matematicheskaja teoriya processov obrabotki materialov i tehnologija mashinostroenija v desjati tomah. Ch.4. Teoriya

abrazivnoj i almaznoabrazivnoj obrabotki materialov. Odessa, ONPU, 802. Vol.6. Shlifovanie polimer-abrazivnymi jelasticnymi krugami, 289-328. - (in Ukrainian).

Research process of elastic fiber oscillation during its rotation

Yuri Abrashkevych¹, Grygory Machyshyn², Alexander Marchenko³, Tatiana Shcherbina⁴

Kyiv National University of Construction and Architecture

Abstract. With every passing year, the flexible abrasive tool is increasingly used. It is used in the cleaning of metal and non-metal surfaces from paint coatings, rust and all kinds of impurities.

The purpose of the work is to study the process of oscillation of the elastic fiber during its stationary rotation. The result of the work will determine the life of the polymer-abrasive brush.

Using the theoretical method, the following studies were performed: using the D'Alembert principle, the fiber element equilibrium was investigated; the components of the intensity of the total inertial load acting on the element of the rod during its rotation were determined; describes the relative interconnected bends of longitudinal oscillations of the cantilever rod of the rotor during its stationary rotation.

The results of the performed work allow to continue the study of oscillations of polymer-abrasive fibers with horizontal arrangement of the brush disk. This will determine the resource of the working body.

The uniform distribution of abrasive grains of the same mass and size over the entire length and in section of the fibers allows to reduce the frequency of bending oscillations. This increases the brush workforce. As fatigue stresses decrease.

The results of the work can be used to investigate the resource of flexible abrasive working bodies. Which are becoming widespread in modern times.

Keywords: Polymer-abrasive brush, elastic fiber, rotation, abrasive, vibrations of fiber.

УДК 624.132.3

Проведення ефективного прогнозування роботи машин для земляних робіт

Леонід Пелевін¹, Анатолій Фомін², Євгеній Горбатюк³, Вадим Шаленко⁴

Київський національний університет будівництва і архітектури,
Повітрофлотський проспект, 31, Київ, Україна,

¹pelevin_leonid@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-4010-8556>

²fomin.av@knuba.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-5990-4384>

³ek_gor@i.ua, <https://orcid.org/0000-0002-8148-5323>

⁴vadshal@i.ua, <https://orcid.org/0000-0002-6984-0302>

Received: 10.02.2019; Accepted: 28.03.2019

<https://doi.org/10.32347/gbdmm2019.93.0102>

Анотація. Землерийні машини у високорозвинених країнах займає провідне місце серед самохідної та причіпної техніки різного призначення.

В основі конструювання такої техніки лежать науково-технічні принципи створення низькоенергоємних технологій і машин для руйнування природних та штучних середовищ (грунтів, порід, мулів, залізобетонів, цегли тощо) в різних умовах (наземних – дорожні, оброблення сільськогосподарських земель, інженерно-військові й аварійно-рятувальні роботи, очистка ґрунтів від забруднень, меліорація, створення траншей, каналів, котлованів, окопів, сховищ тощо; підземних – видобування корисних копалин, будівництво тунелів тощо).

Земляні роботи належать до найбільш трудомістких процесів будівництва, тому необхідно визначати шляхи вдосконалення конструкцій землерийних машин за допомогою обґрунтованого проведення техніко-економічного зіставлення різних видів зразків машин. Отже, основним завданням роботи є оцінка ефективності землерийних машин по критерію величини виробничого потенціалу, що дозволить більш обґрунтовано проводити техніко-економічне зіставлення різних видів машин.

Імовірнісна оцінка ефективності землерийних машин по критерію величини виробничого потенціалу дозволяє більш обґрунтовано проводити техніко-економічне зіставлення зразків машин, а також визначати шляхи вдосконалення їх конструкції. Величина виробничого потенціалу може використовуватися при прогнозуванні річного вироблення, оцінках енергоємності, металоємності, терміну окупності, економічного ефекту впровадження нового зразка або

модернізації землерийної машини, а також при виборі умов й аналізі результатів виробничих випробувань землерийних машин.

Ключові слова: машини для земляних робіт, ефективність землерийних машин, виробничий потенціал.

ВСТУП

Встановлено, що для спорудження 1м³ промислового або цивільного приміщення доводиться виконувати відповідно понад 1,5–2,0 м³ земляних робіт. Вартість земляних робіт становить 10–15% загальної вартості будівельно-монтажних робіт [1].

Механічний спосіб виконання земляних робіт передбачає послідовне здійснення таких операцій: відокремлення від природного масиву(копання) ґрунту; транспортування до місця укладання та розвантаження; обробка земляної споруди (розрівнювання, ущільнення тощо). Машини для земляних робіт застосовують в промисловому та цивільному будівництві при плануванні майданчиків, розробці котлованів, траншей, в авто- і залізничному будівництві – при влаштуванні виїмок, насипів земляного полотна і т.ін. [2].

Землерийні машини загального призначення (екскаватори, бульдозери, скрепери, автогрейдери) застосовуються в широкому діапазоні ґрунтових умов, причому в процесі їх застосування характерна відносно часта зміна будівельних об'єктів. Це дозво-

ляє зробити висновок, що випуск землерийних машин знеособлений у відношенні до ґрунтових умов, зміна яких носить випадковий характер, у зв'язку з чим оцінка техніко-економічної ефективності землерийних машин вимагає імовірнісного підходу [3-6].

МЕТА РОБОТИ

Основним завданням роботи є оцінка ефективності землерийних машин по критерію величини виробничого потенціалу, що дозволить більш обґрунтовано проводити техніко-економічне зіставлення зразків машин.

Метою роботи є визначення шляхів вдосконалення конструкцій землерийних машин за допомогою обґрунтованого проведення техніко-економічного зіставлення різних видів машин.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Середній передбачуваний виробіток машини може оцінюватися її виробничим потенціалом, тобто математичним очікуванням її експлуатаційної продуктивності:

$$\Pi = K_t \sum \Pi_i p_i, \quad (1)$$

де $\sum \Pi_i p_i$ – математичне очікування технічної продуктивності при вірогідності p_i експлуатації машини в ґрунті i -ої групи трудності розробки; K_t – коефіцієнт, що враховує використання машини в часі та є добутком розрахункових коефіцієнтів використання машини за часом в році та протягом зміни.

Коефіцієнт K_t в залежності від типорозміру машини може змінюватися в широких межах і складати, наприклад, для бульдозерів і скреперів традиційної конструкції 0,26-0,47 [7]. Для землерийно-транспортних машин (бульдозерів, скреперів) виробничий потенціал можна визначати з урахуванням дальності переміщення ґрунту у вигляді:

$$\Pi_L = K_t L \sum \Pi_i p_i, \text{ м}^3 \text{ м/ч} \quad (2)$$

де L – дальність переміщення ґрунту, що відповідає умовам найбільшої доцільності застосування машини цього типорозміру.

Як аналог величини може слугувати, наприклад, поняття тонно-кілометра, що використовується при оцінці вантажоперевезень, але з урахуванням інтенсивності процесу. Добуток величини виробничого потенціалу на річний фонд робочого часу призводить до відомого поняття виробничої потужності машини [1].

У такому разі виробничий потенціал характеризує можливості землерийної машини, які можуть бути реалізовані при її експлуатації в деяких найбільш імовірних ґрунтових умовах та виконання заданих показників використання машини в часі.

Залежно від умов експлуатації, що реально склалися, середня продуктивність кожної окремої машини може бути вище або нижче величини її виробничого потенціалу. У цих випадках міра та характер такого відхилення вказуватимуть на специфіку ґрунтових умов, що створилася, або оцінюватимуть рівень організації робіт. Поняття виробничого потенціалу землерийної машини допускає в найбільш загальному вигляді визначати її виробничі можливості. Такий підхід дозволяє найоб'єктивніше оцінювати ефективність різних землерийних машин, оскільки виключає випадковості та суб'єктивні прояви у виборі початкових ґрунтових умов для техніко-економічного аналізу.

Вираз (1) показує, що для визначення виробничого потенціалу землерийної машини та його аналізу необхідно знати розподіл ґрунтів в забоях і закономірність зміни її технічної продуктивності залежно від групи ґрунту.

У таблиці 1 наведені, отримані в результаті експериментальних досліджень [7], дані про розподіл в забоях землерийних машин ґрунтів за складністю розробки, що характеризується на основі класифікації, запропонованою А. Н. Зеленіном.

Таблиця 1. Параметри робочого процесу

Table 1. Parameters workflows

Група ґрунту за А.Н.Зеленином	I	II	III	IV	V
Середнє значення числа ударів C щільноміра ДорНП	3	6	12	24	48
Імовірність появи p_i	0,2	0,48	0,2	0,11	0,01

При визначенні технічної продуктивності землерийної машини слід враховувати вплив параметрів робочих органів. Для процесу копання цей вплив визначається питомим опором копанню ґрунту K' . У загальному вигляді можна прийняти, що зміна величини K' залежно від групи ґрунту відбувається по деякій геометричній прогресії зі знаменником j . Тоді питомий опір копанню ґрунту i -ої групи може бути виражений як

$$K'_i = j^{i-1} K'_1, \quad (3)$$

де K'_1 – питомий опір копанню ґрунту I групи; $i = 1, 2, \dots, 5$.

З урахуванням викладеного та на основі аналізу енергетичних витрат для основних елементів робочого циклу (копання, переміщення ґрунту, холостий хід) рівняння технічної продуктивності має вигляд [8]:

для землерийних машин циклічної дії

$$\Pi_i = \frac{190N(1-\lambda L)}{1,3j^{i-1}K'_1 + 0,9(2-\lambda L)L + 0,4\frac{NL}{(10-i)q}}, \text{ м}^3/\text{год}; \quad (4)$$

для машин неперервної дії

$$\Pi_i = \frac{270(N\eta_r - N_f)K_{в.к}}{1,2j^{i-1}K'_1}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (5)$$

де N – потужність базової машини, кВт (к.с.); L – дальність переміщення ґрунту, м; λ – коефіцієнт, що враховує витрати ґрунту при переміщенні; q – ємність робочого органу, м³; η_r – ККД трансмісії; N_f – потужність, яка потрібна для переміщення

машини, кВт (к.с.); $K_{в.к}$ – коефіцієнт, що враховує витрати ґрунту при копанні.

Підставляючи (4) та (5) в (1), отримуємо: для машин циклічної дії

$$\Pi = 190N(1-\lambda L)K_t \times \sum \frac{p_i}{1,3j^{i-1}K'_1 + 0,9(2-\lambda L)L + 0,4\frac{NL}{(10-i)q}}; \quad (6)$$

для машин неперервної дії

$$\Pi = \frac{270(N\eta_r - N_f)K_{в.к}}{1,2K'_1} K_t \sum \frac{p_i}{j^{i-1}}. \quad (7)$$

Рівняння (6) і (7) показують, що виробничий потенціал машини зростає зі зменшенням величини j , яка характеризує темп зміни питомого опору копанню при зміні ґрунтових умов. Це свідчить про доцільність активізації робочих органів землерийних машин. Для бульдозерів виробничий потенціал Π знижується зі збільшенням L і λ (Рис. 1). Проте показник Π_L , що враховує також корисну дальність переміщення ґрунту, має максимум при деякому значенні L , яке залежить від коефіцієнта λ (Рис. 2). Чим більше відвал втрачає ґрунту в процесі переміщення, тим менше величина L , якій відповідає Π_{Lmax} . При цьому зменшується і сама величина Π_{Lmax} . Зі зменшенням коефіцієнта λ вершина кривої $\Pi_L = f(L)$ стає менш рельєфною, а при $\lambda=0$ і $L \geq 200$ м величина Π_L , досягнувши максимального рівня, залишається практично постійною.

Характерно, що в діапазоні $0,002 \leq \lambda \leq 0,005$, що охоплює можливі коливання λ для бульдозерів з лобовими відвалами, максимальне значення Π_L відповідає дальності переміщення ґрунту $40 \leq L \leq 80$ м, тобто значенням L , що обмежує фактичну сферу застосування таких бульдозерів нині. Зниження втрат ґрунту в процесі переміщення, означене зменшенням коефіцієнта λ від 0,005 до 0, може привести до зростання виробничого потен-

ціалу бульдозерів Π_{Lmax} майже в 1,5 рази (Рис. 3).

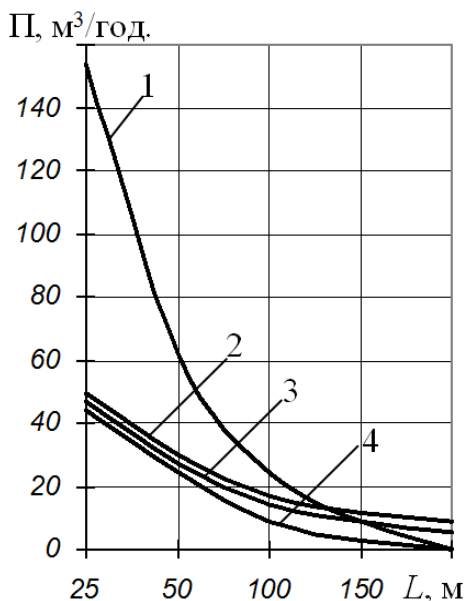


Рис. 1. Зміна виробничого потенціалу Π бульдозерів різної потужності в залежності від дальності переміщення L при різних коефіцієнтах λ : 1 – $N=228$ кВт (300к.с.) при $\lambda=0,005$; 2 – $N=82$ кВт (108к.с.) при $\lambda=0,005$; 3 – $N=82$ кВт (108к.с.) при $\lambda=0,002$; 4 – $N=82$ кВт (108к.с.) при $\lambda=0$

Fig. 1. A change of productive potential Π of bulldozers of different power is depending on distance of moving L at different coefficients λ : 1 – $N=228$ kW (300h.p.) at $\lambda=0,005$; 2 – $N=82$ kW (108h.p.) at $\lambda=0,005$; 3 – $N=82$ kW (108h.p.) at $\lambda=0,002$; 4 – $N=82$ kW (108h.p.) at $\lambda=0$

У землерийних машин безперервної дії виробничий потенціал Π пропорційний коефіцієнту $K_{в.к}$, що враховує втрати при копанні, та, як вже відзначалося, істотно залежить від величини K' питомого опору копанню (Рис. 4) і значення j (Рис. 5). Для грейдер-елеваторів при традиційних робочих органах в середньому $j=1,7$, зниження величини j може забезпечити підвищення виробничого потенціалу цих машин майже в 2 рази.

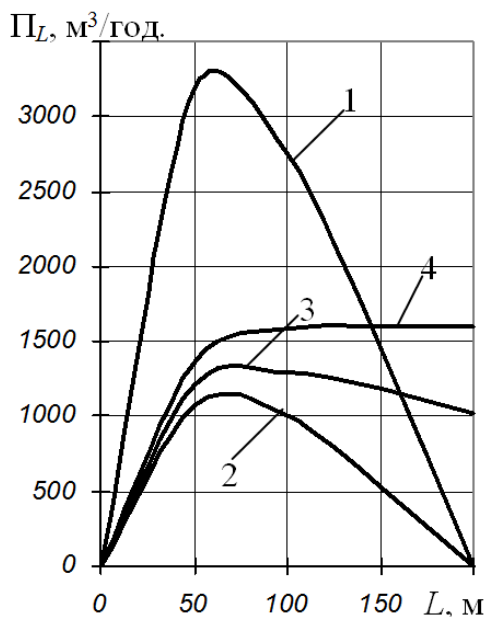


Рис. 2. Зміна виробничого потенціалу Π_L бульдозерів різної потужності в залежності від дальності переміщення L при різних коефіцієнтах λ : 1 – $N=228$ кВт (300к.с.) при $\lambda=0,005$; 2 – $N=82$ кВт (108к.с.) при $\lambda=0,005$; 3 – $N=82$ кВт (108к.с.) при $\lambda=0,002$; 4 – $N=82$ кВт (108к.с.) при $\lambda=0$

Fig. 2. A change of productive potential Π_L of bulldozers of different power is depending on distance of moving L at different coefficients λ : 1 – $N=228$ kW (300h.p.) at $\lambda=0,005$; 2 – $N=82$ kW (108h.p.) at $\lambda=0,005$; 3 – $N=82$ kW (108h.p.) at $\lambda=0,002$; 4 – $N=82$ kW (108h.p.) at $\lambda=0$

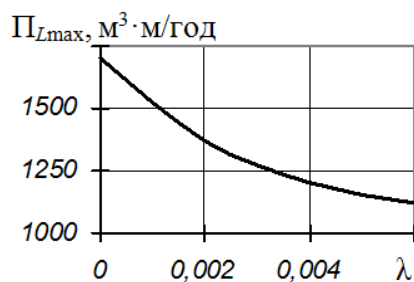


Рис. 3. Залежність максимальної величини Π_{Lmax} бульдозера потужністю 108 к.с. від коефіцієнта λ

Fig. 3. Dependence of maximal size Π_{Lmax} of bulldozer by power 108h.p. from a coefficient λ

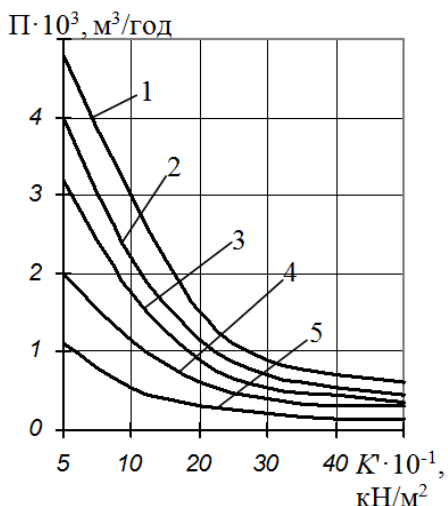


Рис. 4. Залежність виробничого потенціалу Π грейдер-елеватора потужністю 108 к.с. від питомого опору копанню K'

Fig. 4. Dependence of productive potential Π of grader elevator by power 108h.p. from specific resistance to digging K'

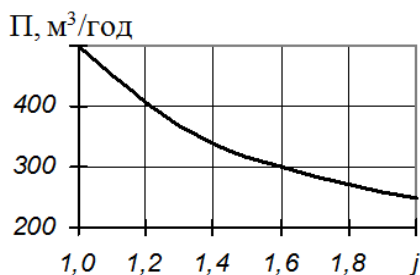


Рис. 5. Зміна виробничого потенціалу Π грейдер-елеватора в залежності від величини j

Fig. 5. A change of productive potential Π of grader elevator is depending on a size j

Як бачимо, вдосконалення робочих органів є одним з основних шляхів підвищення виробничого потенціалу землерийних машин.

ВИСНОВОКИ

Імовірнісна оцінка ефективності землерийних машин по критерію величини виробничого потенціалу дозволяє більш обґрунтовано проводити техніко-економічне зіставлення зразків машин, а також визначати

шляхи вдосконалення їх конструкції [9, 10]. Величина виробничого потенціалу може використовуватися при прогнозуванні річного вироблення, оцінках енергоємності, металоємності, терміну окупності, економічного ефекту впровадження нового зразка або модернізації землерийної машини, а також при виборі умов і аналізі результатів виробничих випробувань землерийних машин.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Баловнев В. И.** Повышение производительности машин для земляных работ: производственное издание / В. И. Баловнев, Л. А. Хмара – М.: Транспорт, 1992, – 136 с.
2. **Хмара Л. А.** Машины для земляных работ: навчальний посібник / Л. А. Хмара, С. В. Кравець, В. В. Нічке, Л. В. Назаров, М. П. Скоблюк, В. Г. Нікітін; під заг. ред. проф. Л. А. Хмари та проф. С. В. Кравця. – Рівне – Дніпропетровськ – Харків. – 2010. – 557 с.
3. **Міщук Д.** Дослідження динаміки роботи встановленого на пружну опору стрілового маніпулятора / Д. Міщук // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – К., 2017. – Вип. 90. – С. 11–18.
4. **Пелевін Л.** Розробка дискового робочого органа для безтраншейного прокладання ліній комунікацій / Л. Пелевін, Є. Горбатюк, А. Фомін, А. Азенко // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – К., 2017. – Вип. 90. – С. 59–66.
5. **Toshov J. B.** Questions modeling of dynamics of drilling tools on the bottom hole. / J. B. Toshov, M. K. Shukurov // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, “East West” Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH. Vienna. 1–2 (1) 2014. – pp. 116–122.
6. **Пелевін Л. Є.** Вступ до фаху. Механічна інженерія: підручник / Л. Є. Пелевін, Є. В. Горбатюк, Д. О. Міщук, А. Т. Свідерський, Г. О. Аржаєв. – К.: ООО “НПП Інтерсервіс”, 2017. – 250 с.
7. **Зеленин А. Н.** Машины для земляных работ / А. Н. Зеленин, В. И. Баловнев, И. П. Керов. – М.: Машиностроение, 1975. – 424 с.
8. **Pelevin L.** Developing a mathematical substantiation for the physical modelling of the soil-ripping equipment work process /

- L. Pelevin, Ie. Gorbatyuk, S. Zaichenko, V. Shalenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – vol. 6, no. 2 (90): Information technology. Industry control systems. – pp. 52–60. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.118429>
9. **Тетерятник О.** Аналіз конструкцій та концепції розвитку компактного екскаваторного обладнання / О. Тетерятник, О. Костенюк, А. Фомін // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – К., 2018. – Вип. 92. – С. 56–62. <https://doi.org/10.31493/gbdmm1892.0401>
 10. **Pelevin L.** Substantiation of adequacy of loading conditions at bench and field tests of construction machines / L. Pelevin, A. Fomin, Ie. Gorbatyuk, G. Machishin // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – vol. 3, no. 7 (93): Applied mechanics. – pp. 41–52. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.130996>
 7. **Zelenin A. N., Balovnev V. I., Kerov I. P.** (1975). Mashiny dlya zemlyanykh robot. Moscow, Mashinostroenie Publ., 424.
 8. **Pelevin L., Gorbatyuk Ie., Zaichenko S., Shalenko V.** (2017). Developing a mathematical substantiation for the physical modelling of the soil-ripping equipment work process. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Vol. 6, No. 2 (90): Information technology. Industry control systems, 52–60. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.118429>
 9. **Teteriatnyk O., Teteriatnyk O., Kosteniuk O., Fomin A.** (2018). Analiz konstrukcij ta koncepcii' rozvytku kompaktnogo ekskavacijnogo obladnannja. Girnychi, budivel'ni, dorozhni ta melioratyvni mashyny, No. 92, 56–62. DOI: 10.31493/gbdmm1892.0401
 10. **Pelevin L., Fomin A., Gorbatyuk Ie., Machishin G.** (2018). Substantiation of adequacy of loading conditions at bench and field tests of construction machines. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Vol. 3, No. 7 (93), 41–52. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.130996>

REFERENCES

1. **Balovnev V. I., Khmara L. A.** (1992). Povyshenie proizvoditel'nosti mashin dlya zemlyanykh robot: proizvodstvennoe izdanie, Moscow, Transport, 136.
2. **Khmara L. A., Kravets S. V., Nichke V. V., Nazarov L. V., Skobliuk M. P., Nikitin V. H.** (2010). Mashyny dlia zemlianykh robot: navchalnyi posibnyk. Rivne-Dnipropetrovsk-Kharkiv, 557.
3. **Mishchuk D.** (2017). Doslidzhennja dynamiky roboty vstanovlenogo na pruzhnu oporu strilovogo manipuljatora. Girnychi, budivel'ni, dorozhni ta melioratyvni mashyny, No. 90, 11–18.
4. **Pelevin L., Horbatiuk E., Fomin A., Azenko A.** (2017). Rozrobka diskovogo robochogo organa dlja beztranshejnogo prokladannja linij komunikacij. Girnychi, budivel'ni, dorozhni ta melioratyvni mashyny, No. 90, 59–66.
5. **Toshov J. B., Shukurov M. K.** (2014). Questions modeling of dynamics of drilling tools on the bottom hole. Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, “East West” Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH. Vienna, 1–2 (1), 116–122.
6. **Pelevin L. Ie., Horbatiuk Ye. V., Mishchuk D. O., Sviderskyi A. T., Arzhaiev H. O.** (2017). Vstup do fakhu. Mekhanichna inzheneriia: pidruchnyk. Kyiv, NPP Interservis Publ., 250.

Realization of effective prognostication of work of machines for earthmovings

Leonid Pelevin¹, Anatolij Fomin², Ievgenii Gorbatyuk³, Vadym Shalenko⁴

Kyiv National University of Construction and Architecture

Abstract. An earth-moving technique in highly developed countries occupies a leading place among the self-propelled and towed technique of the different setting.

Such technique scientific and technical principles of creation of low-energy technologies and machines are the basis of for destruction of natural and artificial environments (soils, breeds, mules, reinforced concretes, brick and others like that) under various conditions (ground - travelling, treatment of agricultural earth, engineer-soldiery and rescue works at accidents, cleaning of soils from contaminations, land-reclamation, creation of trenches, channels, foundation pits, trenches, depositories and others like that; underground is mining, building of tunnels and others like that).

Earthmovings belong to most labors intensive processes of building and that is why it is necessary to determine the ways of perfection of con-

structions of earthmovers by means of reasonable realization of technical and economic comparison of different types of standards of machines. Thus, the basic task of this work is an estimation of efficiency of earthmovers with using as a criterion of size of productive potential that will allow more reasonably to conduct technical and economic comparison of different types of standards of machines.

The probabilistic estimation of efficiency of earthmovers with using as a criterion of size of productive potential allows more reasonably to conduct technical and economic comparison of

standards of machines, and also determine the ways of perfection of their construction. The size of productive potential can be used for prognostication of the annual making, estimations of power-hungriness, metal consumption, term of recoument, economic effect of introduction of new standard or modernization of earthmover, and also at the choice of terms and analysis of results of productive tests of earthmovers.

Keywords: machines for earthmovings, efficiency of earthmovers, productive potential.

УДК 69.002.5

Обґрунтування алгоритму розрахунку вібраційної установки для ущільнення бетонних сумішей зі змінним режимом роботи

Іван Назаренко¹, Олег Дедов², Олександр Дьяченко³

Київський національний університет будівництва і архітектури,
Повітрофлотський пр-т, 31, Київ, Україна, 03680

¹i_nazar@i.ua, <http://orcid.org/0000-0002-1888-3687>

²dedovvcbk@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0001-5006-772X>

³sanyadrg@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-8199-2504>

Received: 19.02.2019; Accepted: 28.03.2019

<https://doi.org/10.32347/gbdmm2019.93.0301>

Анотація. При виробництві залізобетонних виробів для збірних конструкцій на заводах будівництва чільне місце займають вібраційні майданчики (віброустановки). Існуючі конструкції вібромайданчиків не в повній мірі відповідають вимогам універсальності при зміні програми виробництва, забезпеченню високої якості готових виробів та характеризуються суттєвими витратами енергії.

Одним із напрямків вирішення наведених недоліків є створення вібраційної установки з навісними збудниками коливань і змінним режимом роботи. Така ідея забезпечується використанням віброустановки в якій рама з привареною поверх пластиною безпосередньо і є піддоном на якому відбувається процес ущільнення.

Розміри майбутнього виробу обмежуються встановленням на піддон бортів і перегородок, які закріплюються за допомогою магнітних кріплень, завдяки чому можна легко перелаштувати установку під інші типорозміри панелей.

Наступною відмінністю даної віброустановки є використання навісних віброзбудників коливань, що дозволяє зменшити загальну масу установки та підвищити рівномірність розподілу амплітуд коливань по площі поверхні формування. Завдяки своїй конструкції вібратори мають можливість зміни частоти коливань в необхідному діапазоні та, як наслідок, значно інтенсифікувати процес віброущільнення бетонної суміші на різних етапах.

Для перевірки цих тверджень на практиці було створено конструкцію лабораторної вібраційної установки з навісними збудниками коливань і проведені дослідження її руху. За результатами проведених досліджень отримано загальну картину руху вібраційної установки при різних частотах коливань, виконано оцінку

ISSN 2312-6590. Гірничі, будівельні, дорожні і меліоративні машини, 93, 2019, 19-26

і розподілу амплітуд коливань по площі поверхні формування.

У результаті проведених дослідів і за результатами попередніх робіт було розроблено алгоритм розрахунку вібраційної установки, обґрунтовано її основні параметри, що в майбутньому має стати передумовою для створення принципово нового класу машин для ущільнення та формування бетонних сумішей на заводах будівництва.

Ключові слова: вібраційна установка, навісні віброзбудники коливань, ущільнення, змінний режим коливань, алгоритм розрахунку.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Все ширше використання технологій інформаційного моделювання будівель (BIM – Building Information Modeling) у будівництві вимагає більшої оптимізації як процесів проектування та будівництва так і окремих виробничих процесів. Оскільки добре налагоджений процес будівництва споруд прямо залежить від операцій, що відбуваються на виробничих потужностях підприємств, які забезпечують сучасне будівництво необхідними матеріалами і конструкціями. Для забезпечення високих темпів будівництва в сучасних умовах є необхідністю використовувати універсальне обладнання, яке дозволяє швидко перелаштовувати виробництво на різні за формою, розмірами та складом виробу і конструкції без суттєвих затрат.

Процес ущільнення та формування сумішей є одним з найвідповідальніших про-

цесів при виробництві готових збірних конструкцій з бетону, від нього залежить форма, міцність, вологостійкість і довговічність кінцевого виробу. Для досягнення цих показників потрібно забезпечити регламентовані технологією виробництва необхідні параметри роботи вібраційного обладнання при ущільненні та формуванні.

Об'ємне вібраційне ущільнення виконують на вібраційних майданчиках. Однак в наш час нерідко вони мають такі недоліки як ненадійність конструкції, складність налаштування на різні за складом і розміром вироби та висока металоємність віброустановки.

Ефективним рішенням може бути створення вібраційної рамної установки зі змінним режимом коливань і несиметричним встановленням навісних віброзбудників коливань, що дозволить подолати недоліки установок, які наведені вище.

ОГЛЯД ПУБЛІКАЦІЙ

В роботах [1,2] розглянуто фізичну сутність поведінки машин і оброблюваних середовищ при ущільненні бетонних сумішей. Вибору й обґрунтуванню оптимальних параметрів і режимів ущільнення бетонних сумішей присвячено роботу [3]. В роботі [4] наведено залежність, яка визначає частоти і амплітуди коливань робочого органу, що рекомендується обирати в залежності від крупності часток наповнювачу в бетонній суміші. Разом з тим існують й інші погляди на модель, яка представляється не корпускулярною моделлю [4], а континуальною системою [3]. Застосування двохчастотної вібрації пропонується в роботі [5], що дозволяє інтенсифікувати процес ущільнення бетонної суміші.

МЕТА РОБОТИ

Мета роботи полягає у обґрунтуванні алгоритму розрахунку лабораторної вібраційної установки з навісними збудниками

коливань для ущільнення бетонних сумішей, який визначає основні кроки при розрахунку базових параметрів і навісного обладнання.

Досягнення мети здійснюється шляхом огляду конструкції створеної лабораторної віброустановки, її особливостей і проведених досліджень руху за різних частот коливань.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Попередньо здійснений аналіз конструкцій вібромайданчиків [6] засвідчив ефективність рамних вібромайданчиків при ущільненні бетонних і залізобетонних виробів. Доцільність використання навісних пневматичних віброзбудників коливань для приведення в дію вібраційних установок [7] дозволить підвищити надійність конструкції, покращити рівномірність розподілу амплітуд коливань віброустановки, що напряму впливає на ефективність ущільнення бетонної суміші, а також зменшити металоємність конструкції.

За результатами проведених досліджень було розроблено конструкцію лабораторної вібраційної установки з навісними вібраторами, які встановлені таким чином, що реалізуються просторові коливання. Установка виконана у вигляді рами, що встановлена на пружних опорах (Рис.1).

Вібраційна дія забезпечується навісними відцентровими збуджувачами колових коливань з можливістю зміни частоти їх обертання. Рама з привареною поверх пластиною безпосередньо і є піддоном на якому відбувається процес ущільнення. Розміри майбутнього виробу обмежуються встановленням на піддоні бортів і перегородок, які закріплюються з допомогою магнітних кріплень.

Використання таких рішень дозволяє виконувати ущільнення різних як за формою і розмірами, так і за складом виробів, що підвищує загальну універсальність обладнання.



Рис.1. Експериментальна вібраційна установка

Fig.1. Experimental vibration installation

Проведені дослідження [8] та результати їх аналізу засвідчили суттєве зменшення матеріалоемності установки та час ущільнення бетонної суміші.

Запропонована конструкція віброустановки є передумовою для створення принципово нового класу ущільнюючих машин із реалізацією змінних режимів (Рис.2 і Рис.3) та економією енергії на протікання технологічного процесу.

Проведені експериментальні дослідження засвідчили наявність різного характеру коливань в певних точках вимірюваних амплітуд коливань та їх підсилення при різних частотах коливань (12,5; 22,5; 48Гц).

На наступному етапі було розроблено базовий алгоритм розрахунку вібраційної установки з навісними збудниками коливань (Рис.4).

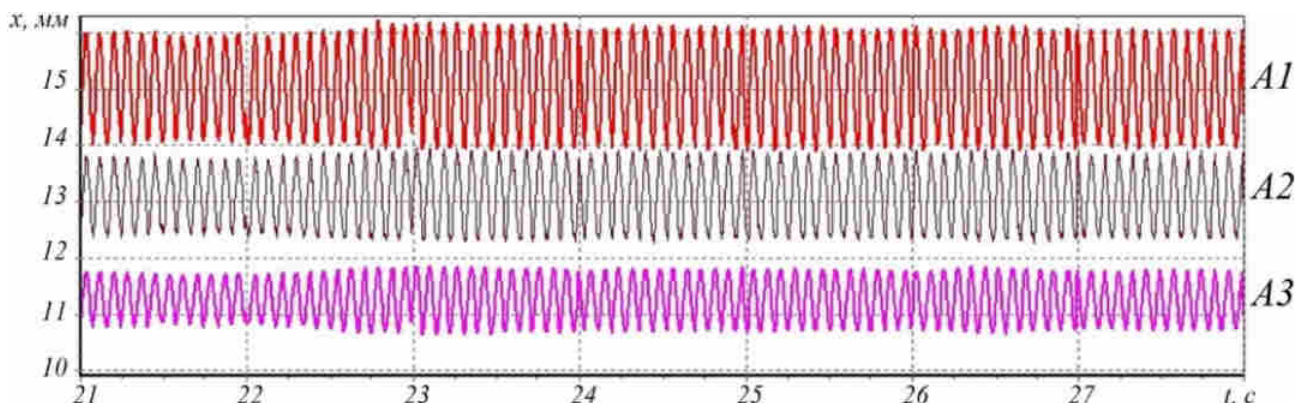


Рис. 2. Віброграма руху установки при частоті коливань $f \approx 12$ Гц

Fig. 2. Vibrogram of motion of the installation at a frequency of oscillation $f \approx 12$ Hz

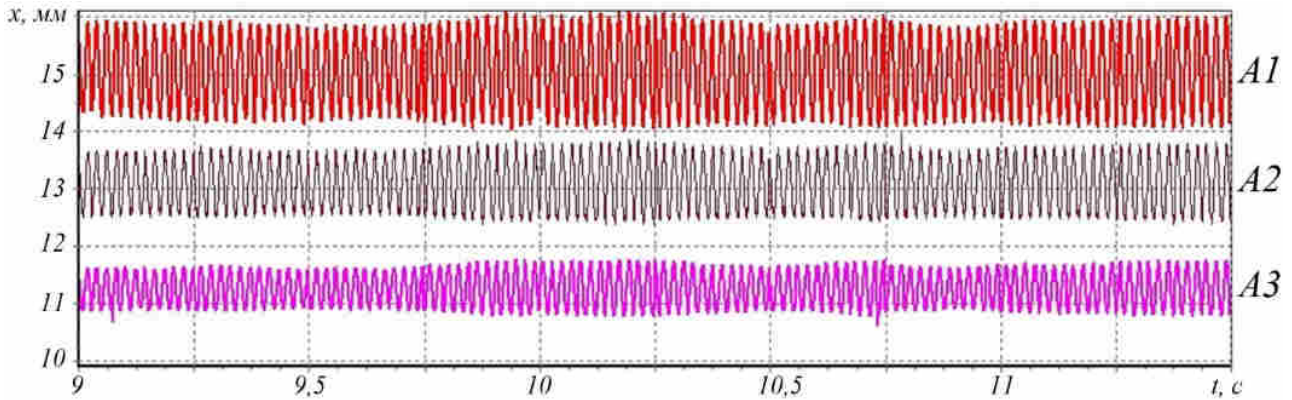


Рис.3. Віброграма руху установки при частоті коливань $f \approx 48$ Гц

Fig.3. Vibrogram of motion of the installation at a frequency of oscillation $f \approx 48$ Hz

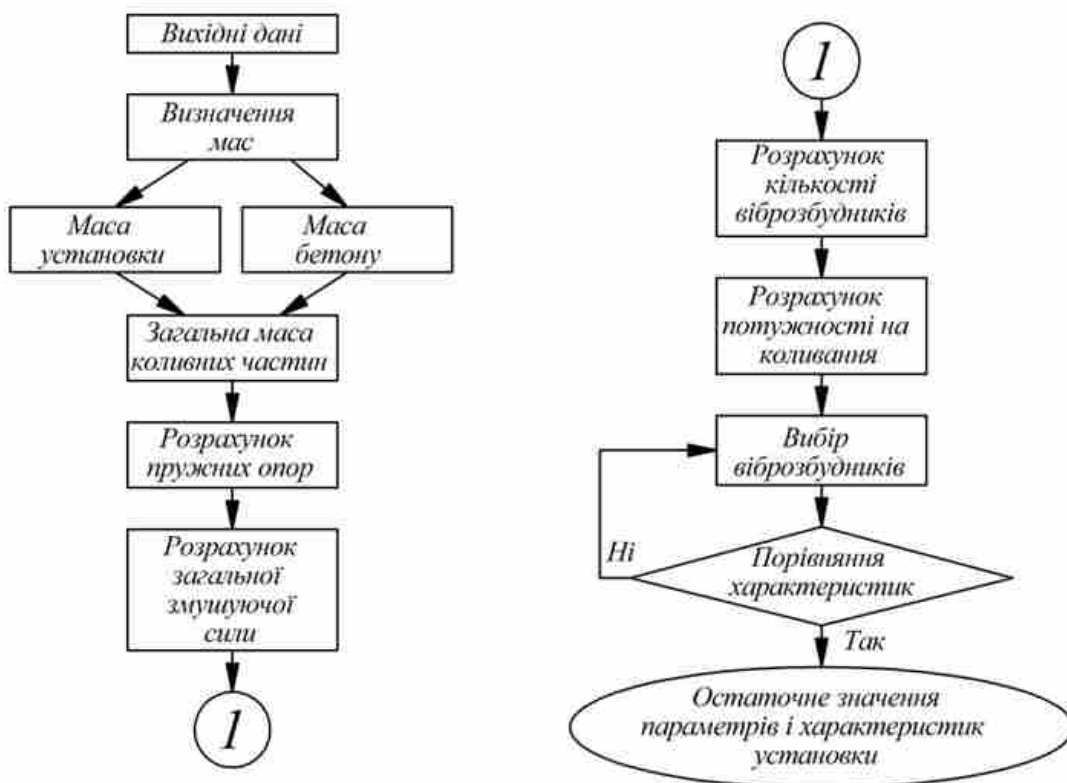


Рис. 4. Схема алгоритму розрахунку вібраційної установки

Fig. 4. Scheme of the algorithm of calculation of the vibrating installation

Алгоритм розрахунку можна умовно розділити на три основні етапи:

- прийняття вихідних даних для розрахунку;
- розрахунок основних параметрів віброустановки;
- підбір обладнання вібраційної установки й остаточне обґрунтування параметрів і характеристик.

До першого етапу відноситься вибір максимальних габаритних розмірів виробу $L \times B \times H$, який підлягатиме ущільненню і формуванню, складу бетонної суміші тощо. Приймають необхідну амплітуду x_0 і частоту коливань ω робочого органу.

До другого етапу відноситься визначення основних параметрів віброустановки.

Визначають орієнтовну масу віброустановки m_B і максимальну масу бетонної суміші m_B , яка підлягатиме ущільненню, виходячи з розмірів і складу. За отриманими значеннями визначають загальну масу коливних частин:

$$m_{II} = m_B \alpha_I + m_B, \quad (1)$$

де α_I – коефіцієнт приєднаної маси суміші [9].

Отримане значення загальної маси коливних частин m_{II} необхідне для подальших розрахунків пружних опор і підбору збудників коливань.

Для дотримання умов віброізоляції персоналу визначають необхідну загальну жорсткість c_0 гумових пружних опор [1]:

$$c_0 = \omega_0^2 m_{II}, \quad (2)$$

де ω_0 – власна частота коливань віброустановки, рад/с. Приймається з відношення:

$$\omega_0 \leq \omega/7 \dots 10. \quad (3)$$

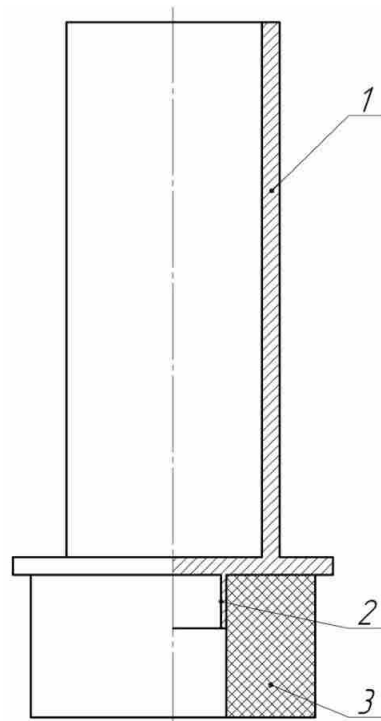


Рис. 5. Конструкція пружної опори вібраційної установки: 1 – стійка; 2 – виступ для утримання гумового циліндра; 3 – гумовий циліндр

Fig. 5. Design of the resilient support of the vibrating installation: 1 – the rack; 2 – protrusion for holding the rubber cylinder; 3 – rubber cylinder

Відповідно жорсткість кожної пружної опори:

$$c_n = c_0 / n, \quad (4)$$

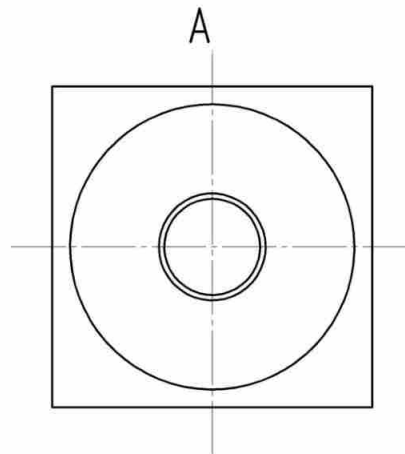
де n – кількість опор віброустановки.

При цьому кількість опор n має бути обрана таким чином аби вони були розташовані рівномірно на рамній конструкції для забезпечення її міцності і не заважали просторовому вібраційному руху.

Оскільки у конструкції віброустановки, яка пропонується, у пружних опорах (Рис.5) використовуються гумові циліндри, то необхідно розрахувати площу їх перерізу S і висоту H . Відповідні значення підбирають виходячи із формули:

$$c_n = \frac{ES}{H} (0,73 + 0,46 \gamma^2), \quad (5)$$

де E – модуль пружності матеріалу циліндра, МПа; γ – безрозмірний коефіцієнт, який характеризує відношення радіуса циліндра r до його висоти H , $\gamma = r/H$ [10].



Задана амплітуда переміщень x_0 при частоті ω буде забезпечена, якщо змушуюча сила F_0 здатна перебороти активні й реактивні опори вібромайданчика і силу реакції бетонної суміші при взаємодії з поверхнею форми.

Визначають загальний статичний момент маси дебалансів[1]:

$$m_0 r_0 = x_0 m_{II} / \sqrt{\left(1 + \frac{m_B}{m_{II}} a\right)^2 + \left(\frac{m_B}{m_{II}} d\right)^2}, \quad (6)$$

де a , d – відповідно хвильові коефіцієнти реактивного й активного опору бетонної суміші в зоні контакту з робочим органом[1].

Після цього знаходять необхідну для приведення у рух установки змушуючу силу F_0 :

$$F_0 = m_0 r_0 \omega^2. \quad (7)$$

Кількість вібраторів регламентується площею поверхні форми. Для більш рівномірного розподілу амплітуд коливань бажано на кожні $S_I=8\dots 12$ м² площі поверхні форми встановлювати віброзбудник коливань. При цьому необхідно враховувати жорсткість поперечного перерізу елементів рами віброустановки, на які встановлюються віброзбудники та відстань між ними, задля забезпечення умов самосинхронізації [9] їх між собою. Кількість вібраторів визначаємо за формулою:

$$n_V = S_3 / S_I, \quad (8)$$

де S_3 – загальна площа формуючої пластини віброустановки, м².

Знаючи необхідну загальну змушуючу силу F_0 і кількість віброзбудників n_V визначається необхідна змушуюча сила одного вібратора:

$$F_B = F_0 / n_V. \quad (9)$$

Розраховують потужність, яка витрачається на коливання вібросистеми, Вт:

$$P_K = \frac{1}{2} F_0 x_0 \omega. \quad (10)$$

Потужність, яка витрачатиметься на тертя в підшипниках віброзбудника, Вт:

$$P_T = F_0 \mu \frac{d_u}{2} \omega, \quad (11)$$

де $\mu = 0,005\dots 0,008$ – коефіцієнт тертя в підшипниках; d_u – діаметр цапфи підшипника, м.

Розраховують загальну потужність приводів, Вт:

$$P_{PP} = \frac{P_K + P_T}{\eta}, \quad (12)$$

де η - коефіцієнт корисної дії передачі.

Останнім етапом є вибір обладнання вібраційної установки та обґрунтування параметрів і характеристик.

Основним завданням на цьому етапі є підбір віброзбудників коливань наявних на ринку, порівняння їх характеристик і визначення найбільш оптимального варіанту за наявними перевагами і недоліками. За проведеними розрахунками приймають остаточний набір параметрів і характеристик віброустановки, а також обладнання.

ВИСНОВКИ

1. Наведена конструкція віброустановки дозволить ущільнювати різні за розмірами залізобетонні плити без суттєвого переналадження всього технологічного процесу виробництва.

2. Запропоновано алгоритм розрахунку вібраційної установки з навісними збудниками коливань для ущільнення бетонних сумішей, який визначає основні кроки при розрахунку базових параметрів вібраційної установки та її навісного обладнання.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Назаренко І. І., 2010.** Прикладні задачі теорії вібраційних систем. Навчальний по-

- сібник (2-е видання). Київ, Видавничий Дім «Слово», 440.
2. **Пановко Я. Г., 1976.** Основы прикладной теории колебаний и удара. Ленин-град, Машиностроение, 320.
 3. **Назаренко І. І., 2007.** Вібраційні машини і процеси будівельної індустрії. Навчальний посібник. Київ, КНУБА, 230.
 4. **Лермит Р., 2007.** Проблемы технологии бетона: Пер. с фр. /Под ред. и с предисл А.Е. Десова. Москва, Издательство ЛКИ, 296.
 5. **Иткин А. Ф., 2009.** Вибрационные машины для формирования бетонных изделий. Київ, «МП Леся», 152.
 6. **Назаренко І. І., Дедов О. П., Дьяченко О. С., Свідерський А. Т., 2017.** Огляд і аналіз вібраційного обладнання для формування плоских плит залізобетонних виробів. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини, Вип. 90, 49-58.
 7. **Назаренко І. І., Дедов О. П., Дьяченко О. С., 2018.** Огляд конструкцій існуючих навісних збудників коливань та дослідження ефективності їх використання для покращення ущільнення залізобетонних виробів на вібраційних установках. Техніка будівництва, Вип.39, 46-55.
 8. **Назаренко І. І., Дьяченко О. С., 2018.** Експериментальні дослідження робочого процесу вібраційної установки для ущільнення бетонних сумішей зі змінним режимом роботи. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини, Вип. 92, 24-31.
 9. **Бауман. В. А., Быховский И. И., 1977.** Вибрационные машины и процессы в строительстве. М., Высш.шк., 255.
 10. **Лавендел Э. Э., 1976.** Расчёт резинотехнических изделий. М., Машиностроений, 232.
- with fr. Ed. and with preface A.E. Desov.]. Moscow, Izdatel'stvo LKI.
5. **Itkin A. F. (2009).** Vibracionnyye mashiny dlja formovanija betonnyh izdelij [Vibration machines for forming concrete products]. Kyiv, MP Lesya Publ., 152.
 6. **Nazarenko I. I., Dedov O. P., Diachenko O.S., Svidersky A. T. (2017).** Ogljad i analiz vibracijnogo obladnannja dlja formuvannja ploskih плит залізобетонних виробів. Girnychi, budivel'ni, dorozhni ta melioratyvni mashyny [Review and analysis of vibrating equipment for the formation of flat reinforced concrete products], Iss.90, 49-58.
 7. **Nazarenko I. I., Dedov O. P., Diachenko O. S. (2018).** Ogljad konstrukcij isnujuchyh navisnyh zbudnykiv kolyvan' ta doslidzhennja efektyvnosti i'h vykorystannja dlja pokrashennja ushil'nenja zalizobetonnyh vyrobiv na vibracijnyh ustanovkah. Tehnika budivnytva [Overview of the constructions of existing hinged vibrators and the study of the efficiency of their use to improve the compacting of reinforced concrete products on vibration platforms], Vol.39, 46-55.
 8. **Nazarenko I. I., Dedov O. P., Diachenko O. S., Svidersky A. T. (2017).** Esperymentalni doslidzhennja robochogo procesu vibracijnoi' ustanovky dlja ushil'nenja betonnyh sumishej zi zminnym rezhymom roboty. Girnychi, budivel'ni, dorozhni ta melioratyvni mashyny [Experimental research of the working process of the vibration installation for compaction of concrete mixes with variable mode of oscillations], Vol. 92, 24-31.
 9. **Bauman. V. A., Byhovskij I. I. (1977).** Vibracionnyye mashiny i processy v stroitel'stve [Vibration machines and processes in construction]. Moscow, Vyssh.shk., 255.
 10. **Lavendel E. E. (1976).** Raschet rezinotekhnicheskikh izdeliii. [Calculation of rubber products]. Moscow, Mashinostroenie, 232.

REFERENCES

1. **Nazarenko, I. I. (2010).** Prikladni zadachi teorii vibracijnih system (2-e vidannja) [Applied problems of the theory of vibration systems (2nd ed.)]. Kyiv: Slovo Publ., 440.
2. **Panovko Ja. G. (1976).** Osnovy prikladnoj teorii kolebanij i udara. [Fundamentals of Applied Theory of Oscillations and Shock]. Leningrad, Mashynostroenie Publ., 320.
3. **Nazarenko I. I. (2007).** Vibracijni mashyny i procesy budivel'noi' industrii'. [Vibration machines and processes of the construction industry]. Kyiv, KNUBA Publ., 230.
4. **Lermit R. (2007).** Problemy tehnologii betona [Problems of concrete technology: Trans.

ISSN 2312-6590. Гірничі, будівельні, дорожні і меліоративні машини, 93, 2019, 19-26

Substantiation of the algorithm of calculation of a vibrating installation for compaction of concrete mixes with variable operating mode

*Ivan Nazarenko¹, Oleg Dedov²,
Oleksandr Diachenko³*

*Kyiv National University of
Construction and Architecture*

Abstract. In the production of reinforced concrete products for prefabricated structures at the

plants of the construction industry, a prominent place is occupied by vibration platforms (vibration installations). Existing designs of vibration platforms don't fully meet the requirements of versatility when changing the production program, ensuring the high quality of finished products and are characterized by significant energy costs.

One of the ways to solve these shortcomings is to create a vibration installation with hinged vibrators and variable operating mode. Such an idea is proposed by the use of a vibrating installation in which a frame with a welded top plate directly and is the pallet on which the compaction process takes place.

The dimensions of the future product are limited by the installation on the pallet of boards and partitions, which are fixed on the pallet by magnetic fastenings, which make it easy to adjust the installation to other sizes of panels.

Another difference of this vibration platform is the use of hinged vibrators, which allows to reduce the total mass of the installation and to increase the uniformity of the amplitude distribution of vibrations over the area of the compaction. Due to their design, the vibrators are able to change the fre-

quency of oscillations in the required range and, as a consequence, significantly intensify the process of vibration compaction of the concrete mixture at different stages of the process.

In order to verify these claims, the design of a laboratory vibration platform with hinged vibrators was created in practice and studies of its motion were conducted. According to the results of the researches the general picture of the motion of the vibrating installation at different frequencies of oscillations was obtained, the estimation of oscillation amplitudes distribution on the area of the compaction.

As a result of the conducted experiments and the results of previous works, an algorithm for the calculation of the vibrating installation was developed. Its basic parameters were substantiated, which in the future should be a prerequisite for the creation of a fundamentally new class of machines for compacting and forming concrete mixtures at the factories of the construction industry.

Keywords: vibration installation, hinged vibrators, compaction, variable mode of oscillations, algorithm of calculation.

УДК 621.923

Технологічні умови роботи абразивного інструменту*Леонід Пелевін¹, Григорій Мачишин^{2,3}, Микола Кузьмінець³*^{1,2}Київський національний університет будівництва і архітектури (КНУБА)

Повітрофлотський просп. 31, Київ, Україна, 03680,

³Національний транспортний університет (НТУ)

вул. Ємельяновича-Павленко 1, Київ, Україна, 01010,

¹pelevin.lie@knuba.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-4010-8556>²machyshyn.gm@knuba.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-8230-0060>³kuzminecmp@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-9636-919X>*Received: 10.03.2019; Accepted: 20.04.2019*<https://doi.org/10.32347/gbdmm2019.93.0302>

Анотація. Абразивний інструмент з кожним днем знаходить все більше застосування при виконанні операцій з фінішної абразивної обробки деталей машин, очищення металевих і неметалевих поверхонь від лакофарбових покриттів, іржі та забруднень. Полімер-абразивні щітки здебільшого застосовують у поєднанні з ручними кутовими шліфувальними машинами невеликої потужності.

Основною задачею роботи є визначення енергетичних витрат і їх розподіл з метою мінімізації нагріву полімерної матриці та збільшення частки енергії, що витрачається на знімання матеріалу, який підлягає видаленню.

При визначенні енергетичних витрат враховувалися наступні показники потужності, а саме: потужність, що передається від абразивного зерна, яким наповнене волокно, при контакті з оброблюваною поверхнею; потужність руйнування поверхні, що обробляється; потужність теплових втрат енергії при терті волокна об поверхню матеріалу, який обробляється. Враховуючи наведені показники потужності складено умову балансу енергії. Це дозволило визначити коефіцієнт корисної дії абразивного інструменту та встановити, які фактори призводять до його підвищення. А також, отримати залежність, що описує загальний перепад температур, на які нагрівається волокно щітки за весь час її роботи.

Для визначення ймовірності безвідмовної роботи машин з полімер-абразивними щітками було складено структурну схему, яка включає два критерії: ймовірність руйнування волокна від втоми та ймовірність руйнування волокна від контактних навантажень. Складена схема розглядалась із вірогідністю безвідмовної роботи інструмента по кожному з цих критеріїв. Розв'язком системи ймовірності безвідмовної

ISSN 2312-6590. Гірничі, будівельні, дорожні і меліоративні машини, 93, 2019, 27-34

роботи щітки є залежність, що дозволяє визначити термін служби щітки. Таким чином, на будівельному або монтажному майданчику з'являється можливість розрахувати число полімерно-абразивних щіток для забезпечення безперебійного виконання робіт.

Зростання коефіцієнту корисної дії забезпечують наступні показники, а саме: зменшення питомої теплоємності, маси волокна та перепаду температур волокна за один оберт щітки. А також зростання кількості абразиву, межі міцності й перетину волокна та довжина дуги контакту.

Визначення ймовірності безвідмовної роботи ручних та переносних машин з полімерно-абразивними щітками дозволяє визначити ресурс їх роботи.

Ключові слова: Полімер-абразивна щітка, енергетичні витрати, потужність, тепло, ресурс, безвідмовність роботи.

ВСТУП

Механізація та автоматизація операцій з фінішної абразивної обробки деталей машин, очищення металевих і неметалевих поверхонь від лакофарбових покриттів, іржі та забруднень при виконанні будівельно-монтажних робіт є актуальним для сучасного машинобудування. Полімерно-абразивні щітки (ПАЩ) є досить ефективним інструментом для заокруглення гострих кромки на деталях в літакобудуванні, ракетобудуванні та інших галузях машинобудування. Даний інструмент починають масово застосовувати на промислових під-

приємствах для фінішної обробки деталей. Що підтверджується публікаціями [1-11].

ПАЩ безпечні в роботі, а для їх приводу використовуються малопотужні ручні машини, що мають невелику масу.

У процесі подальшого вдосконалення, як самого інструменту, так і визначення оптимальних параметрів його експлуатації при різних конкретних умовах, ставилися і вирішувалися різні технологічні, конструктивні та інші завдання.

МЕТА РОБОТИ

Основною задачею роботи є визначення енергетичних витрат і їх розподіл з метою мінімізації нагріву полімерної матриці та збільшення частки енергії, що витрачається на знімання матеріалу, який підлягає видавленню.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

При визначенні енергетичних витрат приймалися наступні показники:

P_1 – потужність, що передається від абразивного зерна, яким наповнене волокно, при контакті з оброблюваною поверхнею;

P_2 – потужність руйнування поверхні, що обробляється;

P_3 – потужність теплових втрат енергії при терті волокна об поверхню матеріалу, який обробляється.

Умова балансу енергії має відповідати рівнянню:

$$P_1 \cdot dt = P_2 \cdot dt + P_3 \cdot dt, \quad (1)$$

де dt – час; $P \cdot dt = dw$ – відповідна енергія.

Виходячи з рівняння (1), отримаємо:

$$P_1 = \frac{N_3 \cdot \frac{m_3 \cdot V_0^2}{2} (1 - k^2)}{\tau_k}, \quad (2)$$

де m_3 – маса зерна; V_0 – швидкість, з якою зерно, закріплене на кінці волокна, вдаряється об поверхню, яку обробляють; k – коефіцієнт відновлення швидкості при уда-

рі; τ_k – тривалість контакту; N_3 – кількість абразивних зерен, які одночасно контактують з поверхнею, яку обробляють.

Тоді

$$P_2 = \frac{N_3 [\tau_{zc}] \cdot S \cdot \Delta l}{\tau_k}, \quad (3)$$

де τ_{zc} – межа міцності матеріалу по зсуву, що оброблюється щіткою; $S = \pi r_3^2$ (r_3 – радіус зерна абразиву; Δl – довжина дуги контакту).

Згідно

$$P_3 = \frac{C \cdot m_g \cdot \Delta t}{\tau_k}, \quad (4)$$

де C – питома теплоємність; m_g – маса волокна; Δt – градієнт температури за один оберт щітки.

Враховуючи (1-4) маємо баланс енергії за один прохід щітки протягом часу dt

$$\begin{aligned} & \frac{N_3 \cdot \frac{m_3 \cdot V_0^2}{2} (1 - k^2)}{\tau_k} \cdot dt = \\ & = \frac{N_3 \cdot [\tau_k] \cdot S \cdot \Delta l}{\tau_k} \cdot dt + \frac{C \cdot m_g \cdot \Delta t}{\tau_k} \cdot dt. \end{aligned} \quad (5)$$

У випадку коли коефіцієнти, що входять в рівняння (5), залежать від часу t , слід інтегрувати рівняння за часом t від 0 до 1 та до кількості роботи контактів, які відбуваються за весь час роботи щітки T_p . Беручи кількість обертів щітки в хвилину, кількість контактів буде мати вигляд:

$$n_k = \frac{2\pi \cdot n \cdot T_p}{60 \cdot 2\pi} = \frac{n \cdot T_p}{60}. \quad (6)$$

Якщо в рівнянні (5) константи, що входять до його членів, як і коефіцієнти, не залежать від t , тоді:

$$\begin{aligned}
 & \frac{N_3 \cdot \frac{m_3 \cdot V_0^2}{2} (1-k^2)}{\tau_k} \cdot \frac{n \cdot T_p}{60} = \\
 & = \frac{N_3 [\tau_{3c}] \cdot S \cdot \Delta \ell}{\tau_k} \cdot \frac{n \cdot T_p}{60} + \\
 & + \frac{C \cdot m_g \cdot \Delta t}{\tau_k} \cdot \frac{n \cdot T_p}{60}.
 \end{aligned} \quad (7)$$

Якщо N_B – кількість волокон у щітці,
то:

$$P_1 = \frac{N_g \cdot N_3 \cdot \frac{m_3 \cdot V_0^2}{2} (1-k^2)}{\tau_k} \cdot \frac{n \cdot T_p}{60}; \quad (8)$$

$$P_2 = \frac{N_g \cdot N_3 [\tau_3] \cdot S \cdot \Delta \ell}{\tau_k} \cdot \frac{n \cdot T_p}{60}; \quad (9)$$

$$P_3 = \frac{N_g \cdot C \cdot m_g \cdot \Delta t}{\tau_k} \cdot \frac{n \cdot T_p}{60}, \quad (10)$$

де P_1 – потужність, яка витрачається для обробки поверхні щіткою; P_2 – потужність, що витрачається на руйнування поверхні, що обробляється; P_3 – потужність теплових втрат.

Коефіцієнт корисної дії щітки буде:

$$\eta = \frac{P_2 \cdot 100}{P_2 + P_3} = \frac{1}{1 + \frac{P_3}{P_2}} \cdot 100. \quad (11)$$

$$\begin{aligned}
 \eta & = \frac{100}{1 + \frac{N_g \cdot C \cdot m_g \cdot \Delta t \cdot n \cdot T_p \cdot \tau_k \cdot 60}{\tau_k \cdot 60 \cdot N_g \cdot [\tau_{3c}] \cdot S \cdot \Delta \ell \cdot n \cdot T_p}} = \\
 & = \frac{100}{1 + \frac{C \cdot m_g \cdot \Delta t}{N_3 \cdot [\tau_3] \cdot S \cdot \Delta \ell}}.
 \end{aligned} \quad (12)$$

Отже, коефіцієнт корисної дії щітки (ККД) зростає, якщо питома теплоємність, маса волокна та перепади температур волокна за один оберт щітки – зменшуються, а кількість абразиву, межа міцності, перетин волокна і довжина дуги контакту – зростають.

З рівняння (7) можна отримати залежність, що описує загальний перепад температур $(\Delta t)_{зач}$, на які нагрівається волокно щітки за весь час її роботи, тобто:

$$(\Delta t)_{зач} = \Delta t \cdot \frac{n}{60} \cdot T_p. \quad (13)$$

Підставляючи відповідні значення в (13), отримаємо:

$$\begin{aligned}
 (\Delta t)_{зач} & = \\
 & = \frac{\left\{ \begin{aligned} & N_3 \cdot \frac{m_3 \cdot V_0^2}{2} \cdot (1-k^2) \cdot \frac{n \cdot T_p}{60} - \\ & - N_3 \cdot \frac{[\tau_3] \cdot S \cdot \Delta \ell \cdot n \cdot T_p}{60} \end{aligned} \right\}}{C \cdot m_g}. \quad (14)
 \end{aligned}$$

Таким чином, нагрівання волокна зменшується при меншій концентрації зерен у волокні, їх масі, колівій швидкості.

Аналіз отриманих залежностей показує, що для збереження високого ККД щітки важливо, щоб перегрів волокна був мінімальний, що в значній мірі залежить від теплоємності матеріалу волокна та його маси.

Конструктивно інструмент з полімерно-абразивними щітками являє собою маточину, встановлену на вал, на зовнішній стороні маточини закріплені полімерні волокна, наповнені абразивом (Рис. 1). При цьому полімерні волокна при зустрічі з поверхнею згинаються, а при виході – випрямляються, тобто постійно працюють на вигин, зазнаючи великих нормальних напруг. Так як колова швидкість щіток досить велика (50...65 м/с), то цикли навантаження носять пульсуючий характер, при цьому може відбутися їх руйнування від контактних навантажень і від втоми волокон матеріалу. Таким чином, визначення ймовірності безвідмовної роботи машин з полімерно-абразивними щітками можна представити у вигляді структурної схеми (Рис. 2), де P_2 – ймовірність руйнування волокна від втоми; P_3 – ймовірність руйнування волокна від контактних навантажень.

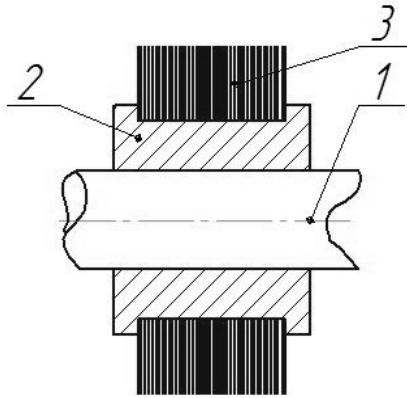


Рис. 1. Загальний вид щітки: 1 – вал, 2 – маточина, 3 – полімер-абразивне волокно

Fig. 1. General type of brush: 1 – shaft, 2 – hub, 3 – polymer-abrasive fiber

Розглянемо вірогідність безвідмовної роботи інструмента по кожному з цих критеріїв.

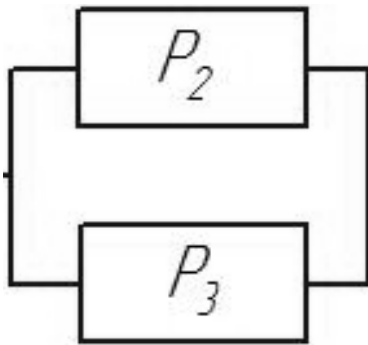


Рис. 2. Структурна схема

Fig. 2. Structural diagram

При посадці маточини на вал граничний момент M_{II} , що виникає в з'єднанні діаметром d і довжиною l при тиску P на посадковій поверхні та коефіцієнтом тертя f , визначається за формулою

$$M_{II} = 0,005\pi \frac{d^2 \cdot l \cdot f}{K_B}, \quad (15)$$

де K_B – коефіцієнт можливого зниження сил зчеплення за часом.

Коефіцієнт варіації тиску P

$$v_P = v_N \frac{1}{1 - C/N}, \quad (16)$$

де v_N – коефіцієнти варіації відхилення натягу, тобто допусків на виготовлення.

Коефіцієнт співвідношення розмірів валу і маточини визначається за формулою

$$\psi = \frac{1 + \left(\frac{d}{D}\right)^2}{1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2}. \quad (17)$$

Середнє значення натягу визначається як різниця значень відхилень розмірів валу \bar{e} і отвору \bar{E} , тобто допуски на діаметр валу й отвору.

Вал і отвір виготовляються з однаковими квалітетами $t_e = t_E = t$, тому можна прийняти середнє значення $\bar{N} = ei$, де ei – нижнє відхилення діаметра валу

$$v_N = \frac{\sqrt{2} \cdot t}{6 ei} = \frac{0,236 \cdot t}{ei}. \quad (18)$$

Граничне значення навантажувального моменту визначаємо із залежності (15), а середнє значення навантажувального моменту \bar{m} визначається експериментально з серії дослідів, визначенням закону розподілу та коефіцієнта варіації v_m .

Коефіцієнт запасу міцності за середнім значенням моментів

$$\bar{n}_c = \frac{M_{II}}{m}. \quad (19)$$

Коефіцієнт варіації граничного по міцності моменту визначаємо з виразу

$$v_L = \sqrt{v_p^2 + v_f^2}. \quad (20)$$

Квантиль нормального розподілу визначаємо з умови не руйнування з'єднання

$$U_{R_1} = \frac{\bar{n}_c - 1}{\sqrt{\bar{n}_c^2 \cdot v_L^2 + v_M^2}}. \quad (21)$$

Скориставшись таблицею квантилів нормального розподілу [9] визначаємо ймовірність безвідмовної роботи P_1 з'єднання маточини з валом.

Проведемо розрахунок ймовірності безвідмовної роботи поліамідної щітки за критерієм контактної міцності.

Контактні напруги виникаючи у волокнах щітки, залежать від крутного моменту на привідному валу M_{II} , міжосьової відстані a_W і коефіцієнта навантаження K_H , причому коефіцієнт навантаження є випадковою величиною й залежить від чотирьох факторів

$$K_H = K_A \cdot K_B \cdot K_V \cdot K_\alpha, \quad (22)$$

де K_A – коефіцієнт зовнішнього навантаження; K_B – коефіцієнт, що враховує розподіл зусиль по всій ширині щітки; K_V – коефіцієнт, що враховує динамічність навантаження; K_α – коефіцієнт, що враховує розподіл навантаження між волокнами.

При спрощених розрахунках [9] коефіцієнт варіації v_N коефіцієнта навантаження K_H визначають через коефіцієнт варіацій співмножників (22).

Практика проектування машини та обладнання [10] показала, що значення коефіцієнтів варіації v_A, v_B, v_V, v_α можна приймати в таких межах:

а) v_A – коефіцієнт варіації зовнішнього навантаження, повинен задаватися виходячи з фізичних процесів і динаміки аналізованого виробу;

б) v_B – коефіцієнт варіації коефіцієнта розподілу навантажень по ширині

$$v_B = \frac{1}{9} \cdot \frac{K_B - 1}{K_B}; \quad (24)$$

в) v_α – коефіцієнт варіації динамічної складової залежить від твердості волокон і при $H < HB 130$ визначається із залежності

ISSN 2312-6590. Гірничі, будівельні, дорожні і меліоративні машини, 93, 2019, 27-34

$$v_V = 0,23 \cdot \frac{K_V - 1}{K_V}; \quad (25)$$

г) v_α – коефіцієнт варіації участі в розподілі навантажень між волокнами щітки, залежить від довжини волокон, ширини щітки та знаходяться в межах 0,05...0,08.

Запас міцності за середніми контактними напругами визначається з виразу

$$\bar{n} = \frac{\overline{\sigma_{H1}}}{\sigma_H}, \quad (26)$$

де $\overline{\sigma_{H1}}$ – середня межа контактної витривалості волокна з поліаміду 6; σ_{H1} – середнє значення межі контактної витривалості волокна.

Для визначення ймовірності безвідмовної роботи абразивної щітки за критерієм опору контактної втоми необхідно визначити квантиль нормального розподілу

$$H_{P2} = \frac{\bar{n} - 1}{\sqrt{n^2 \cdot v_V^2 + v_\sigma^2}}, \quad (27)$$

де $v_\sigma = 0,5 v_H$.

По таблиці [11] визначаємо ймовірність безвідмовної роботи P_2 за критерієм опору контактної втоми.

Середня межа витривалості волокна щітки при вигині визначається

$$\overline{\sigma_{\text{Щ1}}} = \overline{\sigma_{\text{Щ}}} \cdot K_D, \quad (28)$$

де K_D – коефіцієнт довговічності; $\overline{\sigma_{\text{Щ}}}$ – середнє значення межі витривалості волокон базового зразка (по кривій Веллера). Для полімер-абразивних волокон приймаємо

$$\overline{\sigma_{\text{Щ}}} = (1,35 H + 100) \cdot \frac{1}{1 + U_P \cdot v_{II}}, \quad (29)$$

де H – твердість по Бринелю ($H = 130 \text{ МПа}$); U_P – квантиль нормальності

го розподілу (створюється таблично для заданої ймовірності); v_{II} – коефіцієнт ймовірності базового зразка (для армованих поліамідних волокон $v_{II} = 0,08...0,10$).

Коефіцієнт запасу міцності

$$\overline{n_{Щ}} = \frac{\overline{\sigma_{Щ1}}}{\sigma_{Щ}}. \quad (30)$$

Ймовірність безвідмовної роботи за критерієм опору від втоми при вигині визначається за квантилем нормального розподілу

$$H_{P_3} = \frac{\overline{n_{Щ1}} - 1}{\sqrt{\overline{n_{Щ1}}^2 \cdot v_H^2 + v_{\sigma}^2}}. \quad (31)$$

Користуючись значенням квантиля, U_{P_3} знаходимо ймовірність P_3 безвідмовної роботи абразивної щітки за критерієм втомного руйнування при вигині.

Тоді ймовірність безвідмовної роботи інструменту визначається як

$$P = [1 - (1 - P_2) \cdot (1 - P_3)]. \quad (32)$$

З отриманої ймовірності безвідмовної роботи щітки (32) можна визначити термін її служби t , якщо задати ресурс по розподілу Вейбула з параметрами t_0 і m за залежністю

$$t = -t_0 \cdot \sqrt[m]{l_n \cdot P}. \quad (33)$$

Таким чином, на будівельному або монтажному майданчику з'являється можливість розрахувати число полімерабразивних щіток для забезпечення безперебійного виконання робіт.

ВИСНОВКИ

Зростання коефіцієнту корисної дії забезпечують наступні показники, а саме: зменшення питомої теплоємності, маси волокна та перепаду температур волокна за один оберт щітки. А також зростання кіль-

кості абразиву, межі міцності та перетину волокна і довжина дуги контакту.

Визначення ймовірності безвідмовної роботи ручних та переносних машин з полімерабразивними щітками дозволяє визначити ресурс їх роботи.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Абрашкевич Ю. Д.** Ефективна експлуатація полімерно-абразивної щітки / Ю. Д. Абрашкевич, Г. М. Мачишин // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета [Текст] : сб. науч. тр. / Харьк. нац. автомоб.-дор. ун-т ; [редкол.: Богомолов В. А. (глав. ред.) и др.]. – Харьков : ХНАДУ, 2016. – Вып. 73. – С. 59–61.
2. **Мачишин Г. М.** Визначення раціональної області застосування полімерно-абразивного інструмента / Г.М. Мачишин // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. 2014. Вып. 65–66. С. 117–122.
3. **Димов Ю. В.** Износ полимерно-абразивных щеток при обработке кромок / Ю. В. Димов, Д. Б. Подашев // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2018. – № 22 (11). – С. 43–55. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-11-43-55.
4. **Кургузов Ю. И.** Анализ контактного взаимодействия вращающейся щетки с обрабатываемой поверхностью / Ю. И. Кургузов // Известия самарского научного центра РАН. 2011. Т. 13. № 4 (3). С. 794–798.
5. **Абрашкевич Ю. Д.** Влияние тепловых процессов на работоспособность полимерно-абразивной щетки / Абрашкевич Ю. Д., Пелевин Л. Е., Мачишин Г. Н. // Промышленное строительство и инженерные сооружения: научно-производственный журнал. 2011. № 3. С. 44–47.
6. **Проволоцкий А. Е.** Повышение производительности процесса обработки полимерабразивными инструментами / А. Е. Проволоцкий, С. Л. Негруб, Д. А. Старостин // Прогрессивные технологии и системы машиностроения (г. Донецк). 2006. №1(32). С. 193–199.
7. **Устинович Д. Ф.** Экспериментальное исследование качества плоских поверхностей при обработке дисковыми абразивными щетками / Д.Ф. Устинович // Вестник полтавского государственного университета.

- Серия В: Промышленность. Прикладные науки. 2009. № 8.
8. **Трошин Ф. В.** Некоторые особенности применения щеток из полимерно-абразивного ворса / Ф. В. Трошин // Автомобильная промышленность. 2008. № 8. С. 35.
 9. **Козлов В. В.** Надёжность горных машин и оборудования. Учебн. Пособ. Алчевск. ДГМИ, 2003. – 270 с.
 10. **Пелевін Л. Є.** Підвищення надійності і довговічності приводів динамічних робочих органів будівельної техніки на основі стендових випробувань: Монографія. - К.: Українська академія наук, «МП Леся», 2008. - 196 с.
 11. **Гребенюк В. М., Цапко В. К.** Надёжность металлургического оборудования.: Справочник. – М.: Металлургия, 1989. – 592 с.

REFERENCES

1. **Abrashkevich Yu. D., Machishin G. N.** (2016). Efektivna ekspluatacija polimerno-abrazivnoї shhitki [Effective operation of polymeric abrasive brush]. Vestnik Khar'kovskogo natsional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta [Bulletin of the Kharkiv national automobile and road university], No. 73, 59–61. – (in Ukraine).
2. **Machishin G. N.** (2014). Vznachennja racional'noї oblasti zastosuvannja polimerno-abrazivnogo instrumenta [Effective operation of polymeric abrasive brush]. Vestnik Khar'kovskogo natsional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta [Messenger of the Kharkiv national automobile and road university], No. 65–66, 117–122. – (in Ukraine).
3. **Dimov Yu. V., Podashev D. B.** (2018). Iznos polimerno-abrazivnyh shhetok pri obrabotke kromok [Wear of polymeric abrasive brushes when processing edges]. Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta [Proceedings of Irkutsk State Technical University], No. 22(11), 43–55. – (In Russian) <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2018-11-43-55>.
4. **Kurguzov Yu. I.** (2011). Analiz kontaktnogo vzaimodejstvija vrashhajushhejsja shhetki s obrabatyvaemoj poverhnost'ju [The analysis of the rotating brush contact interaction with the processed surface]. Izvestiya samarskogo nauchnogo tsentra RAN [News of the Samara scientific center of RAS], No. 13, 794–798. – (In Russian).
5. **Abrashkevich Yu. D., Pelevin L. E., Machishin G. N.** (2011). Vlijanie teplovyh processov na rabotosposobnost' polimerno-abrazivnoj shhetki [Influence of thermal processes on operability of polymeric abrasive brush]. Promyshlennoe stroitel'stvo i inzhenernye sooruzheniya [Industrial construction and engineering constructions]. No. 3, 44–47. – (In Russian).
6. **Provolotsky A. E., Negrub S. L., Starostin D. A.** (2006). Povyshenie proizvoditel'nosti processa obrabotki polimer-abrazivnymi instrumentami [Increase in productivity of processing polymer abrasive tools]. [Progressive technologies and systems of mechanical engineering], No. 1 (32), 193–199. – (In Russian).
7. **Ustinovich D. F.** (2009). Jeksperimental'noe issledovanie kachestva ploskih poverhnostej pri obrabotke diskovymi abrazivnymi shhetkami [Pilot study of flat surfaces quality when processing by disk abrasive brushes]. Vestnik polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya V: Promyshlennost'. Prikladnye nauki. [Bulletin of the Polotsk state university. Series B: industry. Applied sciences], No. 8, 130–134. – (In Russian).
8. **Troshin F. V.** (2008). Nekotorye osobennosti primeneniya shhetok iz polimerno-abrazivnogo vorsa [Some features of brushes application from polymeric abrasive pile]. Avtomobil'naya promyshlennost' [Automotive industry], No. 8, 35. – (In Russian).
9. **Kozlov V. V.** (2003). Nadjozhnost' gornyh mashin i oborudovanija. Uchebn. Posob. Alchevsk. DGMI, 270. – (In Russian).
10. **Pelevin L. Є.** (2008). Pidvishhennja na-dijnosti i dovgovichnosti privodiv dinamich-nih robochih organiv budivel'noї tehniky na osnovi stendovih viprobuvan'. Monograf, Kyiv, Ukraїns'ka akademija nauk, Lesja Publ. 196. – (in Ukraine).
11. **Grebenjuk V. M., Capko V. K.** (1989). Nadjozhnost' metallurgičeskogo oborudovanija, Spravochnik, Moscow, Metallurgija Publ. 592. – (in Ukraine).

Technological conditions of abrasive tool operation

Leonid Pelevin¹, Hryhorii Machyshyn²,
Nikolai Kyzminec³

^{1,2}Kyiv National University of
Construction and Architecture
³National Transport University

Abstract. An abrasive instrument with every day finds all greater application at implementation of operations from finish abrasive treatment of

details of machines, cleaning of metallic and non-metal surfaces from paints and varnishes coverages, blight and contaminations. Polymeric-abrasive brushes in most cases apply in combination with the hand angular grinding machines of small power.

The basic task of work are determinations of power charges and their distribution with the aim of minimization of heating of polymeric matrix and increase of part of energy, that is spent on the output of material that is subject to moving away.

At determination of power charges the next indexes of power were taken into account, namely: power, that is passed from abrasive grain that gap-filling fiber, at a contact with the processed surface; power of destruction of surface that is processed; power of thermal losses of energy is at the friction of fiber at the surface of material that is processed. Taking into account the enumerated indexes of power the condition of balance of energy is made. It allowed to define an output-input of abrasive instrument ratio and set, what factors result in his increase. And also, to get dependence, that describes the general overfall of temperatures on that the fiber of brush is heated for all the time of her work.

For determination of probability of faultless work of machines with polymeric-abrasive brushes a flow diagram that includes two criteria was made: probability of destruction of fiber from a tiredness and probability of destruction of fiber from the pin loading. The made chart was examined with authenticity of faultless work of instrument on each of these criteria. The decision of the system of probability of faultless work of brush is dependence, that allows to define tenure of employment of brush. Thus, possibility to expect the number of polymeric-abrasive brushes for providing of trouble-free implementation of works appears on a site or assembling area.

An increase to the output-input ratio is provided by next indexes, namely, diminishing of specific heat capacity, mass of fiber and overfall of temperatures of fiber for one turn of brush. And also increase of amount of abrasive, border of durability and crossing of fiber and length of arc of contact.

Determination of probability of faultless work of hand and portable machines with polymeric-abrasive brushes the resource of their work allows to determine.

Keywords: Polymer-abrasive brush, energy costs, power, heat, resource, uptime.

УДК 621.878.25

Робоче обладнання скрепера зі шнековими інтенсифікаторами

Володимир Волянук¹, Дмитро Міщук², Євгеній Горбатюк³

Київський національний університет будівництва і архітектури,
Повітрофлотський проспект 31, Київ, Україна, 03680

¹volian535@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-6852-9037>

²mischuk.do@knuba.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-8263-9400>

³gek_gor@i.ua, <https://orcid.org/0000-0002-8148-5323>

Received: 18.04.2019; Accepted: 24.05.2019
<https://doi.org/10.32347/gbdmm2019.93.0401>

Анотація. Частка земляних робіт у будівництві становить до 30% від загального обсягу робіт. Тому підвищення продуктивності та зниження собівартості робіт для машин, які залучаються, є актуальним завданням. До таких машин відноситься скрепер, призначений для пошарової розробки, переміщення та відсіпання ґрунту шаром заданої товщини з розрівнюванням та частковим ущільненням.

Роботи, виконувані скреперами, як правило, обходяться дешевше, ніж екскаваторами з перевезенням ґрунту автомобілями-самоскидами. Тому там, де це за умовами робіт можливо, завжди застосовують скрепери. Ця обставина є причиною досить великого їхнього поширення. У зв'язку з тим, що скрепери є масовими машинами, питання підвищення їх продуктивності особливо актуальне. Одним зі способів підвищення продуктивності скрепера є збільшення наповненості ковша.

З цією метою в роботі запропонована конструкція ковша скрепера зі шнековими інтенсифікаторами, що закріплюються шарнірно консольно на задній стінці ковша, з приводом від гідромоторів і можливістю зміни напряму обертання шнеків. Зміна кута нахилу шнеків відносно задньої стінки здійснюється гідроциліндрами, що керуються трьохпозиційними золотниками. Все це дозволяє більш повно заповнювати ківш скрепера ґрунтом, що розробляється, шляхом зміни напряму потоків розробленого ґрунту всередині ковша з використанням керованих шнекових інтенсифікаторів і, таким чином, збільшувати продуктивність скрепера та зменшувати собівартість виконуваних робіт.

Подача гідравлічної рідини під тиском до гідромоторів та гідроциліндрів здійснюється від гідравлічних насосів базової машини скрепера.

Представлена в роботі конструкція ковша скрепера зі шнековими інтенсифікаторами захищена патентом України.

Ключові слова: скрепер, ківш, шнек, шнековий інтенсифікатор, ґрунт.

ВСТУП

Поширеною машиною для виконання земляних робіт в будівництві являється скрепер, що призначений для пошарової розробки, переміщення та відсіпання ґрунту шаром заданої товщини з розрівнюванням та частковим ущільненням.

Інтенсифікація земляних робіт є актуальною задачею сучасних досліджень [1]. Підвищення продуктивності цих машин являється важливим завданням для зниження собівартості робіт, що виконуються. Для цього необхідні розробки нових конструкцій машин з використанням інтенсифікаторів робочих процесів. Виробництво скреперів провідними фірмами світу ведеться, в значній мірі, з застосуванням інтенсифікаторів процесу наповнення, в основному елеваторного завантаження (Caterpillar, Kamatsu, Dresser, Fiat Allies), у меншій мірі з використанням підґрібних заслінок, шнеків, телескопічних ковшів, двохножових систем і т.под. Застосування інтенсифікаторів підвищує ефективність скреперів, збільшує їх продуктивність, зменшує матеріалоємність, витрати палива, що особливо актуально зараз в Україні.

В якості інтенсифікаторів в роботі пропонується застосування двох шнеків з приводом від гідромоторів, що закріплюються шарнірно консольно на задній стінці ковша скрепера.

Положення шнеків (кут нахилу) відносно задньої стінки регулюється машиністом дистанційно з використанням гідроциліндрів та трьохпозиційних золотників з електромагнітним управлінням.

Зміна напрямів потоків переміщення ґрунту по мірі заповнення ним ковша дозволяє збільшувати наповненість ковша та підвищити продуктивність скрепера.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Проаналізувати відомі технічні рішення конструкцій робочого обладнання скреперів та розробити таку конструкцію, яка б дозволяла збільшити наповненість ковша та продуктивність цієї машини і зменшити собівартість виконуваних робіт і зменшити собівартість виконуваних робіт.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Створенню робочого органу скрепера шляхом зміни його конструктивних схем з метою підвищення продуктивності машини присвячені роботи Баловнева В.В., Хмари Л.А., Сукача М.К., Залко А.Н. та ін. [2–14]. На Рис. 1, 2 зображено один з варіантів подібних технічних рішень ковша скрепера, що має в своєму складі днище 1 з ножами 2, задню стінку 3, передню заслінку 4, на якій за допомогою кронштейна 5 консольно кріпиться шнеко-завантажувальний пристрій, що включає в себе гідромотор 6, редуктор 7, трубу 8, з жорстко закріпленим на ній коротко базовим шнеком 9, обладнаний в нижній частині лопаті ножем 10 [2]. При цьому в робочому стані труба 8 встановлена вертикально.

Принцип дії ковша скрепера зі шнеко-завантажувальним пристроєм наступний. На початковій стадії копання стружка ґрунту, що зрізується ножами 2, просувається по днищу 1 в ківш скрепера. В подальшому зрізаний ґрунт надходить на гвинтову лопать шнека 9, транспортується вертикально

вгору і зсипається рівномірно, заповнюючи ківш. При цьому ніж 10 додатково розрихлює ґрунт, полегшуючи його просування по лопатям шнека 9 в ківш. Для забезпечення якісного розвантаження ковша скрепера, піднімається передня заслінка і шнеко-завантажувальний пристрій, що жорстко закріплено на ній, встановлюється похило, задня стінка 3, висувуючись виштовхує ґрунт в зів між піднятим шнеко-завантажувальним пристроєм і ножами 2 (Рис. 2).

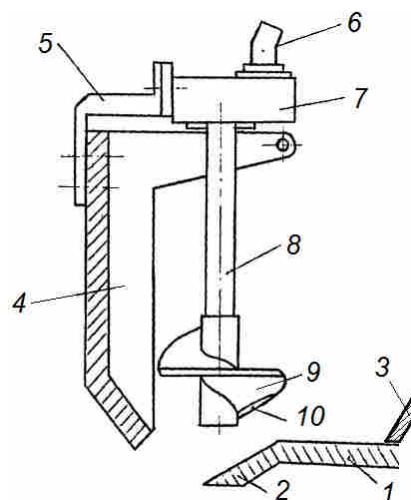


Рис. 1. Ківш скрепера зі шнеко-завантажувальним пристроєм за патентом України №21999 А

Fig. 1. Scraper bucket with auger-loading device according to the patent of Ukraine No. 21999 A

До недоліків розглянутого технічного рішення варто віднести те, що в конструкції присутні елементи – кронштейн, гідромотор, редуктор, труба, які закріплені на передній заслінці та при розвантаженні ковша необхідно докласти значних додаткових зусиль для підняття заслінки разом зі шнеком.

Наступним варіантом технічного рішення є ківш скрепера зі шнеково-завантажувальним пристроєм, що закріплено на провудині штока гідроциліндра 8 (Рис. 3). Гідроциліндр 5 кріпиться до кронштейна 7 заслінки 4 [3].

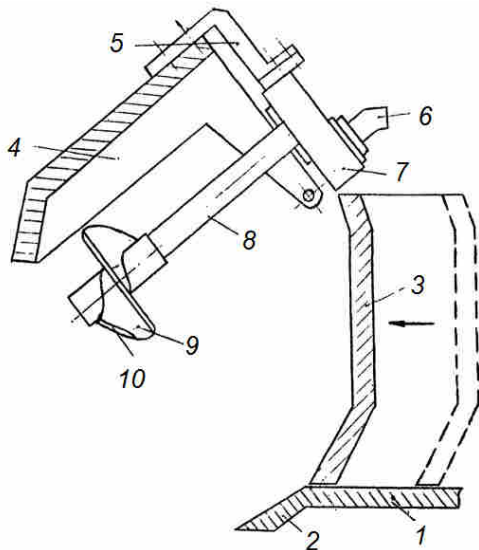


Рис. 2. Ківш скрепера з шнеко-завантажувальним пристроєм при розвантажуванні ґрунту за патентом України №21999 А

Fig. 2. Bucket of scraper with auger-loading device at unloading of the soil according to the patent of Ukraine No. 21999 A

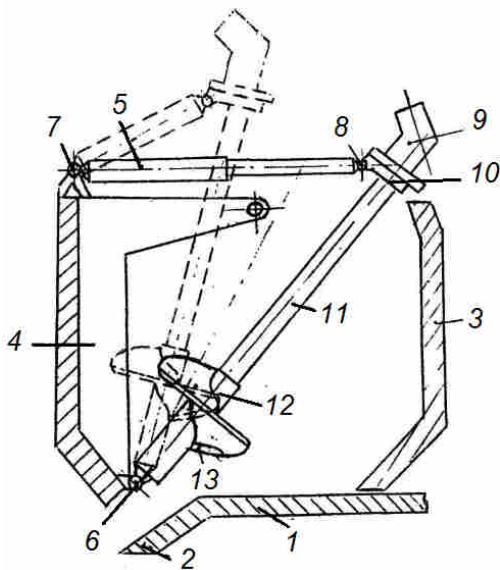


Рис. 3. Ківш скрепера зі шнеко-завантажувальним пристроєм за патентом України №23420А

Fig. 3. Scraper bucket with auger-loading device according to the patent of Ukraine No. 23420A

Принцип дії скрепера зі шнеко-завантажувальним пристроєм наступний. На початковій стадії копання стружка ґрунту, що зрізується ножами 2, надходить по днищу 1, в ківш скрепера. При цьому шток

гідроциліндра висунутий і шнеко-завантажувальний пристрій знаходиться в крайньому правому положенні (див. Рис.3).

В подальшому зрізаний ґрунт потрапляє на гвинтову лопать шнека 12 і транспортується в напрямку нахилу шнеко-завантажувального пристрою. При цьому ніж 13 додатково розпушує ґрунт, полегшуючи його просування по лопатям шнека 12 в ківш. По мірі заповнення задньої частини ковша шток гідроциліндра втягується і шнеко-завантажувальний пристрій займає проміжні положення, таким чином повністю заповнюючи ківш у всіх його частинах. Для забезпечення якісного розвантаження ковша скрепера шнеко-завантажувальний пристрій, який знаходиться в крайньому положенні, підіймається разом із заслінкою 4. Задня стінка 3 висувається і виштовхує ґрунт в зів між піднятим шнеко-завантажувальним пристроєм і ножами 2 (див. Рис. 4).

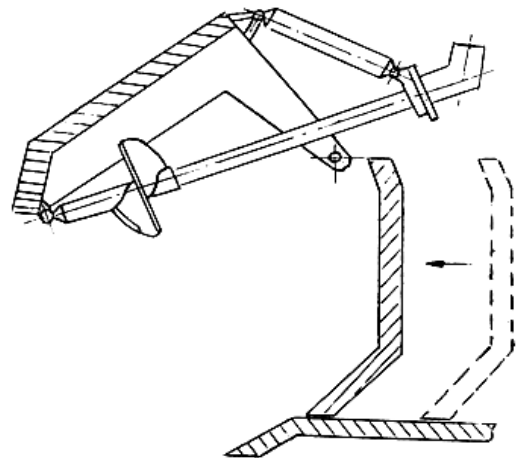


Рис. 4. Ківш скрепера зі шнеко-завантажувальним пристроєм при розвантажуванні ґрунту за патентом України №23420А

Fig. 4. Bucket of scraper with auger-loading device at unloading of the soil according to the patent of Ukraine No. 23420A

До недоліків розглянутого технічного рішення варто віднести те, що при розвантаженні ковша необхідно докласти значних додаткових зусиль для підняття шнеків, які знаходяться в ґрунті. Крім того, довгий ба-

зовий шнек збільшує металоємність і зменшує корисний об'єм ковша.

Ще одним варіантом подібного технічного рішення є робочий орган скрепера, що складається із ковша 1, шнекових транспортувальних механізмів 2, приводу 3, напрямних 4, гідроциліндрів 5 (рис. 5) [4].

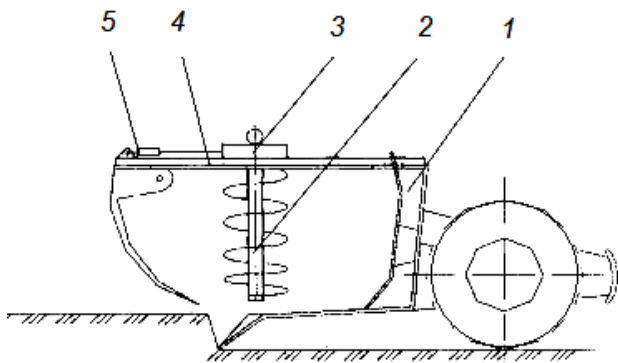


Рис 5. Ківш скрепера зі шнековими транспортувальними механізмами згідно патента України №58299

Fig. 5. Scraper bucket with screw conveyors according to the patent of Ukraine No. 58299

Вказаний пристрій працює таким чином. Під час виконання робіт по навантаженню ковша 1 ґрунтом, працюють два шнекових транспортуючих механізми 2, періодично рухаючись горизонтально вперед, або назад по напрямним 4 за допомогою гідроциліндрів 5. Під час розвантаження шнекові транспортувальні механізми 2 по напрямним 4 за допомогою гідроциліндрів 5 рухаються вперед ковша 1. Таким чином збільшується продуктивний час роботи скрепера та зменшується навантаження на двигун та трансмісію.

Недоліком ковша зі шнековим завантаженням є наявність додаткових елементів – напрямних, гідроциліндрів, а також те, що шнеко-завантажувальний пристрій значно зменшує робочий об'єм ковша скрепера.

Більш складним за конструктивною схемою є технічне рішення скрепера інтенсифікуючої дії, що містить задню стінку 1, бічні стінки з'єднані з днищем 3, передню заслінку 4 й шнековий завантажувач, виконаний у вигляді двох вертикальних шнеків 5 з приводом 6, розташованих симетрично відносно повздовжньої осі скрепера на

кронштейнах 7 передньої заслінки 4, й одного горизонтального шнека 8 з приводом 9, що проходить крізь задню стінку 1, на приводному валу 10 якого виконанні шліци 11 для забезпечення руху по них шнека 8 при обертанні праворуч – вперед і ліворуч – назад до упору в наконечник 12 (рис. 6) [5].

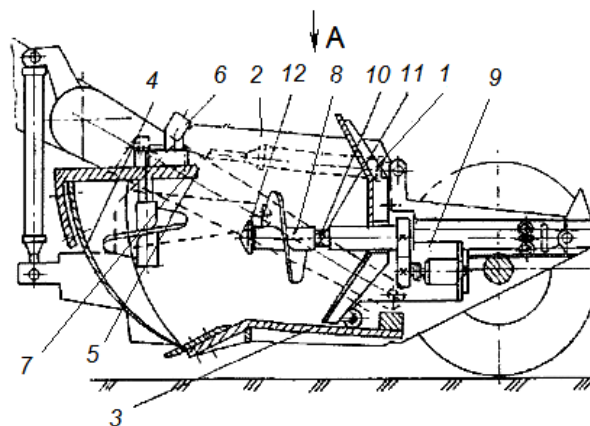


Рис. 6. Конструкція скрепера зі шнеко-завантажувальним пристроєм за патентом України №53997

Fig. 6. Design of a scraper with a loading device according to the patent of Ukraine No. 53997

Скрепер працює наступним чином. Зрізання ґрунту здійснюється при відкритій передній заслінці 4. На початковому етапі копання ґрунт поступає в ківш, попадає на лопаті шнеків 5, знижуючи вертикальне навантаження на пласт ґрунту, і лопаті шнека 8, що обертається під дією приводу 9. При обертанні у праву сторону зусилля, що виникає на лопаті шнека 8, примушує його по шліцах 11 вала 10 пересунутись до крайнього переднього положення до упору у наконечник 12, тобто в середину ковша. По мірі завантаження задньої частини ковша оператор змінює напрямок обертання вала 10. Шнек 8 починає обертатися ліворуч і, під дією складових сил опору копанню, переміщується до крайнього заднього положення й подає ґрунт до передньої частини ковша скрепера, підвищуючи кількість ґрунту, що поступає на лопаті шнеків 5, які розподіляють його по всій передній геометричній ємності біля бічних стінок.

У такий спосіб, наявність двох вертикальних й одного горизонтального шнеків пі-

двигує ефективність розподілу ґрунтів в ковші біля бічних і задньої стінок.

Недоліком конструкції скрепера представлено на рис. 7 являється велика кількість шнеків, що застосовуються у ковші скрепера та їх приводів.

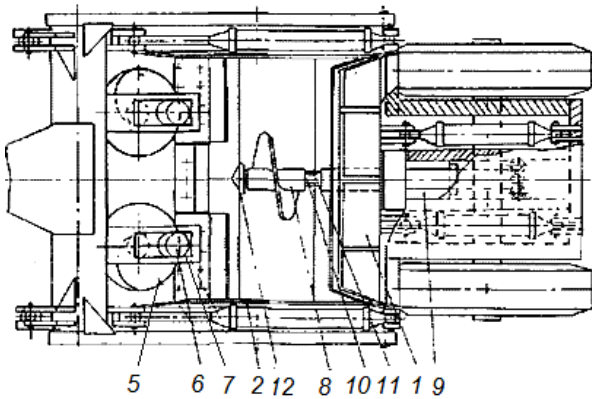


Рис. 7. Вид А рисунку 6

Fig. 7. Type A of Figure 6

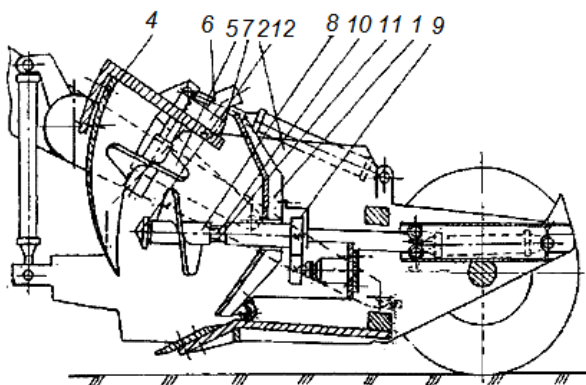


Рис. 8. Процес розвантаження скрепера

Fig. 8. The process of unloading the scraper

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

В роботі пропонується наступна конструкція ковша скрепера зі шнековими інтенсифікаторами. Ківш 4 (Рис. 9) складається з бічних 7 і задньої висувної 5 стінки, днища з різальним ножом 9 встановленим на підножевій плиті, передньої заслінки 3 та механізму завантаження ґрунту, що складається зі шнеків 6 закріплених шарнірно в задній стінці. З метою зміни кута нахилу

кожний шнек жорстко закріплюється в поворотній обоймі 9 (рис. 10), яка встановлюється в задню стінку з опорою на дві симетрично розташовані осі з підшипниками ковзання. Кожен шнек виконаний у вигляді шарнірно-консольно встановленого жорсткого приводного валу з закріпленою на ньому гвинтовою лопаттю. Зміна положення шнеків (кутів нахилу) здійснюється гідроциліндрами 12, що керуються гідророзподільником з електромагнітним управлінням. Для запобігання руйнуванню деталей захисного кожуха при переміщенні шнеків в крайні нижнє та верхнє положення на штоці гідроциліндра встановлюється магнітне кільце 14, а на зовнішній стороні корпусу гідроциліндра закріплюються два геркони 13. Геркони спрацьовують при проходженні магнітного кільця під ними і виключають подальше переміщення штока гідроциліндра з застосуванням трьохпозиційного золотника з електромагнітним управлінням.

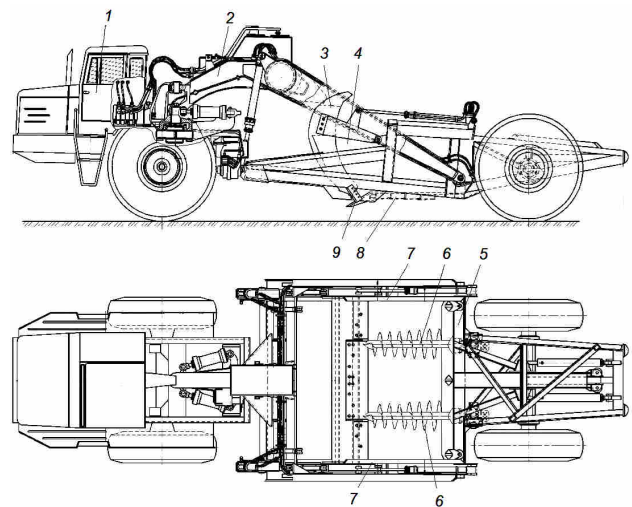


Рис 9. Загальний вид скрепера зі шнековими інтенсифікаторами: 1 – тягач; 2 – рама; 3 – передня заслінка; 4 – ківш; 5 – задня стінка; 6 – шнеки; 7 – бічні стінки; 8 – днище; 9 – різальний ніж

Fig. 9. General type of scraper with screw intensifiers: 1 - tractor; 2 - frame; 3 - front flap; 4 - ladle; 5 - back wall; 6 - screws; 7 - side walls; 8 - bottom; 9 - cutting knife

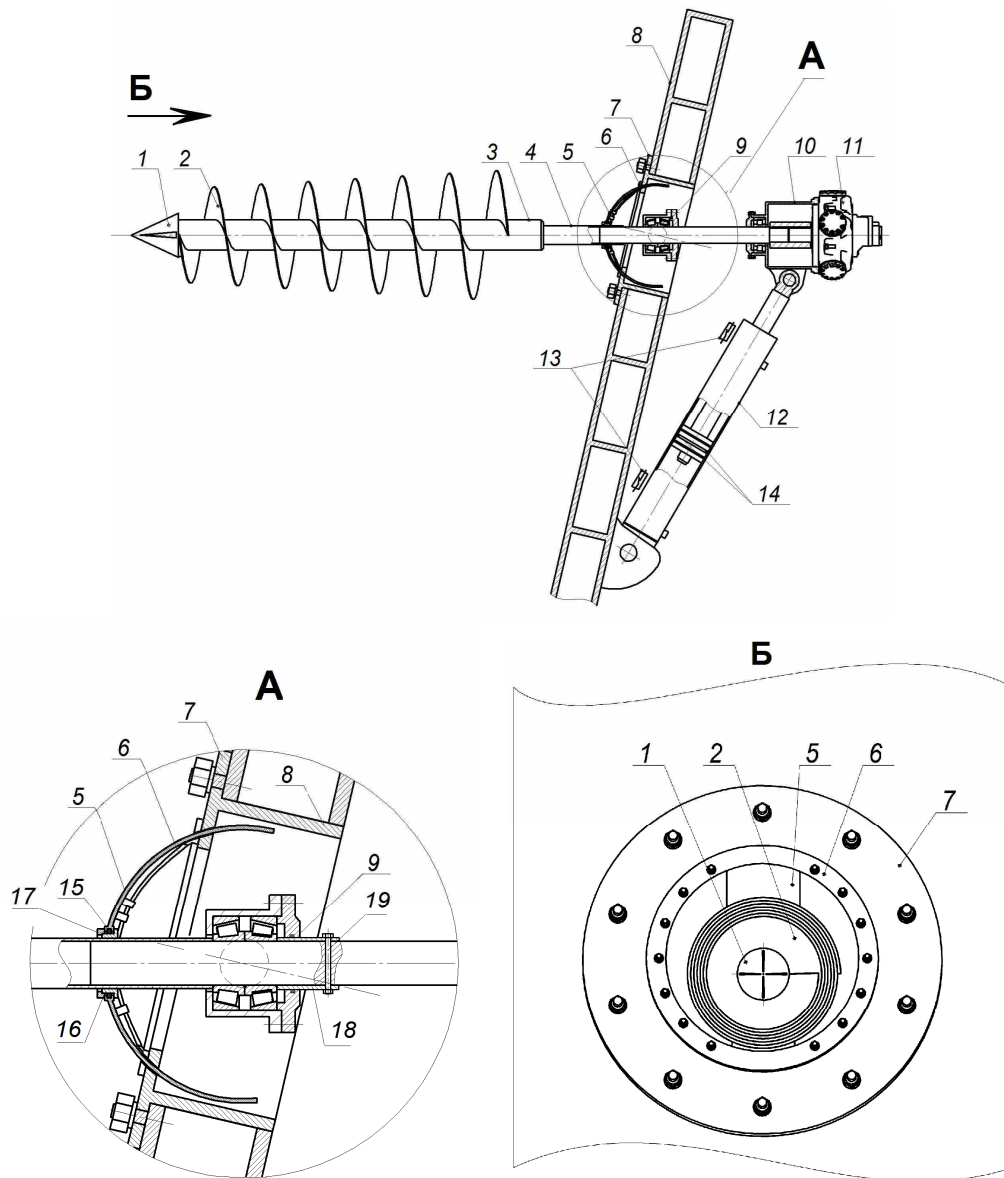


Рис. 10. Задня стінка пропонованого скрепера зі шнеками: 1 – наконечник; 2 – шнек; 3 – вал шнека; 4 – циліндричний подовжувач; 5 – захисний кожух; 6 – сферичний корпус; 7 – корпус шнека; 8 – задня стінка скрепера; 9 – поворотна обойма; 10 – рама гідромотора; 11 – привідний гідромотор; 12 – гідроциліндр перекошу шнека; 13 – геркони; 14 – магнітне кільце на поршні гідроциліндра; 15 – ущільнення валу; 16 – втулка; 17 – фіксатор втулки; 18 – стопорна обойма; 19 – болтове з’єднання

Fig. 10. The back wall of the proposed scraper with augers: 1 - tip; 2 - auger; 3 - auger shaft; 4 - cylindrical extension; 5 - a protective casing; 6 - spherical housing; 7 - auger housing; 8 - back wall of scraper; 9 - swivel clip; 10 - frame of the motor; 11 - drive hydraulic motor; 12 - screw cylinder of a skew; 13 - reed switches; 14 - a magnetic ring on the piston of a hydraulic cylinder; 15 - shaft seal; 16 - bushing; 17 - the sleeve lock; 18 - retaining clip; 19 - bolt connection

На початковому етапі копання оператор, застосовуючи гідроциліндри 12, переводить шнеки в крайнє нижнє положення та з використанням гідромоторів 11 вмикає обертання шнеків праворуч. Зрізаний ножем

грунт надходить в ківш і потрапляє на лопаті шнеків 2, які відкидають грунт в задню частину ковша для його швидкого і повного заповнення. При наповнюванні ковша грунтом оператор з використанням гідроцилін-

дрів змінює положення шарнірно закріплених в задній стінці шнеків від крайнього нижнього до крайнього верхнього. Після завантаження задньої частини ковша оператор змінює напрямок обертання приводних валів. Шнеки починають обертатися ліворуч й подають ґрунт до передньої частини ковша скрепера. Таким чином розподіляють його по всій геометричній ємності ковша. Все це дозволяє збільшити коефіцієнт наповненості ковша і продуктивність скрепера. При розвантаженні ковша задня стінка разом зі шнеками переміщується в передню частину ковша з використанням гідроциліндрів.

Перевагами запропонованої конструкції є мала кількість шнеків в інтенсифікувальному пристрої та можливість регулювання кута їх нахилу для зміни напрямів потоків завантажувального ґрунту.

На відміну від скребкового елеватора шнековий завантажувальний пристрій забезпечує зниження динамічної складової завантаженості привода, трудомісткості виготовлення, технічного обслуговування і ремонту машини. Істотною перевагою є можливість установки шнекового завантажувального пристрою в ківш скрепера з тяговим завантаженням без значного доопрацювання.

РЕЗУЛЬТАТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Зовнішній діаметр двох шнеків можна вибрати конструктивно [9], виходячи з ширини різання, залишаючи зазори між стінками ковша і шнеками, а також між шнеками по 500 ... 550 мм. При таких зазорах заклинювання великоуламкової породи між внутрішніми стінками ковша і між шнеками буде практично виключено.

Тоді

$$2D = B - 3a, \quad (1)$$

де B – ширина різання, мм; a – зазори між стінками ковша і шнеками, а також між шнеками, $a = 500...550$ мм.

Діаметр валу для обертання шнека приймаємо з практики, виходячи з умов міцності, $d_1 = 60...80$ мм [10]. Тоді внутрішній діаметр шнека буде

$$d = d_1 + 2b, \quad (2)$$

де b – товщина листової сталі для виготовлення шнека, $b = 2...3$ мм.

Інтенсивність надходження ґрунту на шнеки скрепера при його завантаженні за об'ємом, $\text{м}^3/\text{с}$ [10]

$$V_{\text{гр}} = \frac{qk_{\text{н}}k_1}{t_{\text{зав}}}, \quad (3)$$

де q – місткість ковша скрепера, м^3 ; $t_{\text{зав}}$ – час завантаження ковша скрепера ґрунтом, с; $k_{\text{н}}$ – коефіцієнт наповнення ковша; k_1 – коефіцієнт відношення ширини області застосування шнеків до ширини різання [11] $k_1 = 2D / B$.

Об'єм ґрунту в двох шнеках, м^3

$$\begin{aligned} V_{\text{ш}} &= 2\left(\frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4}\right)L = \\ &= \frac{\pi}{2}(D^2 - d^2)L, \end{aligned} \quad (4)$$

де L – довжина шнека, м.

Необхідне число обертів шнеків для забезпечення інтенсивності поступу ґрунту, враховуючи те, що за один оберт шнека ґрунт проходить між всіма його лопатями, с^{-1}

$$n = \frac{V_{\text{гр}}(z-1)}{V_{\text{ш}}}, \quad (5)$$

де z – кількість лопатей шнека.

Для визначення витрат потужності на привід шнеків необхідно обчислити всі опори, пов'язані з підйомом ґрунту вгору в кінцевій стадії копання, коли ківш вже заповнений, а різання ще йде.

Момент необхідний для повороту шнеків дорівнює

$$M_{\text{пов}} = M_1 + M_2, \quad (6)$$

де M_1 – момент необхідний для підйому ґрунту, що знаходиться в області лопатей шнеків; M_2 – момент, необхідний для подолання опору тертя ґрунту, який заповнив ківш, до ґрунту, що піднімається між лопатами шнека вгору.

Момент M_1 на кожному шнеку рівний

$$M_1 = P_o R_{\text{сер}}, \quad (7)$$

де P_o – сила тертя ґрунту в області шнека до сталі лопатей, Н; $R_{\text{сер}}$ – середній радіус лопатей, м.

Середній радіус $R_{\text{сер}}$ лопатей дорівнює

$$R_{\text{сер}} = \frac{D-d}{2}. \quad (8)$$

Сила тертя визначається

$$P_o = G\mu_1, \quad (9)$$

де G – вага ґрунту, що знаходиться поміж лопатами шнека, Н; μ_1 – коефіцієнт тертя сталі до ґрунту.

Вага ґрунту, що знаходиться в області лопатей шнека, Н

$$G = \left(\frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4} \right) \gamma_r L, \quad (10)$$

де γ_r – питома вага ґрунту, Н/м³.

Тоді

$$M_1 = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \gamma_r \mu_1 \left(\frac{D-d}{2} \right) L, \quad (11)$$

Момент M_2 визначається

$$M_2 = N \mu_2 \frac{D}{2} L k_1 c, \quad (12)$$

де N – нормальний тиск на ґрунт, що знаходиться між лопатами шнека зі сторони ґрунту, який заповнив ківш, Н; μ_2 – коефі-

цієнт тертя ґрунту по ґрунту, c – коефіцієнт, що залежить від кута нахилу шнеку, $c = \cos \alpha$, α – кут нахилу шнеку, град.

Максимальне значення нормального тиску на ґрунт N буде коли шнек знаходиться в горизонтальному положенні. У цьому випадку

$$N = G_o, \quad (13)$$

де G_o – вага ґрунту в області лопатей шнека, Н.

Враховуючи те, що призма ґрунту, що тисне на лопаті шнеків в осьовій площині утворюється трикутником, бічні сторони якого формуються кутами природного укосу ґрунту

$$G_o = \frac{L^2}{4} \operatorname{tg}(90 - \alpha_r) D \gamma_r, \quad (14)$$

де α_r – кут природного укосу ґрунту, град.

Тоді

$$\begin{aligned} M_2 &= \frac{L^2}{4} \operatorname{tg}(90 - \alpha_r) D \gamma_r \mu_2 \frac{D}{2} L k_1 c = \\ &= \frac{L^3}{4} \operatorname{tg}(90 - \alpha_r) \frac{D^2}{2} \gamma_r \mu_2 k_1 c. \end{aligned} \quad (15)$$

Момент необхідний для повороту шнека, Н·м

$$\begin{aligned} M_{\text{пов}} &= \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \gamma_r \mu_1 \left(\frac{D-d}{2} \right) L + \\ &+ \frac{L^3}{4} \operatorname{tg}(90 - \alpha_r) \frac{D^2}{2} \gamma_r \mu_2 k_1 c. \end{aligned} \quad (16)$$

Для повороту шнека необхідна потужність, кВт [13]

$$P = \frac{M_{\text{пов}} \omega}{\eta} = \frac{M_{\text{пов}} n}{9750 \eta}, \quad (17)$$

де η – ККД приводу шнека ($\eta=0,95$).

За величиною цієї потужності та визначеним значенням моменту повороту підбирається високомоментний гідромотор.

Продуктивність кожного шнека, м³/с

$$\begin{aligned} P_{ш} &= \frac{V_{ш} n}{2(z-1)} = \\ &= \frac{\pi}{4(z-1)} (D^2 - d^2) L n. \end{aligned} \quad (18)$$

ВИСНОВКИ

Таким чином, впровадження даної конструкції ковша скрепера з керованими шнековими інтенсифікаторами дозволить збільшити наповнюваність ковша шляхом зміни напрямку потоків розробленого ґрунту всередині ковша і продуктивність машини, знизити собівартість виконання земляних робіт.

Представлена конструкція шнекових інтенсифікаторів розроблювалася в контексті модульного підходу [12, 14, 15], який дозволяє суттєво зменшити витрати на виробництво та впровадження нових органів будівельної техніки. Перспективними напрямками подальших досліджень являється розробка та впровадження автоматичного керування шнековими інтенсифікаторами [16, 17].

ЛІТЕРАТУРА

1. **Міщук Д.** Відвал бульдозера з розпушувальними зубами / Д. Міщук, В. Воляннюк, Є. Горбатюк // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини, Вип.92, – 2018. – С. 70-79. <https://doi.org/10.31493/gbdmm1892.0403>.
2. **Ківш скрепера** [Патент] : 21999 А, Україна : Е02F 3/64 / Л. А. Хмара, С. Л. Хачатурян, С. О. Карпушин. – №96041703 Заявл 29.04.1996; опубл. 30.04.1998. Бюл. № 2.
3. **Ківш скрепера з шнеко-завантажувальним пристроєм** [Патент] : 23420 А, Україна : Е02F 3/40 / Л. А. Хмара, С. Л. Хачатурян, С. О. Карпушин. – №96072724 Заявл. 09.07.1996; опубл. 31.08.1998. Бюл. № 4.
4. **Робочий орган скрепера** [Патент] : 58299, Україна : Е02F 3/64 / А. М. Храмцов. – №u201010865 Заявл 09.09.2010; опубл. 11.04.2011. Бюл. № 7.
5. **Скрепер інтенсифікуючої дії** [Патент] : 53997 А, Україна : Е02F 3/76 / Л. А. Хмара, І. А. Соколов, Є. Й. Уріх, О. В. Літвінов – №2002043092 Заявл. 16.04.2002; опубл. 17.02.2003. Бюл. № 2.
6. **Баловнев В. И.** Интенсификация разработки ґрунтов в дорожном строительстве / В. И. Баловнев, Л. А. Хмара. – М.: Транспорт, – 1993. – 384 с.
7. **Баловнев В. И.** Повышение производительности машин для земляных работ / В. И. Баловнев, Л. А. Хмара. В. И. Баловнев, Л. А. Хмара. – К.: Будивельник, – 1988. – 152 с.
8. **Сукач М. К.** Ефективність застосування землерийно-дорожніх машин: Навчальний посібник / М. К. Сукач – К.:КНУБА, – 2010. – 84 с.
9. **Залко Л. Н.** Самоходные скреперы / Л. Н. Залко, Э. Г. Ронинсон, Н. А. Сидоров – М.: Машиностроение, 1991. – 256 с.
10. **Ветров Ю. А.** Машины для специальных земляных работ. Учеб. Пособие / Ю. А. Ветров, В. Л. Баладинский. – К.: Вища школа. – 1980. – 192 с.
11. **Хмара Л. А.** Модернизация и повышение производительности строительных машин / Л. А. Хмара, Н. П. Колесник, В. П. Станевский. – К.: Будивельник, - 1992. – 152 с.
12. **Воляннюк В. О.** Удосконалення робочого обладнання скреперів / В. О. Воляннюк, Д. О. Міщук, Є. В. Горбатюк // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини, Вип.88, – 2016. – С. 78-83.
13. **Шемякин С. А.** Определение затрат мощности на привод шнекового интенсификатора загрузки ковша скрепера / С. А. Шемякин, Д. Н. Матвеев, К. Г. Покачалов // Вестник ТОГУ, Вып. 2(37), – 2015.с
14. **Костенюк О., Фомін А.** Реологічна модель руйнування ґрунту робочими органами зі структурованим рухом різальних елементів / О. Костенюк, А. Фомін, О. Тетерятник, Г. Боковня // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини, Вип.91, – 2018. – С. 58-65. <https://doi.org/10.26884/gbdmm1891.0401>.
15. **Міщук Д.** Модульний принцип побудови будівельного робота / Д. Міщук, В. Воляннюк, Є. Горбатюк // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини, Вип.89, – 2017. – С. 90-97.
16. **Горбатюк Є.** Математичне моделювання взаємодії рушія розпушувального агрегату з поверхнею ґрунту // Є. Горбатюк, В. Воляннюк, Д. Міщук // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини, Вип.87, – 2016. – С. 12-20.

17. **Пелевін Л.** Синергетичний характер взаємодії адаптаційних технічних систем з робочим середовищем / Л. Пелевін, А. Фомін, О. Костенюк, О. Тетерятник, Г. Боковня // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини: Всеукр. збірник наукових праць. – Київ, 2013. – №82. – С. 70-79.

REFERENCES

- Mishchuk D., Volyanyuk V., Gorbatiuk E.** (2018) Dozer blade with ripper teeth. *Girniči, budivelnì, dorozhni ta meliorativni mašini* [Mining, constructional, road and melioration machines], No.92, 70-79. – (in Ukrainian). <https://doi.org/10.31493/gbdmm1892.0403>.
- Khmara L. A., Khachaturian S. L., Karpushin S. O.** (1998) Kivsh skrepera [Bucket scraper]. *Patent UA 21999 A*.
- Khmara L. A., Khachaturian S. L., Karpushin S. O.** (1998) Kivsh skrepera z shneko-zavantazhuval'nym prystroyem [Scraper bucket with auger loading device]. *Patent UA 23420 A*.
- Khramtsov A. M.** (2011) Robochyy orhan skrepera [Working body of the scraper]. *Patent UA 58299*
- Khmara L. A., Sokolov I. A., Urikh YE. Y., Litvinov O. V.** (2003) Skreper intensyfikuyuchoyi diyi [Intensifying action scraper]. *Patent UA 53997 A*
- Balovnev V. I., Khmara L. A.** (1993). Intensification of soil development in road construction, Moscow, Transport Publ., 384. – (in Russian).
- Balovnev V. I., Khmara L. A.** (1988). Improving the productivity of earthmoving machinery, Kyiv, Budivelnik Publ., 152. – (in Russian).
- Sukach M. K.** (2010). The Efficiency of using earth-moving machines: A Tutorial, Kyiv, KNUBA, 84. – (in Ukrainian).
- Zalko L. N., Roninson E. G., Sidorov N. A.** (1991). Self-propelled scrapers, Moscow, Mechanical Engineering Publ., 256. – (in Russian).
- Vetrov Yu. A., Baladinsky V. L.** (1980). Machines for special earthworks. Textbook. Kyiv, High school Publ., 192. – (in Russian).
- Khmara L. A., Kolesnik N. P., Stanevsky V. P.** (1992). Modernization and increase of productivity of construction machines, Kyiv, Builder Publ., 152. – (in Russian).
- Volianiuk V. O., Mishchuk D. A., Gorbatiuk E. V.** (2016). Improvement of scrapers working equipment. *Mining, construction, road and reclamation machines*, No. 88, 78-83. – (in Ukrainian).
- Shemyakin S. A., Matveev D. N., Pokachalov K. G.** (2015). Determination of power consumption for a drive of auger scoop bucket loading intensifier. *Bulletin of Pacific National University*, Issue 2 (37). – (in Russian).
- Kostenyuk O., Fomin A., Teteryatnik O., Bokovnya G.** (2018). Rheological model of soil destruction by working bodies with structured movement of cutting elements. *Girniči, budivelnì, dorozhni ta meliorativni mašini* [Mining, constructional, road and melioration machines], No.91, 58-65. <https://doi.org/10.26884/gbdmm1891.0401>.
- Mischuk D., Volyanyuk V., Gorbatiuk E.** (2017). The modul design of construction robot. *Girniči, budivelnì, dorozhni ta meliorativni mašini* [Mining, constructional, road and melioration machines], No.89, 90-97.
- Gorbatiuk Ie., Volyanyuk V., Mischuk D.** (2016). Mathematical modelling of cooperation of rendering-engine of scarifier aggregate with the surface of soil. *Girniči, budivelnì, dorozhni ta meliorativni mašini* [Mining, constructional, road and melioration machines], No.87, 12-20.
- Pelevin L., Fomin A., Kostenyuk A., Teteryatnik A., Bokovnya G.** (2013). Synergetic character of interaction adaptation the technical systems with working environment. *Girniči, budivelnì, dorozhni ta meliorativni mašini* [Mining, constructional, road and melioration machines], No.82, 70-79. – (in Ukrainian).

Scraper work equipment with auger intensifiers

Vladimir Volianiuk¹, Dmitry Mishchuk², Eugene Gorbatiuk³

Kyiv National University of Construction and Architecture

Abstract. The share of earthworks in construction is up to 30% of the total amount of work. Therefore, increasing the productivity and reducing the cost of these works for the machines involved in their execution is a pressing task. Such machines include a scraper designed for layer-by-layer development, movement and dumping of soil with a

layer of predetermined thickness with flattening and partial compaction.

As a rule, the work performed by scrapers is cheaper than dump trucks with dump trucks. Therefore, where it is in terms of work, you may always use scrapers. This fact is the reason for their wide spread. Due to the fact that scrapers are mass machines, the question of increasing their productivity is especially urgent. One way to increase scraper performance is to increase the bucket load.

To this end, the design of a scraper bucket with screw intensifiers, fixed rigidly to the cantilever on the back wall of the bucket with the drive from the motors and the possibility of changing the direction of rotation of the screws and their length is

proposed. The angle of inclination of the augers relative to the rear wall is changed by the use of hydraulic cylinders controlled by three-position spools. All this allows the scraper bucket to be more fully filled with the soil being developed, by changing the direction of flows of the developed soil inside the bucket using controlled screw intensifiers and thus increasing the scraper's productivity.

The supply of hydraulic fluid under pressure to the hydraulic motors and cylinders is carried out from the hydraulic pumps of the base scraper machine.

The design of the scraper bucket with screw intensifiers is protected by the patent of Ukraine.

Keywords: scraper, ladle, auger, auger, soil.

Розробка концепції системи керування роботом для штукатурних робіт на основі нейронної мережі

Дмитро Міщук¹, Андрій Бойченко²

Київський національний університет будівництва і архітектури,
Повітрофлотський проспект 31, Київ, Україна, 03680
¹mischuk.do@knuba.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-8263-9400>
²andriy@i.ua, <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

Received: 15.03.2019; Accepted: 20.05.2019
<https://doi.org/10.32347/gbdmm2019.93.0501>

Анотація. Приготування будівельного розчину, його подачу до місця робіт та нанесення на поверхню ефективно здійснювати за допомогою автоматизованих механічних систем в тандемі з розчинонасосами поєднаними зі штукатурними агрегатами за допомогою яких можна виконувати автоматичне встановлення контрольних маяків, попереднє ґрунтування поверхні, розбризкування цементного розчину та затирання. Технічна досконалість і конкурентна спроможність роботизованих штукатурних станцій в значній мірі залежить від прийнятих кінематичних моделей розроблюваного штукатурного робота та розробки на їх основі досконалих систем керування. Прості кінематичні схеми породжують прості конструктивні рішення, які досить швидко прототипуються та мають невисоку вартість, проте такі рішення, внаслідок своєї конструктивної недосконалості, зазвичай використовуються для обмежених виробничих процесів, мають малу точність та примітивну систему керування, що не дозволяє застосовувати їх для глибокої автоматизації у виробництві. Складні кінематичні схеми робіт дозволяють застосовувати їх, як універсальний засіб на багатьох стадіях будівельного виробництва, проте такі конструктивні рішення потребують створення досконалих складних систем керування.

Застосування нейронної мережі дозволяє спростити архітектуру системи керування, зробити її універсальною для виконання роботом різних технологічних процедур, проте вона потребує чіткого алгоритму опису математичної моделі роботи та його навчання.

В даному дослідженні запропоновано математичну модель нейронної мережі на основі сигмоїдальної функції активації для дволанкового маніпулятора.

Ключові слова: будівельний робот, система керування, нейронна мережа, сигмоїдальна функція, навчання роботів, градієнтний спуск.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

При розробці будівельного робота для штукатурних робіт важливим його елементом є досконала система керування за допомогою якої можна було б програмувати виконання різних технологічних процесів. Така система повинна враховувати конструктивні особливості кінематичної схеми робота та пов'язувати його з будівельним об'єктом. При цьому бажано щоб дана система керування була простою у виконанні, швидкодійною, точною та надійною.

В системах керування роботів за допомогою математичних моделей визначають зв'язки між сигналами керування на вході та переміщення робочого органу на виході. Побідний зв'язок встановлюється за допомогою кінематичних та динамічних функцій, що визначаються на основі оберненої задачі кінематики та динаміки, для розв'язку яких застосовують прямі аналітичні методи, матричні методи з побудовою оберненого Якобіана та евристичні методи із застосуванням навчання робота.

Матричні методи із побудовою оберненого Якобіана є одними з поширених способів розв'язку зворотної задачі кінематики та динаміки маніпулятора робота [1], які ефективно застосовуються в системах керування із засобами технічного зору [2]. Аналітичні методи пошуку функцій керування дають точні результати, проте потре-

ISSN 2312-6590. Mining, constructional, road and melioration machines, 93, 2019, 46-60

бують застосування складних математичних перетворень та алгоритмів. При цьому для роботів у яких кількість ступенів вільності більша двох, прямі аналітичні методи розв'язку задач кінематики та динаміки потребують значних розрахункових потужностей, тому часто застосовують наближені чисельні математичні підходи.

Застосовуючи евристичні методи для визначення функції керування робота при побудові траєкторій руху його робочого органу знаходять цільові конфігурації маніпулятора за допомогою грубого розв'язку зворотної задачі кінематики та будують шлях руху від початкової до цільової конфігурації, використовуючи швидкозростаючі випадкові дерева [3], [4].

Для побудови законів керування також застосовують задачі оптимізації [5] за допомогою яких визначають закони зміни узагальнених координат робота як функції часу і при цьому застосування подібних законів призводитиме до якісного покращення заданого параметра робота або маніпулятора, наприклад до покращення плавності руху або до зменшення витрат енергії.

Серед великого різноманіття методів визначення законів керування роботами та маніпуляторами залишається проблема їхнього ефективного застосування, яка пов'язана з тим, що всі розглянуті способи синтезу законів керування потребують даних про наперед відомі параметри кінематичної системи робота, траєкторії його руху та характеристики переміщуваного вантажу. В реальних умовах виробництва не всі ці дані можуть бути відомими, що значно ускладнює визначення законів керування роботом. Зокрема, під час виконання штукатурних робіт, роботи можуть виконувати вимірювання та нанесення розмітки на поверхню, яку збираються оздоблювати, встановлювати контрольні маяки, наносити ґрунтове покриття, наносити оздоблювальне покриття, вирівнювати покриття, шліфувати поверхні, готувати суміші. При цьому також потрібно враховувати, що поверхня на яку наноситься оздоблювальне покриття може мати різну проектну конфігурацію. Отже, все це в сукупності створює певні

складності при розробці системи керування для штукатурного робота.

Одним зі шляхів спрощення розробки систем керування роботів є застосування нейронної архітектури в системі керування [6]. Нейронні мережі набули широкого використання у розв'язуванні задач кінематики при плануванні шляху при роботі зі складними кінематичними структурами. З їх допомогою будуються траєкторії в просторі конфігурацій за необхідними положеннями в робочому просторі. Нейронні системи можуть навчатися як на моделях, так і під час функціонування робота або маніпулятора.

АНАЛІЗ ВІДОМИХ РІШЕНЬ

Серед досліджень з нейронних мереж, які застосовують в роботах слід відмітити класичні системи з навчанням та зворотним поширенням помилки, коли на вхід подається вектор положень робочого органу маніпулятора, а на виході отримують вектор узагальнених координат. Такий вид класичних нейронних мереж має великий час навчання і велику помилку [7], тому пізніше були запропоновані паралельні нейронні мережі [8], серед яких вибирається найкраще рішення. Також для кожної узагальненої координати маніпулятора можна використовувати незалежні паралельні нейронні мережі [9].

Для покращення швидкості навчання та точності роботи нейронної мережі робота застосовують нестандартні алгоритми навчання, зокрема в праці [10] запропоновано використовувати метод електромагнетизму [11], а в роботі [12] запропоновано навчати нейронну мережу на невеликій зв'язаній ділянці робочого простору, записуючи ваги мережі в таблицю пошуку. Кількість таблиць дорівнює кількості ділянок, а вибір таблиці обумовлений поточним станом механічної системи та кінцевою точною переміщення.

Також поширення набули генетичні алгоритми, які доцільно використовувати для планування траєкторії переміщення робота або маніпулятора [13]. В роботі [14] порівнюються способи кодування згорток узага-

льнених координат при плануванні траєкторії переміщення маніпулятора. Результати дослідження показали, що при бінарному кодуванні траєкторії, наявна велика кількість розривів узагальнених координат, тоді як числове кодування дає гладку траєкторію. В генетичних алгоритмах часто застосовують схрещення різних алгоритмів після розв'язку яких в кінці вибирається один найкращий.

Отож з аналізу відомих робіт можна зробити висновок, що розробка системи керування робота на основі нейронної архітектури є актуальною задачею сучасного наукового дослідження в галузі робототехніки.

Прогресивною конструкцією робота-штукатур є та, яка містить шарнірно-зчленовану стрілу (Рис. 1). Основою такого робота є міні-шасі та маніпулятор з телескопічною штангою, яка в процесі роботи розпирається між підлогою та стелею. Маніпулятор встановлено на штанзі з можливістю пересування вздовж неї. Робочий орган може займати горизонтальне та вертикальне положення, що дозволяє виконувати обробку стін і стелі. Робочий орган облад-

нано змінним набором робочого інструмента. Подача команд та коригування програми робота здійснюються з пульта керування. Положення ланок маніпулятора контролюється датчиками положення. Для контролю якості поверхні використовуються пристрій контролю та акустичні датчики. В якості мобільної платформи для штукатурного робота можуть застосовуватися крокуючі, гусеничні, колісні або гібридні механізми пересування.

Система керування даного робота має складну будову, що обмежує застосування робота, оскільки для кожного нового виду роботи потрібно перепрограмувати систему керування, а це є найдорожчим процесом, який потребує також значного часу.

МЕТА РОБОТИ

Дослідити кінематичні параметри дволанкового маніпулятора на основі яких запропонувати методику синтезу простої системи керування будівельного робота з нейронною архітектурою.

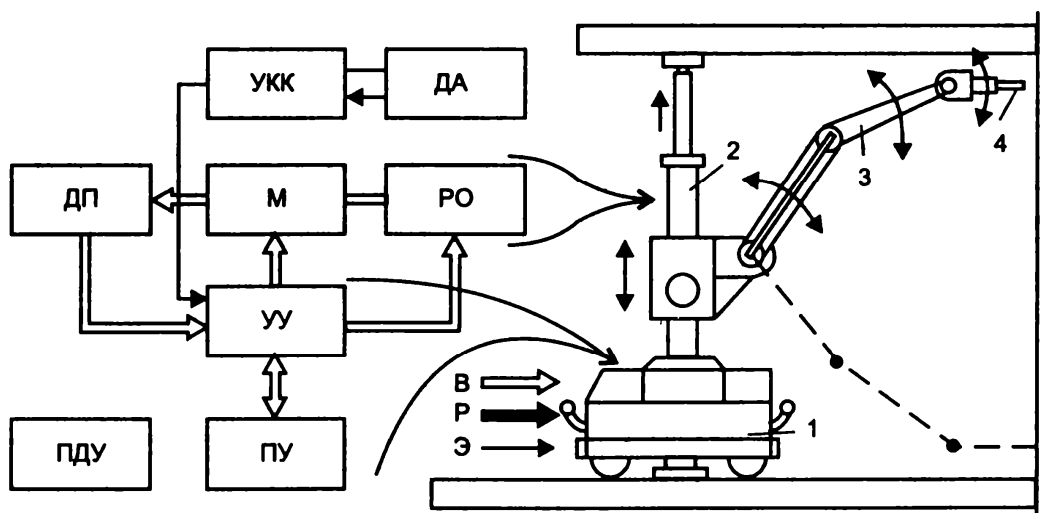


Рис. 1. Будівельний робот для штукатурних робіт із шарнірно-зчленованою стрілою: 1 – міні-шасі; 2 – телескопічна штанга; 3 – маніпулятор; 4 – робочий орган; М – маніпулятор; РО – робочий орган із соплом; УУ – пристрій керування; ДП – датчики положення; ДА – датчик акустичний; УКК – пристрій контролю якості поверхні; ПУ – пульт керування; ПДУ – пульт дистанційного керування; В – повітря; Р – розчин; Э – живлення

Fig. 1. Construction robot for plastering work with articulated-articulated boom: 1 – vehicle; 2 – telescopic bar; 3 – the manipulator; 4 – working body; М – manipulator; РО – working body with nozzle; УУ – control device; ДП – position sensors; ДА – acoustic sensor; УКК – is a surface quality control device; ПУ – the remote control; ПДУ – the remote control is a remote control; В – air; Р – aqua; Э – feeding

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ
ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

На початковій стадії дослідження було виконано кінематичний аналіз дволанкового маніпулятора [15] схема якого в площині зміни вильоту представлена на Рис. 2.

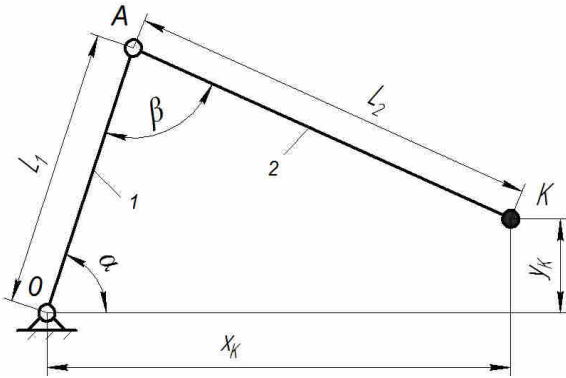


Рис. 2. Кінематична схема дволанкового маніпулятора в площині зміни вильоту

Fig. 2. Kinematic scheme of a two-arm manipulator in the plane of change of departure

Маніпулятор робота складається з підйомної ланки 1 та поворотної ланки 2. Приводи ланок маніпулятора знаходяться в шарнірах їх повороту, тобто для ланки 1 – в шарнірі O, а для ланки 2 – в шарнірі A. Оскільки на кінематику даного маніпулятора конструкція його приводів на впливає, тому на рисунку вони не зображені. Розглянута кінематична схема маніпулятора має два ступені вільності у вертикальній площині, які відповідають двом незалежним кутам повороту α та β .

Аналітичні залежності геометричного положення точки підвісу робочого органу для даного маніпулятора (точки) визначаються наступними залежностями:

$$x_K = L_1 \cos(\alpha) - L_2 \cos(\alpha + \beta), \quad (1)$$

$$y_K = L_1 \sin(\alpha) - L_2 \sin(\alpha + \beta), \quad (2)$$

де L_1 та L_2 – розміри ланок, м; α та β – кути повороту відповідних ланок.

Використовуючи пакет прикладної програми Mathematica 10 знайдено розв’язок зворотної задачі кінематики для даної сис-

теми та визначено кінематичні функції зміни кутів повороту ланок маніпулятора в залежності від переміщення точки K, які в подальшому використовуватимуться для порівняння з результатами моделювання нейронної мережі.

Для спрощення виконаємо моделювання кінематичної схеми в обмеженому робочому просторі даного маніпулятора, де зміна узагальнених координат кутів повороту змінюється в наступних межах: $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$; $10^\circ \leq \beta \leq 100^\circ$. В такому випадку, згідно роботи [15], зміна кутів повороту ланок маніпулятора визначатиметься наступними залежностями:

$$\alpha = \arccos \left(\frac{1}{2(L_1^2 x_K^2 + L_1^2 y_K^2)} \times (L_1^3 x_K - L_1 L_2^2 x_K + L_1 x_K^3 + L_1 x_K y_K^2 - (-L_1^6 y_K^2 + 2L_1^4 L_2^2 y_K^2 - L_1^2 L_4^4 y_K^2 + 2L_1^4 x_K^2 y_K^2 + 2L_1^2 L_2^2 x_K^2 y_K^2 - L_1^2 x_K^4 y_K^2 + 2L_1^4 y_K^4 + 2L_1^2 L_2^2 y_K^4 - 2L_1^2 x_K^2 y_K^4 - L_1^2 y_K^6)^{0,5} \right);$$

$$\beta = \arccos \left(\frac{L_1^2 + L_2^2 - x_K^2 - y_K^2}{2L_1 L_2} \right). \quad (4)$$

Аналізуючи рівняння (1) та (2) робимо висновок, що узагальнені координати повороту ланок маніпулятора є функціями координат положення захоплювача:

$$\begin{cases} \alpha = f_1(x_K, y_K); \\ \beta = f_2(x_K, y_K). \end{cases} \quad (5)$$

У такий спосіб система керування повинна реалізувати певний закон, який на вході має приймати координати переміщення робочого органу, а на виході видаватиме координати кутів повороту.

Нейронна мережа являє собою сукупність великої кількості порівняно простих елементів – нейронів, топологія з’єднань яких залежить від типу мережі. Щоб створити нейронну мережу для вирішення конкретної задачі, потрібно вибрати, яким спо-

собом з'єднувати нейрони, і відповідно підібрати значення вагових параметрів на цих зв'язках. Для досліджень була прийнята архітектура нейронної мережі яка містить два прихованих шара (див. Рис. 3).

На Рис. 3. елементи нейронної мережі позначено наступним чином: x_k, y_k – вхідні сигнали; $\sigma_{11}, \dots, \sigma_{16}$ – нейрони першого ша-

ру, σ_{21} та σ_{22} – нейрони другого шару; α та β – вихідні сигнали мережі.

Спрощене функціонування кожного нейрона з мережі представляється так (Рис.4): нейрон через вхідні канали (дендрити) на вході отримує набір (вектор) вхідних сигналів x_i та оцінює сумарне алгебраїчне значення z по всім входам. Оскільки

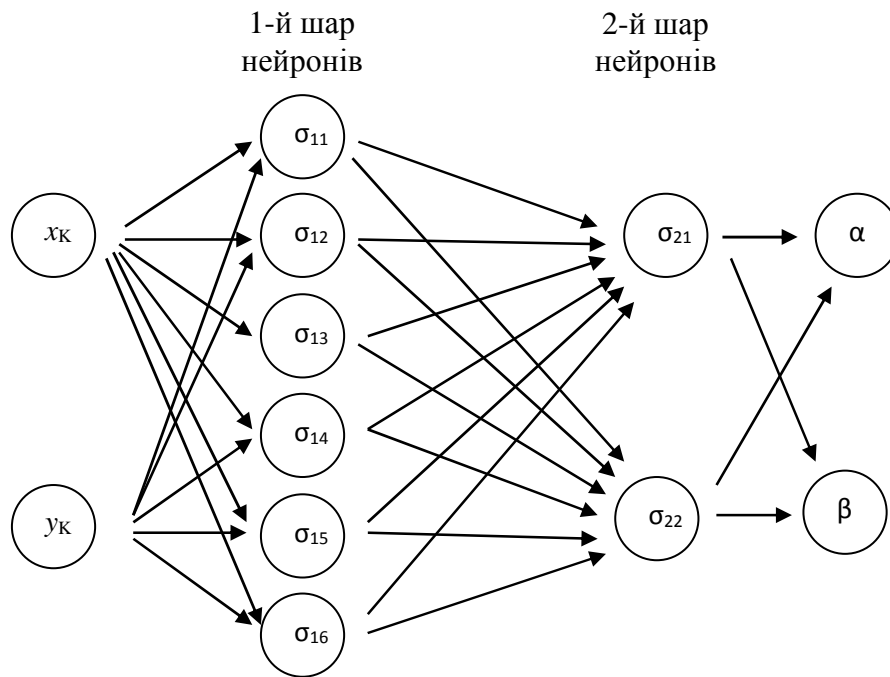


Рис. 3. Архітектура досліджуваної нейронної мережі системи керування робота

Fig. 3. The architecture of the investigated neural network control system robot

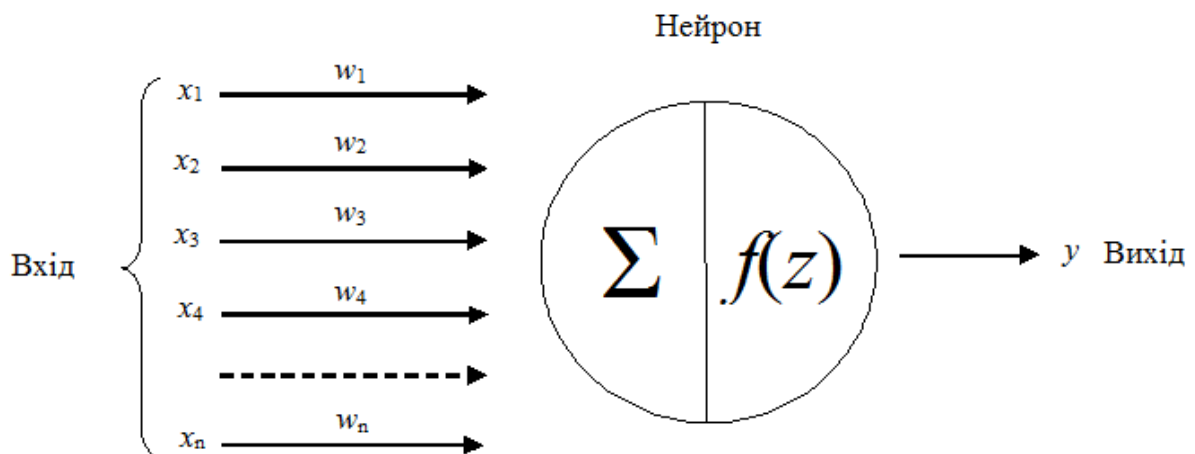


Рис. 4. Структурна схема штучного нейрона

Fig. 4. Structural diagram of an artificial neuron

входи нейрона нерівнозначні й кожен характеризується деяким ваговим коефіцієнтом w_i , що визначає важливість переданої ним інформації, тож нейрон не просто розраховує суму значень вхідних сигналів, а обчислює скалярний добуток вектору вхідних сигналів x_i і вектору вагових коефіцієнтів w_i . Для більшої точності системи до сумарного значення для всіх входів одного нейрона зазвичай додається параметр зміщення b . Обробивши зважену суму, кожний нейрон мережі формує вихідний сигнал, інтенсивність якого залежить від значення обчисленої зваженої суми скалярного множення сигналів зі входу. Якщо сума не перевищує деякого заданого порогу, то вихідний сигнал не формується, тобто нейрон «не спрацьовує». В математичному розумінні така дія визначається функцією активації нейрона $f(z)$.

Опис моделі роботи нейрона в загальному випадку буде подаватися рівнянням:

$$y_i = f(z_j) = f\left(\sum_{j=1}^n w_j x_j + b_i\right), \quad (6)$$

де f – функція активації на вхід якої подається аргумент зваженої суми $\sum_{j=1}^n w_j x_j + b_j$;

w_j – вектор вагових коефіцієнтів; n – кількість входів нейрона; x_j – вектор вхідних сигналів; b_i – параметр зміщення.

У загальному випадку вхідний сигнал та вагові коефіцієнти можуть приймати будь-які дійсні значення. Вихід з нейрона визначається видом функції активації та може бути як дійсним, так і цілим.

Поведінка штучної нейронної мережі залежить від поведінки кожного окремого нейрона, а поведінка нейрона визначатиметься значенням вагових параметрів та функцією активації нейронів. В даному дослідженні в якості функції активації застосовано сигмоїдальну залежність:

$$f = \frac{1}{1 + e^{-z}}, \quad (7)$$

де z – зважена сума на вході нейрона.

Область значень для даної функції активації знаходиться в межах від 0 до 1. Сигмоїдальні функції мають більше схожого з реальними нейронами ніж лінійні, але будь-який з цих типів можна розглядати лише як наближення.

Для визначення параметрів нейронної мережі потрібно підібрати вагові коефіцієнти та параметри зміщення, які б задовольняли виконання залежностей (1) та (2). Отже рівняння (1) та (2) були застосовані для визначення набору даних на основі яких буде розроблюватися (навчатися) нейронна мережа.

В якості алгоритму навчання було обрано ітеративний градієнтний метод зворотного розповсюдження помилки, який використовується для мінімізації помилки роботи багат шарової нейронної мережі з отриманням результату на виході.

Основна ідея такого методу полягає в поширенні сигналів помилки від виходів мережі до її входів, в напрямку зворотному поширенню сигналів у звичайному режимі роботи.

У розглянутій мережі є множина входів x_k та u_k , які через нейрони першого та другого шару мережі передаються на виходи, внаслідок чого буде отримано вихідні значення α та β . Такі значення будуть відрізнятися від реальних значень на величину похибки.

Для того щоб мінімізувати похибку мережі, застосовують функцію витрат, наприклад функцію середньоквадратичної помилки:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N (Y_i - y_i)^2, \quad (8)$$

де Y_i – відома величина вихідного сигналу (приймається з даних вибірки для навчання).

Вагові коефіцієнти мережі та параметри зміщення для заданої мережі формуватимуть вектор:

$$w = \begin{bmatrix} w_{11} \\ w_{12} \\ \dots \\ w_{21} \\ w_{22} \\ b_{11} \\ \dots \\ b_{22} \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Далі визначається градієнт функції помилки за вказаним вектором (9):

$$\Delta F = \begin{bmatrix} \frac{\partial MSE}{\partial w_{11}} \\ \frac{\partial MSE}{\partial w_{12}} \\ \dots \\ \frac{\partial MSE}{\partial w_{21}} \\ \frac{\partial MSE}{\partial w_{22}} \\ \frac{\partial MSE}{\partial b_{11}} \\ \dots \\ \frac{\partial MSE}{\partial b_{22}} \end{bmatrix}. \quad (10)$$

Оскільки відомо, що градієнт показує переміщення в сторону найбільшого росту функції помилки, яку потрібно приводити до мінімального значення, тому на кожній наступній ітерації визначення вагових коефіцієнтів потрібно зменшувати значення попередньо налаштованих коефіцієнтів на величину градієнта попереднього кроку, тобто:

$$w_{i+1} = w_i - \mu \Delta F_i, \quad (11)$$

де μ – коефіцієнт швидкості навчання.

Через те що в якості функції активації було прийнято сигмоїдальну функцію (7), похідна такої функції буде:

$$\frac{\partial f}{\partial z} = \frac{e^{-z}}{(1+e^{-z})^2} = f^2 e^{-z}. \quad (12)$$

Проте, в рівняннях нейронної мережі параметр z також є функцією, а отже при визначенні похідної по коефіцієнтам мережі необхідно враховувати таку складність функції та знаходити похідну від сигмоїдальної функції (7), як від складної:

$$\frac{\partial f_i}{\partial w_i} = \frac{\partial f}{\partial z} \frac{\partial z}{\partial w_i}. \quad (13)$$

Для нейронної мережі на Рис. 3 маємо наступну систему рівнянь для визначення кутів повороту маніпулятора:

$$\alpha = w_{1\sigma 21} \sigma_{21} + w_{1\sigma 22} \sigma_{22}; \quad (14)$$

$$\beta = w_{2\sigma 21} \sigma_{21} + w_{2\sigma 22} \sigma_{22}, \quad (15)$$

де σ_{21} та σ_{22} – активаційні функції нейронів другого шару; $w_{1\sigma 21} \dots w_{2\sigma 22}$ – вагові коефіцієнти функцій активації для другого шару.

Виходи функцій активації другого шару залежать від вхідних сигналів, які вони отримують з попереднього шару, а тому:

$$\sigma_{21} = \frac{1}{1+e^{-z_1}}; \quad (16)$$

$$\sigma_{22} = \frac{1}{1+e^{-z_2}}, \quad (17)$$

де z_1 та z_2 – аргументи функцій активації, які подаються на входи нейронів другого шару.

Для описаної схеми на Рис. 3 матимемо:

$$z_1 = w_{1\sigma 11} \sigma_{11} + w_{1\sigma 12} \sigma_{12} + w_{1\sigma 13} \sigma_{13} + w_{1\sigma 14} \sigma_{14} + w_{1\sigma 15} \sigma_{15} + w_{1\sigma 16} \sigma_{16} + b_{11}; \quad (18)$$

$$z_2 = w_{2\sigma 11} \sigma_{11} + w_{2\sigma 12} \sigma_{12} + w_{2\sigma 13} \sigma_{13} + w_{2\sigma 14} \sigma_{14} + w_{2\sigma 15} \sigma_{15} + w_{2\sigma 16} \sigma_{16} + b_{12}, \quad (19)$$

де $\sigma_{11}, \sigma_{12}, \dots, \sigma_{16}$ – функції активації першого шару; $w_{1\sigma 11}, \dots, w_{2\sigma 16}$ – вагові коефіцієнти функцій активації для першого шару; b_{11} та b_{12} – коефіцієнти зміщення для першого шару.

Виходи функцій активацій першого шару також залежать від вхідних сигналів, зокрема від параметрів x_K та y_K :

$$\sigma_{11} = \frac{1}{1 + e^{-z_{01}}}, \quad (20)$$

$$\sigma_{12} = \frac{1}{1 + e^{-z_{02}}}, \quad (21)$$

$$\sigma_{13} = \frac{1}{1 + e^{-z_{03}}}, \quad (22)$$

$$\sigma_{14} = \frac{1}{1 + e^{-z_{04}}}, \quad (23)$$

$$\sigma_{15} = \frac{1}{1 + e^{-z_{05}}}, \quad (24)$$

$$\sigma_{16} = \frac{1}{1 + e^{-z_{06}}}, \quad (25)$$

де

$$z_{01} = w_{01xk} x_K + w_{01yk} y_K;$$

$$z_{02} = w_{02xk} x_K + w_{02yk} y_K;$$

$$z_{03} = w_{03xk} x_K + w_{03yk} y_K;$$

$$z_{04} = w_{04xk} x_K + w_{04yk} y_K;$$

$$z_{05} = w_{05xk} x_K + w_{05yk} y_K;$$

$$z_{06} = w_{06xk} x_K + w_{06yk} y_K.$$

Щоб визначити градієнти за розглянутими ваговими коефіцієнтами, спочатку береться нейрон останнього рівня та визначається похідна для потрібної ваги. Так як w_j впливає на вихід мережі лише як частина суми входу до нейрона, тому:

$$\frac{\partial \alpha}{\partial w_{01xk}} = w_{1\sigma 21} \sigma_{21}^2 e^{-z_1} \cdot w_{1\sigma 11} \sigma_{11}^2 e^{-z_{01}} x_K +$$

$$+ w_{1\sigma 22} \sigma_{22}^2 e^{-z_2} \cdot w_{2\sigma 11} \sigma_{11}^2 e^{-z_{01}} x_K;$$

$$\frac{\partial \alpha}{\partial w_{02xk}} = w_{1\sigma 21} \sigma_{21}^2 e^{-z_1} \cdot w_{1\sigma 12} \sigma_{12}^2 e^{-z_{02}} x_K +$$

$$+ w_{1\sigma 22} \sigma_{22}^2 e^{-z_2} \cdot w_{2\sigma 12} \sigma_{12}^2 e^{-z_{02}} x_K;$$

$$\frac{\partial \alpha}{\partial w_{03xk}} = w_{1\sigma 21} \sigma_{21}^2 e^{-z_1} \cdot w_{1\sigma 13} \sigma_{13}^2 e^{-z_{03}} x_K +$$

$$+ w_{1\sigma 22} \sigma_{22}^2 e^{-z_2} \cdot w_{2\sigma 13} \sigma_{13}^2 e^{-z_{03}} x_K;$$

$$\frac{\partial \alpha}{\partial w_{04xk}} = w_{1\sigma 21} \sigma_{21}^2 e^{-z_1} \cdot w_{1\sigma 14} \sigma_{14}^2 e^{-z_{04}} x_K +$$

$$+ w_{1\sigma 22} \sigma_{22}^2 e^{-z_2} \cdot w_{2\sigma 14} \sigma_{14}^2 e^{-z_{04}} x_K;$$

$$\frac{\partial \alpha}{\partial w_{05xk}} = w_{1\sigma 21} \sigma_{21}^2 e^{-z_1} \cdot w_{1\sigma 15} \sigma_{15}^2 e^{-z_{05}} x_K +$$

$$+ w_{1\sigma 22} \sigma_{22}^2 e^{-z_2} \cdot w_{2\sigma 15} \sigma_{15}^2 e^{-z_{05}} x_K;$$

$$\frac{\partial \alpha}{\partial w_{06xk}} = w_{1\sigma 21} \sigma_{21}^2 e^{-z_1} \cdot w_{1\sigma 16} \sigma_{16}^2 e^{-z_{06}} x_K +$$

$$+ w_{1\sigma 22} \sigma_{22}^2 e^{-z_2} \cdot w_{2\sigma 16} \sigma_{16}^2 e^{-z_{06}} x_K;$$

$$\frac{\partial \beta}{\partial w_{01xk}} = w_{2\sigma 21} \sigma_{21}^2 e^{-z_1} \cdot w_{1\sigma 11} \sigma_{11}^2 e^{-z_{01}} x_K +$$

$$+ w_{2\sigma 22} \sigma_{22}^2 e^{-z_2} \cdot w_{2\sigma 11} \sigma_{11}^2 e^{-z_{01}} x_K;$$

$$\frac{\partial \beta}{\partial w_{02xk}} = w_{2\sigma 21} \sigma_{21}^2 e^{-z_1} \cdot w_{1\sigma 12} \sigma_{12}^2 e^{-z_{02}} x_K +$$

$$+ w_{2\sigma 22} \sigma_{22}^2 e^{-z_2} \cdot w_{2\sigma 12} \sigma_{12}^2 e^{-z_{02}} x_K;$$

$$\frac{\partial \beta}{\partial w_{03xk}} = w_{2\sigma 21} \sigma_{21}^2 e^{-z_1} \cdot w_{1\sigma 13} \sigma_{13}^2 e^{-z_{03}} x_K +$$

$$+ w_{2\sigma 22} \sigma_{22}^2 e^{-z_2} \cdot w_{2\sigma 13} \sigma_{13}^2 e^{-z_{03}} x_K;$$

$$\frac{\partial \beta}{\partial w_{04xk}} = w_{2\sigma 21} \sigma_{21}^2 e^{-z_1} \cdot w_{1\sigma 14} \sigma_{14}^2 e^{-z_{04}} x_K +$$

$$+ w_{2\sigma 22} \sigma_{22}^2 e^{-z_2} \cdot w_{2\sigma 14} \sigma_{14}^2 e^{-z_{04}} x_K;$$

$$\frac{\partial \beta}{\partial w_{05xk}} = w_{2\sigma 21} \sigma_{21}^2 e^{-z_1} \cdot w_{1\sigma 15} \sigma_{15}^2 e^{-z_{05}} x_K +$$

$$+ w_{2\sigma 22} \sigma_{22}^2 e^{-z_2} \cdot w_{2\sigma 15} \sigma_{15}^2 e^{-z_{05}} x_K;$$

$$\frac{\partial \beta}{\partial w_{06xk}} = w_{2\sigma 21} \sigma_{21}^2 e^{-z_1} \cdot w_{1\sigma 16} \sigma_{16}^2 e^{-z_{06}} x_K +$$

$$+ w_{2\sigma 22} \sigma_{22}^2 e^{-z_2} \cdot w_{2\sigma 16} \sigma_{16}^2 e^{-z_{06}} x_K;$$

$$\frac{\partial \alpha}{\partial w_{01yk}} = w_{1\sigma 21} \sigma_{21}^2 e^{-z_1} \cdot w_{1\sigma 11} \sigma_{11}^2 e^{-z_{01}} y_K +$$

$$+ w_{1\sigma 22} \sigma_{22}^2 e^{-z_2} \cdot w_{2\sigma 11} \sigma_{11}^2 e^{-z_{01}} y_K;$$

$$\frac{\partial \alpha}{\partial w_{02yk}} = w_{1\sigma 21} \sigma_{21}^2 e^{-z_1} \cdot w_{1\sigma 12} \sigma_{12}^2 e^{-z_{02}} y_K +$$

$$+ w_{1\sigma 22} \sigma_{22}^2 e^{-z_2} \cdot w_{2\sigma 12} \sigma_{12}^2 e^{-z_{02}} y_K;$$

$$\frac{\partial \alpha}{\partial w_{03yk}} = w_{1\sigma 21} \sigma_{21}^2 e^{-z_1} \cdot w_{1\sigma 13} \sigma_{13}^2 e^{-z_{03}} y_K +$$

$$+ w_{1\sigma 22} \sigma_{22}^2 e^{-z_2} \cdot w_{2\sigma 13} \sigma_{13}^2 e^{-z_{03}} y_K;$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \alpha}{\partial w_{04yk}} &= w_{1\sigma 21} \sigma_{21}^2 e^{-z_1} \cdot w_{1\sigma 14} \sigma_{14}^2 e^{-z_{04}} y_K + \\ &+ w_{1\sigma 22} \sigma_{22}^2 e^{-z_2} \cdot w_{2\sigma 14} \sigma_{14}^2 e^{-z_{04}} y_K; \\ \frac{\partial \alpha}{\partial w_{05yk}} &= w_{1\sigma 21} \sigma_{21}^2 e^{-z_1} \cdot w_{1\sigma 15} \sigma_{15}^2 e^{-z_{05}} y_K + \\ &+ w_{1\sigma 22} \sigma_{22}^2 e^{-z_2} \cdot w_{2\sigma 15} \sigma_{15}^2 e^{-z_{05}} y_K; \\ \frac{\partial \alpha}{\partial w_{06yk}} &= w_{1\sigma 21} \sigma_{21}^2 e^{-z_1} \cdot w_{1\sigma 16} \sigma_{16}^2 e^{-z_{06}} y_K + \\ &+ w_{1\sigma 22} \sigma_{22}^2 e^{-z_2} \cdot w_{2\sigma 16} \sigma_{16}^2 e^{-z_{06}} y_K; \\ \frac{\partial \beta}{\partial w_{01yk}} &= w_{2\sigma 21} \sigma_{21}^2 e^{-z_1} \cdot w_{1\sigma 11} \sigma_{11}^2 e^{-z_{01}} y_K + \\ &+ w_{2\sigma 22} \sigma_{22}^2 e^{-z_2} \cdot w_{2\sigma 11} \sigma_{11}^2 e^{-z_{01}} y_K; \\ \frac{\partial \beta}{\partial w_{02yk}} &= w_{2\sigma 21} \sigma_{21}^2 e^{-z_1} \cdot w_{1\sigma 12} \sigma_{12}^2 e^{-z_{02}} y_K + \\ &+ w_{2\sigma 22} \sigma_{22}^2 e^{-z_2} \cdot w_{2\sigma 12} \sigma_{12}^2 e^{-z_{02}} y_K; \\ \frac{\partial \beta}{\partial w_{03yk}} &= w_{2\sigma 21} \sigma_{21}^2 e^{-z_1} \cdot w_{1\sigma 13} \sigma_{13}^2 e^{-z_{03}} y_K + \\ &+ w_{2\sigma 22} \sigma_{22}^2 e^{-z_2} \cdot w_{2\sigma 13} \sigma_{13}^2 e^{-z_{03}} y_K; \\ \frac{\partial \beta}{\partial w_{04yk}} &= w_{2\sigma 21} \sigma_{21}^2 e^{-z_1} \cdot w_{1\sigma 14} \sigma_{14}^2 e^{-z_{04}} y_K + \\ &+ w_{2\sigma 22} \sigma_{22}^2 e^{-z_2} \cdot w_{2\sigma 14} \sigma_{14}^2 e^{-z_{04}} y_K; \\ \frac{\partial \beta}{\partial w_{05yk}} &= w_{2\sigma 21} \sigma_{21}^2 e^{-z_1} \cdot w_{1\sigma 15} \sigma_{15}^2 e^{-z_{05}} y_K + \\ &+ w_{2\sigma 22} \sigma_{22}^2 e^{-z_2} \cdot w_{2\sigma 15} \sigma_{15}^2 e^{-z_{05}} y_K; \\ \frac{\partial \beta}{\partial w_{06yk}} &= w_{2\sigma 21} \sigma_{21}^2 e^{-z_1} \cdot w_{1\sigma 16} \sigma_{16}^2 e^{-z_{06}} y_K + \\ &+ w_{2\sigma 22} \sigma_{22}^2 e^{-z_2} \cdot w_{2\sigma 16} \sigma_{16}^2 e^{-z_{06}} y_K; \\ \frac{\partial \alpha}{\partial w_{1\sigma 11}} &= w_{1\sigma 21} \sigma_{21}^2 e^{-z_1} \cdot \sigma_{11}; \\ \frac{\partial \alpha}{\partial w_{1\sigma 12}} &= w_{1\sigma 21} \sigma_{21}^2 e^{-z_1} \cdot \sigma_{12}; \\ \frac{\partial \alpha}{\partial w_{1\sigma 13}} &= w_{1\sigma 21} \sigma_{21}^2 e^{-z_1} \cdot \sigma_{13}; \\ \frac{\partial \alpha}{\partial w_{1\sigma 14}} &= w_{1\sigma 21} \sigma_{21}^2 e^{-z_1} \cdot \sigma_{14}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \alpha}{\partial w_{1\sigma 15}} &= w_{1\sigma 21} \sigma_{21}^2 e^{-z_1} \cdot \sigma_{15}; \\ \frac{\partial \alpha}{\partial w_{1\sigma 16}} &= w_{1\sigma 21} \sigma_{21}^2 e^{-z_1} \cdot \sigma_{16}; \\ \frac{\partial \beta}{\partial w_{1\sigma 11}} &= w_{2\sigma 21} \sigma_{21}^2 e^{-z_1} \cdot \sigma_{11}; \\ \frac{\partial \beta}{\partial w_{1\sigma 12}} &= w_{2\sigma 21} \sigma_{21}^2 e^{-z_1} \cdot \sigma_{12}; \\ \frac{\partial \beta}{\partial w_{1\sigma 13}} &= w_{2\sigma 21} \sigma_{21}^2 e^{-z_1} \cdot \sigma_{13}; \\ \frac{\partial \beta}{\partial w_{1\sigma 14}} &= w_{2\sigma 21} \sigma_{21}^2 e^{-z_1} \cdot \sigma_{14}; \\ \frac{\partial \beta}{\partial w_{1\sigma 15}} &= w_{2\sigma 21} \sigma_{21}^2 e^{-z_1} \cdot \sigma_{15}; \\ \frac{\partial \beta}{\partial w_{1\sigma 16}} &= w_{2\sigma 21} \sigma_{21}^2 e^{-z_1} \cdot \sigma_{16}. \end{aligned}$$

Аналогічним чином було визначено всі похідні для всіх вагових коефіцієнтів.

На Рис. 5 зображено блок-схему розрахунку методом градієнтного спуску.

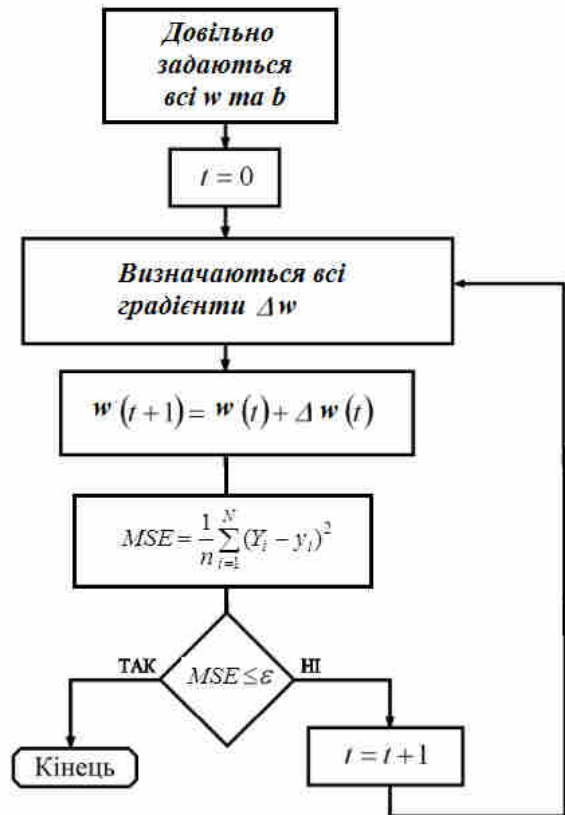


Рис. 5. Блок-схема розрахунку за алгоритмом градієнтного спуску

Fig. 5. Block diagram of the calculation of the gradient descent algorithm

В Табл. 1 для дволанкового маніпулятора з параметрами $L_1 = 3$ м та $L_2 = 2$ м представлено вибірку даних визначених на основі рівнянь (1) та (2) при рівномірній зміні кутів повороту ланок.

На Рис. 6 показано результат моделювання роботи нейронної мережі для розглянутого маніпулятора при різних кількостях ітерацій прорахунку вагових коефіцієнтів моделі методом градієнтного спуску. Як видно з графіків на Рис. 6, результати моделювання починають набувати задовільний характер – тобто середньоквадратичне відхилення приймає мінімальне значення лише при кількості ітерацій прорахунку більше 4000.

За результатами попереднього теоретичного дослідження можна зробити висновок, що для даної моделі необхідно додатково розробити ряд критеріїв за якими уточнюватимуться функції градієнтів.

Також необхідно в подальшому обґрунтувати структуру нейронної мережі та кількість активних нейронів.

Таблиця 1. Вибірка для навчання нейронної мережі

Table 1. Sampling for neural network training

№ п.п.	α , град	β , град	x_K , м	y_K , м
0	0	10	1,030	-0,347
1	5	15	1,109	-0,423
2	10	20	1,222	-0,479
3	15	25	1,366	-0,509
4	20	30	1,534	-0,506
5	25	35	1,719	-0,464
6	30	40	1,914	-0,379
7	35	45	2,110	-0,249
8	40	50	2,298	-0,072
9	45	55	2,469	0,152
10	50	60	2,612	0,419
11	55	65	2,721	0,725
12	60	70	2,786	1,066
13	65	75	2,800	1,433
14	70	80	2,758	1,819
15	75	85	2,656	2,214
16	80	90	2,491	2,607
17	85	95	2,261	2,989
18	90	100	1,970	3,347



Рис. 6. Графік-порівняння теоретичних даних з результатами моделювання нейронної мережі для переміщення по координаті x_K при різних кількостях ітерацій

Fig. 6. Graph-comparison of theoretical data with the results of modeling a neural network to move in the coordinate x_K at different amounts of iterations

ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ

Для практичної реалізації досліджуваної нейронної мережі було застосовано програмний комплекс Microsoft Visual Programming Language 2008 R3 (MVPL 2008 R3) [16] в якому було побудовано програму керування віртуальним антропоморфним роботом-маніпулятором KUKA LBR3 [17]. На Рис. 7 показано демонстраційну модель діаграми нейронної мережі, яка використовується для керування роботом і в якій на вхід подаються дані з координатами, а на виході отримують кути повороту ланок.

На Рис. 8 та Рис. 9 показано діаграми функцій суматорів, що передаються на вхід нейрона, діаграма якого була розроблена та

зображена на Рис. 10.

Розглянута схема нейронної мережі застосовувалася для віртуалізації даних [18] в програмі керування роботом KUKA LBR3 Arm, яка також реалізована в системі MVPL 2008 R3.

Тестування експериментальної моделі даної нейронної мережі було також реалізовано на колісному автомобілі-роботі (Рис. 11), який приймав участь у змаганнях на міжнародній олімпіаді RoboRace з командою KNUCARobotic в складі Слюсара В., Коробенко Я., Міщука Д. На базі даної моделі перевірялися дві гіпотези функціонування нейронної мережі, а саме:

1 – чи може нейронна мережа бути універсальною як для маніпулятора так і для

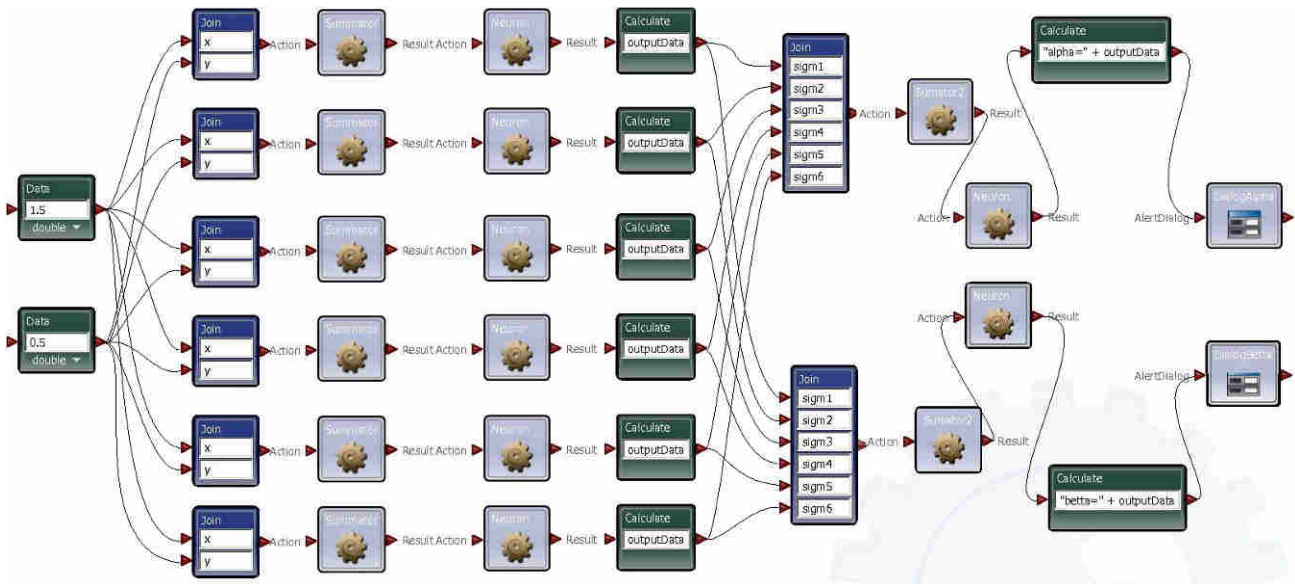


Рис. 7. Діаграма моделі нейронної мережі в програмі MVPL 2008 R3

Fig. 7. Diagram of model of neural measure in the program MVPL 2008 R3

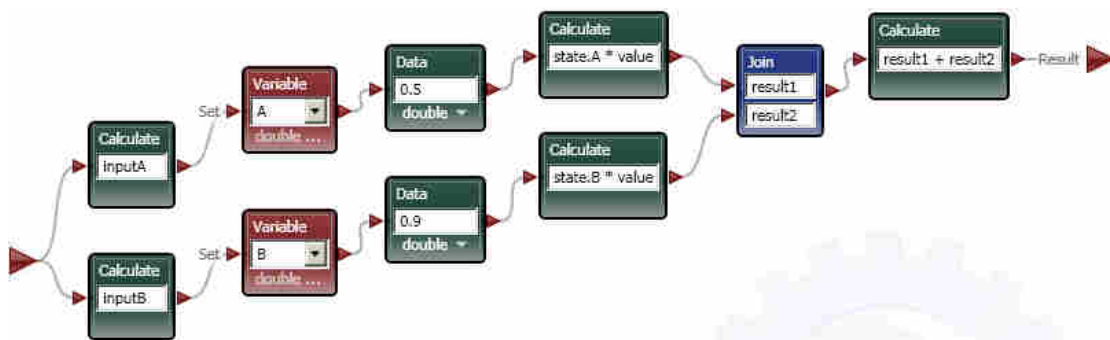


Рис. 8. Модель-діаграма суматора для двох вхідних сигналів без зміщення

Fig. 8. Model diagram of the adder for two input signals

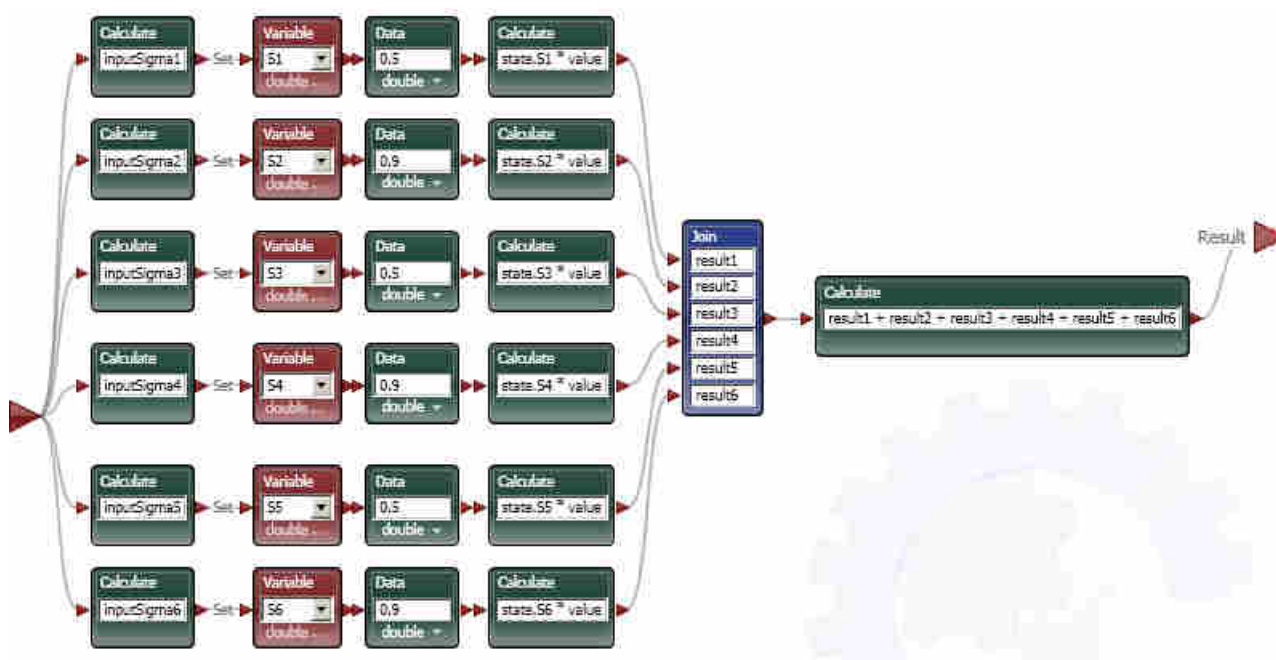


Рис. 9. Модель-діаграма суматора для шести вхідних сигналів без зміщення

Fig. 9. Model diagram of the adder for the six input signals



Рис. 10. Модель нейрона в програмі MVPL 2008 R3

Fig. 10. Model of a neuron in MVPL 2008 R3

транспортного робота;

2 – як швидко й точно буде навчатися нейронна мережа на колісному роботі, якщо дані навчання будуть постійно оновлюватися.

Для збору даних застосовувалися два ультразвукові та один лазерний датчики відстані. Основою для керування прийнято плату Arduino Mega та розроблений драйвер двигунів на базі одного механічного реле та транзисторів. Для повороту передніх коліс застосовувався сервопривід з переробленою рейкою повороту. Керування розглянутої системи автомобіля виконувалося за рахунок повороту передніх коліс та подачі живлення на двигун переміщення. В систему повороту передніх коліс було інтегровано нейронну мережу прийняття рішення повороту вліво або вправо від центральної повздовжньої вісі автомобіля. На

вхід системи подавалися дані про перешкоди ліворуч та праворуч. Центральний лазерний датчик перешкод, який реагував на пряму перешкоду перед автомобілем в нейронну мережу не підключався і застосовувався як джерело сигналу для зупинки автомобіля.

ВИСНОВКИ

В процесі виконання досліджень було вивчено структуру нейронних мереж та проаналізовано методики їх синтезу на основі чого було спроектовано власну нейронну мережу робота.

Нейронна мережа є ефективним засобом для прогнозування, проте для точної роботи потрібне тривале налаштування її параметрів.

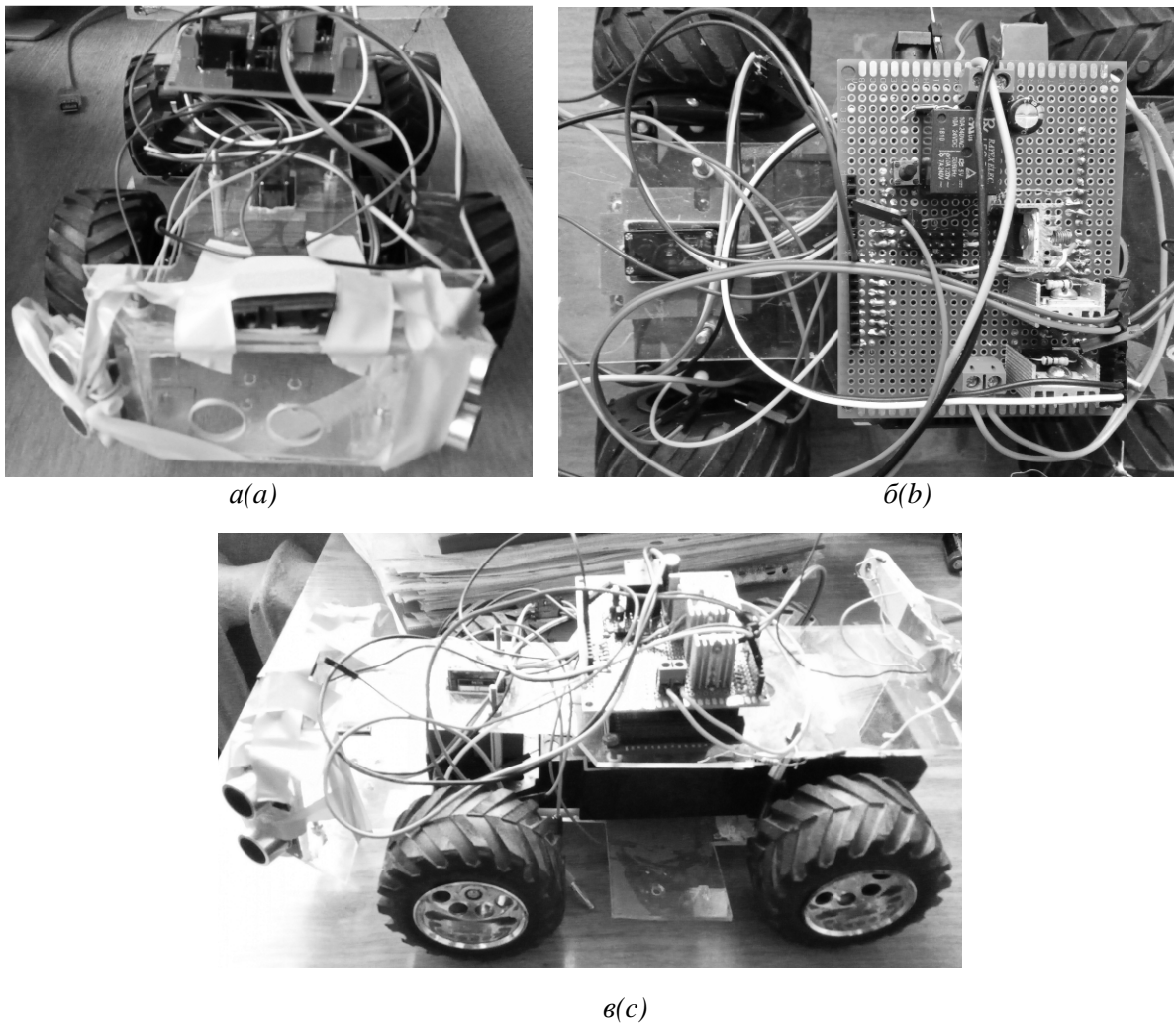


Рис. 11. Дослідна модель автомобільного робота: *a* – передня частина зі встановленими датчиками; *б* – вид зверху плати керування; *в* – загальний вид

Fig. 11. Experimental model of automotive robot: *a* – front part with installed sensors; *b* – top view of the control board; *c* – a general view

У подальших дослідженнях планується дослідити методи швидкого пошуку параметрів нейронної мережі з застосування оптимізаційних задач.

Застосування системи керування з нейронною архітектурою може значно спростити систему керування робота з шарнірно-зчленованою стрілою-маніпулятором, проте така система потребуватиме застосування якісної апаратної частини, зокрема обчислювального комп'ютера оскільки використання мікроконтролерного керування призводитиме до його перевантаження, що було виявлено під час тестування на дослідному автомобільному роботі з контролером Arduino Mega.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Спыну Г. А.** Промышленные роботы. Конструирование и применение: Учеб. Пособие. – 2е изд., перераб. и доп. / Г. А. Спыну. – К.: Выща шк., 1991. – 331 с.
2. **LaValle S. M.** Planning algorithms. – Cambridge university press / S. M. LaValle – 2006. – P. 1007.
3. **Stilman M. et al.** Manipulation planning among movable obstacles / M. Stilman // Robotics and Automation 2007 IEEE International Conference on. – IEEE, 2007. – P. 3327-3332.
4. **Hirano Y., Kitahama K., Yoshizawa S.** Image-based object recognition and dexterous hand/arm motion planning using rrts for grasping in cluttered scene // Intelligent Robots and

- Systems, 2005.(IROS 2005). 2005 IEEE/RSJ International Conference on. – IEEE, 2005. – P. 2041-2046.
5. **Ловейкін В. С.** Оптимізація режимів зміни вильоту маніпулятора з гідроприводом. Монографія / В. С. Ловейкін, Д. О. Міщук. – К.: ЦП «Компринт», – 2013. – 206 с.
 6. **Wu, Q. C., Wang, X. S., Chen, B., & Wu, H. T.** Development of an RBFN-based neural-fuzzy adaptive control strategy for an upper limb rehabilitation exoskeleton. *Mechatronics*, - 2018. – 53. – P. 85-94. <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2018.05.014>.
 7. **Bingul Z., Ertunc H. M., Oysu C.** Applying neural network to inverse kinematic problem for 6R robot manipulator with offset wrist // *Adaptive and Natural Computing Algorithms*. – Springer, Vienna, 2005. – P. 112-115.
 8. **Köker R., Çakar T., Sari Y.** A neural-network committee machine approach to the inverse kinematics problem solution of robotic manipulators // *Engineering with Computers*. – 2014. – Vol. 30. – No. 4. – P. 641-649.
 9. **Karlik B., Aydin S.** An improved approach to the solution of inverse kinematics problems for robot manipulators // *Engineering applications of artificial intelligence*. – 2000. – Vol. 13. – No. 2. – P. 159-164.
 10. **Feng Y., Yaonan W., Yimin Y.** Inverse kinematics solution for robot manipulator based on neural network under joint subspace // *International Journal of Computers Communications & Control*. – 2014. – Vol. 7. – No. 3. – P. 459-472.
 11. **Birbil Ş. İ., Fang S. C.** An electromagnetism-like mechanism for global optimization // *Journal of global optimization*. – 2003. – Vol. 25. – No. 3. – P. 263-282.
 12. **Parker J. K., Khoogar A. R., Goldberg D. E.** Inverse kinematics of redundant robots using genetic algorithms // *Robotics and Automation, 1989. Proceedings., 1989 IEEE International Conference on*. – IEEE, 1989. – P. 271-276.
 13. **Momani S., Abo-Hammour Z. S., Alsmadi O. M. K.** Solution of inverse kinematics problem using genetic algorithms // *Applied Mathematics & Information Sciences*. – 2016. – T. 10. – No. 1. – P. 225.
 14. **Graca Marcos M., Machado J. A. T., Azevedo-Perdicoulis T. P.** Trajectory planning of redundant manipulators using genetic algorithms // *Communications in nonlinear science and numerical simulation*. – 2009. – Vol. 14. – No. 7. – P. 2858-2869.
 15. **Міщук Д. О.** Кінематичний аналіз маніпуляційної системи будівельного робота / Д. О. Міщук // *Вестник Харьковського національного автомобільно-дорожного університета*. - 2014. - Вып. 65-66. - С. 90-96.
 16. **Міщук Д. О.** Розробка системи керування будівельного робота із застосуванням технологій «Microsoft robotic studio». II Міжнародна науково-технічна конференція «Енергоощадні машини і технології», Київ, КНУ-БА, – 29 вересня - 1 жовтня. – 2015. – С. 47.
 17. **Міщук Д.** Модульний принцип побудови будівельного робота / Д. Міщук, В. Воляннюк, Є. Горбатюк. // *Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини*. – №89. – 2017. – С. 90-97.
 18. **Ловейкін В. С.** Математичне моделювання зміни вильоту вантажу маніпулятором з гідроприводом / В. С. Ловейкін, Д. О. Міщук // *Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини*. – №79. – 2012. – С. 9-15.

REFERENCES

1. **Spiny G. A.** (1991). *Promyshlenye roboty. Konstruirovaniye i primeneniye [Industrial robots. Design and Application]*. Kyiv, Vysha shk. Publ., 331. – (in Russian)
2. **LaValle S. M.** (2006). *Planning algorithms*. Cambridge university press, 1007.
3. **Stilman M. et al.** Manipulation planning among movable obstacles. *Robotics and Automation. (2007) IEEE International Conference on., IEEE, 3327-3332*.
4. **Hirano Y., Kitahama K., Yoshizawa S.** Image-based object recognition and dexterous hand/arm motion planning using rrts for grasping in cluttered scene. *Intelligent Robots and Systems, (IROS 2005). (2005) IEEE/RSJ International Conference on., IEEE, 2041-2046*.
5. **Lovejkin V. S., Mishuk D. O.** (2013). *Optimizaciya rezhimiv zmini vilotu manipulyatora z gidroprivodom. Monografiya. [The optimization modes of change departure the manipulator with hydraulic drive. Monograph]*. Kyiv, CP Komprint Publ., 206.
6. **Wu, Q. C., Wang, X. S., Chen, B., & Wu, H. T.** (2018). Development of an RBFN-based neural-fuzzy adaptive control strategy for an upper limb rehabilitation exoskeleton. *Mechatronics*, 53, 85-94. <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2018.05.014>.
7. **Bingul Z., Ertunc H. M., Oysu C.** Applying neural network to inverse kinematic problem for 6R robot manipulator with offset wrist.

- Adaptive and Natural Computing Algorithms. (2005). Springer, Vienna, 112-115.
8. **Koker R., Cakar T., Sari Y.** (2014). A neural-network committee machine approach to the inverse kinematics problem solution of robotic manipulators. *Engineering with Computers*, Vol.30, No. 4, 641-649.
 9. **Karlik B., Aydin S.** (2000). An improved approach to the solution of inverse kinematics problems for robot manipulators. *Engineering applications of artificial intelligence*, Vol.13, No.2, 159-164.
 10. **Feng Y., Yaonan W., Yimin Y.** (2014). Inverse kinematics solution for robot manipulator based on neural network under joint subspace. *International Journal of Computers Communications & Control*, Vol.7, No.3, 459-472.
 11. **Birbil S. I., Fang S. C.** (2003). An electromagnetism-like mechanism for global optimization. *Journal of global optimization*, Vol.25, No.3, 263-282.
 12. **Parker J. K., Khoogar A. R., Goldberg D. E.** Inverse kinematics of redundant robots using genetic algorithms. *Robotics and Automation, Proceedings, (1989) IEEE International Conference on.*, IEEE, 271-276.
 13. **Momani S., Abo-Hammour Z. S., Alsmadi O. M. K.** (2016). Solution of inverse kinematics problem using genetic algorithms. *Applied Mathematics & Information Sciences*, Vol.10, No.1, 225.
 14. **Graca Marcos M., Machado J.A.T., Azevedo-Perdicoulis T. P.** (2009). Trajectory planning of redundant manipulators using genetic algorithms. *Communications in non-linear science and numerical simulation*, Vol.14, No.7, 2858-2869.
 15. **Mishuk D. O.** (2014). Kinematicnij analiz mani-pulyacijnoyi sistemi budivelnogo robota [Kinematic analysis of the manipulation system of a construction robot]. *Vestnik Harkovskogo nacionalnogo avtomobilno-dorozhnogo universiteta*, Vol. 65-66, 90-96. – (in Ukrainian).
 16. **Mishuk D. O.** Development of control system for construction robot using technologies “Microsoft robotic studio”. II International scientific and technical conference “Energy-saving machines and technologies”, September 29 - October 1, (2015). Kyiv, KNUCA, 47. – (in Ukrainian).
 17. **Mischuk D., Voliyanuk V., Gorbatyk Eu.** (2017). The module design of construction robot. *Girnichy, budivel'ni, dorozhni ta meliorativni mashini [Mining, construction, road and reclamation machines]*, No. 89, 90-97. – (in Ukrainian).
 18. **Lovejkin V. S., Mischuk D. A.** (2012). Matematichne modeljuvannja zmini vil'otu vantazhu manipuljatorom z gidroprivodom [Mathematical modeling of changes in cargo flight with hydraulic manipulator]. *Girnichy, budivel'ni, dorozhni ta meliorativni mashini [Mining, construction, road and reclamation machines]*, No. 79, 9-15. – (in Ukrainian).

Development of the concept of control system work for plaster works based on neural network

Dmitry Mishchuk¹, Andriy Boychenko²

*Kyiv National University of
Construction and Architecture*

Abstract. Preparation of mortar, its submission to the place of work and application to the surface is efficiently carried out by means of automated mechanical systems in tandem with concrete pumps combined with plastering machine units. The technical consistency and competitiveness of robotic plastering stations largely depends on the accepted kinematic models of the plastering robot being developed and the development of advanced control systems based on them. Simple kinematic circuits generate simple design solutions that are quickly prototyped and of low cost, but because of their design imperfection, these solutions are commonly used for limited production processes, have low precision and primitive control systems, which do not allow for deep automation production. Complex kinematic circuits of robots allow them to be used as a versatile tool in many stages of construction, but such design solutions require the creation of sophisticated control systems.

The use of a neural network allows the architecture of the robot control system to be compromised, making it a versatile robot for performing various technological procedures, but requires a clear algorithm for describing the mathematical model of work and its training.

This study proposes a mathematical model of a neural network based on a sigmoidal activation function for a two-link manipulator.

Keywords: building robot, control system, neural network, sigmoid function, robot learning, gradient descent.

Проведено V міжнародну конференцію з трансферу інноваційних технологій

Михайло Сукач

Київський національний університет будівництва і архітектури
Повітрофлотський проспект 31, Київ, Україна, 03037
msukach@ua.fm, <https://orcid.org/0000-0003-0485-4073>

Received on 02.06.2019; Accepted: 20.06.2019
<https://doi.org/10.32347/gbdmm2019.93.0601>

Анотація. Продовжуючи традицію проведення міжнародних конференцій в Київському національному університеті будівництва і архітектури 22-23.05.2019 відбувся черговий форум, який цього року змінив свою назву на *Transfer of Innovative Technologies (Underwater Technologies)*. Основну увагу було прикуто інтеграції вітчизняних та закордонних фахівців в розробці теорії, проведенні досліджень, створенні нової техніки і технологій, застосуванні новітніх енергоощадних екологічно безпечних технологій. Розглядалися оригінальні ідеї, пропозиції, нестандартні рішення, креативні проекти. Запропоновано нові методи дослідження та прогнозування властивостей матеріалів, конструкцій, технологічних процесів, інноваційні підходи щодо проектування, виробництва і

експлуатації промислових, цивільних об'єктів, інфраструктури, проблеми енергетики, екології, комп'ютерні та інформаційні технології. Представлено оригінальні роботи й авторитетні огляди з інноваційних технологій у будівництві, архітектурі, інших галузях науки і техніки (<http://library.knuba.edu.ua/ode/37841>).

Ключові слова: міжнародна конференція, трансфер інноваційних технологій, конкурсна програма, презентація, препринт стаття.

В Київському національному університеті будівництва і архітектури 22-23.05.2019 відбувся черговий форум, який цього року змінив свою назву на *Transfer of Innovative Technologies (Underwater Technologies)*. Основну увагу було прикуто інте-



Рис. 1. Запрошення до конференції
Fig. 1. Invitation to the conference



Рис. 2. Програма V TIT 2019
Fig. 2. Program of the V TIT 2019

грації вітчизняних та закордонних фахівців в розробці теорії, проведенні досліджень, створенні нової техніки і технологій, застосуванні новітніх енергоощадних екологічно безпечних технологій (Рис.1, 2). Розглядалися оригінальні ідеї, пропозиції, нестандартні рішення, креативні проекти. Запропоновано нові методи дослідження та прогнозування властивостей матеріалів, конструкцій, технологічних процесів, інноваційні підходи щодо проектування, виробництва і експлуатації промислових, цивільних об'єктів, інфраструктури, проблеми енергетики, екології, комп'ютерні та інформаційні технології. Представлено оригінальні роботи й авторитетні огляди з інноваційних технологій у будівництві, архітектурі, інших галузях науки і техніки (<http://library.knuba.edu.ua/ode/37841>).

Конференція проходила за трьома секціями: *Архітектура, Інфраструктура* (керівник народний архітектор України, д-р архітектури, проф. Тамара Панченко); *Будівництво, Інженерія* (керівник академік Національної академії педагогічних наук України, д.т.н., проф. Віктор Баженов); *Інформаційні технології* (керівник чл.-кор. Національної академії наук України, д.т.н., проф. Олександр Трофимчук). Під час її роботи розгорнуто виставку публікацій за тематикою.

Форми участі: очна (проект, презентація), заочна (стендова доповідь, реклама), online (skype зв'язок, повідомлення), публікація (в міжнародних наукових журналах). На обговорення конференції винесено результати конкурсної програми за номінаціями: *Презентація, Інноваційний проект, Публікація*. Учасники конференції отримали *Сертифікати*, найактивніші – *Подяки*, переможці конкурсів – *Дипломи* за відповідними категоріями.

До організаційного комітету надійшло понад сотню заявок, у тому числі із-за кордону – з Польщі, Литви, Білорусі, Австралії, Китаю. Протягом двох днів заслухано понад 40 доповідей та інноваційних проєктів, зокрема англійською та польською мовами. Розглянуто та обговорено матеріали 4

докторських і декількох PhD дисертацій.

Підбито підсумки конкурсної програми за номінаціями: *Презентація, Інноваційний проєкт, Публікація*. До конкурсів допущено 15 робіт (по 5 за кожною категорією). Кращі з них рекомендовані до публікації в міжнародних наукових журналах *Підводні технології: промислова та цивільна інженерія* і *Transfer of Innovative Technologies*. Під час проведення форуму було розгорнуто виставку публікацій за тематикою.

Відкрив конференцію д.т.н., проф. Михайло Сукач, який передав привітання до її учасників від ректора КНУБА проф. Петра Кулікова, проректорів з наукової роботи проф. Віталія Плоского і з науково-педагогічної роботи та міжнародних зв'язків проф. Володимира Ткаченка, а також директора представництва Польської Академії Наук в Києві prof. Henryka Sobczuka (Рис.3).

На пленарному засіданні виступили президент Академії будівництва України проф. Іван Назаренко і проректор КНУБА з навчально-методичної роботи проф. Геннадій Тонкачев, які зупинились на проблемах освіти і науки в сучасних умовах розвитку інноваційних технологій. Dziekan wydziału organizacji i zarządzania Politechnika Śląska (Zabrze, Polska) dr hab. inż. prof. Krzysztof Wodarski поділився досвідом освіти в області управління інноваціями на прикладі технічного університету в Польщі.

Професори Олександра Рубанець (НТУ Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського) розповіла про концептуалізацію основних характеристики інформаційних технологій в науковому дискурсі, а Олена Борзенко (Інститут економіки та прогнозування НАН України) – про вплив урбанізації на економічну, соціальні сферу та негативні наслідки урбанізації.

Спільну доповідь англійською мовою на тему «An analysis of the synchronization process of two neural networks based on the algebra of complex numbers» представили Pavel Urbanovich, Ivan Viryuk з Білоруського державного університету (Мінськ) та Marcin Plonkowski з Католицького університету (Lublin, Poland). Проблеми



Рис. 3. Відкриття конференції (Володимир Мусійко, Михайло Сукач, Геннадій Тонкачев, Krzysztof Wodarski)

Fig. 3. Opening of the conference (Vladimir Musijko, Mikhailo Sukach, Gennady Tonkacheev, Krzysztof Wodarski)

створення та виробництва універсальних землерийних і дорожніх машин розкрив проф. Володимир Мусійко із Національного транспортного університету (Рис.4).

У секційних засіданнях №1 приймали участь провідні фахівці з Архітектури та Інфраструктури – Тамара Панченко, Віктор Яценко, Віктор Тімохін, Надія Шебек і Ві-

талій Чернятевич, Валерій Товбич і Галина Кравчук. Інноваційні ідеї розглянуто в матеріалах Маргарити Дідіченко, Ірини Булах.

Представники Сілезької політехніки (Забже, Польща), заступник декана факультету організації та менеджменту проф. Aleksandra Kuzior і професор Katarzyna Dohn презен-



Рис. 4. Учасники конференції
Fig. 4. Conference participants

тували свої доповіді за темами «Bariery w rozwoju transportu intermodalnego w obszarach transgranicznych» та «Innowacyjne narzędzia zarządzania smart city». Докторську дисертацію апробував к.т.н., доцент Олексій Приймаченко, надали свої матеріали Микола Осетрін і Олексій Дворніченко, Ганна Васильєва, Ольга Петруня (КНУБА), Олександр Будя (Державний коледж туризму та господарства (Особливості впровадження в Україні інноваційних технологій глобальної дистрибуції послуг та логістики), Dmytrii Kokarev (компанія «Амкортек Україна», Ашдод, Ізраїль), Олександр Кобзар (ТОВ «УкрНПЦивільбуд»), Андрій Голуб (представник чеської компанії “Inspireli Awards” в Україні, Прага), а також 28 студентів, магістрантів і аспірантів з університетів та виробничих установ.

На секції № 2 (Будівництво, Інженерія) докторські дисертації представляли доценти Володимир Супонев з Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, Олег Мачуга з Національного лісотехнічного університету України, Лідія Дзюба з НЛТУ України, Львів. Прийняли участь в конференції фахівці з Китаю: Wenhong Li, Jiayou Wang, Jianxin Wang (School of Materials Science and Engineering, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang, Jiangsu Province, PR China), спів-

робітники Інституту електрозварювання імені Є.О.Патона Володимир Сидорук, Сергій Максимов, Денис Крижановський та Анатолій Гаврилюк (Розробка способу стабілізації процесу дугового зварювання електродом, які плавляться, та інших споріднених процесів), Володимир Лебедев, Геннадій Жук, Володимир Пичак (Вирішення проблем підводного механізованого і автоматичного зварювання мокрим способом різних металоконструкцій).

Результатами інноваційних досліджень поділилися співробітники Інституту гідромеханіки НАН України Євген Горбатенко та Ірина Братасюк; професор Леонід Дворкін разом з Вадимом Житковським і Юрієм Степанюком з Національного університету водного господарства та природокоористування (Рівне); Микола Гарницький (Міжгалузеве науково-технічне підприємство «Лана»). Низку доповідей з проектування та управління підводними апаратами презентували фахівці з Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, Національного транспортного університету – про особливості конструювання та експлуатації універсальних земельних машин. Доцент Володимир Рашківський разом із Геннадієм Тонкачевим поділились досвідом зведенням вертикальних будівельних монолітних конструкцій само-



Рис. 5. Переможці конкурсів (Олексій Приймаченко, Володимир Супонев, Тамара Панченко)
Fig. 5. Winners of competitions (Olexiy Pryimachenko, Vladimir Suponev, Tamara Panchenko)

підйомною опалубною системою, проф. Михайло Сукач обґрунтував розрахунок нового виду пружних елементів – скобоподібних пластинчастих ресор, а Іван Солодей, Максим Вабіщевич і Руслан Стригун (КНУБА) розказали про застосування напіваналітичного методу скінчених елементів для дослідження динамічного деформування системи тіл з урахуванням великих пластичних деформацій.

Більшість презентацій стосувалась новітніх розробок і пропозицій в царині математичного моделювання та визначення параметрів робочих процесів будівельних машин і обладнання, застосування новітніх розробок з матеріалів і конструкцій машин, проектування приводів і робочих органів машин, дослідження експлуатаційних характеристик, сервісного обслуговування техніки, оцінки ефективності застосування машин, інноваційних розробок із забезпечення якості виробництва машинобудівної продукції, сертифікації продукції та ін. Д.х.н., проф. Віктор Малишев, разом із колегами Д.Б. Шахнінін і А.І. Габом (Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна») презентували нові електрохімічні технології одержання та регенерації вольфраму з йонних розплавів, а також нові електрохімічні технології нанесення композитних гальванічних покриттів.

До роботи секції №3 (Інформаційні технології) також залучено іноземних гостей: ScD, prof. Pavel Urbanovich, Evgeniya Blinova, Nadzeya Shutko, Artciom Sushchenia (Belarusian State Technological University, Minsk) з доповіддю «Copyright protection for textual and graphical electronic content using stegano-graphy methods», prof. Lilla Knop (Wydział Organizacji i Zarządzania Politechniki Śląskiej, Zabrze, Polska) – «Intelligentne specjalizacje w procesie rozwoju innowacji w regionie». Учасник із Австралії PhD of Math. and Phys., Snr.Res. Ass. Vladislav Bogdanov (Progressive Research Solutions Pty. Ltd., Sydney) підтримав аудиторію доповіддю «Impact a circular cylinder with a flat on an elastic layer», викладачка Київської гімназії східних мов №1 Vira Chzhen поділилась інноваційними техноло-

гіями у навчанні китайською мовою, а Вікторія Кондратенко (Інститут кібернетики НАН України) міркуванням про математичне моделювання функціональних елементів психіки людини.

Професори Валерій Гавриленко (НТУ) і Анатолій Обшта (Національний університет «Львівська політехніка») повідомили про «Decomposition of operator equations based on aggregation-iterative approach», Наталія Зубрецька і Сергій Федін (НТУ) – про моделювання системи нечіткого логічного управління точністю та стабільністю технологічних процесів механічної обробки деталей; Vira Molchanova (Priazovskyi State Technical University SHEI, Mariupol) – про «The methods of homotopic skeletonization of bit-mapped drawings of parts of sea transport», а Максим Омелян (Національний університет державної фіскальної служби України, Ірпінь) – про нормативно-правове регулювання трансферу технологій. Надійшло багато матеріалів від магістрантів Національного транспортного університету, в яких підтверджено високій рівень підготовки й компетентності авторів, професіоналізм та обізнаність за тематикою власних досліджень.

За рішенням конкурсної комісії переможцями 2019 року визнано: в номінації *Презентація* – Володимира Супонєва (ХНАДУ, Харків) за роботу «Практичне впровадження наукових основ створення ґрунтових порожнин установками статичної дії для прокладання інженерних комунікацій»; в номінації *Інноваційний проект* – Олексія Приймаченка (КНУБА) за роботу «Дослідження планувальних рішень розташування вулично-дорожньої мережі на розповсюдження шуму»; в номінації *Публікація* – Тамару Панченко (КНУБА) за роботу «Розвиток екологічного туризму в Україні» (Рис.5). Учасники V міжнародної науково-практичної конференції *Transfer of Innovative Technologies 2019* отримали відповідні Сертифікати.

За сприяння трансферу технологій Подяки оргкомітету (Рис.6) отримали ректор КНУБА Петро Куліков, проректори Денис Чернишев, Віталій Плоский; за міжнародну

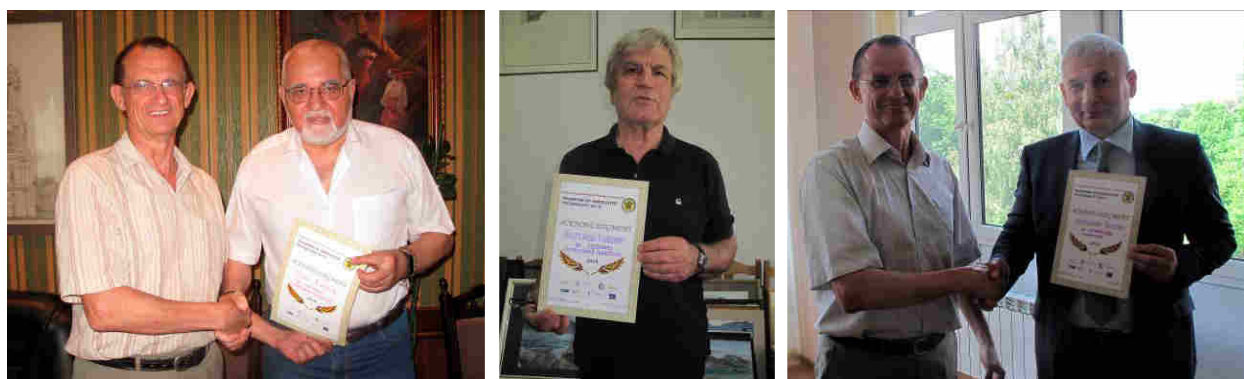


Рис. 6. Подяка організаторам конференції (Петро Куліков, Олександр Кашченко, Володимир Ткаченко)

Fig. 6. Acknowledgments to the conference organizers (Petro Kulikov, Alexander Kashchenko, Vladimir Tkachenko)

співпрацю – проректор Володимир Ткаченко; за підтримку інноваційних технологій – декан архітектурного факультету Олександр Кашченко; за підтримку творчої молоді – завідувачі кафедр Віктор Тімохін, Надія Шебек, Валерій Товбич.

На підтвердження важливості міжнародного співробітництва в галузі вищої освіти і наукової діяльності, під час проведення конференції досягнуто домовленості між КНУБА та Сілезькою політехнікою (Забже, Польща) і Польською Академією Наук (Представництво в Києві) про спільні видання наукових журналів *Transfer of Innovative Technologies* і *Підводні технології: промислова та цивільна інженерія* (Рис.7) й залучення представників цих установ до

складу редколегій.

Підбито підсумки видавничої діяльності. Так, з 2015 року опубліковано 9 випусків журналу *Підводні технології: промислова та цивільна інженерія* і 3 випуски журналу *Transfer of Innovative Technologies*, які стали друкованими органами однойменних міжнародних конференцій. За цей час опубліковано результати наукових досліджень понад 100 авторів, з яких 6 захистили докторські (DSc) і понад півтора десятки – кандидатські (PhD) дисертації. Журнали є фаховими, проіндексовані у 8 наукометричних базах, мають DOI, імпакт-фактор, понад 80 % контенту друкується англійською мовою. Журнали рецензовані, мають міжнародну редакційну раду, персональні



Рис.7. Узгодження співробітництва у видавничій сфері (Aleksandra Kuzior, Henryk Sobczuk)

Fig. 7. Agreement of cooperation in the publishing field (Aleksandra Kuzior, Henryk Sobczuk)



Рис. 8. Делегати міжнародної конференції V TIT 2019
Fig. 8. Delegates of the international conference V TIT 2019

двомовні сайти, дотримуються політики відкритого доступу і з наступного року номінуються до бази Scopus.

Прийнято рішення про проведення наступної міжнародної науково-практичної конференції *Transfer of Innovative Technologies* у травні 2020 року (Рис.8). Оркомітет подякував учасникам за плідну роботу, побажав наснаги й успіхів в подальшій науковій діяльності.

The V International Conference by Transfer of Innovative Technologies was held

Mykhailo Sukach

Kyiv National University of Construction and Architecture

Abstract. Continuing the tradition of holding international conferences at the Kyiv National University of Construction and Architecture, a regular forum was held on May 22-23, 2019, which this year changed its name to Transfer of Innovative Technologies (Underwater Technologies). The main focus was on the integration of domestic and foreign experts in the development of theory, research, creation of new equipment and technologies, the use of the latest energy-saving

environmentally friendly technologies. Original ideas, proposals, non-standard solutions, creative projects were considered. New methods of research and forecasting of properties of materials, constructions, technological processes, innovative approaches to design, production and operation of industrial, civil objects, infrastructure, problems of energy, ecology, computer and information technologies are offered. Original works and authoritative reviews on innovative technologies in construction, architecture, other branches of science and technology (<http://library.knuba.edu.ua/ode/37841>) are presented.

Keywords: international conference, transfer of innovative technologies, competition program, presentation, preprint article.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

1. **Юрій Абрашкевич** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри будівельних машин, Київський національний університет будівництва і архітектури.
2. **Андрій Бойченко** – студент спеціальності «Галузеве машинобудування», Київський національний університет будівництва і архітектури.
3. **Володимир Волянюк** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри будівельних машин, Київський національний університет будівництва і архітектури.
4. **Євгеній Горбатюк** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри будівельних машин, Київський національний університет будівництва і архітектури.
5. **Олег Дедов** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри машин і обладнання технологічних процесів, Київський національний університет будівництва і архітектури.
6. **Олександр Дьяченко** – асистент кафедри машин і обладнання технологічних процесів, Київський національний університет будівництва і архітектури.
7. **Микола Кузьмінець** – доктор технічних наук, завідувач кафедри комп'ютерної, інженерної графіки та дизайну, Національний транспортний університет.
8. **Олександр Марченко** – асистент кафедри будівельних машин, Київський національний університет будівництва і архітектури.
9. **Григорій Мачишин** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри будівельних машин, Київський національний університет будівництва і архітектури.
10. **Дмитро Міщук** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри будівельних машин, Київський національний університет будівництва і архітектури.
11. **Леонід Пелевін** – кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри будівельних машин, Київський національний університет будівництва і архітектури.
12. **Іван Назаренко** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри машин і обладнання технологічних процесів, Київський національний університет будівництва і архітектури.
13. **Михайло Сукач** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри будівельних машин, Київський національний університет будівництва і архітектури.
14. **Анатолій Фомін** – кандидат технічних наук, професор, професор кафедри будівельних машин, Київський національний університет будівництва і архітектури.
15. **Вадим Шаленко** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри основ професійного навчання, Київський національний університет будівництва і архітектури.
16. **Тетяна Щербина** – асистент кафедри будівельних машин, Київський національний університет будівництва і архітектури.

Вимоги наукового фахового журналу "Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини" для публікації статей

Науковий фаховий журнал "Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини" є офіційно зареєстрованим, продовжуваним, рецензованим науковим виданням з відкритим доступом (Свідоцтво про реєстрацію: Серія **КВ № 15433-4005 Р** від **09.07.2009**). Журнал входить до **Переліку наукових фахових видань МОН України з технічних наук**, на підставі Наказу Міністерства освіти та науки України № 693 від 10.05.2017.

Журнал виходить двічі на рік починаючи з 1965 року. Видається Київським національним університетом будівництва і архітектури. Видання включено Міжнародним центром періодичних видань (ISSN International Centre, Paris, France) до міжнародного реєстру періодичних засобів масової інформації з числовим кодом ідентифікації: **ISSN 2312-6590**.

Після рецензування та підтвердження про прийом статей, усі матеріали розміщуються на офіційному веб-сайті журналу <http://gbdmm.knuba.edu.ua/>. Це дозволяє подати звіт в науковий відділ про наявність публікації до виходу pdf-версії і друківаного збірника (автор може використовувати посилання, як підтвердження публікації статті і вказувати її в списку літератури).

Журнал включено до таких наукометричних баз, як: Index Copernicus, Google Scholar, Research Bible, UlrichsWEB, getCITE, JOUR Info та розповсюджується до провідних бібліотек та університетів. Редакційна політика журналу побудована згідно з принципами Європейської асоціації наукових редакторів.

Випускам Міжнародного наукового журналу "Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини" присвоюється ідентифікатор цифрового об'єкта DOI.

Проблематика статей журналу:

- Моделювання робочих процесів машин;
- Гірничі та піднімально-транспортні машини;
- Будівельні машини і технологічне обладнання;
- Землерийні, дорожні та меліоративні машини;
- Автоматизація і інформаційні технології.

В журналі публікуються тільки оригінальні наукові статті. Обсяг статті не повинен перевищувати 12 сторінок (мінімум 8 сторінок), включаючи таблиці та рисунки.

Рукописи приймаються у файлах на USB Flash-накопичувачі або через електронну пошту **gbdmm@ukr.net**. До них додають примірник роздруківки статті обсягом **6...8** сторінок, включаючи літературу, що містить не менше **10** найменувань, **рецензію** та **інформацію про авторів**. Ілюстрації і таблиці за площею не повинні перевищувати **30 %** від загального обсягу статті.

Мова видання: українська або російська або англійська.

Розширена анотація англійською ОБОВ'ЯЗКОВА!!!

ВИМОГИ ДО ПОДАННЯ

Під час подання рукопису до журналу автори повинні підтвердити його відповідність всім встановленим вимогам, вказаним нижче. В разі виявлення невідповідності поданої роботи пунктам цих вимог редакція повертатиме авторам матеріали на доопрацювання.

1. Це подання раніше не було опубліковане і не надсилалося до розгляду редакціям інших журналів.
2. Файл подання є документом у форматі Microsoft Word.

3. Між формулами і текстом залишати один пустий рядок. Формули центрують, а їхню нумерацію форматують по правому боку колонки в дужках.
4. Текст рукопису друкують у 2 колонки шрифтом Times New Roman Cyr розміром 12 з інтервалом 1. Поля сторінки до тексту: зверху 2,5 см; знизу і з обох боків 2 см; абзацний 0,5см; колонтитулів 1см. Ширина колонок 8 см, інтервал між ними 1см. Встановлюють вирівнювання по ширині та автопереноси. Сторінки рукопису у файлі не нумерують. Назви рисунків і таблиць виконують розміром 11 (пояснення до рисунків - 10) і супроводжують англійським перекладом, який розміщують рядком нижче. Всі ілюстрації, графіки та таблиці розміщені безпосередньо у тексті, там, де вони повинні бути за змістом (а не у кінці документа).
5. У кінці статті наводять список літератури (розміром 11), до якого додають транслітерований список.
6. Якщо матеріал подається у рецензований розділ журналу, при оформленні файлу подання слід дотримувати принципів щодо Гарантій сліпого рецензування.
7. Слід уникати застосування громіздкого математичного апарату. Формули набирають в редакторі Eq.3 з параметрами 12-9-7-16-12 (примусова зміна формату не допускається). Центрування формул у тексті виконують табулятором, нумерацію - по правому краю. Не можна використовувати об'єкт «таблиця» для розміщення формул та рисунків.
8. Бібліографічний опис літератури виконують згідно з державним стандартом (приклади див. Бюлетень ВАК України № 5, 2009, С.26-30). Для кожного джерела вказують: прізвище автора, назву, місто і місце видання, рік публікації, кількість сторінок. Перше слово джерела – виділяють курсивом. Посилання на літературу дають у квадратних дужках в порядку посилання. Бібліографічний опис має відповідати титульній сторінці видання. Назви статей, а також монографій, збірників, праць нарад, тезисів доповідей, авторефератів дисертацій вказуються повністю. Для статей обов'язково дається їх назва, назва видання, рік, том, номер, початкова та кінцева сторінки, для монографій – назва, місце видання (місто), видавництво, рік видання, загальна кількість сторінок. В список вносять тільки опубліковані роботи.
9. Заголовок статті (розмір 10), ім'я та прізвища авторів (розмір 10, курсив), місце роботи, контактні дані та анотації (розмір 9, курсив) виконують шрифтом Arial на повну ширину сторінки: по центру дають назву статті (великими напівжирними літерами); рядком нижче по центру – ім'я та прізвище авторів із зазначенням місця і міста роботи авторів та e-mail для зв'язку. Нижче повторюють те саме англійською мовою. Нижче дають анотації українською, російською та англійською мовами з ключовими словами.
10. Об'єм англійської анотації 1500...2000 знаків (250...300 слів), вона не повинна бути копією анотації українською мовою. Структурні частини анотації: purpose (мета статті), methodology/approach (метод або методологія проведення досліджень), findings (результати роботи), research limitations/implications (висновки), originality/value (значення та рекомендації). Викладаючи стисло основні факти роботи, необхідно: дотримуватись хронології статті; використовувати технічну (спеціальну) термінологію, чітко викладати свою думку та не включати неістотних деталей; застосовувати слова «consequently» («отже»), «moreover» («крім того»), «for example» («наприклад»), «as a result» («в результаті»), «the benefits of this study» (перевагами цього є) тощо. Слід використовувати активний, а не пасивний хід викладання думки, тобто «дослідженням перевірено», а не «було перевірено в даному дослідженні» («the study tested», але не «it was tested in this study»). Стиль анотації має бути компактним.

ПРИКЛАДИ ОФОРМЛЕННЯ СПИСКУ ЛІТЕРАТУРИ ЛАТИНИЦЕЮ

Статті з друкованих журналів:

1. **Zagurenko A.G., Korotovskikh V.A., Kolesnikov A.A., Timonov A.V., Kardymon D.V.** (2008). Neftyanoe khozyaistvo Oil Industry, Nr.11, 54-57.
2. **Dyachenko V.D., Krivokolysko S.G., Nesterov V.N., Litvinov V.P.**, (1996). Khim. Geterotsykl. Soedin., no. 9, 1243.

Статті з електронних журналів описуються аналогічно друкованим виданням з додаванням даних про адрес доступу. Статті з електронного журналу:

1. **Swaminathan V., Lepkoswka-White E., Rao B.P.** (1999). Journal of Computer Mediated Communication, Vol. 5, No. 2, available at: www.ascusc.org/jcmc/vol5/issue2/

Матеріали конференцій:

1. **Usmanov T.S., Gusmanov A.A., Mulagalina I.Z., Muhametshina R.Ju., Chervyakova A.N., Sveshnikov A.V.** (2007). Trudy 6 Mezhdunarodnogo Simpoziuma "Novye resursosberegayushchie tekhnologii nedropol'zovaniya i povysheniya neftegazootdachi" [Proc. 6th Int. Technol. Symp. "New energy saving subsoil technologies and the increasing of the oil and gas impact"]. Moscow, 267-272.

Головне в описах конференцій – назва конференції мовою оригінала (у транслітерації, якщо немає її англійської назви), виділене курсивом. У квадратних дужках дається переклад назви англійською мовою. Вихідні дані (місце проведення конференції та сторінки) мають бути представлені англійською мовою.

Книги (монографії, збірники, матеріали конференцій в цілому):

1. Belaya kniga po nano tekhnologiyam: issledovaniya v oblasti nanochastits, nanostruktur i nanokompozitov v Rossiiskoi Federatsii (po materialam Pervogo Vserossiiskogo soveshchaniya uchennykh, inzhenerov i proizvoditelei v oblasti nanotekhnologii [White Book in Nanotechnologies: Studies in the Field of Nanoparticles, Nanostructures and Nanocomposites in the Russian

Federation: Proceedings of the First All-Russian Conference of Scientists, Engineers and Manufacturers in the Field of Nanotechnology]. (2007). Moscow, LKI.

2. **Nenashev M.F.** (1993). Poslednee pravitel'tvo SSSR [Last government of the USSR]. Moscow, Krom Publ., 221.
3. **Kanevskaya R.D., Velnik V.N., Rogoviy S.K.** (2002). Matematicheskoe modelirovanie gidrodinamicheskikh protsessov razrabotki mestorozhdenii uglevodorodov (Mathematical modeling of hydrodynamic processes of hydrocarbon deposit development). Izhevsk, 140.
4. **Latyshev V.N.** (2009). Tribologiya rezaniya. Kn.1: Friksionnye protsessy pri rezanii metallov (Tribology of Cutting, Vol. 1: Frictional Processes in Metal Cutting), Ivanovo: Ivanovskii Gos. Univ.

ПРИКЛАД АНОТАЦІЇ АНГЛІЙСЬКОЮ МОВОЮ

Abstract. Purpose. The specific challenges with which companies pursuing international manufacturing strategies are faced, if their output also contains a service dimension, are addressed.

Methodology/approach. A theoretical framework is proposed based on three virtually complementary perspectives by integrating international production, demand, and contemporary ICT-based theory. Subsequently, an exploratory case study in a pure service environment is described that illustrates the value of the framework.

Findings. It is possible, for example, to apply the theoretical framework to case studies in internationally-operating companies delivering a mix of goods and services.

Research limitations/implications. The present study provides a starting-point for further research in the international manufacturing sector.

Originality/value. Moreover, the framework has proven to be useful in improving the European structure of the case company. This is a notable and promising side-effect of the exploratory study, at least from a managerial point of view.

Key words: Multinationals, Service operations, Location, Decision making, Case studies

ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ

1. Прізвище, ім'я та по-батькові.
2. Вчене звання, наукова ступінь.
3. Місце роботи та посада (зазначити відділ, кафедру, тощо).
4. Афіліація (установа, компанія).

5. Якщо автор не один, тоді наводиться інформація про розподіл відповідальності між авторами.

6. ORCID кожного автора.

7. Електронна адреса автора для зв'язку.

8. Додаткові контактні дані (якщо потрібно).

Подати статтю можливо:

електронною поштою gbdmm@ukr.net з прикріпленням файлом статті і анкетною автoра

Правила підготовки рукописів та Приклади оформлення статей наведено на сайті збірника “Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини”: <http://gbdmm.knuba.edu.ua/>.

Підписані авторами матеріали разом із електронною версією, супровідними документами і зовнішньою рецензією подаються до редакції безпосередньо або електронною поштою за адресою gbdmm@ukr.net. Звертаємо увагу на відповідність матеріалів зазначеній у збірнику проблематиці, вимогам ВАК та державних стандартів до наукових статей.

Постановою президії ВАК України від 10.05.2017 р., № 693 Всеукраїнський збірник наукових праць “Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини” включено до переліку наукових фахових видань України, в яких можуть бути опубліковані результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук.

Збірник розміщено в бібліотеці Київського національного університету будівництва і архітектури та в Національній бібліотеці України ім. В.І. Вернадського. Електронний архів його зберігається на сайті НБУВ www.irbis-nbuv.gov.ua в розділі “Журнали та продовжувані видання” і на сайті КНУБА <http://science.knuba.edu.ua> в розділі “Наукові видання університету” та доступний через мережу Internet.

ВЗНП “Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини” включено до міжнародних наукометричних баз даних:

- “Ulrichs web” – <http://ulrichsweb.serialssolutions.com>,
- “Index Copernicus” – www.journals.indexcopernicus.com,
- “Research Bible” – <http://journalseeker.researchbib.com>,
- “Web ИРБИС” – <http://irbis-nbuv.gov.ua>,
- “Get CITED” – <http://www.getcited.org>,
- “JOUR Info” – <http://jourinfo.com>.
- “The Global Impact Factor” – <http://globalimpactfactor.com>,
- “Scientific Indexing Services” – <http://www.sindexs.org>
- “Google academy” – <http://scholar.google.com.ua/citations?user=2-FASc4AAAAJ&hl=uk>.
- “Socioindex” – <http://socio.in.ua>,
- “EBSCO” – <https://www.ebscohost.com>,
- “Universal Impact Factor” – <http://uifactor.org>,
- “ProQuest” – <http://www.proquest.com>,
- “GEOBASE” – <https://www.elsevier.com/solutions/engineering-village/content/geobase>,
- “Engineering Village” – <http://www.engineeringvillage.com>,
- “Ingentaconnect” – <http://www.ingentaconnect.com>,
- “USJ” – <http://usj.org.ua>.

Наукове видання

ГІРНИЧІ, БУДІВЕЛЬНІ, ДОРОЖНІ ТА МЕЛІОРАТИВНІ МАШИНИ

Всеукраїнський збірник наукових праць

Випуск 93
(Січень – Червень, 2019)

Редакторський відділ:

Редагування та коректура: *Тетяна Щербина*
Інформаційне забезпечення: *Дмитро Міщук*

Оригінал-макет виготовлено в редакції ВЗНП
Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини

КНУБА, Повітрофлотський проспект, 31,
лаб. корпус, к. 2311, Київ, Україна, 03680.
Електронна пошта: e-mail: gbdmm@ukr.net.
Сайт: www.gbdmm.knuba.edu.ua.
Тел.: +38 044 2415474, факс +38 044 2454217

Підписано до друку 02.07.2019. Формат 60×84 1/8.
Ум. друк. арк. 10,0. Обл.-вид. арк. 12,0
Наклад 100 прим. Вид. №21/II-19. Зам. №45/1-19

Видавець і виготовлювач
Київський національний університет будівництва і архітектури

Повітрофлотський проспект, 31, Київ, Україна, 03680
E-mail: red-isdatt@ukr.net, тел. (044)241-54-87

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
Видавничої справи ДК № 808 від 13.02.2002 р.