

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СКРЕПЕРА МЕТОДОМ ІМОВІРНІСНОГО АНАЛІЗУ

Кириченко І.Г.¹, Ковалевський С.Г.¹, Бугаєнко Д.В.¹, Хачатурян С.Л.²

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

²Центральноукраїнський національний технічний університет

Анотація. У статті розглянуто результати дослідження продуктивності скрепера, встановленої за допомогою методів імовірнісного та функціонально-технологічного аналізу у вигляді нелінійної багатопараметричної залежності, що дало змогу визначити ранжовані за зменшенням значущості впливу параметри, які визначають роботу машини, розробити рекомендації щодо вибору типорозміру скрепера залежно від умов експлуатації.

Ключові слова: скрепер, продуктивність, імовірнісний аналіз, багатопараметричні залежності, функціонально-технологічний аналіз, типорозмір, ґрунт.

Вступ

Машини для виконання земляних робіт, до класу яких належать скрепери, широко застосовуються в різних галузях будівництва. Ефективність використання скреперів залежить від низки чинників, а саме: параметрів машин, стану під'їзних шляхів, технології виконання земляних робіт, дальності транспортування ґрунту, які є одним із найважливіших важелів, що визначають техніко-економічні показники застосування. З огляду на перелічені фактори продуктивність застосування скреперів, яка залежить від часу набору й транспортування ґрунту, може варіюватися в широких межах, а визначення її раціональних значень є актуальним завданням.

Аналіз публікацій

Огляд публікацій з тематики «скрепер» останнім часом демонструє, що основні напрями досліджень присвячені кільком питанням.

Так, у студіях [1–3] розглянуто особливості експлуатації скреперів під час виконання операцій робочого циклу, вплив різноманітних факторів на підвищення ефективності використання та питання визначення оптимальних режимів застосування машин. У цьому разі продуктивність скреперів визначалася за відомими лінійними залежностями, зважаючи на об'єм ґрунту в ковші та час робочого й транспортного циклу.

Питання забезпечення стійкості самохідних та напівпричіпних скреперів в умовах роботи на схилах розглянуто в дослідженнях [4, 5]. Використання аналітичного, комп'ютерного та фізичного моделювання дало змогу визначити критичні кути схилу за різних

ступенів завантаження ковша й характеристик опорної поверхні.

У роботі [6] проаналізовано часовий фактор зносу протектора шин самохідного скрепера за допомогою визначення середнього значення радіального зносу протектора шин за певну кількість робочих змін машини та співвідношення його з допустимим значенням зносу протектора шин; отримана можливість орієнтовно оцінити очікуваний термін служби з огляду на ймовірнісний характер розподілу умов експлуатації скрепера.

У статтях [7, 8] наведено результати досліджень навантаження металоконструкції тягової рами самохідного з усіма тяговими колесами та напівпричіпного скрепера під час копання.

Подано рекомендації щодо вибору раціональних режимів роботи, а також вдосконалення конструкції.

Вплив ключових факторів на ефективність роботи скрепера в ґрунтах різних типів розглянуто в теоретичних та експериментальних дослідженнях [11–13]. Визначено вплив абразивності ґрунту на зношення різальних елементів робочого обладнання.

Отже, аналіз публікацій продемонстрував, що питання підвищення продуктивності роботи скрепера за допомогою визначення раціональних режимів роботи досліджено не в повному обсязі та є дуже актуальним.

Мета й постановка завдання

На основі розробленого методу ймовірнісного аналізу продуктивності скрепера як нелінійних багатопараметричних залежностей та за допомогою функціонально-технологічного аналізу оцінити техніко-економічні ефективності машини.

Імовірнісна модель продуктивності

Математичні моделі, що використовуються для оцінювання продуктивності машин, подані у вигляді нелінійних дійсних функцій кінцевої множини незалежних аргументів [9, 10].

Як останні використовують конструктивні, експериментальні та технологічні параметри машин. Загалом подібні функції мають вигляд

$$y = \bar{f}(x_1, \dots, x_n). \quad (1)$$

Якщо функція (1) має всі безперервні приватні похідні порядку не більшого ніж m у деякій околиці точки a

$$a = (a_1, \dots, a_n), \quad (2)$$

тоді цю функцію можна розкласти в кратний ряд Тейлора:

$$\begin{aligned} \bar{f}(x_1, \dots, x_n | a) = & \bar{f}(a_1, \dots, a_n) + \\ & + \sum_{i=1}^n \frac{\partial \bar{f}}{\partial x_i} \big|_{(a_1, \dots, a_n)} \cdot (x_i - a_i) + \\ & + \frac{1}{2!} \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{\partial^2 \bar{f}}{\partial x_i \partial x_j} \big|_{(a_1, \dots, a_n)} \cdot \\ & \cdot (x_i - a_i)(x_j - a_j) + \\ & \dots + R_m \cdot (x_1, \dots, x_n), \end{aligned} \quad (3)$$

де $R_m \cdot (x_1, \dots, x_n)$ – останній член ряду.

Змінність параметрів $x_1, \dots, x_n$ приводить до мінливості та функції y . Параметри в цьому разі можуть бути подані ймовірнісними моделями випадкових величин $x_1 = X_1, \dots, x_n = X_n$ з постійними дисперсіями $\sigma_1^2, \dots, \sigma_n^2$.

Мінливість параметрів може бути зумовлена неточністю їх оцінювання, нормативними відхиленнями від номінальних значень, змінами режимів, етапів, умов реальної експлуатації машин, а також впливом некерованих, неконтрольованих або неврахованих чинників.

Заміна аргументів $x_1, \dots, x_n$ функції (1) на випадкові величини $X_1, \dots, X_n$ дає змогу розрахувати дисперсію σ_y^2 випадкової величини $Y = y$, до того ж ця дисперсія є величина постійна за сталості $\sigma_1^2, \dots, \sigma_n^2$.

Складники дисперсії σ_y^2 є функціями не тільки відповідних дисперсій $\sigma_1^2, \dots, \sigma_n^2$, а й центральних моментів більш високих порядків, аж до порядку, що дорівнює нескінченності.

Однак якщо в околицях точки a нелінійну функцію (1) можна апроксимувати лінійною щодо аргументів $x_1, \dots, x_n$, то дисперсію σ_y^2 буде подано складниками, що визначаються дисперсіями $\sigma_1^2, \dots, \sigma_n^2$, відповідно, і коефіцієнтами за умови дисперсій, які залежать від вигляду нелінійної дійсної функції (1).

Якщо $\bar{X}_1, \dots, \bar{X}_n$ – математичні очікування випадкових параметрів $X_1, \dots, X_n$, що дорівнюють заданим нормативним значенням, а для кожної з величин $X_1, \dots, X_n$ задано нормативні відхилення $\Delta x_i = X_i - \bar{X}_i$, зумовлені однією й тією самою відносною зміною γ %, то

$$\Delta x_i = \gamma \frac{\bar{X}_i}{100}. \quad (4)$$

Тоді значущість ε_i % впливу параметра x_i на дисперсію функції Y визначається як

$$\sigma_y^2 = \sum_{i=1}^n \sigma_{yi}^2, \quad (5)$$

може бути розрахована за рівнянням

$$\varepsilon_i = \frac{\sigma_{yi}^2}{\sigma_y^2} \cdot 100\%. \quad (6)$$

Для розрахунку складників σ_{yi}^2 дисперсії σ_y^2 , $i = \overline{1, n}$ використаємо розкладання (3) у ряд Тейлора функції (1), залишаючи в цьому розкладанні лінійний і залишковий члени й беручи до уваги, що відхилення ΔY випадкової функції становить

$$\Delta Y = \bar{f}(x_1, \dots, x_n | \bar{X}) - \bar{f}(\bar{X}_1, \dots, \bar{X}_n). \quad (7)$$

Заміна розкладання в ряд Тейлора функції Y розкладанням відхилення ΔY матиме вигляд

$$\Delta Y = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial \bar{Y}}{\partial x_i} \cdot \Delta x_i \right) + A_1, \quad (8)$$

де A_T – залишковий член нового ряду, що визначається виразом

$$A_T = \frac{1}{2} \left(\sum_{i=1}^n \frac{\partial \Delta x_i}{\partial X_i} \cdot \Delta x_i \right)^2 \cdot \bar{f} \times \quad (9)$$

$$\times \left[(\bar{X}_1 + \Delta x_1), \dots, (\bar{X}_n + \Delta x_n) \right],$$

$$\frac{\partial \bar{Y}}{\partial \bar{X}_i} = K_i, \quad (10)$$

тоді вираз (8) буде лінійною функцією відхилень Δx_i (за умови $A_T = 0$):

$$\Delta Y = \sum_{i=1}^n (K_i \Delta x_i) + A_T. \quad (11)$$

У постійних (10) коефіцієнти K_i можна розглядати, як коефіцієнти впливу параметрів $x_1, \dots, x_n$ на функцію Y в околиці $(\bar{X}_1 \pm \Delta x_1, \bar{X}_2 \pm \Delta x_2, \dots, \bar{X}_n \pm \Delta x_n)$ точки $\bar{X} = (\bar{X}_1, \dots, \bar{X}_n)$.

Задаючи відносну похибку ϕ розрахунків і забезпечивши у такий спосіб малість залишкового члена A_T , отримаємо

$$\Delta Y = \sum_{i=1}^n (K_i \cdot \Delta x_i). \quad (12)$$

У цьому разі величина A_T має задовольняти таку умову:

$$A_T \leq \left(1 - \frac{\phi}{100} \right) \sqrt{\sum_{i=1}^n (K_i^2 \sigma_i^2)}. \quad (13)$$

Тоді з огляду на незалежність параметрів дисперсія ΔY розраховуватиметься за рівнянням

$$\sigma_y^2 = \sum_{i=1}^n (K_i^2 \cdot \sigma_i^2). \quad (14)$$

Без урахування моментів кореляційного зв'язку між параметрами, а кожний із складників $\sigma_{y_i}^2$ дисперсії визначатиметься тільки добутком $(K_i^2 \cdot \sigma_i^2)$. Значущість же, у %, впливу параметра x_i на функцію Y визначатиметься, замість рівняння (7), виразом

$$\varepsilon_i = \frac{K_i^2 \cdot \sigma_i^2}{\sum_{i=1}^n (K_i^2 \cdot \sigma_i^2)} \cdot 100\%. \quad (15)$$

Оскільки всі $\sigma_i^2 = \text{const}$, тоді, замість середнього квадратичного відхилення, можна використовувати довірчі інтервали для параметрів $x_i, i = \overline{1, n}$ або задані абсолютні відхилення.

Визначимо значущість функціональних і технологічних факторів, що впливають на продуктивність скрепера, яка є дійсною функцією як мінімум чотирьох параметрів:

$$\Pi = \frac{3600 \cdot K_H \cdot V}{K_P \cdot T_{\text{Ц}}}, \text{ м}^3 / \text{год}, \quad (16)$$

де V – геометричний об'єм ґрунту, перемішуваний за один цикл, м^3 ; K_H – коефіцієнт наповнення ковша; K_P – коефіцієнт розпушення ґрунту; $T_{\text{Ц}}$ – час циклу, с.

Час циклу може бути подано функціональною залежністю загального вигляду

$$T_{\text{Ц}} = \left(\sum_{i=1}^m \frac{l_i}{v_i} \right) + t_d, \quad (17)$$

де l_i – довжина різання, наповнення, переміщення, транспортування тощо, м; v_i – швидкість різання, наповнення, переміщення, транспортування тощо, м/с; t_d – додатковий час циклу, с.

Об'єднуючи рівняння (16) і (17), отримаємо універсальну математичну модель продуктивності:

$$\Pi = \frac{3600 \cdot K_H \cdot V}{K_P \left[\left(\sum_{i=1}^m \frac{l_i}{v_i} \right) + t_d \right]}. \quad (18)$$

Запропонуємо такі позначки:

$$Y = \Pi, X_2 = K_H, X_3 = K_P, X_4 = T_{\text{Ц}}.$$

Тоді продуктивність може бути записана у вигляді моделі

$$Y = \frac{3600 \cdot X_1 \cdot X_2}{X_3 \cdot \left[\left(\sum_{i=1}^m \frac{l_i}{v_i} \right) + t_d \right]}. \quad (19)$$

Коефіцієнти впливу параметрів $X_1, X_2, X_3, l_i, v_i, t_d$ на продуктивність Y знайдемо як перші часткові похідні функції Y , використовуючи (10):

$$\begin{cases} K_{X_j} = Y \cdot X_j^{-1}, j = \overline{1,3}; \\ K_{l_i} = -Y \cdot (T_{\text{ц}} \cdot v_i)^{-1}, i = \overline{1,m}; \\ K_{v_i} = -Y \cdot (T_{\text{ц}} \cdot v_i^2)^{-1}; \\ K_{t_{\text{д}}} = -Y \cdot T_{\text{ц}}^{-1}. \end{cases} \quad (20)$$

Рівняння (19) дають змогу подати дисперсію відхилення ΔY , що визначається рівнянням (13), у вигляді відносної величини:

$$\sigma_Y^2 = \sum_{j=1}^3 \left(\frac{\sigma_{X_j}}{X_j} \right)^2 + \sum_{i=1}^m \left(\frac{\sigma_{l_i}}{T_{\text{ц}} v_i} \right)^2 + \sum_{i=1}^m \left(\frac{\sigma_{v_i}}{T_{\text{ц}} v_i^2} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{T_{\text{ц}}}}{T_{\text{ц}}} \right)^2. \quad (21)$$

Запропонуємо позначки:

$$\begin{cases} \gamma_{\Delta Y}^2 = \frac{\sigma^2 Y}{Y^2}, \gamma_{\Delta X_j}^2 = \left(\frac{\sigma^2 X_j}{X_j} \right)^2, \\ \gamma_{\Delta l_i}^2 = \left(\frac{\sigma^2 l_i}{T_{\text{ц}} v_i} \right)^2, \\ \gamma_{\Delta v_i}^2 = \left(\frac{\sigma v_i}{T_{\text{ц}} v_i^2} \right)^2, \gamma_{\Delta T_{\text{ц}}}^2 = \left(\frac{\sigma^2 T_{\text{ц}}}{T_{\text{ц}}} \right)^2, \end{cases} \quad (22)$$

$$\gamma_{\Delta Y}^2 = \sum_{j=1}^3 \gamma_{\Delta X_j}^2 + \sum_{i=1}^m \gamma_{\Delta l_i}^2 + \sum_{i=1}^m \gamma_{\Delta v_i}^2 + \gamma_{\Delta T_{\text{ц}}}^2$$

Замінюючи будь-який з індексів $\Delta X_j, \Delta l_i, \Delta v_i, \Delta T_{\text{ц}}$ на i , отримаємо загальний вираз для розрахунку значущості впливу:

$$\varepsilon_{(i)} = \left(\gamma_{(i)}^2 / \gamma_{\Delta Y}^2 \right) \cdot 100\%. \quad (23)$$

Результати обчислення значущості впливу ε_i для відносної зміни параметрів $\gamma = 10\%$ показали, що похибка розрахунків не перевищує $\varphi \leq 20\%$, для яких використовували рівняння за припущенням $\sigma_i = \Delta x_i$.

Ранжований за зменшенням значущості впливу на продуктивність скрепера ряд параметрів має вигляд

$$(V, K_{\text{н}}, K_{\text{р}}), (l_{\text{т}}, l_{\text{о}}), l_{\text{к}}, v_{\text{к}}, t_{\text{д}}, l_{\text{р}}, v_{\text{р}}, (v_{\text{т}}, v_{\text{о}}). \quad (24)$$

Аналіз отриманої залежності показує, що обсяг ґрунту в ковші скрепера ($V, K_{\text{н}}, K_{\text{р}}$), який визначається тягово-зчіпними якостями, найбільше впливає на його продуктивність. Другим визначальним фактором є дальність транспортування ґрунту ($l_{\text{т}}, l_{\text{о}}$), далі йдуть параметри, що характеризують копання й розвантаження ґрунту $l_{\text{к}}, v_{\text{к}}, t_{\text{д}}, l_{\text{р}}, v_{\text{р}}$, а також швидкість виконання транспортних операцій ($v_{\text{т}}, v_{\text{о}}$).

На рис. 1, 2 наведено графіки залежності продуктивності скрепера у функції об'єму ковша й дальності транспортування ґрунту.

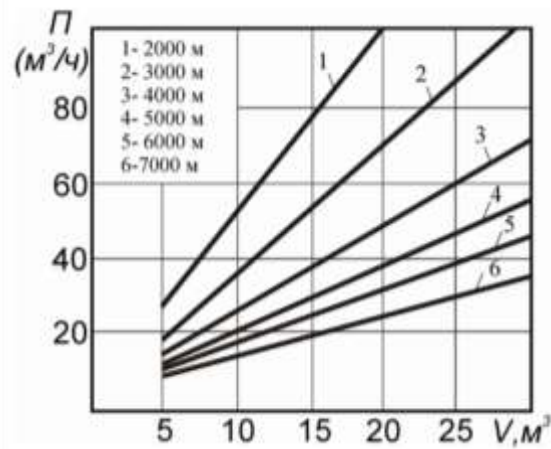


Рис. 1. Залежність продуктивності скрепера від об'єму ковша

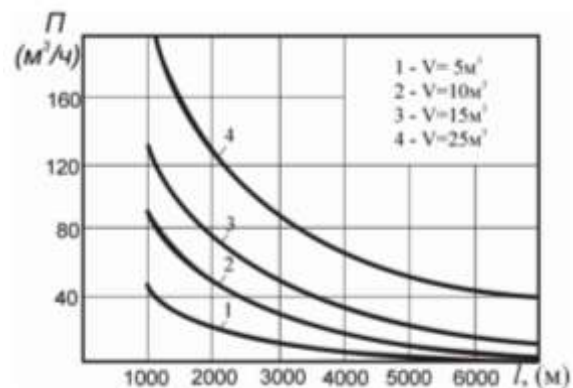


Рис. 2. Залежність продуктивності скрепера від дальності транспортування ґрунту

Аналіз графіків показує, що продуктивність скрепера з місткістю ковша 25 м^3 перевищує продуктивність скрепера з місткістю ковша 5 м^3 учетверо за дальності транспортування 5000 м та інших рівних умов.

Зі зменшенням дальності транспортування це співвідношення зростає. Так, збільшення дальності транспортування ґрунту для

скрепера з місткістю ковша 10 м^3 з 1000 м до 5000 м призводить до зниження продуктивності в 4,1 раза.

Першорядна значущість впливу ступеня заповнення ковша скрепера ґрунтом дає змогу зробити висновок про доцільність роботи скрепера зі штовхачем у складі скреперного поїзда з примусовим заповненням ковша, тобто в режимах, що забезпечують можливість повного завантаження ковша скрепера.

Висновки

Упровадження методу ймовірнісного аналізу продуктивності скрепера привело до зниження продуктивності в 4,1 раза, поданої у вигляді нелінійних багатопараметричних залежностей та за допомогою функціонально-технологічного аналізу. Це дало змогу визначити ранжований за зменшенням значущості вплив ряду параметрів, на основі чого зроблено висновок, що об'єм ґрунту, завантаженого в ківш скрепера, найбільше впливає на продуктивність.

Другим визначальним фактором є дальність транспортування ґрунту, а інші параметри, що характеризують роботу скрепера, є другорядними щодо впливу на продуктивність.

Отримано залежності продуктивності від ємності ковша та дальності транспортування ґрунту, що дало змогу розробити рекомендації щодо вибору типорозміру скрепера залежно від умов експлуатації.

Зроблено висновок про доцільність використання схем роботи та конструкцій скреперів, що забезпечують максимальне заповнення ковша ґрунтом.

Література

1. Лук'янчук О.П., Тимейчук О.Ю. Дослідження робочих процесів машин та методи їх оптимізації: навч. посіб. 2021. 240 с.
2. Сукач М.К., Горбатюк Є.В. Синтез землерийної і дорожньої техніки. Київ, 2020. 376 с.
3. Віленський П.Л. Оцінка ефективності інвестиційних проектів: теорія і практика. навч. посіб. Київ: Верба, 2002. 194 с.
4. Ковалевський С.Г. Моделювання руху напівпричіпного скрепера по схилу. *Наукові вісті Дніпровського університету*. 2021. № 20. С. 32–37.
5. Ковалевський С.Г., Кириченко І.Г. Дослідження стійкості самохідного скрепера при роботі на схилі за допомогою комп'ютерної моделі. *Підйомно-транспортна техніка*. 2018. № 1(57). С. 12–18.
6. Балака М.М. Дослідження часового фактору зносу протектора шин самохідного скрепера.

Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. 2021. Вип. 92, т. 2. С. 116–121.

7. Ковалевський С.Г. Дослідження навантаження скрепера з усіма провідними колесами трансмісії. *Наукові вісті Дніпровського університету*. 2020. № 18. С. 22–27.
8. Ковалевський С.Г., Яришко О.В. Дослідження напружень в металоконструкції тягової рами напівпричіпного скрепера. *Підйомно-транспортна техніка*. 2019. № 2 (61). С. 93–103.
9. Мішуря Ю.С. Випадкові процеси: теорія, статистика, застосування: підручник. Київ, 2023. 496 с.
10. Роговий А.С. Використання методів числового вирішення задач інженерного аналізу: навч. посіб. Харків: ХНАДУ, 2019. 112 с.
11. Nian-EnYi, Yang Yang. Impact of key factors on shields craper performance ingravellysoil strata: DEMandexperimentalinvestigations. *ComputersandGeotechnics*. 2024. Vol. 174. P. 186–191.
12. Shao-Hui Tang. Newsoila brasiontesting method fo revaluating the influence of geologi cal parameter so fabrasive sandy ground on scraper wearin TBM tunneling. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2022. Vol. 128. P. 56–70.
13. Shuai Ma, Cong Niu, Chenggong Yan, Haochao Tan. Discrete element method optimisation of a scraper to remove oil from ridges formed to cold-proof grapevines. *Biosystems Engineering*. 2021. Vol. 210. P. 156–170.

References

1. Luk'yanchuk O.P., Timeychuk O. Yu. Doslidzhen-nya robochih procesiv mashin ta metodi yih optimizaciyi. Navch. posibnik, 2021. 240 s.
2. Sukach M.K., Gorbatiuk Ye.V. Sintez zemlerij-noyi i dorozhnoyi tehniki. K., 2020. 376 s.
3. Vilenskij P.L. Ocinka efekтивности investiciynih proyektiv: teoriya i praktika. Navchalnij posibnik. K.: Verba, 2002. 194 s.
4. Kovalevskij S.G. Modelyuvannya ruhu napivprichipnogo skreperu po shilu. Naukovi visti Dalivskogo universitetu. 2021. № 20. S. 32–37.
5. Kovalevskij S.G., Kirichenko I.G. Doslidzhennya stijkosti samohidnogo skrepera pri roboti na shili za dopomogoyu komp'yuternoyi modeli. Pidjomno-transportna tehnika. 2018. №1(57). S. 12–18.
6. Balaka M.M. Doslidzhennya chasovogo faktoruznosu protektora shin samohidnogo skrepera. Visnik Harkivskogo nacionalnogo avtomobilno-dorozhnogo universitetu. 2021. Vip. 92, t. 2. S. 116–121.
7. Kovalevskij S.G. Doslidzhennya navantazhennya skrepera z usima providnimi kolesami transmi-siyi. Naukovivisti Dalivskogo universitetu. 2020. № 18. S. 22–27.
8. Kovalevskij S.G., Yarizhko O.V. Doslidzhennya napruzhen v metalokonstrukciyi tyagovoyi rami napivprichipnogo skrepera. Pidjomno-transportna tehnika. 2019. № 2 (61). S. 93–103.

9. Mishura Yu.S. Vipadkovi procesi: teoriya, statistika, zastosuvannya. Pidruchnik. K., 2023. 496 s.
10. Rogovij A.S. Viktoristannya metodiv chislovogo virishennya zadach inzhenerenogo analizu. Navchalnij posibnik. Harkiv: HNADU, 2019. 112 s.
11. Nian-EnYi, Yang Yang. Impact of key factors on shields craper performance ingravellysoil strata: DEMandexperimentalinvestigations. *ComputersandGeotechnics*. 2024. Vol. 174. P. 186-191.
12. Shao-Hui Tang. Newsoila brasiontesting method fo revaluating the influence of geologi cal parameter so fabrasive sandy ground on scraper wearin TBM tunneling. *Tunnelling and Underg-round Space Technology*. 2022. Vol. 128. P. 56–70.
13. Shuai Ma, Cong Niu, Chenggong Yan, Haochao Tan. Discrete element method optimisation of a scraper to remove oil from ridges formed to cold-proof grapevines. *Biosystems Engineering*. 2021. Vol. 210. P. 156–170.

Кириченко Ігор Георгійович¹, д-р техн. наук, професор кафедри будівельних і дорожніх машин, тел. +380(67)705-54-74, igk160450@gmail.com,

Ковалевський Сергій Германович¹, к.т.н., доцент кафедри будівельних і дорожніх машин, тел. +380(97)240-71-80, 2407180@ukr.net,

Бугасенко Дмитро Володимирович¹, аспірант кафедри будівельних і дорожніх машин, тел. +380(93) 842 3880, d.bugaenko86@gmail.com,

Хачатурян Сергій Леонідович², к.т.н, доцент кафедри будівельних і дорожніх машин, тел. +380(96)033-71-91, serg130354@gmail.com.

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна.

²Центральноукраїнський національний технічний університет, Університетський проспект, 8, м. Кропивницький, 25000, Україна.

Static modelling of quali metric indicators of universal hydraulic excavators

Abstract. Problem. Earthmoving machines, which include scrapers, are widely used in various construction sectors. The efficiency of using scrapers depends on a number of factors, such as machine parameters, condition of accessroads, earth works technology, and soil transport distances, which are among the most important levers that determine the technical and economic performance of the machines. Depending on the above factors, the productivity of scrapers, which depend on the time of soil collection and transportation, can vary widely, and determining the rational values of which is an urgent task. **Goal.** On the basis of the developed method of probabilistic analysis of scraper productivity as nonlinear multi-parameter dependencies and

with the help of functional and technological analysis, to assess the technical and economic efficiency of the machine. **Methodology.** Mathematical models used to assess machine performance are presented in the form of nonlinear real functions of a finite set of independent arguments. The latter include design, experimental and technological parameters of machines. **Results.** The use of the method of probabilistic analysis of scraper productivity, presented in the form of nonlinear multi-parameter dependencies and with the help of functional and technological analysis, allowed us to determine the ranking of the influence of a number of parameters in descending order of importance, on the basis of which it was concluded that the volume of soil collected in the scraper bucket has the greatest impact on productivity. These could determine factor is the distance of soil transport, and other parameters that characterise the scraper's operation are secondary terms of the impact on productivity. **Originality.** The dependence of productivity on the bucket capacity and the distance of soil transportation was obtained, which allowed us to develop recommendations for choosing the size of the scraper depending on the operating conditions. It is concluded that it is expedient to use operation schemes and scraper designs that ensure maximum filling of the bucket with soil. **Practical value.** The primary significance of the influence of the degree of filling the scraper bucket with soil allow conclude that it is advisable to operate a scraper with a pusher, as part of a scraper train, with forced bucket filling, i.e. in modes that allow for the full loading of the scraper bucket. **Keywords:** scraper, productivity, probabilistic analysis, multi-parameter dependencies, functional and technological analysis, size, soil.

Kyrychenko Igor¹, Professor, Doct. of Science, Department of construction and road machines, ORCID: 0000-0002-2128-3500, igk160450@gmail.com

Kovalevskiy Serhii¹, PhD, Associate Professor, Department of construction and road machines, ORCID: 0000-0002-6299-2223, 2407180@ukr.net,

Bugayenko Dmitry¹, Graduate Student, Department of construction and road machines, ORCID: 0009-0008-8367-5906, d.bugaenko86@gmail.com,

Khachaturyan Serhii², PhD, Associate Professor, Department of build and travelling machines, ORCID: 0000-0002-3562-1267, serg130354@gmail.com.

¹Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

²Central Ukrainian National Technical University, 8 Universytetskyi Avenue, Kropyvnytskyi, 25000, Ukraine.