

## ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 62-932

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2020.88.2.5

## БАЗОВА СИСТЕМА ПОКАЗНИКІВ ДЛЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ МАШИН ДЛЯ ЗЕМЛЯНИХ РОБІТ З ІННОВАЦІЙНИМИ РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ

Хмара Л.А.

Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

**Анотація.** У статті представлена базова система показників, яка дозволяє провести оцінку зниження опору копанню різноманітними робочими органами інноваційного типу, установити ефективність інноваційних робочих органів, машин з багатоцільовими робочими органами, машин з телескопічним робочим обладнанням, отримані регресійні моделі зі встановлення підвищення продуктивності машин за умови оснащення їх різноманітними інтенсифікаторами.

**Ключові слова:** машини для земляних робіт з інноваційними робочими органами, оцінка ефективності машин для земляних робіт.

### Вступ

Зростання вартості землерийної техніки та скорочення її випуску обумовлюють актуальність однієї з тенденцій удосконалення землерийної техніки – підвищення її продуктивності, зниження матеріало-, енергоємності, поліпшення техніко-економічних показників [3–6].

### Аналіз публікацій

У сучасних умовах будівельне та дорожнє машинобудування особливо має потребу в аналізі маркетингу БДМ.

Сучасний ринок складається з трьох складників (рис. 1).

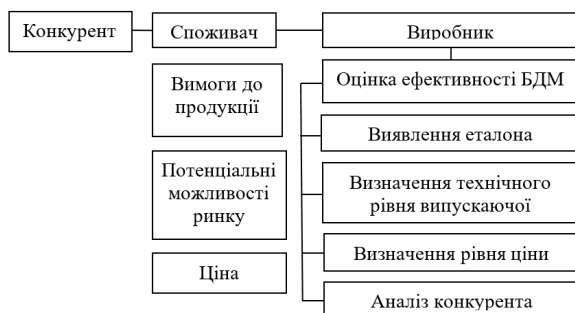


Рис. 1. Принципова структура ринку будівельних машин

Для виробника будівельних і дорожніх машин дуже важливо оцінити ефективність БДМ. Це передбачає виявлення еталона, визначення технічного рівня, що випускаються БДМ, визначення рівня ціни й аналіз конкурента. Оцінка ефективності застосування на землерийних машинах різних інтенсифікаторів

рів зі зниження сил опору ґрунту копанню може бути виконана за формулою [7, 9, 10, 12]:

$$k_{efi} = \frac{P_k^m - P_k^n}{P_k^m}, \quad (1)$$

де  $P_k^m$  – опір ґрунту копанню робочим органом традиційного типу;  $P_k^n$  – те саме з інтенсифікатором.

Співвідношення сил опору копанню ґрунту традиційним робочим органом, оснащеним відповідним інтенсифікатором, визначається коефіцієнтом:

$$k = \frac{P_k^n}{P_k^m}. \quad (2)$$

Для бульдозерного обладнання відповідні сили розраховуються за формулами:

$$P_k^m = P_1 + P_2 + P_3; \\ P_k^n = P_1^n + P_2^n + P_3^n, \quad (3)$$

де  $P_1, P_2, P_3$  – відповідно сили опору ґрунту різанню, підйому шару вгору по відвалу та переміщенню призми волочіння;  $P_1^n, P_2^n, P_3^n$  – те саме для робочого органа з інтенсифікатором.

Оцінка ефективності застосування інтенсифікаторів може бути виконана для одного,

двох і більше інтенсифікаторів. Зокрема інтенсифікатори можуть бути однакового й різних ефектів.

Під одноплановими будемо розуміти такі інтенсифікатори, що сприяють зниженню одного й того ж складника або одночасно декількох складників загального опору ґрунту копанню. До різнопланових належать такі, які впливають на різні складники загального опору ґрунту копанню, що мають різну фізичну природу.

Застосування одного інтенсифікатора, спрямованого на зниження сил тертя ґрунту, наприклад за рахунок газоповітряного змащення, визначається такими обмеженнями:

$$P_1 = P_1^H; P_2^H = k_2^{zaz} \cdot P_2; P_3 = P_3^H, \quad (4)$$

де  $k_2^{zaz}$  – коефіцієнт пропорційності зниження складової сили  $P_2$  в умовах дії, наприклад газоповітряного змащення.

Тоді коефіцієнт ефективності:

$$k_{ef} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 - P_1^H - k_2^{zaz} \cdot P_2 - P_3^H}{P_1 + P_2 + P_3}. \quad (5)$$

З урахуванням отриманих виразів за умови, що  $P_1 = P_1^H$ ,  $P_3 = P_3^H$ ,

$$k_{ef} = \frac{P_2(1 - k_2^{zaz})}{P_1 + P_2 + P_3}. \quad (6)$$

Застосування двох інтенсифікаторів, різних за фізичним процесом, наприклад, один спрямований на зниження сил тертя, а другий на зменшення сил різання, тобто застосування різнопланових інтенсифікаторів, характеризують обмеження:

$$P_1^H = k_1 P_1; P_2^H = k_2 \cdot P_2; P_3 = P_3^H. \quad (7)$$

Тоді коефіцієнт ефективності буде мати вигляд:

$$k_{ef}^H = \frac{P_1(1 - k_1) + P_2(1 - k_2)}{P_1 + P_2 + P_3}. \quad (8)$$

За аналогією для трьох інтенсифікаторів в умовах, коли два з них є одноплановими:

$$k_{ef}^H = \frac{P_2(1 - k_2^{BCH}) + P_2(1 - k_2) + P_3(1 - k_3)}{P_1 + P_2 + P_3}. \quad (9)$$

Застосування двох однопланових інтенсифікаторів, спрямованих, наприклад, на

зниження сил тертя, обумовлено обмеженнями. За умовою застосування, наприклад газоповітряного змащення та виступного наступного ножа, коефіцієнт ефективності для розглянутого випадку буде дорівнювати:

$$k_{ef.одн}^H = \frac{P_2(1 - k_2^{BCH} k_2^{zaz})}{P_1 + P_2 + P_3}, \quad (10)$$

де  $k_2^{BCH}$  – коефіцієнт пропорційності зниження сили  $P_2$  від дії виступного середнього ножа.

Аналогічно для трьох інтенсифікаторів в умовах, коли два з них є одноплановими:

$$k_{ef}^H = \frac{P_2(1 - k_2^{BCH} k_2^{zaz}) + P_3(1 - k_3)}{P_1 + P_2 + P_3}. \quad (11)$$

Під час дії комбінованого інтенсифікатора, наприклад, за умови одночасного прояву ефектів, від двох і більше інтенсифікаторів коефіцієнт ефективності:

$$k_{ef.к} = \frac{P_{\kappa}^m - P_{\kappa}}{P_{\kappa}^m} = 1 - \frac{P_{\kappa}}{P_{\kappa}^m}, \quad (12)$$

де  $P_{\kappa}$  – опір ґрунту копанню робочим органом, обладнаний комбінованим інтенсифікатором.

Коефіцієнти  $k_{efi}$  і  $k_{ef\kappa}$  змінюються в межах  $0 < k_{efi} < 1$ ;  $0 < k_{ef\kappa} < 1$ .

Вважаючи, що вплив кожного інтенсифікатора пропорційний іншим,

$$\frac{P_{\kappa}}{P_{\kappa}^m} = \frac{P_1}{P_{\kappa}^m} \cdot \frac{P_2}{P_1} \cdot \frac{P_3}{P_2} \dots \frac{P_i}{P_{i-1}}; \quad (13)$$

$$\frac{P_1}{P_{\kappa}^m} = 1 - k_{efi}; \quad \frac{P_{\kappa}}{P_{\kappa}^m} = 1 - k_{ef\kappa}. \quad (14)$$

Відповідно до отриманих виразів маємо:

$$1 - k_{ef\kappa} = (1 - k_{efi})(1 - k_{ef2}) \dots (1 - k_{efi}) = \prod_1^i (1 - k_{efi}) \quad (15)$$

Звідки коефіцієнт ефективності має вид:

$$k_{ef} = 1 - \prod_1^i (1 - k_{efi}), \quad (16)$$

де  $\prod_1^i$  – добуток  $i$ -х множників.

З урахуванням тієї обставини, що коефіцієнт ефективності кожного методу інтенсифі-

кації окремо  $k_{efi}$  змінюється у межах  $0 < k_{efi} < 1$ , виконується умова: загальний ефект від застосування на землерийній машині комбінованого методу інтенсифікації, тобто в разі прояву на робочому органі одночасно різних інтенсифікаторів, не дорівнює сумі ефектів від застосування кожного методу інтенсифікації окремо, а менше цієї суми. У цьому випадку можна записати:

$$k_{efk} < k_{ef1} + k_{ef2} + \dots + k_{efi} \quad (17)$$

Формули оцінки ефективності застосування на землерийних машинах різних методів інтенсифікації наведені в табл. 1.

#### Система показників для оцінки ефективності машини для земляних робіт

Показники, що визначають ефективність машини, поділяються на три групи: 1 – визначальну якість технічного об'єкта; 2 – економічні; 3 – показники конкурентноздатності. Ця методика оцінки ефективності дорожно-будівельних машин розроблена Заслуженим діячем науки й техніки РФ д.т.н., проф. В.І. Баловнєвим [1, 2, 3, 6, 7, 10].

Таблиця 1 – Формули оцінки ефективності застосування на землерийних машинах різних методів інтенсифікації

Характеристика інтенсифікатора	Формула для визначення ефективності застосування
Один інтенсифікатор	$k_{ef} = \frac{P_2(1-k_2)}{P_1 + P_2 + P_3}$
Два інтенсифікатори різного призначення	$k_{ef} = \frac{P_1(1-k_1) + P_2(1-k_2)}{P_1 + P_2 + P_3}$
Два інтенсифікатори одного й того ж призначення	$k_{ef} = \frac{P_2(1-k_2^I k_2^{II})}{P_1 + P_2 + P_3}$
Три інтенсифікатори, два з яких мають одне і те саме призначення	$k_{ef} = \frac{P_2(1-k_2^I k_2^{II}) + P_3(1-k_3)}{P_1 + P_2 + P_3}$
Інтенсифікатори, ефект від застосування кожного з яких окремо відомий	$k_{ef} = 1 - \prod_1^i (1 - k_{efi})$

**Показники якості технічного об'єкта та його економічності** містять низку частинних показників.

**Класифікаційні показники** визначають належність машини до тієї або іншої типорозмірної групи. Для оцінки технічного рівня машин ці показники використовують під час вибору машини-аналога. Класифікаційні показники містять головний і кілька основних параметрів машини, а також показники, що визначають конструктивний різновид машини (тип базового трактора, базового шасі тощо).

**Показники призначення** визначають експлуатаційно-виробничі можливості машини та рівень технічної досконалості її конструкції: потужність приводу, швидкість, висоту підйому, масу, кількість видів змінного робочого обладнання, продуктивність, узагальнені питомі показники, матеріалоемність, енергоємність та ін.

**Показники надійності** характеризують ресурс до першого капітального ремонту (або до списання, якщо машина не піддається капітальним ремонтам); наробіток на відмовлення; трудомісткість періодичного технічного обслуговування й ремонту тощо. Ці показники впливають на величину продуктивності та інші показники.

**Показники технологічності** визначають ефективність і раціональність конструктивних рішень, закладених у конструкцію машини. Ця група обов'язково містить показник питомої маси.

**Показники стандартизації та уніфікації** характеризують насиченість машини стандартними й уніфікованими складовими частинами та визначаються коефіцієнтом застосовності й повторюваності.

**Патентно-правові показники** характеризують патентну чистоту й величину територіального поширення. Показник патентної чистоти визначає можливість безперешкодної реалізації виробу за кордоном. У випадку відсутності патентної чистоти машина не є конку-рентноспроможною.

**Показники технічної естетики** за композиційною цілісністю форми, функціональною доцільністю форми та товарним виглядом визначаються в балах експертним методом.

**Ергономічні показники** характеризують відповідність машини нормованим санітарно-гігієнічним умовам роботи машини в процесі її експлуатації (вібрації, рівневі шуму в кабіні та ін.).

**Показники безпеки** характеризують забезпечення безпеки обслуговувального персоналу під час експлуатації машини та оцінюються в балах для конкретних видів машин. Вони вибираються, виходячи з вимог міжнародних і національних стандартів і норм, а також чинних законодавств країн, де експлуатується машина.

**Економічні показники** визначають витрати споживача на придбання машини (ціна, транспортування, монтаж, налагодження та ін.) і експлуатаційні витрати, що містять витрати на оплату обслуговувального персоналу, на паливо, енергію, основні й допоміжні матеріали та ін.

**Конкурентоспроможність машини** визначають, на додаток до зазначених показників, умови продажу та сервісного обслуговування. Вони характеризують можливість продажу машини в кредит на основі товарообміну та ін., престижно-рекламні показники й забезпечуваний рівень сервісного обслуговування. Показники умов продажу та сервісного обслуговування визначаються в балах експертним методом.

В оцінці нових конструктивних рішень їх ефективність доцільно здійснювати на основі показників технічного призначення, тому що вони можуть бути визначені теоретичними розрахунками й експериментально.

Для оцінки техніко-експлуатаційних властивостей машини, що характеризуються показниками, об'єднаними в групу показників призначення, запропонована низка показників різного виду. Різноманіття показників, що в низці випадків не мають чітко визначених зв'язків із призначенням машини і з відповідними частинними показниками, ускладнює їх практичне застосування. Це положення підтверджує аналіз показника питомої потужності  $N/G$  ( $N$  – потужність і  $G$  – сила ваги (маса) машини).

З аналізу питомих показників енергоємності  $N/P$  і  $G/P$  матеріалоємності ( $P$  – продуктивність) впливає, що кращому об'єкту відповідає менше значення кожної з цих двох величин.

Співвідношення  $N/P$ -min;  $G/P$ -min, вказують, що в разі фіксації  $G/P$  величина  $N/G$  з підвищенням технічної ефективності машини повинна зменшуватися, а у випадку фіксації  $N/P$  впливає протилежна рекомендація про необхідність збільшення відношення  $N/G$ . Відсутність чітких рекомендацій з формування та характеру зміни показників оцінки

ефективності ускладнює виявлення шляхів удосконалення техніки.

Система показників, взаємозалежна з цільовим призначенням машини й характером виконуваних технологічних процесів, визначається на основі аналізу інтегрального техніко-економічного показника, що порівнює вироблені витрати з одержуваним у народному господарстві ефектом від застосування відповідної техніки та прибуток споживача.

Узагальнений показник енерго-, матеріалоємності та виробітку на одного робітника

$$P_{NG_n} = \frac{N_{num} n}{P_{T_{num}} \cdot P}. \quad (18)$$

Ця величина представляє відношення енергоємності  $N_{num}$  до питомої продуктивності, що припадає на одиницю виробітку. Величина  $P_{NG_n}$  також може бути записана у формі зв'язку від натуральних показників:

$$P_{NG_n} = \frac{NGn}{P^3}. \quad (19)$$

Звідси випливає, що з урахуванням виробітку на одного робітника величина узагальненого показника ефективності обернено пропорційна продуктивності в третьому степені. Це вказує на важливість у системі оцінки ефективності машин такого показника, як продуктивність.

Якщо не враховувати виробітку на одного робітника, то узагальнений показник може бути представлений у такому вигляді:

$$P_{NG} = \frac{N_{num}}{P_{T_{num}}} \text{ або } P_{NG} = N_{num} \cdot G_{num}; \\ P_{NG} = N \cdot G / P^2. \quad (20)$$

Аналіз отриманих виразів для інтегрального показника дозволяє одержати систему узагальнених, питомих, відносних і натуральних показників.

Оцінка якості виготовлення машини оцінюється показником надійності:

$$K_{HD} = \frac{t_{cp}}{t_{cp} + t_{усун} + t_{проф}}, \quad (21)$$

де  $t_{cp}$  – середній час роботи машини до відмовлення;  $t_{усун}$  – час на усунення несправності (поломки);  $t_{проф}$  – час на проведення профілактичних заходів.

Кожний з показників має ієрархічний зв'язок з іншими. Усі параметри та показники нижнього рівня входять у показники більш високого рівня. Математичні вирази й ділянка застосування показників наведені в табл. 2.

Показники 1-ї групи інтегральні, прибуток  $C$ , собівартість одиниці продукції  $C_{ед}$ , доцільні для оцінки комплексів систем і машин.

Показник 2-ї групи  $П_{NG_n}$  узагальнений, має те саме призначення, що показник інтегральний 1-ї групи, але за умови, що для нового об'єкта коефіцієнти наведених питомих витрат на експлуатацію і основні фонди не змінюються істотно порівняно з еталоном. Цей показник доцільно використовувати як базовий для оцінки технічного рівня машин і комплексів.

Синтез цього показника з коефіцієнтами якісних показників цільового й обмежувального призначення дозволяє одержати узагальнений показник технічного рівня системи. Узагальнений показник дозволяє оцінити за значенням натуральних показників  $N$ ,  $G$ ,  $П$  економію енергетичних, матеріальних і трудових витрат у комплексі.

Показник 3-ї групи  $П_{NG}$  також узагальнений. Він дозволяє оцінити економію енергетичних і матеріальних витрат у комплексі.

Показники 4 і 5-ї груп можуть бути використані для оцінки основних груп підсистем машин або комплексів енергетичного і технологічного призначення. За допомогою показника  $N_{num}$  оцінюється економія енергетичних витрат, а показника  $G_{num}$  – матеріальних витрат.

Показники 6-ї групи призначені для оцінки економії трудових ресурсів у процесі роботи нових комплексів і машин з урахуванням показників надійності систем.

Показник 7-ї групи дозволяє оцінити ефективність системи щодо збільшення продуктивності за умови використання нової машини. Цей показник є одним з найважливіших у системі показників. Усі показники більш високого рівня можуть бути встановлені тільки в разі відомого значення продуктивності.

Показники 8 і 9-ї груп можуть бути використані для оцінки рівня окремих характеристик системи за умови незмінних величин, що містяться в показниках більш високого рівня.

Показники 10-ї групи дозволяють оцінити рівень надійності машини та її окремих елементів, робочих процесів у разі незмінних

параметрів, що містяться в показниках більш високого рівня, визначити якість машини.

Порівняльна оцінка технічного рівня дорожніх машин і комплексів загалом, окремих підсистем і робочих процесів за усереднених умов експлуатації і з обліком їх вірогідної інтерпретації може бути виконана на базі запропонованої системи показників.

Для машин того самого призначення досить повне відображення техніко-економічних характеристик об'єкта на етапі формування нового рішення дають узагальнені показники  $П_{NG_n}$  і  $П_{NG}$ .

Загальновідому систему показників, що оцінюють ефективність будівельних машин, варто доповнити низкою нових показників:

$K_{num} = R_N/B$  – показник, що характеризує здатність розвивати відповідний тиск на одиниці довжини робочого органа, Н/м;  $K_T(q) = (T/N)(q/N)$  – питомий показник сили тяги (місткості) робочого органа, що припадає на одиницю потужності, Н/кВт ( $\text{м}^3/\text{кВт}$ );  $K_G-G/N$  – питомий показник, який визначає кількість маси машини, що припадає на одиницю потужності, кг/кВт.

У наведених виразах прийняті такі позначення:  $R_N$  – вертикальний складник, що розвивається робочим органом, Н;  $B$  – довжина робочого органа, м;  $T$  – стискальне зусилля базової машини, кН;  $q$  – місткість робочого органа,  $\text{м}^3$ ;  $N$  – потужність двигуна базової машини, кВт;  $G$  – маса робочого органа базової машини, кг.

Варто ввести також показник, що дозволяє оцінювати кількісно комфортабельність машини,

$$K_{кфТ} = K_R + K_V + K_{кДЦ} + K_{опл} \quad \text{max}, \quad (22)$$

де  $K_R = 1/R \rightarrow \text{max}$  – коефіцієнт, що відтворює маневреність машини через радіус  $R$  її повороту;  $K_V = 1/(50 - V) \rightarrow \text{max}$  – коефіцієнт, що характеризує здатність машини пересуватися в робочому (транспортному) режимі;  $K_{кДЦ} = 20^\circ \dots 22^\circ / (40^\circ - t^\circ) \rightarrow 1$  коефіцієнт, що відтворює наявність у кабіні машиніста кондиціонера, який у спекотний період підтримує задану температуру;  $K_{опл} = 20^\circ \dots 22^\circ / (-40^\circ - t^\circ) \rightarrow 1$  коефіцієнт, що вказує на наявність у кабіні машиніста опалення та підтримує в холодний період задану температуру.

Звівши розглянуті показники в загальновідомий, ієрархічний зв'язок з іншими представлений у табл. 2.

Таблиця 2 – Система показників для оцінки ефективності нових конструктивних рішень

Група оцінки	Найменування показника	Загальна форма запису показників	Умови оптимізації	Умови застосування
1	2	3	4	5
1.	Прибуток. Собівартість одиниці продукції	$C$ $C_{ОД} = C_{М.ЗМ} / \Pi$	$C \rightarrow \max$ $C_{ОД} \rightarrow \min$	Інтегральна оцінка техніко-економічної ефективності
2.	Узагальнений показник енергоємності та матеріалоємності, що належить до виробітку на одного робітника	$\Pi_{NGn_p} = N_{y\delta} / \Pi_{m_{y\delta}} n_{ПИТ}$ $\Pi_{NGn_p} = NGn / \Pi^3$	$\Pi_{NGn_p} \rightarrow \min$	Узагальнена оцінка технічного рівня за економією енергетичних, матеріальних і трудових затрат за умови відомих натуральних показників $N, G, n_p, \Pi$
3.	Узагальнений показник енергоємності та матеріалоємності	$\Pi_{NG} = NG / \Pi^2$ $\Pi_{NG} = N_{num} / \Pi_{m_{num}}$	$\Pi_{NG} \rightarrow \min$	Узагальнена оцінка технічного рівня за економією енергетичних і матеріальних затрат
4.	Енергоємність	$N_{num} = N / \Pi$	$N_{num} \rightarrow \min$	Оцінка економії енергетичних затрат
5.	Матеріалоємність	$G_{num} = G / \Pi$	$G_{num} \rightarrow \min$	Оцінка економії матеріальних затрат
6.	Виробіток на одного робітника	$n_{num} = \Pi / n$	$n_{num} \rightarrow \max$	Оцінка економії трудових затрат
7.	Продуктивність (теоретична, технічна, експлуатаційна)	$\Pi$	$\Pi \rightarrow \max$	Оцінка збільшення продуктивності
8.	Час циклу й робочих операцій	$t_{Ц}$ $t_{pi}$	$t_{Ц} \rightarrow \min$ $t_{pi} \rightarrow \min$	Оцінка продовжуваності та часу робочих операцій
9.	Показник надійності, наприклад, $K_{HD}$ та ін. (ГОСТ 27.202-83)	$K_{HD} = \frac{t_{CP}}{t_{CP} + t_{УСТР} + t_{ПРОФ}}$	$t_{CP} \rightarrow \max$ $t_{УЕУН} \rightarrow \min$ $t_{ПРОФ} \rightarrow \min$	Оцінка якості виготовлення машини та надійності
10.	Окремі технічні параметри	$P, N, G, l$		Оцінка окремих параметрів
11.	Показник, що характеризує можливість розвивати відповідний тиск на одиницю довжини робочого органа	$K_{num} = R_N / B$	$K_{num} \rightarrow \max$	Оцінка можливості занурюватися в ґрунт
12.	Показник сили тяги, місткості, що припадає на одиницю потужності	$K_T(q) = \frac{T}{N} \left( \frac{q}{N} \right)$	$K_T(q) \rightarrow \max$	Узагальнений показник затрат $T, q$ , що припадає на одиницю потужності $N$
13.	Показник, що відображає кількість маси, яка припадає на одиницю потужності	$K_G = \frac{G}{N}$	$K_G \rightarrow \min$	Узагальнений показник затрат $G$ , що припадає на одиницю потужності $N$

Закінчення табл. 2

1	2	3	4	5
14.	Комфортабельність машини	$K_{\text{КФТ}} = K_R + K_V + K_{\text{КДЦ}} + K_{\text{ОПЛ}} \rightarrow \max$	$K_R = \frac{1}{R} \rightarrow \max$ $K_V = \frac{1}{50-V} \rightarrow \max$ $K_{\text{КДЦ}} = \frac{20 \dots 22^\circ}{40^\circ - t^\circ} \rightarrow 1$ $K_{\text{ОПЛ}} = \frac{20 \dots 22^\circ}{-40^\circ + t^\circ} \rightarrow 1$	Оцінка комфортабельності машини: маневрування, швидкість, наявність кондиціонера, системи опалення

Запропонована система показників (див. табл. 2) взаємозалежна з конструкцією машин, їх властивостями, що забезпечує вирішення завдань з удосконалення організації керування якістю продукції за допомогою ЕОМ на основі відомих математичних виражень, що встановлюють зв'язки між показниками і визначальними параметрами.

На етапі експериментальних досліджень показники можуть бути визначені за допомогою фізичного або комбінованого моделювання з масштабними моделями нових конструктивних рішень. Якщо маємо повнорозмірний експериментальний зразок, показники визначаються шляхом прямого виміру.

Розрахунок показників 1–7 груп, що містять продуктивність, може бути проведений на основі значень теоретичної, технічної й експлуатаційної продуктивності. Через експлуатаційну продуктивність у розрахунок уводять показники надійності проекрованої машини.

За умови різноманіття параметрів, що враховуються, ефективність формованого конструктивного рішення оцінюється за величиною комплексного показника  $K_k$  за формулою:

$$K_k = \sum_i^n K_i P_i, \quad (23)$$

де  $K_i$  – відносні  $i$ -ті частки показника ефективності за варіантами нових рішень;  $P_i$  – коефіцієнт вагомості  $i$ -го щодо частки показника ефективності. Відносні частинні показники ефективності визначаються за формулами:

$$K_i = \mathcal{E}_{mp} / \mathcal{E}_n \text{ при } \mathcal{E}_n < \mathcal{E}_{mp}; \quad (24)$$

$$K_i = \mathcal{E}_{mp} / \mathcal{E}_n \text{ при } \mathcal{E}_n > \mathcal{E}_{mp},$$

де  $\mathcal{E}_n$  – значення  $i$ -го показника варіанта нового рішення;  $\mathcal{E}_{mp}$  – значення  $i$ -го показника традиційного рішення, прийнятого за еталон.

Коефіцієнти вагомості відповідних частинних показників визначаються методом експертних оцінок. Для наближених розрахунків можуть бути прийняті значення, наведені в табл. 3.

Зіставлення змінюваних показників здійснюється шляхом їх розрахунку за рекомендованими залежностями і співвідношення їх якісних значень. Зіставлення показників, оцінюваних експертами, здійснюється відношенням бальних оцінок.

Таблиця 3 – Коефіцієнти вагомості приватних показників ефективності нових технічних рішень

Показники	Значення коефіцієнта вагомості
Показника технічного рівня	0,4
Зокрема:	
класифікаційні	0,016
призначення ( $P_{NGn}, P_{NG}, N_{ППТ}, G_{ППТ}$ )	0,072
надійності ( $K_6, K_n$ )	0,076
технологічності	0,036
стандартизації та уніфікації	0,4
ергономічні	0,056
патентно-правові	0,036
технічної естетики	0,068
Економічні показники	0,34
Показники умов продажу та сервісного обслуговування	0,26

Значення показника для традиційного рішення, якщо таких рішень декілька, необхідно розраховувати за величиною середнього значення показника ефективності  $\mathcal{E}_{TRcp}$  за формулою:

$$\mathcal{E}_{TRcp} = \sum_1^n \mathcal{E}_{TRi} / n, \quad (25)$$

де  $\mathcal{E}_{TR}$  – значення показника для  $i$ -го традиційного конструктивного рішення;  $n$  – число традиційних конструктивних рішень в одній групі.

Для оцінки розкиду показників уводять у розрахунок величину допоміжного коефіцієнта –  $K_{TRCP}$ :

$$K_{TRCP} = \mathcal{E}_{TR0} / \mathcal{E}_{TRCP}, \text{ якщо } \mathcal{E}_{TR0} < \mathcal{E}_{TRCP}; \quad (26)$$

$$K_{TRCP} = \mathcal{E}_{TR0} / \mathcal{E}_{TRCP}, \text{ якщо } \mathcal{E}_{TR0} > \mathcal{E}_{TRCP},$$

де  $\mathcal{E}_{TR0}$  – базове значення показника в групі традиційних конструктивних рішень.

Рівень ефективності конструктивного рішення визначається за величиною коефіцієнта

та ефективності нового конструктивного рішення:

$$K_{HOV} = \mathcal{E}_{TR0} / \mathcal{E}_{HOVi}, \quad (27)$$

де  $\mathcal{E}_{HOVi}$  – показник  $i$ -го варіанта нового технічного рішення.

Виявлення базового показника  $\mathcal{E}_{TR0}$  визначається за мінімальним (максимальним) значенням показника ефективності для традиційних конструктивних рішень. Варіанти оцінки конструктивних рішень на базі коефіцієнтів  $K_{TRCP}$  і  $K_{HOV}$  наведені в табл. 4.

Таблиця 4 – Оцінка ефективності конструктивних рішень на етапі формування

Відношення коефіцієнта ефективності	Оцінка рівня нового конструктивного рішення	Перспективність конструктивного рішення
$K_{HOV} < K_{TRCP}$	Нижча за середній рівень	Неперспективне
$K_{HOV} = K_{TRCP}$	Відповідає середньому рівню	Неперспективне
$1 > K_{HOV} > K_{TRCP}$	Вища за середній рівень	Неперспективне
$K_{HOV} = 1$	Відповідає кращим наявним конструктивним рішенням	Мало перспективне
$K_{HOV} > 1$	Вища за наявні конструктивні рішення	Перспективне

Ефективність нового конструктивного рішення на етапі його формування за всією сукупністю частинних показників може бути визначена досить умовно. На цьому етапі не можуть бути визначені показники економічного призначення та конкурентноздатності через крайню невизначеність вихідної інформації. З більшою визначеністю оцінка може бути здійснена за показниками призначення (групи 2–11, див. табл. 2). У цьому випадку може бути використаний частинний коефіцієнт конструктивного рівня, що розраховується за одним із зазначених у таблиці показників:

$$K_K = P_{TR} / P_H \text{ при } P_{TR} > P_H; \quad (28)$$

$$K_K = P_{TR} / P_H \text{ при } P_{TR} < P_H,$$

де  $P_H$  – показник із системи, наведеної в табл. 2; для одного з варіантів нового рішення;  $P_{TR}$  – той же показник для наявного традиційного рішення.

Беручи до уваги, що на етапі формування нових конструктивних рішень ефективність його визначається за одним показником, коефіцієнт вагомості в цьому випадку приймається рівним одиниці ( $p_i = 1$ ).

Якщо для традиційного рішення існує кілька варіантів, то розрахунок коефіцієнтів технічного рівня проводять за середнім значенням показника ефективності

$$P_{TRCP} = \sum_{i=1}^n P_{TRi} / n, \quad (29)$$

де  $P_{TRi}$  – значення показника для  $i$ -го традиційного конструктивного рішення;  $n$  – число традиційних конструктивних рішень, прийнятих для аналізу.

Важливо в цьому випадку врахувати статистичний розкид величини коефіцієнтів технічного рівня шляхом уведення в розрахунок допоміжного коефіцієнта.

$$K_{TRCP} = P_{TR0} / P_{TRCP} \text{ при } P_{TR0} < P_{TRCP}; \quad (30)$$

$$K_{TRCP} = P_{TR0} / P_{TRCP} \text{ при } P_{TR0} > P_{TRCP},$$

де  $P_{TR0}$  – базове значення показника в групі традиційних конструктивних рішень.

У цьому випадку рівень нового конструктивного рішення визначається за величиною коефіцієнта ефективності:

$$K_{HOV} = P_{TR0} / P_{HOVi}, \quad (31)$$

де  $P_{HOVi}$  – показник  $i$ -го варіанта нового технічного рішення.

Виявлення базового показника  $P_{TR0}$  здійснюється за аналізом розрахункових показників для традиційних конструктивних рішень, що складають аналізовану групу  $P_{TRi}$ . Показники розташовуються у ранжований ряд:



$$P_{TP_{min}} < \dots P_{TP_{(k-1)}} < \dots P_{TP_k} < \dots < P_{TP_i}. \quad (32)$$

Мінімальному значенню показника надається індекс базового або нормативного показника, що відповідає кращому традиційному конструктивному рішення, яке визначається як базове рішення.

Розглянуті положення дозволяють розробити систему оцінки нового конструктивного рішення. Варіанти оцінки наведені в табл. 4 залежно від величин коефіцієнтів ефективності.

Вихідними даними для оцінки конструктивних рішень є параметри, що визначають значення відповідних показників: очікувані параметри умов експлуатації; значення ККД створюваного об'єкта. Для нового конструктивного рішення ці величини визначаються розрахунком на основі теоретичної моделі формованого конструктивного рішення. Для традиційного конструктивного рішення важливо з наявної групи рішень визначити базове. Для цього необхідно виконати такі дії: систематизувати вихідну інформацію (технічну документацію, каталоги, проспекти та ін.); визначити параметри, що містяться в показниках ефективності; розрахувати відповідні показники ефективності; ранжувати показники та встановити кращий об'єкт техніки.

Визначення ефективності техніки на основі розглянутої методики здійснюють у такій послідовності: визначають параметри нового конструктивного рішення, необхідні для розрахунку показників ефективності; виявляють відповідні показники ефективності традиційних конструктивних рішень; визначають базове традиційне конструктивне рішення; розраховують середнє значення коефіцієнта ефективності конструктивного рі-

шення  $K_{TRC}$ ; розраховують коефіцієнт ефективності нового конструктивного рішення  $K_{NOB}$ ; здійснюють оцінку нового конструктивного рішення; оцінюють нове конструктивне рішення відповідно до рекомендацій, наведених у табл. 3 і 4.

### Оцінка ефективності землерийних машин з робочим обладнанням багатоцільового призначення

Розроблена методика може бути використана для визначення параметрів будівельних машин з багатоцільовими робочими органами та устаткуванням, а також багатоцільових будівельних маніпуляторів різного призначення й типу.

Для встановлення ефективності використання різних типів машин розроблені теоретичні моделі визначення показників ефективності (матеріало- та енергоємність), показника ступеня економії енергетичних, матеріальних і трудових ресурсів (табл. 5).

Для вибору складу будівельних машин для виконання 1-го технологічного процесу\*, використовуючи показники ефективності будівельних машин (табл. 5), можна скласти теоретичні моделі визначення показників ефективності всього цього процесу, у виконанні якого беруть участь вузькоспеціалізовані машини, машини багатоцільового призначення з швидкоз'ємними робочими органами, машини багатоцільового призначення маніпуляторного типу та машини багатоцільового призначення маніпуляторного типу з додатковим комплектом змінних швидкоз'ємних робочих органів (зі шлейфом швидкозахоплюваних робочих органів).

Матеріалоємність виконання всього 1-го технологічного процесу:

$$G_{yD} = \frac{\sum_l^a G_{il}}{\sum_l^a \Pi_{\varepsilon} p_{il}} + \frac{\sum_l^f G_{\delta a_{\varepsilon} il}^{lc} + \sum_l^b G_{p.o_{il}}}{\sum_l^b \Pi_{\varepsilon} p_{il}} + \frac{\sum_l^h (G_{\delta a_{\varepsilon} il}^{MT} + G_{p.o_{il}}^{MT})}{\sum_l^c \Pi_{\varepsilon} p_{il}} + \frac{\sum_l^q (G_{\delta a_{\varepsilon} il}^{MT} + G_{p.o_{il}}^{MT}) + \sum_l^d G_{p.o_{il}}}{\sum_l^d \Pi_{\varepsilon} p_{il}}. \quad (33)$$

Енергоємність виконання всього 1-го технологічного процесу:

$$N_{yD} = \frac{\sum_l^a N_{il}}{\sum_l^a \Pi_{\varepsilon} p_{il}} + \frac{\sum_l^b N_{il}}{\sum_l^b \Pi_{\varepsilon} p_{il}} + \frac{\sum_l^c N_{il}}{\sum_l^c \Pi_{\varepsilon} p_{il}} + \frac{\sum_l^d N_{il}}{\sum_l^d \Pi_{\varepsilon} p_{il}}. \quad (34)$$

Умовний узагальнений показник, що відтворює ступінь економії енергетичних, матеріальних і трудових ресурсів:

$$\Pi_{NGn} = \frac{\sum_l^d N_{il} G_{il} n_{pil}}{\sum_l^a (\Pi_{\varepsilon} p_{il})^3} + \frac{G_{уд} (\sum_l^f G_{\text{баз}il} + \sum_l^b G_{p.oil}) \sum_l^f n_{pil}^{nc} \sum_l^{b'} N_{il}}{\sum_l^b (\Pi_{\varepsilon} p_{il})^3} + \frac{\sum_l^h (G_{\text{баз}il}^{MT} + G_{p.oil}) \sum_l^h n_{pil}^{MT} \sum_l^c N_u}{\sum_l^c \Pi_{\varepsilon} p_{il}} + \frac{\sum_l^q (\dots)}{G_{уд}} \quad (35)$$

\* Під  $l$ -им технологічним процесом розуміється процес, що складається з 1, 2, 3, ...,  $j$ , ...,  $m$  операцій.

Таблиця 5 – Теоретичні моделі показників ефективності будівельних машин

Показники	Комплект вузькоспеціалізованих машин	Машина з легкоз'ємними робочими органами	Машина багатоцільового призначення маніпуляторного типу	Машини багатоцільового призначення маніпуляторного типу з додатковим комплектом змінних швидко-захоплюваних робочих органів
	$\frac{\sum_i^m G_i}{\sum_i^m \Pi_{\varepsilon} p_i}$	$\frac{G_{\text{баз}} + \sum_i^m G_{p.o_i}}{\sum_i^m \Pi_{\varepsilon} p_i}$		$\frac{G_{\text{баз}} + G_{p.o} + \sum_i^t G_{p.o_i}}{\sum_i^m \Pi_{\varepsilon} p_i}$
Енергоємність, $N_{уд}$	$\frac{\sum_i^{n'} N_i}{\sum_i^m \Pi_{\varepsilon} p_i}$			
Показник ступеня економії енергетичних, матеріальних трудових ресурсів, $\Pi_{NGn}$	$\frac{\sum_i^m N_i G_i n_{pi}}{\sum_i^m (\Pi_{\varepsilon} p_i)^3}$	$\frac{(G_{\text{баз}} + \sum_i^m G_{p.o_i}) n_p \sum_i^{n'} N_i}{\sum_i^m (\Pi_{\varepsilon} p_i)^3}$	$\frac{(G_{\text{баз}} + G_{p.o}) n_p \sum_i^{n'} N_i}{\sum_i^m (\Pi_{\varepsilon} p_i)^3}$	$\frac{(G_{\text{баз}} + G_{p.o} + \sum_i^m G_{p.o_i}) n_p \sum_i^{n'} l}{\sum_i^m (\Pi_{\varepsilon} p_i)^3}$

Примітка. У таблиці прийняті такі умовні позначки:  $G_{\text{баз}}$  – маса базової машини;  $G_{p.o}$  – маса робочого органа машини багатоцільового призначення маніпуляторного типу;  $G_{p.o_i}$  – маса змінного робочого органа  $i$ -го виду до машини багатоцільового призначення;  $G_i$  – маса вузькоспеціалізованої машини;  $N_i$  – потужність двигунів, установлених на машинах;  $\Pi_{\varepsilon}$  – експлуатаційна продуктивність у виконанні відповідних операцій;  $p_i$  – імовірність появи відповідних видів робіт, операцій і умов експлуатації;  $n_{pi}$  – кількість робітників,

зайнятих на обслуговуванні вузькоспеціалізованої машини  $i$ -го виду;  $n_p$  – кількість робітників, зайнятих на обслуговуванні машини багатоцільового призначення;  $m$  – кількість видів робіт або операцій;  $n$  – кількість двигунів, установлених на машині;  $l$  – кількість змінних швидкозахоплювальних робочих органів у додатковому комплекті до машини багатоцільового призначення маніпуляторного типу.

У наведених формулах прийняті такі позначення: кількість – маса вузькоспеціалізованої машини  $i$ -го типу, що брали участь у

виконанні 1-го технологічного процесу;  $G_{баз}$ ,  $G_{p.o_i}$  – маси базових машин багатоцільового призначення і-го типу відповідно до легкоз'ємних робочих органів і маніпуляторного типу, у виконанні і-го технологічного процесу;  $G_{p.o_i}$  – маса змінного робочого органа і-го типу до машини багатоцільового призначення, що брали участь у виконанні 1-го технологічного процесу;  $G_{p.o_i}^{MT}$  – маса робочого органа машини багатоцільового призначення маніпуляторного типу і-го типу, що брали участь у виконанні 1-го технологічного процесу;  $N_{il}$  – потужність двигунів, установлених на машинах і-х типів, що брали участь у виконанні 1-го технологічного процесу;  $n_{pil}$  – кількість робітників, зайнятих на обслуговуванні вузькоспеціалізованої машини і-го типу, що брала участь у виконанні 1-го технологічного процесу;  $n_{pil}^{MT}$ ,  $n_{pil}^{MTC}$  – кількість робітників, зайнятих на обслуговуванні відповідно машин багатоцільового призначення за легкоз'ємними робочими органами і-го типу, маніпуляторного і-го типу і маніпуляторного з додатковим комплектом змінних швидкозахоплювальних робочих органів і-го типу, що брали участь у виконанні 1-го технологічного процесу;  $a$  – кількість операцій 1-го технологічного процесу, виконуваних вузькоспеціалізованими машинами;  $b$  – кількість операцій 1-го технологічного процесу, виконуваних машинами багатоцільового призначення з легкоз'ємними робочими органами;  $c$  – кількість операцій 1-го технологічного процесу, виконуваних машинами багатоцільового призначення маніпуляторного типу;  $d$  – кількість операцій 1-го технологічного процесу, виконуваних машинами багатоцільового призначення маніпуляторного типу з додатковим комплектом змінних швидкозахоплювальних робочих органів;  $a'$  – кількість двигунів, установлених на вузькоспеціалізованих машинах;  $b'$  – кількість двигунів, установлених на машинах багатоцільового призначення з легкоз'ємними робочими органами;  $c'$  – кількість двигунів, установлених на машинах багатоцільового призначення маніпуляторного типу;  $d'$  – кількість двигунів, установлених на машинах багатоцільового призначення маніпуляторного типу з додатковими комплектами змінних швидкозахоплювальних робочих органів;  $f$  – кількість машин багатоцільового призначення з легкоз'ємними робочими органами, що беруть участь у виконанні 1-го технологічного

процесу;  $h$  – кількість машин багатоцільового призначення маніпуляторного типу, що брали участь у виконанні 1-го технологічного процесу;  $q$  – кількість машин багатоцільового призначення маніпуляторного типу з додатковими комплектами змінних швидкозахоплювальних робочих органів, що брали участь у виконанні 1-го технологічного процесу;  $d''$  – кількість змінних швидкозахоплювальних робочих органів до машин багатоцільового призначення, що брали участь у виконанні 1-го технологічного процесу;  $\Pi_{эи}$  – експлуатаційна продуктивність у процесі здійснення відповідних операцій машинами, що беруть участь у виконанні 1-го технологічного процесу;  $p_{il}$  – імовірність появи відповідних операцій і умов експлуатації за умови виконання 1-го технологічного процесу.

У будівництві різних об'єктів необхідно виконувати технологічні процеси, що складаються з певної кількості операцій, за допомогою будівельних машин послідовно один за одним або сполучати деякі з них частково або повністю. У роботах на кожній операції можуть брати участь різні типи машин. Тому для ефективного виконання всього технологічного процесу необхідно підібрати оптимальний склад машин, що забезпечує максимальну економію матеріальних, енергетичних і трудових ресурсів.

У табл. 6 наведений 1-й будівельний технологічний процес, що полягає з операцій 1, 2, ..., j, ..., m, для виконання якого є можливість виділити певну кількість будівельних машин різних типів 1, 2, 3, ..., i, ..., n. Букви вказують на належність машини до групи вузькоспеціалізованих машин (С) і машин багатоцільового призначення (М), а номер після букви визначає тип машини, що належить до відповідної групи.

Можливість виконання і-ю машиною j-ї операції 1-го технологічного процесу визначається порівнянням параметрів j-ї операції в проектній документації на споруджуваній об'єкт із технологічними можливостями і-ї машини, узятих з її технічної характеристики. Якщо технологічні можливості і-ї машини здатні виконати j-тю технологічну операцію, то в клітинці ij ставиться знак «+», а якщо немає – знак «-» і в цьому випадку і-тя машина для j-ї операції не розглядається. Далі визначають показники ефективності виконання кожної будівельної операції з їх послідовності 1, 2, 3, ..., j, ..., m 1-го будівельного технологічного процесу машинами різних типів.

Таблиця 6 – Вибір складу будівельних машин для виконання l-го технологічного процесу з максимальною економією матеріальних, енергетичних і трудових ресурсів

		Номер операції						
		1	2	3	...	j	...	m
Номер машини	$C_1$	+	-	+	...	+	...	+
		$G_{ПИТi1}$		$G_{ПИТi3}$		$G_{ПИТi j}$		$G_{ПИТim}$
		$N_{ПИТi1}$		$N_{ПИТi3}$		$N_{ПИТi j}$		$N_{ПИТim}$
		$N_{NGn1}$		$\Pi_{NGn13}$		$\Pi_{NGn1 j}$		$\Pi_{NGnim}$
	$M_2$	-	+	-	...	+	...	-
			$G_{ПИТ22}$			$G_{ПИТ2 j}$		
			$N_{ПИТ22}$			$N_{ПИТ2 j}$		
			$\Pi_{NGn22}$			$\Pi_{NGn2 j}$		
	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	$M_i$	+	+	+	...	+	...	+
		$G_{ПИТi1}$	$G_{ПИТi2}$	$G_{ПИТi3}$		$G_{ПИТi j}$		$G_{ПИТim}$
		$N_{ПИТi1}$	$N_{ПИТi2}$	$N_{ПИТi3}$		$N_{ПИТi j}$		$N_{ПИТim}$
		$\Pi_{NGn1}$	$\Pi_{NGn2}$	$\Pi_{NGn3}$		$\Pi_{NGn j}$		$\Pi_{NGnim}$
	...	.....	.....	.....	...	.....	...	.....
	$M_n$	-	-	+	...	+	...	+
				$G_{ПИТn3}$		$G_{ПИТn j}$		$G_{ПИТnm}$
				$N_{ПИТn3}$		$N_{ПИТn j}$		$N_{ПИТnm}$
				$\Pi_{NGn3}$		$\Pi_{NGn j}$		$\Pi_{NGnm}$
$G_{ПИТijopt}$		min $G_{ПИТi1}$	min $G_{ПИТi2}$	min $G_{ПИТi3}$	...	min $G_{ПИТi j}$	...	min $G_{ПИТim}$
$N_{ПИТijopt}$		min $N_{ПИТi1}$	min $N_{ПИТi2}$	min $N_{ПИТi3}$	...	min $N_{ПИТi j}$	...	min $N_{ПИТim}$
$\Pi_{NGnijopt}$		min $\Pi_{NGn1}$	min $\Pi_{NGn2}$	min $\Pi_{NGn3}$	...	min $\Pi_{NGn j}$	...	min $\Pi_{NGnim}$

Мінімальні значення матеріалосмості, енергоємності та узагальненого показника економії енергетичних, матеріальних і трудових ресурсів для виконання j-ї операції l-го технологічного процесу відповідає оптимальним значенням показників:

$$G_{уд, opt} = \min G_{уд, i}; N_{уд, opt} = \min N_{уд, i}; \Pi_{NGn, opt} = \min \Pi_{NGn, i}$$

Кожному оптимальному значенню показників  $G_{уд, opt}$ ,  $N_{уд, opt}$ ,  $G_{NGn, opt}$  відповідає певний тип машини. Виходячи з цього, підбирається склад машини для виконання l-го технологічного процесу з максимальною економією матеріальних, енергетичних і трудових ресурсів у сукупності.

Продуктивність у підсумку в умовах виконання різних видів виражається в одній розмірності.

#### Характер зміни узагальненого показника від визначальних чинників

Узагальнений показник  $\Pi_{NG}$  змінюється відповідно до розміру машини й істотно залежить від принципу дії. Для традиційних об'єктів техніки має місце тенденція зменшення показника  $\Pi_{NG}$  у часі або його стабілізації. На сучасному етапі як показник ефективності, що є основою встановлення зв'язків між окремими приватними показниками, є показник наведених питомих витрат. Наведені витрати розглядаються як цільова функція, а потужність, маса та інші – як визначальні чинники.

Розрахункові залежності для виявлення наведених витрат для традиційних машин і групи перспективних щодо бульдозерів на колісному й гусеничному ході, будівельних навантажувачів, скреперів, розпушувачів, екскаваторів наведені в табл. 7.

Таблиця 7 – Регресійні моделі, що визначають залежність наведених витрат від потужності й маси машин

Тип машини	Залежність наведених витрат грн/год від потужності, кВт і маси машини, $m$		
	Традиційне виконання (В.І. Баловнєв)	Із двоножовою системою копання (Л.А. Хмара)	Обладнання із ВСН (Л.А. Хмара)
Бульдозери гусеничні	$Z_{np} = 4,0 + 0,07N + 0,38G$	$Z_{np} = 4,0 + 0,06N + 0,33G$	$Z_{np} = 4,0 + 0,06N + 0,29G$
Бульдозери колісні	$Z_{np} = 9,0 + 0,05N + 0,41G$	$Z_{np} = 9,0 + 0,05N + 0,39G$	$Z_{np} = 9,0 + 0,05N + 0,37G$
Скрепери	$Z_{np} = 3,8 + 0,11N + 0,57G$	$Z_{np} = 3,8 + 0,10N + 0,51G$	$Z_{np} = 3,75 + 0,10N + 0,52G$
Навантажувачі одноківшеві фронтальні пневмоколісні	$Z_{np} = 9,2 + 0,13N + 0,49G$	$Z_{np} = 9,2 + 0,12N + 0,46G$	-
Розпушувачі на гусеничному ході	$Z_{np} = 4,0 + 0,05N + 0,35G$	$Z_{np} = 4,0 + 0,05N + 0,31G$	-
Екскаватори з канатно-блоковою системою керування	$Z_{np} = 8,2 + 0,11N + 0,43G$	$Z_{np} = 8,2 + 0,10N + 0,36G$	-
Екскаватори гідравлічні	$Z_{np} = 7,9 + 0,1N + 0,40G$	$Z_{np} = 7,9 + 0,10N + 0,35G$	-

Перелічені витрати представлені у вигляді суми, кожне з доданків якої характеризує витрати на певну групу підсистем машини: перша група містить витрати, пропорційні ергономічним показникам: зручність, безпека, елементи бортових ЕОМ та ін. (для всіх типорозмірів машин ці властивості здебільшого однакові).

Коефіцієнти підвищення продуктивності землерійно-транспортних машин з інтенсифікаторами наведені в табл. 8.

Друга група становить витрати на створення енергетичної підсистеми, величина яких у першому наближенні пропорційна величині потужності встановленого двигуна –  $N$ ; третя група становить витрати на створення технологічної або функціональної підсистеми машини, які пропорційні масі (силі ваги) машини.

Ефективність машин може бути оцінена коефіцієнтом зниження наведених витрат:

$$K_{\text{ефз}} = \frac{Z_{np}^{\text{TP}} - Z_{np}^{\text{H}}}{Z_{np}^{\text{TP}}}, \quad (36)$$

де  $Z_{np}^{\text{TP}}$  – наведені витрати, визначені за допомогою регресійних моделей для машин традиційного виконання (табл. 7);  $Z_{np}^{\text{H}}$  – те саме для машин, оснащених інтенсифікаторами, наприклад із двоножовою системою із застосуванням ВСН та ін. (див. табл. 7).

*Примітка:* 1. У розрахункових моделях підвищення продуктивності в разі зменшення опорів ґрунтів копанню враховано за зміною швидкості процесу, маси ґрунту, що набирається, тривалості циклу та ін.

2. До інтенсифікаторів традиційного типу належать такі, що забезпечують підвищення ефективності робочого процесу без додаткового підведення енергії до робочого органа (ВСН, які виступають, бічні ножі, двоножові системи копання, раціональна форма або конфігурація робочого органа тощо).

Таблиця 8 – Регресійні моделі для визначення коефіцієнтів підвищення продуктивності ЗТМ з інтенсифікаторами традиційного типу в процесі розроблення різних ґрунтів

№ п/п	Тип ґрунту	Бульдозер	Скрепер
1.	Пісок	$K_{\text{ЕП}} = 0,08 + 0,251K_{\text{еф}} + 0,787K_{\text{еф}}^2$	$K_{\text{ЕП}} = 0,078 + 0,683K_{\text{еф}} - 0,068K_{\text{еф}}^2 - 0,032K_{\text{еф}}^3$
2.	Супісок	$K_{\text{ЕП}} = 0,08 + 0,33K_{\text{еф}} + 0,748K_{\text{еф}}^2$	$K_{\text{ЕП}} = 0,064 + 0,531K_{\text{еф}} + 6,79K_{\text{еф}}^2 + 16,21K_{\text{еф}}^3 - 12,288K_{\text{еф}}^4$
3.	Суглинок	$K_{\text{ЕП}} = 0,07 + 0,64K_{\text{еф}}$	$K_{\text{ЕП}} = 0,102 + 0,5K_{\text{еф}} + 0,053K_{\text{еф}}^2$
4.	Глина	$K_{\text{ЕП}} = 0,07 + 0,26K_{\text{еф}} + 2,978K_{\text{еф}}^2 - 4,73K_{\text{еф}}^3$	$K_{\text{ЕП}} = 0,147 + 0,215K_{\text{еф}} + 0,43K_{\text{еф}}^2$

Для робочих органів багатоцільового призначення, наприклад, переналагоджених в умовах зміни технології робіт, видів робіт тощо, наведені питомі витрати визначаються виразом

$$Z_{\text{sum}} = \sum_{i=1}^n Z_{\text{sum}_i} = \frac{Z_{np_1}}{P_1 \cdot p_1} + \frac{Z_{np_2}}{P_2 \cdot p_2} + \dots + \frac{Z_{np_n}}{P_n \cdot p_n}, \quad (37)$$

де  $Z_{np_1}, Z_{np_2}, \dots, Z_{np_n}$  – наведені витрати, пов'язані з витратами відповідно під час копання ґрунту, навантаження матеріалу, захоплення вантажу, його установа, роботи грейфером та ін.;  $P_1, P_2, \dots, P_n$  – продуктивності відповідно для різних видів робіт – копання, навантаження матеріалу, захоплення вантажу, його установа, роботи грейфером тощо;  $p_1, p_2, \dots, p_n$  – статистична ймовірність відповідних видів робіт.

Слід зазначити, що наведена вище система показників не дозволяє оцінити застосування ТРО за умови копання на максимальних глибинах  $H_K$ , радіусів копання  $R$  та їх змінних значеннях. Максимізація цих показників дозволяє максимально розширити робочу зону ОГЕ, збільшити об'єм розроблюваного ґрунту в періоді одного переміщення та забезпечити максимальну продуктивність у процесі роботи на майданчиках з обмеженими під'їздами та вузьких місцях. Упровадження ТРО призводить до розширення технологічних умов виконання робіт, таким чином, ОГЕ однієї розмірної категорії може виконувати роботи на глибинах ОГЕ декількох розмірних груп, зокрема наступної розмірної категорії, тим самим РО. Для визначення ефективності використання ОГЕ з ТРО по глибині та радіусу копання розроблено низку показників [13, 14, 15, 16]:

– показник оцінки енергоємності за глибиною копання:

$$H_N = \frac{N}{H_K} = \frac{N}{\sum_{1,1}^{n,Q} H_K^T p_i}, H_N \rightarrow \min; \quad (38)$$

– показник оцінки матеріалоемності за глибиною копання:

$$H_G = \frac{G}{H_K} = \frac{G}{\sum_{1,1}^{n,Q} H_K^T p_i}, H_G \rightarrow \min; \quad (39)$$

– узагальнений показник економії енергоємності та матеріалоемності за глибиною копання:

$$H_{NG} = \frac{NG}{R_K^2} = \frac{NG}{\left(\sum_{1,1}^n H_K^T p_i\right)^2}; \quad (40)$$

$$H_{NG} \rightarrow \min;$$

– показник оцінки енергоємності за радіусом копання:

$$R_N = \frac{N}{R} = \left[\min\left(\frac{N}{R^T}\right), \max\left(\frac{N}{R^T}\right)\right]; \quad (41)$$

$$R_N \rightarrow \min;$$

– показник оцінки матеріалоемності за радіусом копання:

$$R_G = \frac{G}{R} = \left[\min\left(\frac{G}{R^T}\right), \max\left(\frac{G}{R^T}\right)\right]; \quad (42)$$

$$R_G \rightarrow \min;$$

– узагальнений показник економії енергоємності та матеріалоемності за радіусом копання:

$$R_{NG} = \frac{NG}{R^2} = \left[\min\left(\frac{NG}{(R^T)^2}\right), \max\left(\frac{NG}{(R^T)^2}\right)\right]; \quad (43)$$

$$R_{NG} \rightarrow \min;$$

Виконання спеціальних робіт (наприклад, копання глибоких траншей) не завжди потребує використання ковшів великої місткості для цих робіт. Таким чином, у створенні ТРО треба враховувати технологічні умови використання робочих органів. Тому систему показників оцінки ефективності ТРО ОГЕ доповнено визначенням значень додаткових показників, в основі яких лежить урахування типорозміру ковша за його місткістю  $q$ , м<sup>3</sup>[15]:

– показник оцінки енергоємності за місткістю ковша  $q_N$ :

$$q_N = \frac{N}{q}, q_N \rightarrow \min; \quad (44)$$

– показник оцінки матеріалоемності за місткістю ковша  $q_G$ :

$$q_G = \frac{G}{q}, q_G \rightarrow \min; \quad (45)$$

– узагальнений показник економії енергоємності та матеріалоємності за місткістю ковша,  $q_{NG}$ :

$$q_{NG} = \frac{NG}{q^2}, q_{NG} \rightarrow \min; \quad (46)$$

– узагальнений показник економії енергоємності та матеріалоємності за глибиною копання та місткістю ковша,  $H_{NGq}$ :

$$H_{NGq} = \frac{N^2 G^2}{H_K^2 q^2} = \frac{N^2 G^2}{(\sum_i H_K^T P_i)^2 q^2}; \quad (47)$$

$$H_{NGq} \rightarrow \min;$$

– узагальнений показник економії енергоємності та матеріалоємності за радіусом копання та місткістю ковша,  $R_{NGq}$ :

$$R_{NGq} = \frac{N^2 G^2}{R^2 q^2} = [\min(\frac{N^2 G^2}{(R^T)^2 q^2}, \max(\frac{N^2 G^2}{(R^T)^2 q^2})];$$

$$R_{NGq} \rightarrow \min. \quad (48)$$

Забезпечення різноманіття геометричних параметрів РО ОГЕ в традиційних структурах РО вимагає використання змінних чи додаткових елементів РО, що, зокрема, призводить до залучення додаткового персоналу для виконання цих робіт. Застосування ТРО дозволяє мінімізувати час простою та виключити залучення додаткового персоналу:

– виробіток на одного працівника, де  $w$  – кількість робітників, залучених для виконання  $i$ -ї операції:

$$w_{IT} = \frac{1}{w} \cdot \sum_{1,1}^{n,Q} \Pi_{e_i}, w_{IT} \rightarrow \max. \quad (49)$$

Орієнтовна попередня оцінка ефективності конструкційних рішень машини з ТРО може бути виконана на основі аналізу узагальненого показника енергоємності, матеріалоємності та виробітку на одного робітника  $\Pi_{NGw}$ . Ефективність визначають порівнянням показників  $\Pi_{NGw_1}$  та  $\Pi_{NGw_{км}}$  – ОГЕ з ТРО та комплекту ОГЕ з РО одностільового призначення, що виконують однакові види робіт відповідно [45, 68–73]:

$$\Pi_{NGw_1} = \frac{N_{IT} (G + \sum_1^k G_j) w_p p_{w_p}}{\sum_{1,1}^{k,Q} (\Pi_{jq} p_j p_q)^3}; \quad (50)$$

$$\Pi_{NGw_1} \rightarrow \min,$$

де  $k$  – кількість робочих органів, які забезпечують виконання відповідних видів робіт;  $\Pi_{jq}$  – продуктивність на кожному виді робіт та умов експлуатації;  $p_j$  – вірогідність появи відповідних видів робіт;  $p_q$  – вірогідність появи відповідних умов експлуатації;  $G_j$  – маса (сила тяжіння) робочих органів, які забезпечують переобладнання ТРО для виконання відповідних видів робіт;  $w_p$  – кількість робітників, які обслуговують машину;  $p_{w_p}$  – вірогідність одночасної появи робітників, які обслуговують машину.

Таблиця 9 – Система показників для оцінки ефективності інноваційного телескопічного робочого обладнання

№ п/п	Показники	Розмірність	Загальна форма запису показників	Умови раціоналізації та оптимізації
1	2	3	4	5
1	Експлуатаційна продуктивність на $i$ -му виді робіт	$\frac{м^3}{год}$	$\Pi_{e_1}$	$\Pi_{e_1} \rightarrow \max$
2	Об'єм ґрунту, розроблюваного в періоді одного переміщення ОГЕ	$м^3$	$V_{mex.i}$	$V_{mex.i} \rightarrow \max$
3	Глибина копання	$м$	$H_K$	$H_K \rightarrow \max$
4	Радіус копання	$м$	$R$	$R \rightarrow \max$
5	Місткість ковша	$м^3$	$q$	$q \rightarrow \max$
6	Маса (сила тяжіння) ОГЕ	$кг (кН)$	$G$	$G \rightarrow \min$
7	Потужність ОГЕ	$кВт$	$N$	$N \rightarrow \min$

Закінчення табл. 9

1	2	3	4	5
8	Час циклу та переміщення	с	$t_u : t_{nep}$	$t_u \rightarrow \min$ $t_{nep} \rightarrow \min$
9	Питома енергоемність	$\frac{\text{кВт}}{\text{м}^3/\text{ГОД}}$	$N_{ITT} = \frac{N}{P_{\epsilon_1}}$	$N_{ITT} \rightarrow \min$
10	Питома матеріалоемність	$\frac{\text{кН}}{\text{м}^3/\text{ГОД}}$	$G_{ITT} = \frac{G}{P_{\epsilon_1}}$	$G_{ITT} \rightarrow \min;$
11	Узагальнений показник енергоемності та матеріалоемності	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{кН}}{\text{м}^3/\text{ГОД}}$	$\Pi_{NG} = \frac{NG}{P_{\epsilon_1}^2}$	$\Pi_{NG} \rightarrow \min;$
12	Показник оцінки енергоемності по глибині копання	$\frac{\text{кВт}}{\text{м}}$	$H_{NG} = \frac{N}{H_K}$	$H_N \rightarrow \min;$
13	Показник оцінки матеріалоемності за глибиною копання	$\frac{\text{кН}}{\text{м}}$	$H_G = \frac{G}{H_K}$	$H_G \rightarrow \min;$
14	Узагальнений показник економії енергоемності та матеріалоемності за глибиною копання	$\frac{\text{кН} \cdot \text{кВт}}{\text{м}^2}$	$H_{NG} = \frac{NG}{H_K^2}$	$H_{NG} \rightarrow \min;$
15	Показник оцінки енергоемності за радіусом копання	$\frac{\text{кВт}}{\text{м}}$	$R_N = \frac{N}{R}$	$R_N \rightarrow \min;$
16	Показник оцінки матеріалоемності за радіусом копання	$\frac{\text{кН}}{\text{м}}$	$R_G = \frac{G}{R}$	$R_G \rightarrow \min;$
17	Узагальнений показник економії енергоемності та матеріалоемності за радіусом копання	$\frac{\text{кН} \cdot \text{кВт}}{\text{м}^2}$	$R_{NG} = \frac{NG}{R^2}$	$R_{NG} \rightarrow \min;$
18	Питома продуктивність за потужністю ОГЕ	$\frac{\text{м}^3/\text{ГОД}}{\text{кВт}}$	$\Pi_{ITT_N} = \frac{P_{\epsilon_1}}{N}$	$\Pi_{ITT_N} \rightarrow \max;$
19	Питома продуктивність за масою ОГЕ	$\frac{\text{м}^3/\text{ГОД}}{\text{кН}}$	$\Pi_{ITT_G} = \frac{P_{\epsilon_1}}{G}$	$\Pi_{ITT_G} \rightarrow \max;$
20	Показник оцінки енергоемності за місткістю ковша	$\frac{\text{кВт}}{\text{м}^3}$	$q_N = \frac{N}{q}$	$q_N \rightarrow \min;$
21	Показник оцінки матеріалоемності за місткістю ковша	$\frac{\text{кН}}{\text{м}^3}$	$q_G = \frac{G}{q}$	$q_G \rightarrow \min;$
22	Узагальнений показник економії енергоемності та матеріалоемності за місткістю ковша	$\frac{\text{кН} \cdot \text{кВт}}{\text{м}^6}$	$q_{NG} = \frac{NG}{q^2}$	$q_{NG} \rightarrow \min;$
23	Узагальнений показник економії енергоемності та матеріалоемності за глибиною копання та місткістю ковша	$\frac{\text{кН}^2 \cdot \text{кВт}^2}{\text{м}^8}$	$H_{NGq} = \frac{N^2 G^2}{H_K^2 q^2}$	$H_{NGq} \rightarrow \min;$
24	Узагальнений показник економії енергоемності та матеріалоемності за радіусом копання та місткістю ковша	$\frac{\text{кН}^2 \cdot \text{кВт}^2}{\text{м}^8}$	$R_{NGq} = \frac{N^2 G^2}{R^2 q^2}$	$R_{NGq} \rightarrow \min;$

Комплект ОГЕ, які виконують ті ж самі види робіт, що й ОГЕ з ТРО, оцінюється за показником  $\Pi_{NGw_k}$ , який записується в такому вигляді:

$$\Pi_{NGw_{km}} = \sum_{1,1}^{k,Q} \Pi_{NGw_{jq}} \quad (51)$$

де  $\Pi_{NGw_{jq}}$  – узагальнений показник ефективності ОГЕ комплекту на  $k$ -му виді робіт та  $Q$  умові експлуатації.



Систему показників представлено в табл. 9.

Розгляд різних методів оцінки ефективності БДМ дозволяє зробити висновок, що застосування одного або декількох інтенсифікаторів для оцінки об'єкта варто використати отримані вирази, що забезпечують розрахунок відповідного коефіцієнта  $K_{ef}$ .

Машину багатоцільового призначення доцільно оцінювати на підставі аналізу узагальнених показників  $P_{NG}$ .

Установлено взаємозв'язок між значеннями коефіцієнтів ефективності за зниженням опорів ґрунтів копанню  $K_{ef}$  за умови оснащення робочих органів різними інтенсифікаторами та значеннями коефіцієнтів підвищення продуктивності  $K_{EP}$ .

### Висновки

1. Оцінку зниження опору ґрунту копанню різноманітними робочими органами інноваційного типу слід оцінювати за системою показників, наведених у табл. 1.

2. Показники ефективності інноваційних робочих органів машин для земляних робіт варто визначати за залежностями, наведеними в табл. 2.

3. Показники ефективності інноваційних робочих органів багатоцільового призначення потрібно визначати за залежностями, наведеними в табл. 5, 6.

4. Система показників для оцінки ефективності телескопічного робочого обладнання варто визначати за залежностями, наведеними в табл. 9.

5. Орієнтовно значення наведених питомих витрат для низки традиційних і нових машин можна здійснювати на основі залежностей, наведених у табл. 7.

6. Отримані регресійні моделі дозволяють за матеріалами експериментів з масштабними фізичними моделями або теоретичною залежністю за зниженням опорів копанню оцінити очікуване підвищення продуктивності машин за умови оснащення їх різними інтенсифікаторами. Це забезпечує можливість визначення ступеня підвищення продуктивності землерийних машин на етапі пошукових лабораторних досліджень на підставі тільки інформації про зниження опорів на робочому органі.

7. Регресійні моделі, що визначають залежність коефіцієнта підвищення продуктивності  $K_{EP}$  від коефіцієнтів зменшення опорів копанню  $K_{ef}$  для робочих органів бульдозерів, скреперів, оснащених різними інтенсифікаторами в процесі їх експлуатації в різних ґрунтах і появи, що мають найбільшу ймовірність у Європейській частині країни, наведені в табл. 8.

### Література

1. Баловнев. В.И. Определение параметров и выбор землеройных машин: учеб. пособие. – Москва, Омск: Полиграф, 2010. – 224 с.
2. Машины для земляных работ: конструкция, расчет, потребительские свойства: в 2 кн. Кн. 1. Экскаваторы и землеройно-транспортные машины: учебное пособие для вузов / В.И. Баловнев, С.Н. Глаголев, Р.Г. Данилов и др.; под общ. ред. В.И. Баловнева. – Белгород: БГТУ, 2011. – 401 с.
3. Машины для земляных работ: конструкция, расчет, потребительские свойства: в 2 кн. Кн. 2. Погрузочно-разгрузочные и уплотняющие машины: учебное пособие для вузов / В.И. Баловнев, С.Н. Глаголев, Р.Г. Данилов и др.; под общ. ред. В.И. Баловнева. – Белгород: БГТУ, 2011. – 464 с.
4. Машины для содержания городских и автомобильных дорог: Кн. 1. Содержание дорог в летний период: учебное пособие для вузов / В.И. Баловнев, Р.Г. Данилов, А.Г. Савельев; под общ. ред. В.И. Баловнева. – 3-е изд., доп. и перераб. – Москва: Техполиграфцентр, 2013. – 333 с.
5. Машины для содержания городских и автомобильных дорог: Кн. 2. Содержание дорог в зимний период: учебное пособие для вузов / В. И. Баловнев, Р.Г. Данилов, А.Г. Савельев; под общ. ред. В.И. Баловнева. – 3-е изд., доп. и перераб. – Москва: Техполиграфцентр, 2013. – 343 с.
6. Баловнев В.И., Ермилов А.Б. Оценка технико-экономической эффективности дорожно-строительных машин на этапе проектирования. – Москва: МАДИ, 1984. – 102 с.
7. Баловнев В.И., Хмара Л.А. Интенсификация земляных работ в дорожном строительстве. – Москва: Транспорт, 1983. – 183 с.
8. Баловнев В.И., Хмара Л.А. Повышение производительности машин для земляных работ. – Київ: Будівельник, 1988. – 152 с.
9. Хмара Л.А. Интенсификация рабочих процессов машин для земляных работ. – Днепропетровск: ДИСИ, 1989. – 329 с.
10. Баловнев В.И., Хмара Л.А. Интенсификация разработки грунтов в дорожном строительстве. – Москва: Транспорт, 1993. – 383 с.
11. Строительные работы и манипуляторы / В.И. Баловнев, Л.А. Хмара, В.П. Станевский, П.И. Немировский. – Київ: Будівельник, 1991. – 136 с.
12. Машины для земляных работ: підручник / Л.А. Хмара, С.В. Кравець, М.П. Скоблюк та ін.; під заг. ред. проф. Л.А. Хмари та проф. С.В. Кравця. – Дніпропетровськ–Рівне, 2014. – 547 с.

13. Хмара Л.А. Оценка эффективности телескопического рабочего оборудования одноковшового гидравлического экскаватора: сб. науч. тр.: Строительство, материаловедение, машиностроение. – Днепропетровск: ПГАСиА, 2002. – № 15. – С. 143–150.
14. Хмара Л.А., Дахно О.О. Визначення теоретичного об'єму копання ґрунту одноківшевим экскаватором з телескопічним робочим обладнанням: сб. научных трудов: Строительство, материаловедение, машиностроение. – Днепропетровск: ПГАСиА, 2012. – № 66.4.2. – С. 38–49.
15. Хмара Л.А., Дахно О.О. Телескопічне робоче обладнання гідравлічного экскаватора, оцінка його ефективності та визначення об'єму копання ґрунту: сб. науч. тр.: Строительство, материаловедение, машиностроение. – Днепропетровск: ПГАСиА, 2012. – № 66.4.2. – С. 29–37.
16. Хмара Л.А., Дахно О.О. Формування та оцінка ефективності телескопічного робочого обладнання одноківшового гідравлічного экскаватора: сб. научных трудов: Строительство, материаловедение, машиностроение. – Днепропетровск: ПГАСиА, 2012. – № 66.4.2. – С. 142–154.
7. Balovnev V.I., Khmara L.A. Intensifikatsiya zemlyanykh rabot v dorozhnom stroitelstve. – Moskva: Transport. 1983. – 183 s.
8. Balovnev V.I., Khmara L.A. Povyishenie proizvoditelnosti mashin dlya zemlyanykh rabot. – Kyiv: Budivelnik, 1988. – 152 s.
9. Khmara L.A. Intensifikatsiya rabochoy protsessov mashin dlya zemlyanykh rabot. – Dnepropetrovsk, DISI, 1989. – 329 s.
10. Balovnev V.I., Khmara L.A. Intensifikatsiya razrabotki gruntov v dorozhnom stroitelstve. – Moskva: Transport, 1993. – 383 s.
11. Stroitelnyye roboty i manipulyatory / V.I. Balovnev, L.A. Khmara, V.P. Stanevskiy, P.I. Nemirovskiy. – Kyiv: Budivelnik, 1991. – 136 s.
12. Mashiny dlya zemlyanykh robIt: pIdruchnik / L.A. Khmara, S.V. Kravets, M.P. Skoblyuk i dr.; pId zagalnoyu redaktsiyu prof. L.A. Khmari ta prof. S.V. Kravtsya. – Dnipropetrovsk–Rivne, 2014. – 547 s.
13. Khmara L.A. Otsenka effektivnosti teleskopicheskogo rabochoy oborudovaniya odnokovshovogo gidravlicheskogo ekskavatora: sb. nauchnykh trudov: Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie. – Dnipropetrovsk: PGASiA, 2002. – № 15. – S. 143–150.
14. Khmara L.A., Dahno O.O. Vznachennya teoretichnogo ob'Emu kopannya Gruntu odnokivshevym ekskavatorom z teleskopichnim robochim obladnanniam: sb. nauchnykh trudov: Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie–Dnipropetrovsk: PGASiA, 2012. – № 66.4.2. – S. 38–49.
15. Khmara L.A., Dahno O.O. Teleskopichne roboche obladnannya gIdravlichnogo ekskavatora, otslnka yogo effektivnosti ta viznachennya ob'Emu kopannya Gruntu: sb. nauchnykh trudov: Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie. – Dnipropetrovsk: PGASiA, 2012. – № 66.4.2. – S. 29–37.
16. Khmara L.A., Dahno O.O. Formuvannya ta otslnka effektivnosti teleskopichnogo robochoy obladnannya odnokivshevogo gidravlichnogo ekskavatora: sb. nauchnykh trudov: Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie. – Dnipropetrovsk: PGASiA, 2012. – № 66.4.2. – S. 142–154.

### References

1. Balovnev V.I. Opredelenie parametrov i vyibor zemleroynykh mashin: ucheb. posobie. – Moskva, Omsk: Poligraf, 2010. – 224 s.
2. Mashiny dlya zemlyanykh rabot: konstruktsiya, raschet, potrebitelskie svoystva: v 2 kn. Kn. 1. Ekskavatory i zemleroyno-transportnyye mashiny: uchebnoe posobie dlya vuzov / V.I. Balovnev, S.N. Glagolev, R.G. Danilov i dr.; pod obsch. red. V.I. Balovneva. – Belgorod: BGTU, 2011. – 401 s.
3. Mashiny dlya zemlyanykh rabot: konstruktsiya, raschet, potrebitelskie svoystva: v 2 kn. Kn. 2. Pogruzochno-razgruzochnyye i uplotnyayushchie mashiny: uchebnoe posobie dlya vuzov / V.I. Balovnev, S.N. Glagolev, R.G. Danilov i dr.; pod obsch. red. V.I. Balovneva. – Belgorod: BGTU, 2011. – 464 s.
4. Mashiny dlya sodержaniya gorodskikh i avtomobilnykh dorog: Kn. 1. Soderzhanie dorog v letniy period: uchebnoe posobie dlya vuzov / V.I. Balovnev, R.G. Danilov, A.G. Savelev, pod obsch. red. V.I. Balovneva. – 3-e izd., dop. i pere-rab. – Moskva: Tehpoligrafcentr, 2013. – 333 s.
5. Mashiny dlya sodержaniya gorodskikh i avtomobilnykh dorog: Kn. 2. Soderzhanie dorog v zimniy period: uchebnoe posobie dlya vuzov / V.I. Balovnev, R.G. Danilov, A.G. Savelev, pod obsch. red. V.I. Balovneva. – 3-e izd., dop. i pere-rab. – Moskva: Tehpoligrafcentr, 2013. – 343 s.
6. Balovnev V.I., Ermilov A.B. Otsenka tehniko-ekonomicheskoy effektivnosti dorozhno-stroitelnykh mashin na etape proektirovaniya. – Moskva: MADI. – 1984. – 102 s.
7. Khmara Leonid Andriyovich, d.t.n., prof., +38 (093) 267-03-86, leonidkhmara@yahoo.com, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

### Basic indicators system for technical and economic assessment of efficiency of earthmoving machines with innovative equipment

**Abstract.** The basic system of indicators, which allows to assess the reduction of digging resistance by various innovative equipment, to determine the efficiency of innovative equipment, machines with multi-purpose equipment, machines with telescopic equip-

*ment, the regression models on determining increasing efficiency of machines with different intensifiers are presented in the article.*

**Keywords:** *excavator, earthmoving machines with innovative equipment, evaluation of the efficiency of earthmoving machines.*

**Khmara Leonid**<sup>1\*</sup> *Dr.Sc.(Tech.)*, Professor, tel. +38 (093) 267-03-86, e-mail: leonidkhmara@yahoo.com State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernishevskogo str., Dnipro 49600, Ukraine.

**Базовая система показателей для технико-экономической оценки эффективности машин для земляных работ с инновационными рабочими органами**

**Аннотация.** *В статье представлена базовая система показателей, которая позволяет прове-*

*сти оценку снижения сопротивления копанью различными рабочими органами инновационного типа, установить эффективность инновационных рабочих органов, машин с многоцелевыми рабочими органами, машин с телескопическим рабочим оборудованием, полученные регрессионные модели по установлению повышения производительности машин при оснащении их различными интенсификаторами.*

**Ключевые слова:** *машины для земляных работ с инновационными рабочими органами, оценка эффективности машин для земляных работ.*

**Хмара Леонид Андреевич**, д.т.н., проф, +38 (093) 267-03-86, leonidkhmara@yahoo.com Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина.