

УДК 62-932

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

ХМАРА Л.А. ^{1*}, д. т. н., проф.,

^{1*} Кафедра будівельних і дорожніх машин, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (093) 267-03-86, e-mail: leonidkhmara@yahoo.com, ORCID ID: 0000-0003-3050-9302

Анотація. Постановка проблеми.

В статті представлена базова система показників, яка дозволяє провести оцінку зниження опору копанню різноманітними робочими органами інноваційного типу, встановити ефективність інноваційних робочих органів, машин з багатоцільовими робочими органами, машин з телескопічним робочим обладнанням, отримані регресійні моделі по встановленню підвищення продуктивності машин при оснащенні їх різноманітними інтенсифікаторами. Рис.1. Бібл.16. Табл.9.

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

БАЗОВАЯ СИСТЕМА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ ТЕХНИКО- ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАШИН ДЛЯ ЗЕМЛЯНЫХ РОБОТ С ИННОВАЦИОННЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ

ХМАРА Л.А. ^{1*}, д. т. н., проф.,

^{1*} Кафедра строительных и дорожных машин, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (093) 267-03-86, e-mail: leonidkhmara@yahoo.com, ORCID ID: 0000-0003-3050-9302

Аннотация. Постановка проблемы.

В статье представлена базовая система показателей, которая позволяет провести 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. Рис.1. Библ.16. Табл.9.

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

BASIC INDICATORS SYSTEM FOR TECHNICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT OF EFFICIENCY OF EARTHMOVING MACHINES WITH INNOVATIVE EQUIPMENT

KHMARA L.A. ^{1*} Dr. Sc. (Tech.), Prof.

^{1*} Department of Building and road machines. State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipro 49600, Ukraine, tel. +38 (093) 267-03-86, e-mail: leonidkhmara@yahoo.com, ORCID ID: 0000-0003-3050-9302

Summary. Raising of problem.

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, of machines with multipurpose equipment, machines with telescopic equipment, the regression models of definition of increasing of productivity of machines with different intensificators are presented in the article. Fig.1. Bibl.16 Table 9

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



ХМАРА Леонід Андрійович, доктор технічних наук, професор, заслужений винахідник України, академік академії будівництва України, завідувач кафедри будівельних і

дорожніх машин Придніпровської державної академії будівництва і архітектури (раніше ДІСІ), фахівець в області різання і копання ґрунтів землерийними машинами, інтенсифікації робочих процесів будівельних машин, розробив наукові основи формування вискоефективних робочих органів землерийних машин, теорію робочих процесів землерийних машин з інтенсифікаторами комбінованої дії, наукові основи землерийно-маніпуляційних робочих органів багатопільового призначення, науковий супровід на етапах дослідження, розрахунків, створення і визначення області ефективного використання машин.

Дослідження професора Л. А. Хмари пов'язані із промисловістю. Їм впроваджені у виробництво робочі

органи розпушувачів, ковші екскаваторів, скреперів, відвали бульдозерів, робочі органи багатопільового призначення маніпуляційного типу, стенди для проведення досліджень будівельних машин і їх робочих органів, методики розрахунків і визначення ефективності будівельних машин з робочими органами інтенсифікуючої дії.

Роботи Л. А. Хмари одержали широку популярність у СНД, США, Польщі, Німеччині.

Зростаюча вартість землерийної техніки і скорочення її випуску обумовлюють актуальність однієї з тенденцій удосконалювання землерийної техніки - підвищення її продуктивності, зниження матеріалоемності, енергоємності, поліпшення техніко-економічних показників [3,4,5,6].

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

Сучасний ринок складається з 3-х складових (рис.1).

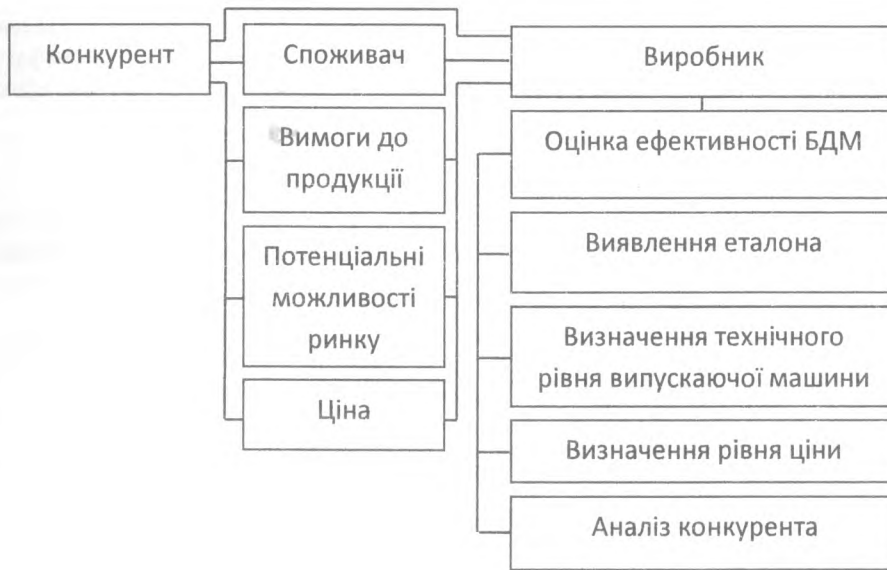


Рис. 1. Принципова структура ринку будівельних машин

Fig. 1. The principle structure of the building machines market

Для виробника будівельних і дорожніх машин дуже важливо оцінити ефективність БДМ. Це включає: виявлення еталона, визначення технічного рівня що випускаються БДМ, визначення рівня ціни і аналіз конкурента.

Оцінка ефективності застосування на землерийних машинах різних інтенсифікаторів по зниженню сил опору ґрунту копанню може бути виконана за формулою [7,9,10,12]:

$$k_{efi} = \frac{P_{\kappa}^m - P_{\kappa}^n}{P_{\kappa}^m}, \tag{1}$$

де P_{κ}^m - опір ґрунту копанню робочим органом традиційного типу; P_{κ}^H - те ж з інтенсифікатором.

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

$$k = \frac{P_{\kappa}^H}{P_{\kappa}^m} \quad (2)$$

Для бульдозерного обладнання відповідні сили розраховуються за формулами:

$$P_{\kappa}^m = P_1 + P_2 + P_3; \quad P_{\kappa}^H = P_1^H + P_2^H + P_3^H, \quad (3)$$

де P_1, P_2, P_3 - відповідно сили опору ґрунту різанню, підйому шару ввєрх по відвалі і переміщенню призми волочиння; P_1^H, P_2^H, P_3^H - те ж для робочого органа з інтенсифікатором.

Оцінка ефективності застосування інтенсифікаторів може бути виконана для одного, двох і більше інтенсифікаторів. Причому, інтенсифікатори можуть бути того самого і різних ефектів.

Під одноплановими будемо розуміти такі інтенсифікатори, що сприяють зниженню однієї і тієї ж складової або одночасно декількох складових загального опору ґрунту копанню. До різнопланових відносяться такі, які впливають на різні складові загального опору ґрунту копанню, що мають різну фізичну природу.

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

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

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 при умові, 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:

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

Тоді коефіцієнт ефективності буде мати вигляд:

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

За аналогією для трьох інтенсифікаторів в умовах, коли два із них являються одноплановими:

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

Застосування двох однопланових інтенсифікаторів, спрямованих, наприклад, на зниження сил тертя, обумовлено обмеженнями. За умовою застосування, наприклад газоповітряного змащення і виступаючого наступного ножа, коефіцієнт ефективності для розглянутого ви-падку буде дорівнювати:

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

де k_2^{BCH} - коефіцієнт пропорційності зниження сили P_2 від дії виступаючого середнього ножа.

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

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

При дії комбінованого інтенсифікатора, наприклад, при одночасному прояві ефектів, від двох і більше інтенсифікаторів коефіцієнт ефективності:

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

де P_{κ} - опір ґрунту копанню робочим органом, обладнаний комбінованим інтенсифікатором.

Коефіцієнти k_{efi} і k_{efk} змінюються в межах $0 < k_{efi} < 1; 0 < k_{efk} < 1.$

Вважаючи, що вплив кожного інтенсифікатора пропорційний іншим,

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

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

Відповідно до отриманих виразів, маємо:

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

Звідки коефіцієнт ефективності приймає 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 інтенсифікації окремо k_{efi} змінюється у межах $0 < k_{efi} < 1,$ виконується умова:

загальний ефект від застосування на землерийній машині комбінованого методу інтенсифікації, тобто при прояві на робочому органі одночасно різних інтенсифікаторів, не дорівнює сумі ефектів від застосування кожного методу інтенсифікації окремо, а менше цієї суми. При цьому можна записати:

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

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

Система показників для оцінки ефективності машини для земляних робіт.

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

Таблиця 1.

Формули оцінки ефективності застосування на землерийних машинах різних методів інтенсифікації

Table 1.

Formula for determining the effectiveness of application on earthmoving machines with various methods of intensification

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 і того ж призначення	$k_{ef} = \frac{P_2(1-k_2^I k_2^{II})}{P_1 + P_2 + P_3}$
Три інтенсифікатори, два із яких мають одне і теж 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 із яких окремо відомий	$k_{ef} = 1 - \prod_1^i (1 - k_{efi})$

Показники якості технічного об'єкта і його економічності включають ряд приватних показників.

Класифікаційні показники визначають приналежність машини до тієї або іншої типорозмірної групи. При оцінці технічного рівня машин ці показники використовують при виборі машини - аналога. Класифікаційні показники містять головний і кілька основних параметрів машини, а також показники, що визначають конструктивний різновид машини (тип базового трактора, базового шасі та ін.).

Показники призначення характеризують експлуатаційно-виробничі можливості машини і рівень технічної досконалості її конструкції: потужність привода, швидкості, 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 і ремонту

та ін. Ці показники впливають на величину продуктивності та інші показники.

Показники технологічності характеризують ефективність і раціональність конструктивних рішень, закладених у конструкцію машини. У цю групу обов'язково включається показник питомої маси.

Показники стандартизації й уніфікації характеризують насиченість машини стан-дартними і уніфікованими складовими частинами і визначаються коефіцієнтом застосовності і повторюваності.

Патентно-правові показники характеризують патентну чистоту і величину територіального поширення. Показник патентної чистоти визначає можливість безперешкодної реалізації виробу за рубежом. У випадку відсутності патентної чистоти машина не є конкурентноспроможною.

Показники технічної естетики по композиційній цілісності форми, функціональній доцільності форми і товарному вигляду визначаються в балах експертним методом.

Ергономічні показники характеризують відповідність машини нормованим санітарно-

гігієнічним умовам роботи машини при її експлуатації (вібрації, рівневі шуму в кабіні та ін.).

Показники безпеки характеризують забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу при експлуатації машини і оцінюються у 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 характеризують витрати споживача на придбання машини (ціна, транспортування, монтаж, налагодження та ін.) і експлуатаційні витрати, що включають витрати на оплату обслуговуючого персоналу, на паливо, енергію, основні і допоміжні матеріали та ін.

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

При оцінці нових конструктивних рішень їхню ефективність доцільно здійснювати на основі показників технічного призначення, тому що вони можуть бути визначені теоретичними розрахунками і експериментально.

Для оцінки техніко-експлуатаційних властивостей машини, що характеризуються по-казниками, об'єднаними у групу показників призначення, запропонований ряд показників різного виду. Різноманіття показників, що у ряді випадків не мають чітко визначених зв'язків із призначенням машини і з відповідними приватними показниками, затрудняє 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) випливає, що кращому об'єкту відповідає менше значення кожної з цих двох величин.

Співвідношення N/P -min; G/P -min, вказують, що при фіксації G/P величина N/G з підвищенням технічної ефективності машини повинна зменшуватися, а при фіксації N/P впливає протилежна рекомендація про необхідність збільшення відношення N/G . Відсутність чітких рекомендацій з формування і характеру зміни показників оцінки ефективності затрудняє виявлення шляхів удосконалення техніки.

Система показників, взаємозалежна з цільовим призначенням машини і 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 і прибуток споживача.

Узагальнений показник енерго-, матеріалоємності і виробітку на одного робітника

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

Ця величина представляє відношення енергоємності N_{num} до питомої продуктивності, що приходить 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 у третьому ступені. 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 наступному вигляді:

$$P_{NG} = \frac{N_{num}}{P_{T_{num}}} \quad \text{або} \quad P_{NG} = N_{num} \cdot G_{num};$$

$$P_{NG} = N \cdot G / P^2 \quad (20)$$

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 знаходиться в ієрархічному зв'язку з іншими. Всі параметри і показники нижнього рівня входять у показники більш високого рівня. Математичні вирази і область застосування показників приведені 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 P_{NG_n} узагальнений, має те ж призначення, що показник інтегральний першої групи, але за умови, що для нового об'єкта коефіцієнти приведених питомих витрат на експлуатацію і основні фонди не змінюються істотно у порівнянні з еталоном. Цей показник доцільно використовувати в якості базового для оцінки технічного рівня машин і комплексів.

Синтез цього показника з коефіцієнтами якісних показників цільового і обмежувального призначення дозволяє одержати узагальнений показник технічного рівня системи. Узагальнений показник

дозволяє оцінити за значенням натуральних показників N , G , P , економію енергетичних, матеріальних і трудових витрат у комплексі.

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

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

Показники 6-ї групи призначаються для оцінки економії трудових ресурсів при роботі нових комплексів і машин з урахуванням показників надійності систем.

Показник 7-ї групи дозволяє оцінити ефективність системи по збільшенню продуктивності при використанні нової машини. Цей показник є одним з найважливіших у системі показників. Усі показники більш високого рівня можуть бути встановлені тільки при відомому значенні продуктивності.

Показники 8-ї і 9-ї груп можуть бути використані для оцінки рівня окремих характеристик системи при незмінних величинах, що входять у показники більш високого рівня.

Показники 10-ї групи дозволяють оцінити рівень надійності машини і окремих елементів машини, робочих процесів при незмінних параметрах, що входять у показники більш високого рівня, визначити якість машини.

Порівняльна оцінка технічного рівня дорожніх машин і комплексів у цілому, окремих підсистем і робочих процесів при усереднених умовах 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 P_{NG_n} і P_{NG} .

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

$K_{mm} = R_N/B$ - 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 приходиться на одиницю потужності, Н/кВт ($\text{м}^3/\text{кВт}$); $K_G = G/N$ - питомий показник, що характеризує кількість маси машини, що приходиться на одиницю потужності, кг/кВт.

У приведених виразах прийняті наступні позначення: R_N - вертикальна складова, що розвивається робочим органом, Н; B - довжина робочого органа, м; T - стискальне зусилля базової машини, кН; q - місткість робочого органа, 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,

$$K_{KFT} = K_R + K_V + K_{KDC} + K_{OPL} \quad \text{max}, \quad (22)$$

де $K_R = 1/R \rightarrow \text{max}$ - коефіцієнт, що відображає маневреність машини через радіус R її повороту; $K_V = 1/(50 - V) \rightarrow \text{max}$ - коефіцієнт, що відображає здатність машини пересуватися у робочому (транспортному) режимі; $K_{KDC} = 20^\circ \dots 22^\circ / (40^\circ - t^\circ) \rightarrow 1$ коефіцієнт, що відображає наявність у кабіні машиніста кондиціонера, який в жаркий період забезпечує підтримку заданої температури; $K_{OPL} = 20^\circ \dots 22^\circ / (-40^\circ - t^\circ) \rightarrow 1$ коефіцієнт, що відображає наявність у кабіні машиніста опалення і забезпечує підтримку в холодний період заданої температури.

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

Запропонована система показників (див. табл. 2) взаємозалежна з конструкцією машин, їхніми властивостями, що забезпечує рішення задач по удосконалюванню організації керування якістю продукції.

допомогою ЕВМ 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, в які входить продуктивність, може бути проведений на основі значень теоретичної, технічної і експлуатаційної продуктивності. Через експлуатаційну продуктивність в розрахунок вводять показники надійності проекрованої машини.

При різноманітті 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 по варіантах нових рішень; P_i - коефіцієнт вагомості i -го відносно частки показника ефективності. Відносні частні показники ефективності визначаються за формулами:

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

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

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 приватних показників визначаються методом експертних

оцінок. Для наближених розрахунків можуть бути прийняті значення, приведені в табл. 3.

Зіставлення змінюваних показників здійснюється шляхом їхнього розрахунку за реко- мендованими залежностями і співвідношення їхніх якісних значень. Зіставлення показників, оцінюваних експертами, здійснюється відношенням бальних оцінок.

Таблиця 2.

Система показників для оцінки ефективності нових конструктивних рішень

Table 2.

The system of indicators for assessing the efficiency of new constructive solutions

Гру- па оцін- ки	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 і матеріалоємності, що відноситься до виробітку на одного робітника	$\Pi_{NGn_p} = N_{y0} / \Pi_{m_{y0}} n_{ПИТ}$ $\Pi_{NGn_p} = NGn / \Pi^3$	\rightarrow $\Pi_{NGn_p} \rightarrow \min$	Узагальнена оцінка технічного рівня по економії енергетичних, матеріальних і трудових затрат при відомих натуральних показниках N, G, n_p, Π
3.	Узагальнений показник енергоємності і матеріалоємності	$\Pi_{NG} = NG / \Pi^2$ $\Pi_{NG} = N_{num} / \Pi_{m_{num}}$	$\Pi_{NG} \rightarrow \min$	Узагальнена оцінка технічного рівня по економії 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.	Вирібок на одного робітника	$n_{num} = \Pi / n$	$n_{num} \rightarrow \max$	Оцінка економії трудових затрат
7.	Продуктивність (теоретична, технічна, експлуатаційна)	Π	$\Pi \rightarrow \max$	Оцінка збільшення продуктивності
8.	Час циклу і робочих операцій	$t_{Ц}$ $t_{рiч}$	$t_{Ц} \rightarrow \min$ $t_{рi} \rightarrow \min$	Оцінка продовжуваності і часу робочих операцій
9.	Показник надійності, наприклад, $K_{НД}$ та ін. (ГОСТ 27.202-83)	$K_{НД} = \frac{t_{CP}}{t_{CP} + t_{УСТР} + t_{ПРОФ}}$	$t_{CP} \rightarrow \max$ $t_{УЕУН} \rightarrow \min$ $t_{ПРОФ} \rightarrow \min$	Оцінка якості виготовлення машини і надійності
10.	Окремі технічні параметри	P, N, G, l		Оцінка окремих параметрів
11.	Показник, що характеризує можливість розвинути відповідний тиск на одиницю довжини робочого органа	$K_{num} = R_N / B$	$K_{num} \rightarrow \max$	Оцінка можли-вості занурюватися в ґрунт

Продовження таблиці 2.

Table 2 continuation.

1	2	3	4	5
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
14.	Комфорта-бельність 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

Таблиця 3

Коефіцієнти вагомості приватних показників ефективності нових технічних рішень

Table 3.

Coefficients of significance of private indicators of new technical solutions

Показники	Значення коефіцієнта вагомості
Показника технічного рівня	0,4
У тому числі:	
✓ класифікаційні	0,016
✓ призначення ($P_{NGn}, P_{NG}, N_{\text{ПІТ}}, G_{\text{ПІТ}}$)	0,072
✓ надійності (K_v, K_n)	0,076
✓ технологічності	0,036
✓ стандартизації і уніфікації	0,4
✓ ергономічні	0,056
✓ патентно-правові	0,036
✓ технічної естетики	0,068
✓ Економічні показники	0,34
✓ Показники умов продажу і сервісного обслуговування	0,26

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

$$\mathcal{E}_{\text{ТРСр}} = \sum_{i=1}^n \mathcal{E}_{\text{ТР}_i} / n \quad (25)$$

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

Для оцінки розкиду показників вводять у розрахунок величину допоміжного коефіцієнта - $K_{\text{ТРСр}}$:

$$K_{\text{ТРСр}} = \mathcal{E}_{\text{ТРо}} / \mathcal{E}_{\text{ТРСр}} \text{ при } \mathcal{E}_{\text{ТРо}} < \mathcal{E}_{\text{ТРСр}}; \quad (26)$$

$$K_{\text{ТРСр}} = \mathcal{E}_{\text{ТРо}} / \mathcal{E}_{\text{ТРСр}} \text{ при } \mathcal{E}_{\text{ТРо}} > \mathcal{E}_{\text{ТРСр}},$$

де $\mathcal{E}_{\text{ТРо}}$ - базове значення показника в групі традиційних конструктивних рішень.

Рівень ефективності конструктивного рішення визначається за величиною коефіцієнта ефективності нового конструктивного рішення:

$$K_{\text{НОВ}_i} = \mathcal{E}_{\text{ТРо}} / \mathcal{E}_{\text{НОВ}_i}, \quad (27)$$

де $\mathcal{E}_{\text{НОВ}_i}$ - показник i -го варіанту нового технічного рішення.

Виявлення базового показника $\mathcal{E}_{\text{ТРо}}$ визначається за мінімальним (максимальним) значенням показника ефективності для традиційних конструктивних рішень. Варіанти оцінки конструктивних рішень на базі коефіцієнтів $K_{\text{ТРСр}}$ і $K_{\text{НОВ}}$ приведені в табл. 4.

674476



Таблиця 4.

Оцінка ефективності конструктивних рішень на етапі формування

Table 4.

Estimation of efficiency of constructive decisions at the formation stage

Відношення коефіцієнта ефективності	Оцінка рівня нового конструктивного рішення	Перспективність конструктивного рішення
$K_{НОВ} < K_{ТРСР}$	Ниже середнього рівня	Не перспективне
$K_{НОВ} = K_{ТРСР}$	Відповідає середньому рівню	Не перспективне
$1 > K_{НОВ} > K_{ТРСР}$	Вище середнього рівня	Не перспективне
$K_{НОВ} = 1$	Відповідає кращим існуючим конструктивним рішенням	Мало перспективне
$K_{НОВ} > 1$	Вище існуючих конструктивних рішень	Перспективне

Ефективність нового конструктивного рішення на етапі його формування по всій сукупності приватних показників може бути визначена досить умовно. На цьому етапі не можуть бути визначені показники економічного призначення і конкурентноздатності через крайню невизначеність вихідної інформації. З більшою визначеністю оцінка може бути здійснена за показниками призначення (2-11-ї груп, див. табл.2). У цьому випадку може бути використаний приватний коефіцієнт конструктивного рівня, що розраховується по одному 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, приведеної в табл.2; для одного з варіантів нового рішення; P_{TR} - той же показник для існуючого традиційного рішення.

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

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

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

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

Важливо у цьому випадку врахувати статистичний розкид величини коефіцієнтів технічного рівня шляхом введення у розрахунок допоміжного коефіцієнта.

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

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

де P_{TRo} - базове значення показника у групі традиційних конструктивних рішень.

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

$$K_{НОВ} = P_{TRo} / P_{НОВi}, \quad (31)$$

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

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

$$P_{TRmin} < \dots < P_{TR(k-1)} < \dots < P_{TRk} < \dots < P_{TRi}. \quad (32)$$

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

Розглянуті положення дозволяють розробити систему оцінки нового конструктивного рішення. Варіанти оцінки приведені в табл. 4 у залежності 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 наступні дії: систематизувати вихідну інформацію (технічну документацію, каталоги, проспекти та ін.); визначити параметри, що входять у показники ефективності; розрахувати відповідні показники ефективності; ранжировувати показники і встановити кращий об'єкт техніки.

Визначення ефективності техніки на основі розглянутої методики здійснюють в такій послідовності: визначають параметри нового конструктивного рішення, необхідні для розрахунку показників ефективності; визначають відповідні показники ефективності традиційних конструктивних рішень; визначають базове традиційне конструктивне рішення; розраховують

середнє значення коефіцієнта ефективності конструктивного рішення $K_{ТРСР}$; розраховують коефіцієнт ефективності нового конструктивного рішення $K_{НОВ}$; здійснюють оцінку нового конструктивного рішення у відповідності з рекомендаціями, приведеними в табл.3 і 4.

Оцінка ефективності землерийних машин з робочим обладнанням багатопільового призначення.

Розроблена методика може бути використана при визначенні параметрів будівельних машин з багатопільовими робочими органами та устаткуванням, а також багатопільових будівельних маніпуляторів різного призначення і типу.

Для визначення ефективності використання різних типів машин розроблені теоретичні моделі визначення показників ефективності

(матеріалоемність, енергоемність), 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 (див. табл. 5), можна скласти теоретичні моделі визначення показників ефективності всього цього процесу, у виконанні якого беруть участь вузькоспеціалізовані машини, машини багатопільового призначення з швидкоз'ємними робочими органами, машини багатопільового призначення маніпуляторного типу та машини багатопільового призначення маніпуляторного типу з додатковим комплектом змінних швидкоз'ємних робочих органів (зі шлейфом швидко захоплюваних робочих органів).

Матеріалоемність виконання всього 1-го технологічного процесу:

$$G_{num i} = \frac{\sum_1^a G_{it}}{\sum_1^a \Pi_{\varepsilon_{it}} p_{it}} + \frac{\sum_1^f G_{\text{баз}_{it}}^{nc} + \sum_1^b G_{p.o_{it}}}{\sum_1^b \Pi_{\varepsilon_{it}} p_{it}} + \frac{\sum_1^h (G_{\text{баз}_{it}}^{MT} + G_{p.o_{it}}^{MT})}{\sum_1^c \Pi_{\varepsilon_{it}} p_{it}} + \frac{\sum_1^q (G_{\text{баз}_{it}}^{MT} + G_{p.o_{it}}^{MT}) + \sum_1^{d''} G_{p.o_{it}}}{\sum_1^d \Pi_{\varepsilon_{it}} p_{it}} \quad (33)$$

Енергоемність виконання всього 1-го технологічного процесу:

$$N_{num i} = \frac{\sum_1^{a'} N_{it}}{\sum_1^a \Pi_{\varepsilon_{it}} p_{it}} + \frac{\sum_1^{b'} N_{it}}{\sum_1^b \Pi_{\varepsilon_{it}} p_{it}} + \frac{\sum_1^c N_{it}}{\sum_1^c \Pi_{\varepsilon_{it}} p_{it}} + \frac{\sum_1^{d'} N_{it}}{\sum_1^d \Pi_{\varepsilon_{it}} p_{it}} \quad (34)$$

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

$$\Pi_{NGn} = \frac{\sum_1^d N_{it} G_{it} n_{p_{it}}}{\sum_1^a (\Pi_{\varepsilon_{it}} p_{it})^3} + \frac{\left(\sum_1^f G_{\text{баз}_{it}} + \sum_1^b G_{p.o_{it}} \right) \sum_1^f n_{p_{it}}^{nc} \sum_1^{b'} N_{it}}{\sum_1^b (\Pi_{\varepsilon_{it}} p_{it})^3} + \frac{\sum_1^h (G_{\text{баз}_{it}}^{MT} + G_{p.o_{it}}) \sum_1^h n_{p_{it}}^{MT} \sum_1^c N_{it}}{\sum_1^c (\Pi_{\varepsilon_{it}} p_{it})^3} + \frac{\left[\sum_1^q (G_{\text{баз}_{it}}^{MT} + G_{p.o_{it}}^{MT}) + \sum_1^{d''} G_{p.o_{it}} \right] \sum_1^q n_{p_{it}}^{MTc} \sum_1^{d'} N_{it}}{\sum_1^d (\Pi_{\varepsilon_{it}} p_{it})^3} \quad (35)$$

* Під 1-м технологічним процесом розуміється процес, складаючийся з 1,2,3,..., j,..., m операцій.

Таблиця 5.

Теоретичні моделі показників ефективності будівельних машин

Table 5.

Theoretical models of indicators of efficiency of building machines

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
Матеріалоємність, $G_{пит}$	$\frac{\sum_1^m G_i}{\sum_1^m \Pi_{e_i} p_i}$	$\frac{G_{баз} + \sum_1^m G_{p_{o_i}}}{\sum_1^m \Pi_{e_i} p_i}$	$\frac{G_{баз} + G_{p_o}}{\sum_1^m \Pi_{e_i} p_i}$	$\frac{G_{баз} + G_{p_o} + \sum_1^l G_{p_{o_i}}}{\sum_1^m \Pi_{e_i} p_i}$
Енергоємність, $N_{пит}$	$\frac{\sum_1^{n'} N_i}{\sum_1^m \Pi_{e_i} p_i}$			
Показник ступеня економії енергетичних, матеріальних і трудових ресурсів, $\Pi_{Ngн}$	$\frac{\sum_1^m N_i G_i n_{p_i}}{\sum_1^m (\Pi_{e_i} p_i)^3}$	$\frac{(G_{баз} + \sum_1^m G_{p_{o_i}}) n_p \sum_1^{n'} N_i}{\sum_1^m (\Pi_{e_i} p_i)^3}$	$\frac{(G_{баз} + G_{p_o}) n_p \sum_1^{n'} N_i}{\sum_1^m (\Pi_{e_i} p_i)^3}$	$\frac{(G_{баз} + G_{p_o} + \sum_1^l G_{p_{o_i}}) n_p \sum_1^{n'} N_i}{\sum_1^m (\Pi_{e_i} p_i)^3}$

Примітка. У таблиці прийняті такі умовні позначки: $G_{баз}$ -маса базової машини; G_{p_o} маса робочого органа машини багатоцільового призначення маніпуляторного типу; $G_{p_{o_i}}$ - маса змінного робочого органа і-го виду до машини багатоцільового призначення; G_i маса вузькоспеціалізованої машини; N_i - потужність двигунів, встановлених на машинах; Π_{e_i} - експлуатаційна продуктивність при виконанні відповідних операцій; p_i - імовірність появи відповідних видів робіт, операцій і умов експлуатації; n_{p_i} -кількість робітників, зайнятих на обслуговуванні вузькоспеціалізованої машини і-го виду; n_p -кількість робітників, зайнятих на обслуговуванні машини багатоцільового призначення; m - кількість видів робіт або операцій; n - кількість двигунів, встановлених на машині; l - кількість змінних швидкозахоплюючих робочих органів у додатковому комплекті до машини багатоцільового призначення маніпуляторного типу.

У наведених формулах прийняті наступні позначення
 кількість — маса вузькоспеціалізованої машини і-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 з легкоз'ємними робочими органами і маніпуляторного типу, у виконанні і-го технологічного процесу; $G_{p_{o_{ij}}}$ — маса змінного робочого органа і-го типу до машини багатоцільового призначення, що брали участь у

виконанні 1-го технологічного процесу; $G_{p_{o_{ij}}^{MT}}$ — маса робочого органа машини багатоцільового призначення маніпуляторного типу і-го типу, що брали участь у виконанні 1-го технологічного процесу; N_{ij} — потужність двигунів, встановлених на машинах і-х типів, що брали участь у виконанні 1-го технологічного процесу; $n_{p_{ij}}$ — кількість робітників, зайнятих на обслуговуванні вузькоспеціалізованої машини і-го типу, що брала участь у виконанні 1-го технологічного процесу; $n_{p_{ij}^{LC}}$, $n_{p_{ij}^{MT}}$, $n_{p_{ij}^{MTC}}$ -кількість робітників, зайнятих на обслуговуванні відповідно машин багатоцільового призначення відповідно з легкоз'ємними робітниками органами і-го типу, маніпуляторного і-го типу і маніпуляторного з додатковим комплектом змінних швидкозахоплюючих 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 швидкозахоплюючих

робочих органів; a' — кількість двигунів, встановлених на вузькоспеціалізованих машинах; b' — кількість двигунів, встановлених на машинах багатопільового призначення з легкоз'ємними робочими органами; c' — кількість двигунів, встановлених на машинах багатопільового призначення маніпуляторного типу; d' — кількість двигунів, встановлених на машинах багатопільового призначення маніпуляторного типу c додатковими комплектами змінних швидкозахоплюючих робочих органів; f — кількість машин багатопільового призначення з легкоз'ємними робочими органами, що беруть участь у виконанні 1-го технологічного процесу; h — кількість машин багатопільового призначення маніпуляторного типу, що брали участь у виконанні 1-го технологічного процесу; q — кількість машин багатопільового призначення маніпуляторного типу з додатковими комплектами змінних швидкозахоплюючих робочих органів, що брали участь у виконанні 1-го технологічного процесу; d'' — кількість змінних швидкозахоплюючих робочих органів до машин багатопільового призначення, що брали участь у виконанні 1-го технологічного процесу; $P_{\text{вн}}$ — експлуатаційна продуктивність при виконанні відповідних операцій машинами, що беруть участь у виконанні 1-го технологічного процесу; p_i — імовірність появи відповідних операцій і умов експлуатації при виконанні 1-го технологічного процесу.

При будівництві різних об'єктів необхідно виконувати технологічні процеси, що полягають із певної кількості операцій, за допомогою будівельних машин послідовно один за одним або сполучати деякі з них частково або повністю. У провадженні робіт на кожній операції можуть брати участь різні типи машин. Тому для ефективного виконання всього технологічного процесу необхідно підібрати оптимальний состав 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 приналежність машини до групи вузькоспеціалізованих машин (С) і машин багатопільового призначення (М), а номер після букви визначає тип машини, що ставиться до відповідної групи.

Можливість виконання i -й машиною j -й операції 1-го технологічного процесу визначається порівнянням параметрів j -операції в проектній документації на споруджуваній об'єкт із технологічними можливостями i -й машини, узятих з її технічної характеристики. Якщо технологічні можливості i -й машини здатні виконати j -ю технологічну операцію, то в клітці ij

ставиться знак «+», а якщо немає — знак «—» і в цьому випадку i -я машина для j -й операції не розглядається. Далі визначають показники ефективності виконання кожної будівельної операції з їхньої послідовності 1, 2, 3, ..., j , ..., m 1-го будівельного технологічного процесу машинами різних типів.

Мінімальні значення матеріалоемності, енергоемності та узагальненого показника економії енергетичних, матеріальних і трудових ресурсів при виконанні j -й операції 1-го технологічного процесу відповідає оптимальним значенням показників:

$$G_{\text{пт}ij\text{opt}} = \min G_{\text{пт}ij}, \quad N_{\text{пт}ij\text{opt}} = \min N_{\text{пт}ij};$$

$$P_{NGij\text{opt}} = P_{NGij}.$$

Кожному оптимальному значенню показників $G_{\text{пт}ij\text{opt}}$, $N_{\text{пт}ij\text{opt}}$, P_{NGij} відповідає певний тип машини. Виходячи із цього підбирається состав машини для виконання 1-го технологічного процесу з максимальною економією матеріальних, енергетичних і трудових ресурсів у сукупності.

Продуктивність при підсумовуванні в умовах виконання різних видів виражається в одній розмірності.

Характер зміни узагальненого показника від впливаючих факторів.

Узагальнений показник P_{NG} змінюється залежно від розміру машини й істотно залежить від принципу дії. Для традиційних об'єктів техніки має місце тенденція зменшення показника P_{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 ін. як визначальні фактори.

Розрахункові залежності для визначення наведених витрат для традиційних машин і групи перспективних стосовно до бульдозерів на колісному і гусеничному ході, будівельних навантажувачів, скреперів, розпушувачів, екскаваторів приведені в таблиці 7.

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

Коефіцієнти підвищення продуктивності землерийно-транспортних машин із інтенсифікаторами приведені у таблиці 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.

Таблиця 6.

Вибір складу будівельних машин для виконання I-го технологічного процесу з максимальною економією матеріальних, енергетичних і трудових ресурсів

Table 6.

Selection of composition of building machines for the first technological process with the maximum saving of material, energy and labor resources.

		Номер операції						
		1	2	3	...	j	...	m
Номер машини	C ₁	+	-	+	...	+	...	+
		G _{пит11} , N _{пит11} , Π _{NGn11}		G _{пит13} , N _{пит13} , Π _{NGn13}		G _{пит1j} , N _{пит1j} , Π _{NGn1j}		G _{пит1m} , N _{пит1m} , Π _{NGn1m}
	M ₂	-	+	-	...	+	...	-
			G _{пит22} , N _{пит22} , Π _{NGn22}			G _{пит2j} , N _{пит2j} , Π _{NGn2j}		

M _i	+	+	+	...	+	...	+	
	G _{питi1} , N _{питi1} , Π _{NGni1}	G _{питi2} , N _{питi2} , Π _{NGni2}	G _{питi3} , N _{питi3} , Π _{NGni3}		G _{питij} , N _{питij} , Π _{NGnij}		G _{питim} , N _{питim} , Π _{NGnim}	
...	
M _n	-	-	+	...	+	...	+	
			G _{питn3} , N _{питn3} , Π _{NGnn3}		G _{питnj} , N _{питnj} , Π _{NGnnj}		G _{питnm} , N _{питnm} , Π _{NGnnm}	
G _{питij opt}	min G _{питi1}	min G _{питi2}	min G _{питi3}	...	min G _{питij}	...	min G _{питim}	
N _{питij opt}	min N _{питi1}	min N _{питi2}	min N _{питi3}	...	min N _{питij}	...	min N _{питim}	
Π _{NGnij opt}	min Π _{NGni1}	min Π _{NGni2}	min Π _{NGni3}	...	min Π _{NGnij}	...	min Π _{NGnim}	

Ефективність машин може бути оцінена коефіцієнтом зниження наведених витрат:

$$K_{efz} = \frac{Z_{np}^{mp} - Z_{np}^H}{Z_{np}^{mp}}, \quad (36)$$

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

Примітка: 1. У розрахункових моделях підвищення продуктивності при зменшенні опорів ґрунтів копанню враховано за рахунок зміни швидкості процесу, маси ґрунту, що набирається, тривалості циклу та ін.

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

Таблиця 7.

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

Table 7.

Regression models that determine the dependence of these costs on power and weight machines

Тип машини	Залежність наведених витрат грн/год. від потужності, кВт і маси машини, <i>m</i>		
	Традиційне виконання (В.І.Баловнев)	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 однокішвеві фронтальні пневмоколісні	$Z_{np}=9,2+0,13N+0,49G$	$Z_{np}=9,2+0,12N+0,46G$	-
Розпушувачі на гусеничному ході	$Z_{np}=4,0+0,05N+0,35G$	$Z_{np}=4,0+0,05N+0,31G$	-
Екскаратори з канатно-блоковою системою керування	$Z_{np}=8,2+0,11N+0,43G$	$Z_{np}=8,2+0,10N+0,36G$	-
Екскаратори гідравлічні	$Z_{np}=7,9+0,1N+0,40G$	$Z_{np}=7,9+0,10N+0,35G$	-

Таблиця 8.

Регресійні моделі для визначення коефіцієнтів підвищення продуктивності ЗТМ із інтенсифікаторами традиційного типу при розробці різних ґрунтів

Table 8.

Regression models for determining the coefficients of increasing the productivity of earthmoving machines with traditional intensifiers during the development of different soils

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

Для робочих органів багатоцільового призначення, наприклад, переналаджених в умовах зміни технології робіт, видів робіт та ін. наведені питомі витрати визначаються виразом

$$Z_{nut} = \sum_{i=1}^n Z_{nut_i} = \frac{Z_{np1}}{P_1 \cdot p_1} + \frac{Z_{np2}}{P_2 \cdot p_2} + \dots + \frac{Z_{npn}}{P_n \cdot p_n}, \quad (37)$$

де $Z_{np1}, Z_{np2}, \dots, Z_{npn}$ - наведені витрати, пов'язані з витратами відповідно при копанні ґрунту, навантаженню матеріалу, захвату вантажу, його установці, роботі грейфером та ін.; P_1, P_2, \dots, P_n - продуктивності відповідно при різних видах робіт -

копанні, навантаженні матеріалу, захвату вантажу, його установці, роботі грейфером та ін.; p_1, p_2, \dots, p_n - статистична ймовірність відповідних видів робіт.

Слід зазначити, що наведена вище система показників не дозволяє оцінити застосування ТРО при копанні на максимальних глибинах H_K , радіусах копання R та їх змінних значеннях. Максимізація цих показників дозволяє максимально розширити робочу зону ОґЕ, збільшити об'єм розроблюваного ґрунту в періоді одного переміщення та забезпечити максимальну продуктивність при роботі на майданчиках з обмеженими під'їздами та вузьких

місяцях. Впровадження ТРО призводить до розширення технологічних умов виконання робіт, таким чином, ОГЕ однієї розмірної категорії може виконувати роботи на глибинах ОГЕ декількох розмірних груп, в тому числі наступної розмірної категорії, тим самим РО. Для визначення ефективності використання ОГЕ з ТРО по глибині та радіусу копання розроблено ряд показників [13,14,15,16]:

- показник оцінки енергоємності по глибині 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 матеріалоємності по глибині 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 матеріалоємності по глибині копання:

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

$H_{NG} \rightarrow \min;$

- показник оцінки енергоємності по радіусу 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 матеріалоємності по радіусу 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 матеріалоємності по радіусу 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, при 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 врахування типорозміру ковша по його місткості q, m^3 [15]:

- показник оцінки енергоємності по місткості ковша q_N :

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

- показник оцінки матеріалоємності по місткості ковша q_G :

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

- узагальнений показник економії енергоємності та матеріалоємності по місткості ковша, q_{NG} :

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

- узагальнений показник економії енергоємності та матеріалоємності по глибині копання та місткості ковша, H_{NGq} :

$$H_{NGq} = \frac{N^2 G^2}{H_k^2 q^2} = \frac{N^2 G^2}{\left(\sum_{1,1}^{n,Q} H_k^T p_i\right)^2 q^2}; \quad (47)$$

$H_{NGq} \rightarrow \min;$

- узагальнений показник економії енергоємності та матеріалоємності по радіусу копання та місткості ковша, R_{NGq} :

$$R_{NGq} = \frac{N^2 G^2}{R^2 q^2} = \left[\min\left(\frac{N^2 G^2}{(R^T)^2 q^2}\right), \max\left(\frac{N^2 G^2}{(R^T)^2 q^2}\right) \right]; \quad (48)$$

$R_{NGq} \rightarrow \min.$

Забезпечення різноманіття геометричних параметрів РО ОГЕ в традиційних структурах РО вимагає використання змінних чи додаткових елементів РО, що, в свою чергу, 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:

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

Орієнтовна попередня оцінка ефективності конструкційних рішень машини з ТРО може бути виконана на основі аналізу узагальненого показника енергоємності, матеріалоємності та виробітку на одного робітника Π_{NGw} . Ефективність визначають порівнянням показників Π_{NGw_T} та $\Pi_{NGw_{KM}}$ – ОГЕ з ТРО та комплекту ОГЕ з РО одно цільового призначення, виконуючих ті самі види робіт, відповідно, [45, 68, 69, 70, 71, 72, 73]:

$$\Pi_{NGw_T} = \frac{\Pi_{\text{ПТ}}(G + \sum_1^k G_j)w_p p_{w_p}}{\sum_{1,1}^{k,Q} (\Pi_{j_q} p_j p_q)^3}; \quad (50)$$

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

де k – кількість робочих органів, які забезпечують виконання відповідних видів робіт; Π_{j_q} – 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

Table 9.

The system of indicators for assessing the efficiency of the innovative telescopic work equipment

№ п/п	Показники	Розмір-ність	Загальна форма запису показників	Умови раціоналізації та оптимізації
1	2	3	4	5
1	Експлуатаційна продуктивність на <i>i</i> -му виді робіт	$\frac{M^3}{год.}$	P_{ei}	$P_{ei} \rightarrow max$
2	Об'єм ґрунту, розроблюваного в періоді одного переміщення ОґЕ	M^3	$V_{mex.i}$	$V_{mex.i} \rightarrow max$
3	Глибина копання	m	H_K	$H_K \rightarrow max$
4	Радіус копання	m	R	$R \rightarrow max$
5	Місткість ковша	M^3	q	$q \rightarrow max$
6	Маса (сила тяжіння) ОґЕ	кг (кН)	G	$G \rightarrow min$
7	Потужність ОґЕ	кВт	N	$N \rightarrow min$
8	Час циклу, та переміщення	c	$t_{ц} \quad t_{пер.}$	$t_{ц} \rightarrow min$ $t_{пер.} \rightarrow min$
9	Питома енергоємність	$\frac{кВт}{M^3/год}$	$N_{ПТ} = \frac{N}{P_{ei}}$	$N_{ПТ} \rightarrow min$
10	Питома матеріалоємність	$\frac{кН}{M^3/год}$	$G_{ПТ} = \frac{G}{P_{ei}}$	$G_{ПТ} \rightarrow min$
11	Узагальнений показник енергоємності та матеріалоємності	$\frac{кВт \cdot кН}{(M^3/год.)^2}$	$\Pi_{NG} = \frac{NG}{P_{ei}^2}$	$\Pi_{NG} \rightarrow min$
12	Показник оцінки енергоємності по глибині копання	$\frac{кВт}{m}$	$H_N = \frac{N}{H_K}$	$H_N \rightarrow min$
13	Показник оцінки матеріалоємності по глибині копання	$\frac{кН}{m}$	$H_G = \frac{G}{H_K}$	$H_G \rightarrow min$
14	Узагальнений показник економії енергоємності та матеріалоємності по глибині копання	$\frac{кВт \cdot кН}{M^2}$	$H_{NG} = \frac{NG}{H_K^2}$	$H_{NG} \rightarrow min$
15	Показник оцінки енергоємності по радіусу копання	$\frac{кВт}{m}$	$R_N = \frac{N}{R}$	$R_N \rightarrow min$
16	Показник оцінки матеріалоємності по радіусу копання	$\frac{кН}{m}$	$R_G = \frac{G}{R}$	$R_G \rightarrow min$
17	Узагальнений показник економії енергоємності та матеріалоємності по радіусу копання	$\frac{кВт \cdot кН}{M^2}$	$R_{NG} = \frac{NG}{R^2}$	$R_{NG} \rightarrow min$
18	Питома продуктивність по потужності ОґЕ	$\frac{(M^3/год.)}{кВт}$	$\Pi_{ПТ_N} = \frac{P_{ei}}{N}$	$\Pi_{ПТ_N} \rightarrow max$
19	Питома продуктивність по масі ОґЕ	$\frac{(M^3/год.)}{кН}$	$\Pi_{ПТ_G} = \frac{P_{ei}}{G}$	$\Pi_{ПТ_G} \rightarrow max$
20	Показник оцінки енергоємності по місткості ковша	$\frac{кВт}{M^3}$	$q_N = \frac{N}{q}$	$q_N \rightarrow min$
21	Показник оцінки матеріалоємності по місткості ковша	$\frac{кН}{M^3}$	$q_G = \frac{G}{q}$	$q_G \rightarrow min$
22	Узагальнений показник економії енергоємності та матеріалоємності по місткості ковша	$\frac{кВт \cdot кН}{M^6}$	$q_{NG} = \frac{NG}{q^2}$	$q_{NG} \rightarrow min$
23	Узагальнений показник економії енергоємності та матеріалоємності по глибині копання та місткості ковша	$\frac{кВт \cdot кН^2}{M^8}$	$H_{NGq} = \frac{N^2 G^2}{H_K^2 q^2}$	$H_{NGq} \rightarrow min$
24	Узагальнений показник економії енергоємності та матеріалоємності по радіусу копання та місткості ковша	$\frac{кВт \cdot кН^2}{M^8}$	$R_{NGq} = \frac{N^2 G^2}{R^2 q^2}$	$R_{NGq} \rightarrow min$

Комплект ОГЕ, які виконують ті ж самі види робіт, що й ОГЕ з ТРО, оцінюється за показником Π_{NGW_k} , який записується в наступному 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 таблиці 9.

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

Машину багатоцільового призначення доцільно оцінювати на базі аналізу узагальнених показників Π_{NG} .

Установлено взаємозв'язок між значеннями коефіцієнтів ефективності по зниженню опорів ґрунтів копанню K_{ef} при оснащенні робочих органів різними інтенсифікаторами і значеннями коефіцієнтів підвищення продуктивності K_{EP} .

Висновки.

1. Оцінку зниження опору ґрунту копанню різноманітними робочими органами інноваційного типу слід оцінювати по системі показників, наведеними у таблиці 1.

2. Показники ефективності інноваційних робочих органів машин для земляних робіт слід визначати по залежностям, наведеними у таблиці 2.

3. Показники ефективності інноваційних робочих органів багатоцільового призначення слід визначати по залежностям, наведеними у таблицях 5,6.

4. Система показників для оцінки ефективності телескопічного робочого обладнання слід визначати по залежностям, наведеними у таблиці 9.

5. Орієнтовно значення наведених питомих витрат для ряду традиційних і нових машин можна здійснювати на базі залежностей, наведених у таблиці 7.

6. Отримані регресійні моделі дозволяють за матеріалами експериментів з масштабними фізичними моделями або теоретичної залежності по зниженню опорів копанню оцінити очікуване підвищення продуктивності машин при оснащенні 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 при їхній експлуатації у різних ґрунтах і появи, що мають найбільшу ймовірність у Європейській частині країни, наведені в таблиці 8.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Баловнев. В. И. Определение параметров и выбор землеройных машин: учеб. пособие / В. И. Баловнев. – М., Омск: ЗАО «Полиграф», 2010. – 224 с.
2. Машини 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. Машини 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. Машини 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. – М.: Техполиграфцентр, 2013. – 333 с.
5. Машини 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. – М.: Техполиграфцентр, 2013. – 343 с.
6. Баловнев В. И. Оценка технико-экономической эффективности дорожно-строительных машин на этапе проектирования / В. И. Баловнев, А. Б. Ермилов. – МАДИ. – М.: 1984. – 102с.
7. Баловнев В. И. Интенсификация земляных работ в дорожном строительстве / В. И. Баловнев, Л. А. Хмара. – М.: Транспорт. 1983. – 183с.
8. Баловнев В. И. Повышение производительности машин для земляных работ / В. И. Баловнев, Л. А. Хмара. – К.: Будівельник. 1988. – 152с.
9. Хмара Л. А. Интенсификация рабочих процессов машин для земляных работ. Днепропетровск, ДИСИ, 1989. – 329с.
10. Баловнев В. И. Интенсификация разработки грунтов в дорожном строительстве / В. И. Баловнев, Л. А. Хмара. – М.: Транспорт, 1993. – 383с.
11. Баловнев В. И. Строительные работы и манипуляторы / В. И. Баловнев, Л.А. Хмара, В. П. Станевский,

- П. И. Немировский. – К. Будивельник, 1991. – 136 с.
12. Машины для земляных работ: Пidrучник / Хмара Л.А., Кравец С.В., Скоблюк М.П., Никитин В.Г., Дерев'янчук М.И., Супонев В.М. Пidr загальною редакцією проф. Хмари Л.А. та проф. Кравця С.В. Дніпропетровськ - Рівне. 2014 - 547 с.
 13. Хмара Л.А. Оценка эффективности телескопического рабочего оборудования одноковшового гидравлического экскаватора. Сб. научных трудов: Строительство, материаловедение, машиностроение. – Д.: 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 – Д.: ПГАСиА. 2012. №.66.4.2. – С. 38-49.
 15. Хмара Л.А., Дахно О.О. Телескопічне робоче обладнання гiдравлічного экскаватора, оцінка його ефективності та визначення об'єму копання ґрунту. Сб. научных трудов: Строительство, материаловедение, машиностроение. – Д.: ПГАСиА. 2012. №.66.4.2. – С. 29-37.
 16. Хмара Л.А., Дахно О.О. Формування та оцінка ефективності телескопічного робочого обладнання одноківшевого гiдравлічного экскаватора. Сб. научных трудов: Строительство, материаловедение, машиностроение. – Д.: ПГАСиА. 2012. №.66.4.2. – С. 142-154.

REFERENCES

1. Balovnev. V. I. Opredelenie parametrov i vybor zemleroynyih mashin: ucheb. posobie / V. I. Balovnev. – M., Omsk: ZAO «Poligraf», 2010. – 224 s.
2. Mashinyi dlya zemlyanyih rabot: konstruktsiya, raschet, potrebitelskie svoystva: v 2 kn. Kn. 1. Ekskavatoryi i zemleroyno-transportnyie 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. Mashinyi dlya zemlyanyih rabot: konstruktsiya, raschet, potrebitelskie svoystva: v 2 kn. Kn. 2. Pogruzochno-razgruzochnyie i uplotnyayuschie 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. Mashinyi dlya sodержaniya gorodskih i avtomobilnyih 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 pererab. – M.: Tehpoligrftsentr, 2013. – 333 s.
5. Mashinyi dlya sodержaniya gorodskih i avtomobilnyih 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 pererab. – M.: Tehpoligrftsentr, 2013. – 343 s.
6. Balovnev V. I. Otsenka tehniko-ekonomicheskoy effektivnosti dorozhno-stroitelnyih mashin na etape proektirovaniya / V. I. Balovnev, A. B. Ermilov. – MADI. – M.: 1984. – 102s.
7. Balovnev V. I Intensifikatsiya zemlyanyih rabot v dorozhnom stroitelstve / V. I. Balovnev, L. A. Khmara. – M.: Transport. 1983. – 183s.
8. Balovnev V. I. Povyishenie proizvoditelnosti mashin dlya zemlyanyih rabot / V. I. Balovnev, L. A. Khmara. – K.: Budivelnik. 1988. – 152s.
9. Khmara L. A. Intensifikatsiya rabochih protsessov mashin dlya zemlyanyih rabot. Dnepropetrovsk, DISI, 1989. – 329s.
10. Balovnev V. I. Intensifikatsiya razrabotki gruntov v dorozhnom stroitelstve / V. I. Balovnev, L. A. Khmara. – M.: Transport, 1993. – 383s.
11. Balovnev V. I. Stroitelnyie robotyi i manipulyatoryi / V. I. Balovnev, L.A. Khmara, V. P. Stanevskiy, P. I. Nemirovskiy. – K. Budivelnik, 1991. – 136 s.
12. Mashiny dlya zemlyanyih robIt: Pidruchnik / Khmara L.A., Kravets S.V., Skoblyuk M.P., NikItIn V.G., Derev'yanchuk M.I., SuponEv V.M. Pidr zagalnoyu redaktsIEyu prof. Khmari L.A. ta prof. Kravtsya S.V. DnIpropetrovsk - RIVne. 2014 - 547 s.
13. Khmara L.A. Otsenka effektivnosti teleskopicheskogo rabocheho oborudovaniya odnokovshovogo gidravlicheskogo ekskavatora. Sb. nauchnyih trudov: Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie. – D.: PGASiA, 2002. – #15. – S. 143-150.
14. Khmara L.A., Dahno O.O. Vznachennya teoretichnogo ob'Emu kopannya Gruntu odnokIvshevIm ekskavatorom z teleskopIchnIm robochim obladnannyaM. Sb. nauchnyih trudov: Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie – D.: PGASiA. 2012. #.66.4.2. – S. 38-49.
15. Khmara L.A., Dahno O.O. TeleskopIchne roboche obladnannya gIdravIchnogo ekskavatora, otsInka yogo effektivnostI ta vznachennya ob'Emu kopannya Gruntu. Sb. nauchnyih trudov: Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie. – D.: PGASiA. 2012. #.66.4.2. – S. 29-37.
16. Khmara L.A., Dahno O.O. Formuvannya ta otsInka effektivnostI teleskopIchnogo robochoho obladnannya odnokIvshevoho gIdravIchnogo ekskavatora. Sb. nauchnyih trudov: Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie. – D.: PGASiA. 2012. #.66.4.2. – S. 142-154.