

УДК 624.132.3

Проведення ефективного прогнозування роботи машин для земляних робіт

Леонід Пелевін¹, Анатолій Фомін², Євгеній Горбатюк³, Вадим Шаленко⁴

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

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

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

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

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

Received: 10.02.2019; Accepted: 28.03.2019

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

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

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

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

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

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

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

ВСТУП

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

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

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

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

МЕТА РОБОТИ

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

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

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Таблиця 1. Параметри робочого процесу

Table 1. Parameters workflows

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

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

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

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

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

для землерийних машин циклічної дії

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

для машин неперервної дії

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

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

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

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

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

для машин неперервної дії

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

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

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

ціалу бульдозерів $\Pi_{L\max}$ майже в 1,5 рази (Рис. 3).

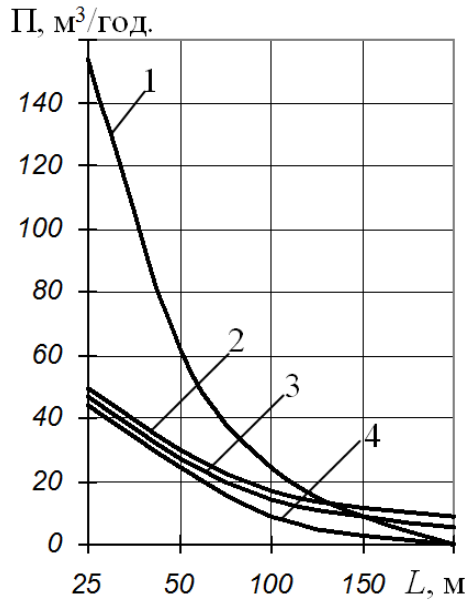


Рис. 1. Зміна виробничого потенціалу Π бульдозерів різної потужності в залежності від дальності переміщення L при різних коефіцієнтах λ : 1 – $N=228\text{кВт}$ (300к.с.) при $\lambda=0,005$; 2 – $N=82\text{кВт}$ (108к.с.) при $\lambda=0,005$; 3 – $N=82\text{кВт}$ (108к.с.) при $\lambda=0,002$; 4 – $N=82\text{кВт}$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

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

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

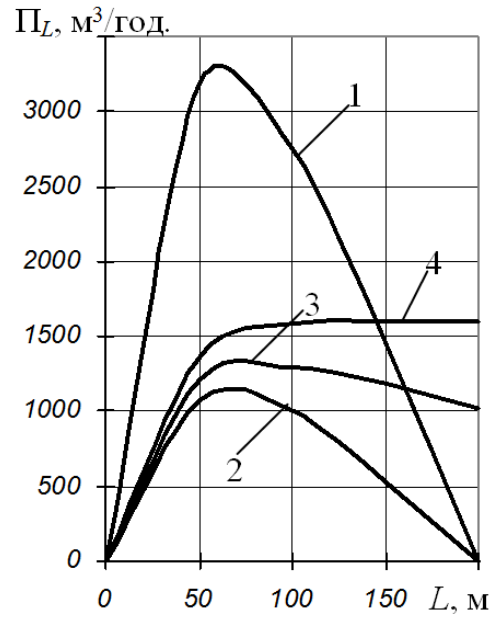


Рис. 2. Зміна виробничого потенціалу Π_L бульдозерів різної потужності в залежності від дальності переміщення L при різних коефіцієнтах λ : 1 – $N=228\text{кВт}$ (300к.с.) при $\lambda=0,005$; 2 – $N=82\text{кВт}$ (108к.с.) при $\lambda=0,005$; 3 – $N=82\text{кВт}$ (108к.с.) при $\lambda=0,002$; 4 –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

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

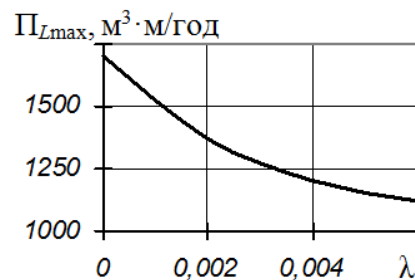


Рис. 3. Залежність максимальної величини $\Pi_{L\max}$ бульдозера потужністю 108 к.с. від коефіцієнта λ

Fig. 3. Dependence of maximal size $\Pi_{L\max}$ of bulldozer by power 108h.p. from a coefficient λ

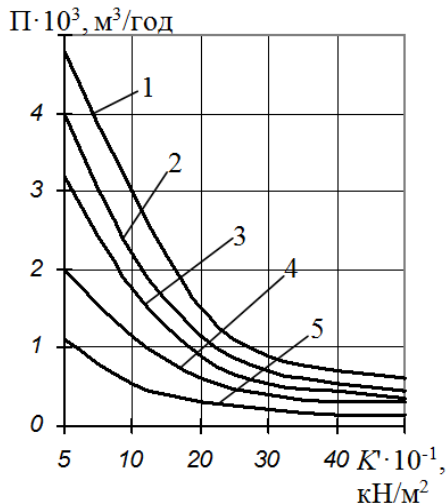


Рис. 4. Залежність виробничого потенціалу Π грейдер-елеватора потужністю 108 к.с. від питомого опору копанню K'

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

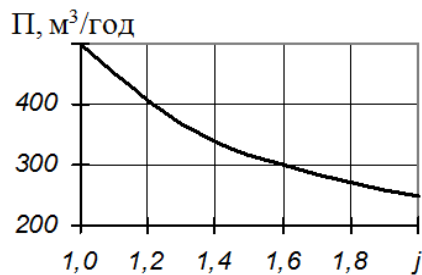


Рис. 5. Зміна виробничого потенціалу Π грейдер-елеватора в залежності від величини j

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

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

ВИСНОВОКИ

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

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

ЛІТЕРАТУРА

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

- L. Pelevin, Ie. Gorbatyuk, S. Zaichenko, V. Shalenko // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2017. – vol. 6, no. 2 (90): Information technology. Industry control systems. – pp. 52–60. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.118429>
 9. **Тетерятник О.** Аналіз конструкцій та концепції розвитку компактного екскаваторного обладнання / О. Тетерятник, О. Костенюк, А. Фомін // *Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини*. – К., 2018. – Вип. 92. – С. 56–62. <https://doi.org/10.31493/gbdmm1892.0401>
 10. **Pelevin L.** Substantiation of adequacy of loading conditions at bench and field tests of construction machines / L. Pelevin, A. Fomin, Ie. Gorbatyuk, G. Machishin // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2018. – vol. 3, no. 7 (93): Applied mechanics. – pp. 41–52. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.130996>
- #### REFERENCES
1. **Balovnev V. I., Khmara L. A.** (1992). *Povyshenie proizvoditel'nosti mashin dlya zemlyanykh rabot: proizvodstvennoe izdanie*, Moscow, Transport, 136.
 2. **Khmara L. A., Kravets S. V., Nichke V. V., Nazarov L. V., Skobliuk M. P., Nikitin V. H.** (2010). *Mashyny dlia zemlianykh robit: navchalnyi posibnyk*. Rivne-Dnipropetrovsk-Kharkiv, 557.
 3. **Mishchuk D.** (2017). *Doslidzhennja dynamiky roboty vstanovlenogo na pruzhnu oporu strilovogo manipuljatora*. Girnychi, budivel'ni, dorozhni ta melioratyvni mashyny, No. 90, 11–18.
 4. **Pelevin L., Horbatiuk E., Fomin A., Azenko A.** (2017). *Rozrobka diskovogo robochogo organa dlja beztranshejnogo prokladannja linij komunikacij*. Girnychi, budivel'ni, dorozhni ta melioratyvni mashyny, No. 90, 59–66.
 5. **Toshov J. B., Shukurov M. K.** (2014). *Questions modeling of dynamics of drilling tools on the bottom hole*. Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, “East West” Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH. Vienna, 1–2 (1), 116–122.
 6. **Pelevin L. Ie., Horbatiuk Ye. V., Mishchuk D. O., Sviderskyi A. T., Arzhaiev H. O.** (2017). *Vstup do fakhu. Mekhanichna inzheneriia: pidruchnyk*. Kyiv, NPP Interservis Publ., 250.
 7. **Zelenin A. N., Balovnev V. I., Kerov I. P.** (1975). *Mashyny dlya zemlyanykh rabot*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 424.
 8. **Pelevin L., Gorbatyuk Ie., Zaichenko S., Shalenko V.** (2017). *Developing a mathematical substantiation for the physical modelling of the soil-ripping equipment work process*. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 6, No. 2 (90): Information technology. Industry control systems, 52–60. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.118429>
 9. **Teteriatnyk O., Teteriatnyk O., Kosteniuk O., Fomin A.** (2018). *Analiz konstrukcij ta koncepcii' rozvytku kompaktnogo ekskavacijnogo obladnannja*. Girnychi, budivel'ni, dorozhni ta melioratyvni mashyny, No. 92, 56–62. DOI: 10.31493/gbdmm1892.0401
 10. **Pelevin L., Fomin A., Gorbatyuk Ie., Machishin G.** (2018). *Substantiation of adequacy of loading conditions at bench and field tests of construction machines*. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 3, No. 7 (93), 41–52. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.130996>
- #### Realization of effective prognostication of work of machines for earthmovings
- Leonid Pelevin¹, Anatolij Fomin²,
Ievgenii Gorbatyuk³, Vadym Shalenko⁴*
- Kyiv National University of
Construction and Architecture*
- Abstract.** An earth-moving technique in highly developed countries occupies a leading place among the self-propelled and towed technique of the different setting.
- Such technique scientific and technical principles of creation of low-energy technologies and machines are the basis of for destruction of natural and artificial environments (soils, breeds, mules, reinforced concretes, brick and others like that) under various conditions (ground - travelling, treatment of agricultural earth, engineer-soldiery and rescue works at accidents, cleaning of soils from contaminations, land-reclamation, creation of trenches, channels, foundation pits, trenches, depositories and others like that; underground is mining, building of tunnels and others like that).
- Earthmovings belong to most labors intensive processes of building and that is why it is necessary to determine the ways of perfection of con-

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

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

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

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