

УДК 621.225:69.002.51

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЩЕГО КПД ЗЕМЛЕРОЙНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН ПО ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

ХМАРА Л. А.¹, *д.т.н., проф.*,
ХОЛОДОВ А. П.², *к.т.н., доц.*

¹ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепр, 49005, Украина, +38067-585-26-59, E-mail: leonidkhmara@yahoo.com, ORCID 0000-0003-3050-9302

²Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, ул. Ярослава Мудрого, 25, Харьков, 61002, Украина, +38050-206-36-44, E-mail: antonkholodov21@gmail.com, ORCID 0000-0002-4120-4654

Аннотация. Полезное использование электроэнергии или топлива зависит от конкретных условий работы машины, физико-механических свойств грунтов, конструктивных особенностей рабочих органов, методов организации производственного процесса и т.п., в связи с чем особо важным являются определение и контроль непроизводственных затрат энергии в процессе эксплуатации машин. Рассмотрены работы по определению механического КПД и проанализированы работы по определению энергетической эффективности различных машин. Проведенный анализ показал, что механический КПД учитывает потери энергии при совершении холостых движений и случаи, когда машина совершает полезное действие, но не совершает полезную работу. А также не существует единой методики расчета, применимой при проектировании или модернизации машин. Что не дает возможности оценить эффективность и экономичность машины в целом. Сформирована методика определения общего коэффициента полезного действия по технико-экономическим показателям для оценки эффективности и экономичности машины. Проведены экспериментальные исследования эффективности и экономичности ЗТМ на примере бульдозера с целью оценки его КПД по различным технико-экономическим показателям.

Ключевые слова: КПД; энергия; топливо; гибридный привод; машина; экономия энергии

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ЗАГАЛЬНОГО КОЕФІЦІЄНТА КОРИСНОЇ ДІЇ ЗЕМЛЕРІЙНО-ТРАНСПОРТНИХ МАШИН ЗА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ

ХМАРА Л. А.¹, *д. т. н., проф.*,
ХОЛОДОВ А. П.^{2*}, *к.т.н., доц.*

¹ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпропетровськ, 49005, Україна, +38067-585-26-59, E-mail: leonidkhmara@yahoo.com, ORCID 0000-0003-3050-9302

²Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Петровського, 25, Харків, 61002, Україна, +38050-206-36-44, E-mail: anton_kholodov@mail.ru, ORCID 0000-0002-4120-4654

Анотація. Корисне використання електроенергії або палива залежить від конкретних умов роботи машини, фізико-механічних властивостей ґрунтів, конструктивних особливостей робочих органів, методів організації виробничого процесу і т.п., в зв'язку з чим особливо важливими є визначення та контроль невиробничих витрат енергії в процесі експлуатації машин. Розглянуто роботи по визначення механічного ККД і проаналізовані роботи по визначенню енергетичної ефективності різних машин. Проведений аналіз показав, що механічний ККД враховує втрати енергії при здійсненні холостих рухів і випадки, коли машина робить корисну дію, але не робить корисну роботу. А також не існує єдиної методики розрахунку, застосовної при проектуванні або модернізації машин. Що не дає можливості оцінити ефективність і економічність машини в цілому. Сформована методика визначення загального коефіцієнта корисної дії по техніко-економічними показниками для оцінки ефективності та економічності машини. Проведено експериментальні дослідження ефективності та економічності ЗТМ на прикладі бульдозера з метою оцінки його ККД за різними техніко-економічними показниками.

Ключові слова: ККД; енергія; паливо; гібридний привід; авто; економія енергії

METHOD OF DETERMING THE GENERAL EFFICIENCY OF EARTH-MOVING MACHINES ON TECHNO-ECONOMIC INDICATORS

KHMARA L. A.¹, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
KHOLODOV A. P.², *Ph. D., assistant professor.*

¹ Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, str. Chernishevskogo, 24-a, Dnepr, 49005, Ukraine, +38067-585-26-59, E-mail: leonidkhmara@yahoo.com, ORCID 0000-0003-3050-9302

²Kharkiv National Automobile and Highway University, str. Petrovsky, 25, Kharkov, 61002, Ukraine +38050-206-36-44, E-mail: anton_kholodov@mail.ru, ORCID 0000-0002-4120-4654

Summary. The useful use of electricity or fuel depends on the specific operating conditions of the machine, the physical and mechanical properties of soils, the design features of the working bodies, the methods of organizing the production process and. Etc., in connection with which it is especially important to determine and control the non-production costs of energy during the operation of the machines. The work on determining the mechanical efficiency is considered and the work to determine the energy efficiency of various machines is analyzed. The analysis showed that mechanical efficiency takes into account energy losses during idle motions and when the machine performs a useful action, but does not perform useful work. And also there is no uniform calculation technique applicable for the design or modernization of machines. That does not give an opportunity to assess the efficiency and economy of the machine as a whole. A technique for determining the overall efficiency by technical and economic indicators was developed to assess the efficiency and economy of the machine. Experimental researches of efficiency and profitability of EMM on an example of the bulldozer with the purpose of an estimation of its efficiency on various technical and economic indicators are spent.

Key words: coefficient of efficiency; energy; fuel; hybrid drive; machine; saving energy

Постановка проблемы. Полезное использование электроэнергии или топлива зависит от конкретных условий работы машины, физико-механических свойств грунтов, конструктивных особенностей рабочих органов, методов организации производственного процесса и т.п., в связи с чем особо важным являются определение и контроль непроизводственных затрат энергии в процессе эксплуатации машин [1, 4]

Анализ публикаций. Существующее множество работ по определению энергетической эффективности различных машин, не существует единой методики расчета, применимой при проектировании или модернизации машин. [3, 4]

Важным оценочным параметром машины при высоком уровне выпускаемой продукции (разработке грунта, его планировке и т.п.) является расход топлива и как следствие выбросы отработавших газов в окружающую среду, что сказывается на стоимости выпускаемой продукции.

Современные технологии позволяют максимально повысить КПД каждого механизма в отдельности, что является немаловажным фактором, сокращающим потери энергии от источника(топлива) к конечному потребителю (рабочему органу, выпускаемой продукции, работе).

Такие потери учитываются при расчете мощности двигателя и оцениваются с помощью механического КПД передач. Вопросам определения механического КПД посвящены исследования Артоболевского И.И., Решетова Л.Н., Кожевникова С.Н. и др. В данных работах механический КПД рассматривается как отношение работы сил полезных сопротивлений к работе движущих сил за время установившегося движения. Но в этом случае не учитываются потери энергии при совершении холостых движений и когда машина выполняет полезное действие, но не совершает полезной работы. [2, 4, 6]

Таким образом, с помощью механического КПД можно охарактеризовать только качество привода машины, но нельзя оценить все непроизводственные затраты энергии при работе машины, а

следовательно, в полной мере судить об ее экономичности. [4-6]

В связи с этим основной задачей является исследование энергетической, топливной эффективности машин с целью создания метода определения непроизводственных затрат энергии и способов снижения этих затрат в рабочем процессе машин с учетом влияния различных факторов. Это позволит в целом оценить эффективность и экономичность машины.

Решение задачи. Предлагается метод определения КПД по технико-экономическим показателям землеройно-транспортных машин по следующей последовательности.

1. Определение энергетического КПД для машин, оснащенных, например, гибридными приводами :

$$\eta_{he} = \frac{E_{общ} - E_{xx}}{E_{двс}}, \quad (1)$$

где $E_{общ}$ - общее количество энергии, затрачиваемое в рабочем цикле ЗТМ;

E_{xx} - энергия затрачиваемое на холостом ходу ЗТМ;

$E_{двс}$ - энергия, расходуемая двигателем.

В этом случае, т.к. присутствует дополнительный двигатель (гидроаккумулятор, электродвигатель и т.п.) который включается в работу на нагруженных режимах работы, общий расход энергии $E_{общ}$ будет рассчитываться по формуле

$$E_{общ} = E_{двс} + E_{he}, \quad (2)$$

где E_{he} - энергия, вырабатываемая вспомогательным двигателем.

2. Определение энергетического КПД для машин, не оснащенных гибридными приводами:

$$\eta_{тр} = \frac{E_{общ} - E_{xx}}{E_{двс}}, \quad (3)$$

В этом случае общая энергия $E_{\text{общ}}$ затрачиваемая на выполнение всех операций будет равна мощности затрачиваемой двигателем.

$$\eta_{\text{тр}} = \frac{E_{\text{общ}} - E_{\text{xx}}}{E_{\text{двс}}} = \frac{E_{\text{двс}} - E_{\text{xx}}}{E_{\text{двс}}} = 1 - \frac{E_{\text{xx}}}{E_{\text{двс}}} \quad (4)$$

3. Определение КПД по расходу топлива:

$$\eta_{\text{Qf}} = \frac{Q_{\text{пол}}}{Q_{\text{двс}}} \quad (5)$$

где $Q_{\text{пол}}$ – объем топлива, затрачиваемый на выполнение полезной работы;

$Q_{\text{двс}}$ – общий объем топлива, расходуемый двигателем за время работы.

В случае, когда машина не оснащена гибридным двигателем, $Q_{\text{пол}}$ рассчитывается как

$$Q_{\text{пол}} = Q_{\text{двс}} - Q_{\text{xx}}, \quad (6)$$

тогда

$$\eta_{\text{Qf}} = \frac{Q_{\text{двс}} - Q_{\text{xx}}}{Q_{\text{двс}}}. \quad (7)$$

Для машин с гибридными силовыми установками полезный расход топлива будет состоять из нескольких составляющих расход топлива на режиме копания $Q_{\text{коп}}$, транспортировки $Q_{\text{пер}}$ и выгрузке грунта $Q_{\text{выгр}}$, а также расход топлива на зарядку дополнительного двигателя $Q_{\text{xx.пол}}$ (гидроаккумулятора, электродвигателя), т.к. этот расход можно считать полезным потому, как энергия возвращается в систему для выполнения полезной работы.

$$Q_{\text{пол}} = Q_{\text{коп}} + Q_{\text{пер}} + Q_{\text{выгр}} + Q_{\text{xx.пол}}; \quad (8)$$

$$\eta_{\text{Qf}} = \frac{Q_{\text{коп}} + Q_{\text{пер}} + Q_{\text{выгр}} + Q_{\text{xx.пол}}}{Q_{\text{двс}}}. \quad (9)$$

4. Определение КПД по мощности

$$\eta_N = \frac{N_{\text{пол}}}{N_{\text{двс}}}, \quad (10)$$

где $N_{\text{пол}}$ – полезная мощность, расходуемая машиной для традиционных машин определяется как $N_{\text{пол}} = N_{\text{общ}} - N_{\text{xx}}$;

$N_{\text{двс}}$ – мощность, вырабатываемая двигателем в рабочем цикле машины;

N_{xx} – мощность затрачиваемая на холостой ход.

Тогда

$$\eta_N = \frac{N_{\text{общ}} - N_{\text{xx}}}{N_{\text{двс}}}, \quad (11)$$

$N_{\text{пол}}$ для машин с гибридными силовыми установками

$$N_{\text{пол}} = N_{\text{коп}} + N_{\text{пер}} + N_{\text{выгр}} + N_{\text{xx.пол}} \quad (12)$$

где $N_{\text{коп}}$ – мощность, затрачиваемая на копание грунта;

$N_{\text{пер}}$ – мощность, затрачиваемая на перемещение грунта;

$N_{\text{выгр}}$ – мощность, затрачиваемая на выгрузку грунта;

$N_{\text{xx.пол}}$ – мощность, затрачиваемая на зарядку аккумулятора на холостом ходу.

Тогда

$$\eta_N = \frac{N_{\text{коп}} + N_{\text{пер}} + N_{\text{выгр}} + N_{\text{xx.пол}}}{N_{\text{двс}}}. \quad (13)$$

5. Определение КПД по значению массе

$$\eta_G = \frac{m_{\text{гр}}}{m_{\text{общ}}} = \frac{m_{\text{гр}}}{m_{\text{гр}} + m_{\text{к}}}, \quad (14)$$

где $m_{\text{гр}}$ – масса грунта;

$m_{\text{общ}}$ – общая масса машины;

$m_{\text{к}}$ – масса, например, ковша.

6. Определение КПД по значению вместимости ковша

$$\eta_q = \frac{q_{\text{к}}}{q_{\text{маш}}}, \quad (15)$$

где $q_{\text{к}}$ – объем ковша;

$q_{\text{маш}}$ – геометрический объем машины.

7. Определение КПД по длительности рабочего цикла

$$\eta_{T_{\text{ц}}} = \frac{t_{\text{ц}}}{T_{\text{ц}}}, \quad (16)$$

где $t_{\text{ц}}$ – время, затрачиваемое на выполнение полезной работы;

$T_{\text{ц}}$ – общее время цикла.

8. Определение КПД по выполненной работе

$$\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{A_{\text{общ}}}, \quad (17)$$

где $A_{\text{пол}}$ – полезная работа за единицу времени;

$A_{\text{общ}}$ – общий объем выполненной работы.

$$A_{\text{общ}} = A_{\text{коп}} + A_{\text{пер.гр.}} + A_{\text{пер.раб.орг.}} + A_{\text{пер.маш.}} + A_{\text{гп}} + A_{\text{трен}} + A_{\text{xx}} \quad (18)$$

$A_{\text{коп}}$ – работа, затрачиваемая на копание;

$A_{\text{пер.гр.}}$ – работа, затрачиваемая на перемещение грунта;

$A_{\text{пер.раб.орг.}}$ – работа, затрачиваемая на перемещение рабочего оборудования;

$A_{\text{пер.маш.}}$ – работа, затрачиваемая на перемещение машины;

$A_{\text{гп}}$ – работа, затрачиваемая на гидропривод;

$A_{\text{тр.ен}}$ – работа, затрачиваемая на преодоление сопротивления трения;

$A_{\text{хх}}$ – работа, затрачиваемая на перемещение машины на холостом ходу.

Т.к. эффективность работы машины определяется по объему переработанного грунта за единицу времени, то полезной работой следует считать работу по перемещению грунта $A_{\text{пер.гр.}}$. Тогда можно записать

$$\eta = \frac{A_{\text{пер.гр.}}}{A_{\text{общ}}} \quad (19)$$

В ХНАДУ были проведены исследования бульдозера с гидроаккумулирующей системой с целью оценки его КПД по технико-экономическим показателям. Результаты исследований приведены в таблице 1.



Рис 1. Экспериментальные исследования бульдозера с гидроаккумулирующей системой

Таблица 1

Определение значений КПД бульдозеров по технико-экономическим показателям

№ п/п	Наименование КПД	Формула КПД	Значение КПД	
			Бульдозер традиционного типа	Бульдозер с гидроаккумулирующей системой
1	2	3	4	5
1	Теоретическое определение КПД по полезной массе	$\eta_G = \frac{m_{\text{гр}}}{m_{\text{общ}}}$	0,148	0,247
2	Теоретическое определение КПД по полезному объему	$\eta_q = \frac{q_{\text{к}}}{q_{\text{маш}}}$	0,17	0,27
3	Теоретическое определение КПД по затраченной мощности	$\eta_N = \frac{N_{\text{пл}}}{N_{\text{общ}}}$	0,6	0,749
4	Теоретическое определение КПД по затраченному топливу	$\eta_f = \frac{Q_{\text{пол}}}{Q_{\text{общ}}}$	0,2	0,32
5	Теоретическое определение КПД по затраченному времени	$\eta_{T_{\text{ц}}} = \frac{t_{\text{пол}}}{T_{\text{ц}}}$	0,275	0,32
6	Теоретическое определение КПД по затраченной работе	$\eta_A = \frac{A_{\text{пол}}}{A_{\text{общ}}}$	0,562	0,646

Выводы. 1. Проведенный анализ существующих методик определения КПД, методик расчета энергетических параметров машины подтвердил необходимость разработки метода определения общего КПД по технико-экономическим показателям.

2. Предложено математическое описание метода определения общего КПД по технико-экономическим показателям.

3. Разработанный метод расчета КПД применим к проектируемым и эксплуатируемым машинам.

4. Установлено, что более высокий полный КПД и, соответственно, наименьшую относительную использованную мощность имеют машины, оснащенные гибридными приводами и гидроаккумулирующими системами.

5. На основании теоретических и экспериментальных исследований по предложенному методу составлена сравнительная таблица технико-экономических показателей бульдозеров традиционного типа и бульдозеров с гидроаккумулирующей системой.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лашеных А. А., Пулин В. М., Тыщенко Ю. И. Влияние энергетических показателей на эффективность транспортных и погрузочно-разгрузочных машин. "Промышленный транспорт", 1978.-№5.-С. 12.
2. Гене В. М. О повышении энергетической эффективности строительных машин. // Известия вузов МВ и ССО. Сер. "Строительство и архитектура", 1966.-№9. -С. 141-145.
3. Гене В. М. Новые методы исследования КПД машинного агрегата.-Сб. трудов ДИСИ, Вып. 20.- Харьков: Изд. ХГ, 1968. с. 96.
4. Гене В. М., Лашеных А. А., Пулин В. П. Исследование КПД механического оборудования бетонных заводов. Известия вузов МВ и ССО СССР, серия "Строительство и архитектура", 1970.- №3.- С. 153-156.
5. Гене В. М., Пулин В. П. Определение оптимальной нагрузки строительных машин. /Тезисы докладов конференции "Технический процесс основа повышения эффективности производства". - Днепропетровск, 1969. С. 194-195.
6. Клейн В. С. Методика исследования энергетических параметров фронтального погрузчика. Елгава: Трд. Латвийской сельхоз. Академии, Вып. 23, 1969.
7. Соловьев А. И. Коэффициент полезного действия механизмов и машин. М.: Машиностроение, 1966. - 179 с.
8. Ярошев Д. М. Проблемы комплексной механизации и энергетический метод. М.: Стройиздат, 1964. - 187 с.
9. Гибридные силовые установки на основе ДВС: учебное пособие / Гусаков С.В. Москва – 2008. – 184 с.
10. Хмара Л. А. Распределение силовых потоков в рабочем цикле землеройно-транспортных машин, оснащенных гидроаккумулирующей системой / Л. А. Хмара, А. П. Холодов // Вестник ХНАДУ. Сб. науч. тр. – Х.: ХНАДУ. – 2012. - Вып. 57. – С. 166-173.
11. Хмара Л.А. Энергоэффективные машины для земляных работ / Л.А. Хмара, А.П. Холодов. – Х.: ФОП Бровин О.В., 2016. – 142 с.

REFERENCES

1. Gene V. M. O povyishenii energeticheskoy effektivnosti stroitelnykh mashin. // Izvestiya vuzov MV i SSO. Ser. "Stroitelstvo i arhitektura", 1966.-#9. -P. 141-145.
2. Gene V. M. Novyye metody issledovaniya KPD mashinnogo agregata.-Sb. trudov DISI, Vyip. 20.- Harkov: Izd. HG, 1968. p. 96.
3. Gene V. M., Laschenykh A. A., Pulin V. P. Issledovanie KPD mekhanicheskogo oborudovaniya betonnykh zavodov. Izvestiya vuzov MV i SSO SSSR, seriya "Stroitelstvo i arhitektura", 1970.- #3.- P. 153-156.
4. Gene V. M., Pulin V. P. Opredelenie optimalnoy nagruzki stroitelnykh mashin. /Tezisy dokladov konferentsii "Tehnicheskii protsess osnova povyisheniya effektivnosti proizvodstva". - Dnepropetrovsk, 1969. P. 194-195.
5. Kleyn V. S. Metodika issledovaniya energeticheskikh parametrov frontalnogo pogruzchika. Elgava: Trd. Latviyskoy selhoz. Akademii, Vyip. 23, 1969.
6. Laschenykh A. A., Pulin V. M., Tyischenko Yu. I. Vliyanie energeticheskikh pokazateley na effektivnost transportnykh i pogruzочно razgruzochnykh mashin. "Promyshlennyi transport", 1978.-#5.-P. 12.
7. Solovev A. I. Koeffitsient poleznogo deystviya mekhanizmov i mashin. M.: Mashinostroenie, 1966. - 179 p.
8. Yaroshev D. M. Problemy kompleksnoy mekhanizatsii i energeticheskii metod. M.: Stroyizdat, 1964. - 187 p.
9. Gibridnyie silovyye ustanovki na osnove DVS: uchebnoe posobie / Gusakov S.V. Moskva – 2008. – 184 p.
10. Khmara L. A. Raspredelenie silovykh potokov v rabochem tsikle zemleroyno-transportnykh mashin, osnashchennykh gidroakkumuliruyushey sistemoy / L. A. Khmara, A. P. Holodov // Vestnik HNADU. Sb. nauch. tr. – H.: HNADU. – 2012. - Vyip. 57. – P. 166-173.
11. Khmara L.A. Energoeffektivnyie mashiny dlya zemlyanykh rabot / L.A. Khmara, A.P. Holodov. – H.: FOP Brovin O.V., 2016. – 142 p.