

Энергия и ее роль в горной промышленности

Е. С. Семькин✉

ФГБОУ ВО «Северо-Восточный государственный университет»,

г. Магадан, Российская Федерация

✉ semykin.ev82@mail.ru

Резюме. Исследована роль энергии в горном деле. Энергия рассматривается как ключевой фактор, влияющий на эффективность работы горной техники и предприятия в целом. Предлагается определять эффективность работы горной техники количеством затраченной энергии, то есть рассматривать эффективность в системе энергии по определенным видам процессов горнодобывающего предприятия. Отмечается недостаточная изученность вопроса энергии на различных процессах в горном деле и отсутствие единой классификации применения энергии. Предложены формулы для определения энергии технических устройств в зависимости от сменной производительности следующего горного оборудования: бульдозера, фронтального погрузчика, скрепера, бурового станка. Результаты исследований показывают, что эффективность работы горной техники напрямую зависит от количества и вида затраченной энергии на выполнение определенных операций. Существует оптимальный диапазон энергии для каждого технологического процесса в горном деле, при котором достигается максимальная производительность и минимальные издержки. В дальнейшем учет и анализ энергетических показателей позволяют повысить безопасность горных работ за счет выявления и предотвращения аварийных ситуаций, связанных с перегрузкой оборудования или неправильным использованием энергии.

Ключевые слова: энергия, виды энергии горного предприятия, расчет энергии технического устройства, технические устройства в горном деле

Для цитирования: Семькин Е.С. Энергия и ее роль в горной промышленности. *Маркшейдерия и недропользование*. 2026;26(1):61-67. <https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-1-61-67>.

Energy and its role in the mining industry

E. S. Semykin✉

North-Eastern State University, Magadan, Russian Federation

✉ semykin.ev82@mail.ru

Rezume. This article examines the role of energy in mining. Energy is considered a key factor influencing the efficiency of mining equipment and the overall enterprise. It is proposed to determine the efficiency of mining equipment by the amount of energy expended, i.e., to consider the efficiency of the energy system for specific types of mining processes. Insufficient research is noted on the energy implications of various mining processes and the lack of a unified classification of energy use. Formulas are proposed for determining the energy consumption of technical devices based on the shift productivity of the following mining equipment: bulldozers, front-end loaders, scrapers, and drilling rigs. The research results show that the efficiency of mining equipment directly depends on the amount and type of energy expended to perform specific operations. There is an optimal energy range for each mining process that achieves maximum productivity and minimum costs. Further, recording and analyzing energy indicators helps improve mining safety by identifying and preventing emergencies related to equipment overload or improper energy use.

Keywords: energy, types of mining energy, technical device energy calculation, technical devices in mining

For citation: Semykin E.S. Energy and its role in the mining industry. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2026;26(1):61-67. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-1-61-67>.

Введение

Эффективность работы горной техники определяется такими показателями, как производительность, ремонтно-пригодность и наименьшие затраты на процессы.

Предлагается определять эффективность работы гор-

ной техники количеством затраченной энергии, то есть рассматривать эффективность в системе энергии по определенным видам процессов горнодобывающего предприятия (например, рыхление, бурение, перемещение горной массы).

Система классификации по видам энергии относится к сложной с большим числом элементов [1].

Цель и задачи исследования: определение энергии технического устройства при определенных операциях в горном деле.

Методы исследования

Система энергетических показателей

Совокупность энергий, с помощью которой образуется энергия предприятия $E_{пред}$, образуют систему энергетических показателей горного предприятия.

Показатели, от которых зависит система:

- работа оборудования;
- работа специалистов;
- финансовые затраты.

Как и любая система, система энергетических показателей имеет целостность, является динамической и замкнутой.

Стадии распределения энергии

На определенной стадии производства горное предприятие обладает определенным количеством энергии. Стадии производства горного предприятия можно представить в виде таблицы 1.

Таблица 1 / Table 1

Стадии производства горного предприятия с распределением энергии / Stages of a mining enterprise with energy distribution

Стадия производства горного предприятия	Количество энергии, которым обладает предприятие, %
Разведка	25
Вскрытие	25
Добыча	25
Рекультивация	25
Итого	100

Стадийная энергия предприятия – количество энергии предприятия на различной стадии.

Находя энергию на стадии вскрышных работ, можно определить общую энергию предприятия по формуле

$$E_{общ} = E_i \cdot 4, \quad (1)$$

где E_i – энергия от определенной стадии (разведки, вскрышных работ, добычи или рекультивации)¹.

Энергию предприятия можно представить в виде, представленном на рисунке 1.

Энергия предприятия ($E_{пред.}$)		
Энергия людских ресурсов ($E_{людские ресурсы}$)	Энергия технических устройств ($E_{ту}$)	Энергия энергетических ресурсов ($E_{энергетические ресурсы}$)

Рис. 1. Состав энергии предприятия / Fig. 1. Energy composition of the enterprise

В общем виде энергию предприятия можно представить в виде суммы всех видов энергий, определяемой по формуле

$$E_{предпр} = E_{ту} + E_{людские ресурсы} + E_{энергетические ресурсы} \quad (2)$$

где $E_{ту}$ – энергия технических устройств, применяемых на предприятии, Дж;

¹Открытые горные работы: Справочник. М.: Горное бюро, 1994. 370 с.

$E_{людские ресурсы}$ – энергия, затраченная человеком, управляющим техническим устройством, или затраты энергии человека при работе, Дж. По-другому можно сказать, что это вид энергии машиниста-оператора, управляющего техническим устройством. $E_{людские ресурсы} = E_{машинист-оператор}$;

$E_{энергетические ресурсы}$ – энергия, затрачиваемая горнодобывающим предприятием на вспомогательные операции, обеспечивающие функционирование предприятия (обогрев вахтового поселка, электроснабжение, вспомогательный автотранспорт), Дж.

Энергию $E_{энергетические ресурсы}$ можно представить в виде схемы, которая показана на рисунке 2.

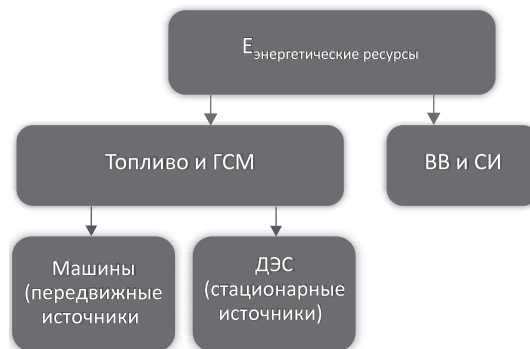


Рис. 2. Состав энергии энергетических ресурсов / Fig. 2. Energy composition of energy resources

Энергия технического устройства и ее взаимосвязь с производительностью горного оборудования

Любые объекты обладают определенными видами энергии. Можно предположить, что энергией обладает горнодобывающее предприятие, которое занимается добычей определенного вида минеральных ресурсов.

Энергия горнодобывающего предприятия – это совокупность видов энергий технологических процессов, применяемых при разработке месторождения полезного ископаемого. Измеряется данная величина в Джоулях [2].

Энергию горнодобывающего предприятия можно представить в виде схемы (рис. 3).



Рис. 3. Схема энергии горнодобывающего предприятия / Fig. 3. Energy scheme of a mining enterprise

Энергию горнодобывающего комплекса можно определить по формуле

$$E = E_1 + E_2 + E_3 \quad (3)$$

где E_1 – энергия вскрышного комплекса, Дж;
 E_2 – энергия добычного комплекса, Дж;
 E_3 – энергия вспомогательного комплекса, Дж.

Энергия вскрышного комплекса подразделяется на основные технологические операции, производимые при вскрышных работах [3]:

- энергию при бурении;
- энергию при взрывании;
- энергию при экскавации породы.

Энергия добычного комплекса подразделяется на основные технологические операции, производимые при добычных работах:

- энергию при бурении;
- энергию при взрывании;
- энергию при экскавации горной массы.

Энергия вспомогательного комплекса подразделяется на основные технологические операции, производимые при вспомогательных работах:

- энергию при перемещении рабочего персонала;
- энергию при перевозке ВВ, ГСМ и иных вспомогательных материалов.

Систематизация видов энергии вскрышного, добычного и вспомогательного комплексов представлена в таблице 2.

Таблица 2 / Table 2

**Систематизация видов энергии горнодобывающего предприятия /
Types of energy in a mining enterprise**

Энергия вскрышного комплекса (E_1)	Энергия добычного комплекса (E_2)	Энергия вспомогательного комплекса (E_3)
Энергия при бурении ($E_{бур}$)	Энергия при бурении ($E_{бур}$)	Энергия при перемещении рабочего персонала ($E_{пер}$)
Энергия при взрывании ($E_{вв}$)	Энергия при взрывании ($E_{вв}$)	Энергия при перевозке ВВ, ГСМ и иных вспомогательных материалов ($E_{всп}$)
Энергия при экскавации породы ($E_{экс}$)	Энергия при экскавации горной массы ($E_{экс}$)	

Энергию вскрышного комплекса можно определить как сумму всех энергий при ведении вскрышных работ по формуле

$$E_1 = E_{бур} + E_{вв} + E_{экс} \quad (4)$$

где $E_{бур}$ – энергия при бурении, Дж;
 $E_{вв}$ – энергия при взрывании, Дж;
 $E_{экс}$ – энергия при экскавации породы, Дж.

Энергию добычного комплекса можно определить как сумму всех энергий при ведении добычных работ по формуле

$$E_2 = E_1 = E_{бур} + E_{вв} + E_{экс} \quad (5)$$

где $E_{бур}$ – энергия при бурении, Дж;
 $E_{вв}$ – энергия при взрывании, Дж;
 $E_{экс}$ – энергия при экскавации горной массы, Дж.

Энергию вспомогательного комплекса можно определить как сумму всех энергий при вспомогательных работах по формуле

$$E_3 = E_{пер} + E_{всп} \quad (6)$$

где $E_{пер}$ – энергия при перемещении рабочего персонала, Дж;
 $E_{всп}$ – энергия при перевозке ВВ, ГСМ и иных вспомогательных материалов, Дж.

Кинетическая энергия

Кинетическая энергия – скалярная функция, являющаяся мерой движения материальной точки и зависящая только от массы и модуля скорости материальных точек, образующих рассматриваемую физическую систему, энергия механической системы, зависящая от скоростей движения ее точек в выбранной системе отсчета.

Иначе говоря, кинетическая энергия – это энергия, которую тело имеет только при движении. Когда тело не движется, кинетическая энергия равна нулю [4, 5].

Кинетическая энергия, или энергия механической системы, определяется по формуле

$$E_k = \frac{m \cdot v^2}{2}, \quad (7)$$

где m – масса тела объекта, кг;
 v – скорость объекта, м/с.

По-другому энергию можно выразить как произведение мощности на время:

$$E = N \cdot t, \quad (8)$$

Еще энергию можно выразить как произведение силы на длину:

$$E = F \cdot l, \quad (9)$$

Из формулы 7 выразим значение скорости:

$$v = \sqrt{\frac{2E}{m}}, \quad (10)$$

Зависимость энергии от производительности бульдозера

Производительность бульдозера зависит от ряда факторов, из которых наиболее существенными являются: расстояние транспортирования, объем одновременно перемещаемой породы и скорость движения [6].

Производительность бульдозера может быть определена по формуле [7]

$$P = \frac{TKqn}{\frac{L_{сп}}{V_p} + \frac{L_{сп}}{V_x} + 2t} \text{ м}^3/\text{смену}, \quad (11)$$

где T – продолжительность смены, с;
 K – коэффициент использования сменного времени;
 q – объем вала породы, перемещаемого бульдозером, м³;
 n – коэффициент наполнения отвала;
 V_p и V_x – скорость рабочего и холостого ходов, м/с;
 $L_{сп}$ – средняя длина транспортирования, м;
 t – время переключения передач и маневров, с.

Механическая энергия бульдозера будет определяться по (7).

Бульдозер во время набора горной массы и ее перемещения обладает одной массой, это масса бульдозера и масса вала породы. При движении холостым ходом он обладает массой, равной массе бульдозера [8]. То же самое происходит и со скоростью: скорость при движении с валом породы – одна величина, а при движении порожняком – другая.

Следовательно, (7) примет вид

$$E_b = \frac{m_{cp} \cdot v_{cp}^2}{2}, \quad (12)$$

где m_{cp} – средняя масса бульдозера, кг;
 V_{cp} – средняя скорость движения, м/с.

Средняя масса бульдозера определяется по формуле

$$m_{cp} = (m_1 + m_2) / 2, \quad (13)$$

где m_1 – масса бульдозера, кг;
 m_2 – масса бульдозера с валом породы, кг.

Средняя скорость движения бульдозера определяется по формуле

$$V_{cp} = (V_1 + V_2) / 2, \quad (14)$$

где V_1 – скорость движения бульдозера порожняком, м/с;
 V_2 – скорость движения бульдозера с валом породы, м/с.

Подставив значение средней массы и средней скорости в формулу 12, получим следующее значение энергии бульдозера:

$$E = \frac{m_1 + m_2}{2} \cdot \left(\frac{v_1 + v_2}{2} \right)^2. \quad (15)$$

При $V_1 = V_2$ получим

$$E = \frac{m_1 + m_2}{2} \cdot v^2, \quad (16)$$

Выразим из формулы 16 значение скорости V , получим

$$v = \sqrt{\frac{2E}{m_1 + m_2}} \text{ или } v = \sqrt{\frac{2E}{m_{cp}}}, \quad (17)$$

Подставим значение скорости (17) в (11) производительность бульдозера:

$$P = \frac{T k q n}{\frac{L_{cp}}{\sqrt{\frac{2E}{m_{cp}}}} + \frac{L_{cp}}{\sqrt{\frac{2E}{m_{cp}}}} + 2t} \quad (18)$$

Из (18) выразим значение энергии E , после преобразования (18) примет вид:

$$E = \frac{\left(\frac{T k q n}{\frac{L_{cp}}{\sqrt{\frac{2E}{m_{cp}}}} + \frac{L_{cp}}{\sqrt{\frac{2E}{m_{cp}}}} + 2t} \right)^2 \cdot m_{cp}}{2}, \quad (19)$$

Значение энергии E бульдозера можно представить в упрощенном виде и примерно подсчитать через производительность бульдозера по следующей формуле

$$E = \frac{P \cdot m_{cp}}{4} \text{ или } E = \frac{P \cdot \frac{m_1 + m_2}{2}}{4}, \quad (20)$$

где P – сменная производительность бульдозера, м³/смену (11).

Докажем, что по (20) приблизительно можно подсчитать энергию технического устройства (бульдозера).

При определении результатов значение энергии, подсчитанное по (16), практически совпадает с предложенной (20) нахождения энергии бульдозера через производительность. Погрешность расчетов – 17 Дж, или 0,65 %, можно пренебречь.

Приближенная формула расчета энергии бульдозера (технического устройства) через значение производительности бульдозера может быть применена для определения количества энергии, затраченной бульдозером при перемещении горной массы.

Формула (20) имеет вид $E = \frac{P \cdot m_{cp}}{4}$ или $E = \frac{P \cdot \frac{m_1 + m_2}{2}}{4}$ Дж.

Энергия бульдозера при рыхлении

Производительность тракторного рыхлителя $P_{рых}$ определяется в зависимости от производительности бульдозера по формуле [9]

$$P_{рых} = (T_{см} K_{и} - A_{п} t_{пер}) v_{тр} U_p B_p n_1, \text{ м}^3/\text{ч} \quad (21)$$

где $A_{п}$ – число поворотов рыхлителя;

$t_{пер}$ – время на переключения передач и один поворот, ч;

$v_{тр}$ – скорость движения трактора, м/ч;

B_p – ширина полосы рыхления, м;

n_1 – коэффициент использования глубины рыхления;

$T_{см}$ – продолжительность смены, ч;

$K_{и}$ – коэффициент использования сменного времени;

U_p – глубина рыхления породы зубьями рыхлителя, м.

Подставим (17) в (21) и попробуем выразить энергию бульдозера при рыхлении:

$$v = \sqrt{\frac{2E}{m_{cp}}} = v_{mp}$$

$$\text{тогда } P_{рых} = (T_{см} K_{и} - A_{п} t_{пер}) \sqrt{\frac{2E}{m_{cp}}} U_p B_p n_1.$$

Выразим значение энергии E :

$$E = \frac{\left(\frac{\sqrt{m_{cp} P_{рых}}}{(T_{см} K_{и} - A_{п} t_{пер}) U_p B_p n_1} \right)^2}{2}. \quad (22)$$

В упрощенном виде значение энергии бульдозера при рыхлении можно записать:

$$E = \frac{m_{cp} P_{рых}}{2}. \quad (23)$$

Докажем, что по (23) приблизительно можно подсчитать энергию бульдозера при рыхлении пород.

При определении результатов значения энергии, подсчитанной по (7), практически совпадает с (23) нахождения энергии бульдозера через производительность при рыхлении пород. Погрешность расчетов – 66 Дж, или 1 %, можно пренебречь.

Приближенная формула расчета энергии бульдозера на операции рыхления через значение производительности тракторного рыхлителя может быть применена для определения количества энергии, затраченной бульдозером при рыхлении горных пород.

$$\text{Формула имеет вид } E = \frac{m_{\text{ср}} P_{\text{рых}}}{2 \cdot v_{\text{р}}^2} \text{ Дж.}$$

Определение энергии скрепера

Сменная производительность скрепера определяется по формуле [10]

$$P = \frac{q K_{\text{н}} 3600 n K_{\text{в}}}{K_{\text{р}} t_{\text{ч}}}, \quad (24)$$

где q – геометрическая емкость ковша, м³;

$K_{\text{н}}$ – коэффициент наполнения ковша;

n – количество часов в смене;

$K_{\text{в}}$ – коэффициент использования рабочего времени;

$K_{\text{р}}$ – коэффициент разрыхления породы;

$t_{\text{ч}}$ – продолжительность рабочего цикла, с.

$$t_{\text{ч}} = \frac{l_3}{v_3} + \frac{l_{\text{г}}}{v_{\text{г}}} + \frac{l_{\text{х}}}{v_{\text{х}}} + t, \quad (25)$$

где l_3 и v_3 – длина пути (м) и скорость (м/с) при загрузке ковша;

$l_{\text{г}}$ и $v_{\text{г}}$ – то же, при перемещении груженого скрепера;

$l_{\text{х}}$ и $v_{\text{х}}$ – то же, при холостом ходе;

t – суммарное время на все маневры и вспомогательные операции (обычно $t = 1$ мин).

Энергия скрепера будет определяться по формуле 7 $E_{\text{к}} = \frac{m \cdot v^2}{2}$.

Масса скрепера не является постоянной, поэтому он будет обладать средней массой $m_{\text{ср}}$.

Средняя масса скрепера определяется по формуле

$$m_{\text{ср}} = \frac{m_1 + m_2}{2}, \quad (26)$$

где m_1 – масса груженого скрепера, кг;

m_2 – масса скрепера порожнякового, кг;

Скорость скрепера тоже не будет постоянной, а будет иметь среднее значение $v_{\text{ср}}$.

Средняя скорость скрепера будет определяться по формуле

$$v_{\text{ср}} = \frac{v_1 + v_2 + v_3}{3}, \quad (27)$$

где v_1 – скорость скрепера при загрузке ковша, м/с;

v_2 – скорость при перемещении груженого скрепера, м/с;

v_3 – скорость скрепера при холостом ходе, м/с.

Тогда формула 7 примет следующий вид

$$E_{\text{к}} = \frac{m_1 + m_2}{2} \cdot \left(\frac{v_1 + v_2 + v_3}{3} \right)^2 = \frac{m_{\text{ср}} \cdot v_{\text{ср}}^2}{2}. \quad (28)$$

Энергию скрепера можно определить по приближенной формуле в зависимости от производительности скрепера:

$$E = \frac{P^2 m_{\text{ср}}}{2 \cdot 100000}, \quad (29)$$

где P – сменная производительность скрепера, м³/смену;

$m_{\text{ср}}$ – средняя масса скрепера, кг.

Сравнив значение энергии, посчитанное по (29), через производительность с энергией, посчитанной по (28), получим разницу значений в 264 Дж, погрешность составляет 0,2 %. Следовательно, с помощью предложенной формулы (29) можно посчитать энергию скрепера.

Предложена формула для расчета энергии скрепера в зависимости от сменной производительности скрепера.

$$\text{Формула имеет вид } E = \frac{P^2 m_{\text{ср}}}{2 \cdot 100000}.$$

Определение энергии погрузчика

Сменная эксплуатационная производительность погрузчика определяется по формуле [11]

$$Q_{\text{п}} = \frac{3600 V_{\text{к}} K_{\text{н}} T z_{\text{п}} G_{\text{ц}}}{t_{\text{ц}} K_{\text{р}}}, \quad (30)$$

где $V_{\text{к}}$ – емкость ковша, м³;

$K_{\text{н}}$ – коэффициент наполнения ковша;

T – продолжительность смены, ч;

$z_{\text{п}} = 0,6 \div 0,9$ – коэффициент использования погрузчика во времени в течение смены;

$G_{\text{ц}}$ – плотность породы в целике, т/м³;

$t_{\text{ц}}$ – продолжительность рабочего цикла погрузчика, с;

$K_{\text{р}}$ – коэффициент разрыхления породы.

Коэффициент наполнения $K_{\text{н}}$ зависит от вида и крупности горной массы, размеров и формы ковша, конструкции погрузчика, квалификации машиниста. При погрузке песка, дробленого известняка крупностью до 40 мм, гравия крупностью до 50 мм, снега, взорванных скальных пород крупностью до 500 мм коэффициент $K_{\text{н}}$ составляет соответственно 1,1–1,2; 1–1,3; 1–1,3; 1,2–1,3; 0,8–1,2 [12].

Продолжительность рабочего цикла погрузчика при выполнении погрузочно-транспортных работ определяется по формуле

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{н}} + t_{\text{дв.г}} + t_{\text{р}} + t_{\text{дв.п}}, \quad (31)$$

где $t_{\text{н}} = 5 \div 2$ – время наполнения ковша ($t_{\text{н}} = 8 \div 2$ – для отечественных погрузчиков; $t_{\text{н}} = 5 \div 7$ – для зарубежных), с;

$t_{\text{дв.г}}$ – время движения груженого погрузчика к месту разгрузки, с;

$t_{\text{р}} = 3 \div 5$ – время разгрузки ковша, с;

$t_{\text{дв.п}}$ – время движения порожнего погрузчика к месту погрузки.

$$t_{\text{дв.г}} = 3,6 \frac{L_{\text{г}}}{v_{\text{г}}}, \quad (32)$$

где $L_{\text{г}}$ – длина пути при движении погрузчика с грузом к месту разгрузки, м;

$v_{\text{г}}$ – скорость движения груженого погрузчика, км/ч.

$$t_{\text{дв.п}} = 3,6 \frac{L_{\text{п}}}{v_{\text{п}}}, \quad (33)$$

где $L_{\text{п}}$ – длина пути при возвращении порожнего погрузчика к месту загрузки, м;

$v_{\text{п}}$ – скорость движения порожнего погрузчика, км/ч.

Подставим в (31) и (32) значение скорости, выраженной через энергию $v = \sqrt{\frac{2E}{m_{cp}}}$.

$$t_{дв.г} = 3,6 \frac{L_r}{v_r}; \quad t_{дв.г} = 3,6 \frac{L_r}{\sqrt{\frac{2E}{m_1}}} \quad (34)$$

и

$$t_{дв.п} = 3,6 \frac{L_n}{v_n}; \quad t_{дв.п} = 3,6 \frac{L_n}{\sqrt{\frac{2E}{m_2}}} \quad (35)$$

где m_1 – масса погрузчика с грузом, кг;

$m_1 = m_n + m_{гр}$; здесь m_n – масса погрузчика, кг; $m_{гр}$ – масса груза в ковше, кг.

m_2 – масса погрузчика, кг.

Подставим (33) и (34) в (31) и получим

$$t_{ц} = t_n + 3,6 \frac{L_r}{\sqrt{\frac{2E}{m_1}}} + t_p + 3,6 \frac{L_n}{\sqrt{\frac{2E}{m_2}}} \quad (36)$$

Подставим значение $t_{ц}$ в формулу расчета производительности и получим

$$Q_n = \frac{3600 V_k K_n T z_n G_{ц}}{\left(t_n + 3,6 \frac{L_r}{\sqrt{\frac{2E}{m_1}}} + t_p + 3,6 \frac{L_n}{\sqrt{\frac{2E}{m_2}}} \right) K_p}$$

Из формулы выразим значение энергии E .

После преобразований получим

$$E = \frac{(m_1 + m_2) \left(\frac{3,6 (L_r + L_n)}{Q_n - t_n - t_p} \right)^2}{4} \quad (37)$$

Или в упрощенном виде можно (37) представить

$$E = \frac{(m_1 + m_2) (Q_n)^2}{4}, \quad (38)$$

где m_1 и m_2 – масса погрузчика с грузом и масса погрузчика, т.

Значение энергии, полученной по формуле расчета кинетической энергии, приближенно равно значению энергии,

посчитанной по предложенной формуле (38), то есть $E_n \approx E$, 375 КДж $\approx$ 388 КДж. Следовательно, по (38) можно определить энергию погрузчика в зависимости от его сменной производительности.

Предложена формула для расчета энергии погрузчика в зависимости от его сменной производительности.

$$\text{Формула имеет вид } E = \frac{(m_1 + m_2) (Q_n)^2}{4}.$$

Заключение

Предложено определить энергию технических устройств. Все предлагаемые формулы определения энергии технического устройства сравнивались с кинетической энергией путем подставления данных и расчетов. Предложенные формулы необходимы для определения энергии технического устройства.

Основные результаты приведены в таблице 3.

Для того чтобы произвести выемку породы или полезного ископаемого, необходимо затратить определенную часть энергии. Кроме затрат материальных и технических (амортизация оборудования), для извлечения изменения физико-механического состояния горнорудной массы необходимо потратить определенные усилия. Усилие, при котором извлекается из массива горная масса, можно обозначить как вид энергии E (механическая энергия), энергия технического устройства [13].

Механическая энергия воспроизводится, передается путем рабочего органа горной машины (ковша экскаватора, погрузчика или бурового инструмента буровых машин) [14, 15].

В статье предлагается определить энергию технического устройства через его производительность.

Выводы

1. В статье приведены результаты исследований роли энергии в горном деле. Отмечается недостаточная изученность вопроса энергии на различных процессах в горнодобывающей отрасли и отсутствие единой классификации применения энергии. Рассматриваются показатели энергии технических устройств и ее определение через производительность бульдозера, скрепера, погрузчика (экскаватора), бурового станка.

2. Результаты исследований могут быть полезными при определении энергии технических устройств, для эффективной работы горного оборудования.

Таблица 3 / Table 3

Формулы для определения энергии технических устройств /
Formulas for determining the energy of technical devices

Наименование	Формула кинетической энергии	Предлагаемая формула	Погрешность, %
Энергия бульдозера при копании и перемещении	$E_k = \frac{m_1 + m_2 \cdot v^2}{2}$	$E = \frac{P \cdot m_{cp}}{4} \text{ или } E = \frac{P \cdot m_1 + m_2}{4}$	0,65
Энергия бульдозера при рыхлении	$E_k = \frac{m \cdot v^2}{2}$	$E = \frac{m_{cp} P_{рых}}{U_p^2}$	2,6
Энергия фронтального погрузчика	$E_k = \frac{m_{cp} \cdot v_{cp}^2}{2}$	$E = \frac{(m_1 + m_2) (Q_n)^2}{4 \cdot K_{пр}}$	3
Энергия скрепера	$E_k = \frac{m_1 + m_2}{2} \cdot \left(\frac{v_1 + v_2 + v_3}{3} \right)^2 = \frac{m_{cp} \cdot v_{cp}^2}{2}$	$E = \frac{P^2 m_{cp}}{2 \cdot 100000}$	0,2

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Клорикьян С.Х., Старичнев В.В., Сребный М.А. и др. Машины и оборудование для шахт и рудников: Справочник. 7-е изд., репринт. Москва, 2002: 471.
Klorikyan S.Kh., Starichnev V.V., Srebny M.A., et al. Machines and equipment for mines and quarries: Handbook. 7th edition, reprint. Moscow, 2002: 471. (In Russ.).
2. Кулешов А.А. Проектирование и эксплуатация карьерного автотранспорта: справочник. Санкт-Петербург, 1995: 293.
Kuleshov A.A. Design and Operation of Quarry Vehicles. Handbook. St. Petersburg, 1995: 293. (In Russ.).
3. Мельников Н.В. Краткий справочник по открытым горным работам. Москва, 1974: 359.
Melnikov N.V. Brief reference book on open-pit mining. Moscow, 1974: 359. (In Russ.).
4. Бубнов В.А. Физический смысл кинетической энергии материальных тел. *Вестник Московского городского педагогического университета*. 2012: 21-30.
Bubnov V.A. The Physical Meaning of the Kinetic Energy of Material Bodies. *Bulletin of the Moscow City Pedagogical University*. 2012: 21-30. (In Russ.).
5. Фидря С.Е. Основы технологии горного производства: учебное пособие. Магадан, 2011: 407.
Fidrya S.E. Fundamentals of mining technology: a textbook. Magadan, 2011: 407. (In Russ.).
6. Ялтанец И.М., Шапов М.И. Практикум по открытым горным работам: учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. Москва, 2003: 427.
Yaltanets I.M., Shchapov M.I. Open-pit mining workshop: Textbook. Moscow, 2003: 427. (In Russ.).
7. Потемкин С.В. Разработка вечномерзлых россыпей. Москва, 1969: 391.
Potemkin S.V. Development of permafrost placers. Moscow, 1969: 391. (In Russ.).
8. Томаков П.И., Наумов И.К. Технология, механизация и организация открытых горных работ. Изд. 2-е, перераб. и дополн. Москва, 1986: 312.
Tomakov P.I., Naumov I.K. Technology, mechanization and organization of open-pit mining. 2nd ed., revis. and exp. Moscow, 1986: 312. (In Russ.).
9. Емельянов В.И. Технология бульдозерной разработки вечномерзлых россыпей. Москва, 1976: 415.
Emelianov V.I. Technology of bulldozer development of permafrost placers. Moscow, 1976: 415. (In Russ.).
10. Потемкин С.В. Разработка вечномерзлых россыпей. Москва, 1969: 79-80.
Potemkin S.V. Development of permafrost placers. Moscow, 1969: 79-80. (In Russ.).
11. Мельников Н.В., Реентович Э.И., Симкин Б.А. и др. Теория и практика открытых разработок. 2-е изд. перераб. и доп. Москва, 1979: 314.
Melnikov N.V., Reentovich E.I., Simkin B.A., et al. Theory and practice of open-pit mining. 2nd ed. revised and enlarged. Moscow, 1979: 314. (In Russ.).
12. Щадов М.И., Подерни Р.Ю. и др. Справочник механика открытых работ. Москва, 1989: 62.
Shchadov M.I., Poderni R.Yu., et al. Handbook of Open-Pit Mining Mechanics. Moscow, 1989: 62. (In Russ.).
13. Перепелкин М.А., Склянов В.И. Семькин Е.С. Горные машины и оборудование: Часть 1: учебное пособие. Магадан, 2021: 164.
Perpelkin M.A., Sklyanov V.I. Semykin E.S. Mining Machinery and Equipment (Part 1): study guide. Magadan, 2021: 164. (In Russ.).
14. Перепелкин М.А., Склянов В.И. Семькин Е.С. Выемочно-транспортирующие машины. Магадан, 2022: 111.
Perpelkin M.A., Sklyanov V.I. Semykin E.S. Mining and transport machines. Magadan, 2022: 111. (In Russ.).
15. Томков П.И., Макшеев В.П. Технологические характеристики основного карьерного оборудования циклического действия. Москва, 1991: 411.
Tomkov P.I., Maksheev V.P. Technological Characteristics of Main Cyclic-Action Quarry Equipment. Moscow, 1991: 411. (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Евгений Сергеевич Семькин –
старший преподаватель кафедры геологии и горного
дела, ФГБОУ ВО «Северо-Восточный государственный
университет», г. Магадан, Российская Федерация;
e-mail: semykin.ev82@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 22.12.2025
Поступила после рецензирования: 30.01.2026
Принята к публикации: 16.02.2026

ABOUT THE AUTHOR

Evgeny S. Semykin –
Senior Lecturer, Department of Geology and Mining, North-
Eastern State University, Magadan, Russian Federation;
e-mail: semykin.ev82@mail.ru

Информация о статье

Received: 22.12.2025
Revised: 30.01.2026
Accepted: 16.02.2026