УДК 622.684:629.114

С.Р.КУЗНЕЦОВ, *аспирант, victalex@mail.ru*
М.А.ВАСИЛЬЕВА, *канд. техн. наук, ассистент, saturn.sun@mail.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

S.R.KUZNECOV, *post-graduate student, victalex@mail.ru*
M.A.VASILYEVA, *PhD in eng. sc., assistant lecturer, saturn.sun@mail.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

ПАРАМЕТРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ

Энергетические характеристики карьерных автосамосвалов определяются термодинамическими характеристиками двигательной установки машины (дизеля) и технологическими условиями работы автосамосвала в карьере (длиной транспортирования, профилем трассы, преодолеваемых уклонов и др.). Оптимальное значение энергетических характеристик автосамосвалов может быть обеспечено при относительном равенстве эффективной мощности двигателя автосамосвала и мощности, затрачиваемой на транспортирование горной массы. За основные критерии энергетической эффективности принимаются удельный расход топлива дизельной установки автосамосвала и удельная энергоемкость транспортных работ.

***Ключевые слова*:** коэффициент полезного действия, карьерный автосамосвал, мощность двигателя, удельный расход топлива.

THE PARAMETERS DEFINING POWER EFFICIENCY OF DUMP TRUCKS IN OPENCAST MINE

Power characteristics of career dump trucks are defined on the one hand by thermodynamic characteristics of impellent installation of the car (diesel engine), and with another technological working conditions of a dump truck in career (length of transportation, a profile of the line, overcome biases, etc.). Optimum value of power characteristics of dump trucks can be provided at relative equality of effective power of the engine of a dump truck and capacity of mountain weight spent for transportation. To the basic criteria of power efficiency in piper are accepted specific fuel consumption of diesel of a dump truck and specific power consumption of transport works.

***Key words*:** coefficient of efficiency, dump truck, capacity of the engine, specific fuel consumption.

Для оценки эффективности карьерных автосамосвалов обычно рассматриваются три показателя энергетической эффективности, характеризующих расход энергетических ресурсов:

- коэффициент полезного действия двигателя $\eta_{дв}$;
- удельный расход дизельного топлива $B_{т}^{дв}$;
- удельная энергоемкость процесса транспортирования $e_{тр}$.

Численные значения указанных энергетических характеристик в основном определяются внешними условиями работы автосамосвала и, соответственно, режимами работы двигателя. Внешние условия определяются длиной транспортирования, уклоном трассы, силами сопротивления при движении автосамосвала. Внешние условия постоянно из-

меняются, в связи с чем двигатели автосамосвалов работают на переменных нагрузках и режимах, что вызывает снижение КПД двигателя, увеличение расхода топлива и удельной энергоемкости процесса транспортирования.

Рассмотрим каждый из указанных параметров энергоэффективности.

В общем случае коэффициент полезного действия двигателя определяется произведением его эффективного и политропного КПД

$$\eta_{дв} = \eta_e \eta_{пол}, \qquad (1)$$

где η_e – эффективный КПД двигателя автосамосвала, определяемый отношением эффективной мощности к удельному количеству теплоты, выделенной в результате сжигания топлива, т.е.

$$\eta_e = \frac{N_e}{B_т^{дв} Q_н^р}, \qquad (2)$$

где N_e – эффективная мощность двигателя, кВт; $Q_н^р$ – низшая теплота сгорания топлива по рабочей массе, кДж/кг; $B_т^{дв}$ – массовый расход топлива, кг/с.

Эффективная мощность двигателя есть отношение внутренней мощности двигателя к его механическому КПД:

$$N_в = \frac{N_i}{\eta_м} = \frac{m z_{ср} R (T_2 - T_1) G_{гр}}{\eta_м}, \qquad (3)$$

где $m = k/k - 1$ – показатель псевдоэнтропы; k – показатель адиабаты; $z_{ср}$ – среднее значение степени сжимаемости продуктов сгорания топлива; T_1, T_2 – абсолютные температуры продуктов сгорания на входе и выходе цилиндров двигателя, К; $G_{гр}$ – производительность автосамосвала по горной массе, кг/с.

Эффективный КПД с учетом выражений (2) и (3)

$$\eta_в = \frac{m z_{ср} R (T_2 - T_1) G_{гр}}{B_т^{дв} Q_н^р \eta_м}. \qquad (4)$$

Показатель псевдоизоэнтропы характеризует отклонение действительного процесса сжатия в цилиндрах двигателя от теоретического, т.е. отклонение политропы от адиабаты. В соответствии с ГОСТ 20440 показатель m можно рассчитать по формуле

$$m = 4{,}16 + 0{,}041(t_{ср} - 10) + 3{,}93(\Delta_в - 0{,}55) + 5(m_т - 0{,}3), \qquad (5)$$

где $t_{ср}$ – среднее значение температуры, °С; $\Delta_в = \rho_0/1{,}2044$ – относительная плотность продуктов сгорания по воздуху; ρ_0 – плотность газа при стандартных физических условиях (температура 20 °С и давление 0,1013 МПа); $m_т = \lg \frac{T_2}{T_1} \Big/ \lg \frac{P_2}{P_1}$ – температурный показатель политропы; P_1, P_2 – абсолютные давления на входе и выходе и выходе цилиндров двигателя, МПа; $z_{ср} = 0{,}5(z_1 + z_2)$; z_1, z_2 – коэффициенты сжимаемости газа на входе и выходе цилиндровой группы, рассчитываются по эмпирическим формулам.

Политропный КПД в выражении (1) можно рассчитать по формуле

$$\eta_{пол} = m \frac{\lg \varepsilon}{\lg \tau} = (m m_т)^{-1}. \qquad (6)$$

где ε – степень сжатия продуктов сгорания в цилиндрах двигателя; $\tau = T_2/T_1$ – температурная характеристика.

В итоге КПД двигателя запишется в виде выражения

$$\eta_{дв} = \frac{z_{ср} R T_1 (\tau - 1)}{Q_н^р \eta_м} \frac{\lg \varepsilon}{\lg \tau} \frac{G_{гр}}{B_т^{дв}}. \qquad (7)$$

Введем обозначение:

$$\frac{B_т^{дв}}{G_{гр}} = b, \qquad (8)$$

где b – расход топлива на единицу транспортируемого груза (относительный массовый расход топлива), кг/кг.

Формула (7) с учетом выражения (8) запишется в следующем виде:

$$\eta_{дв} = \frac{z_{ср} R T_1 (\tau - 1)}{Q_н^р \eta_м} \frac{\lg \varepsilon}{\lg \tau} \frac{1}{b}. \qquad (9)$$

Из формулы (9) следует, что с увеличением относительного расхода топлива эффективность процесса транспортирования груза и общий КПД автосамосвала снижаются. Формула устанавливает связь термо-

динамических характеристик рабочего процесса в двигателе автосамосвала с его производительностью по горной массе и удельным расходом топлива.

Удельный расход топлива является наиболее важной энергетической характеристикой карьерного автосамосвала, так как показывает, какое количество топлива расходуется на единицу мощности двигателя. Величину удельного расхода топлива можно рассчитать по формуле

$$E_{\text{т}} = \frac{3600 B_{\text{т}}^{\text{дв}}}{N_{\text{e}}}, \qquad (10)$$

где $E_{\text{т}}$ – удельный расход дизельного топлива, кг/(кВт·ч).

Подставив в формулу (10) выражение для эффективной мощности двигателя из выражения (7) и с учетом формулы (9), получим

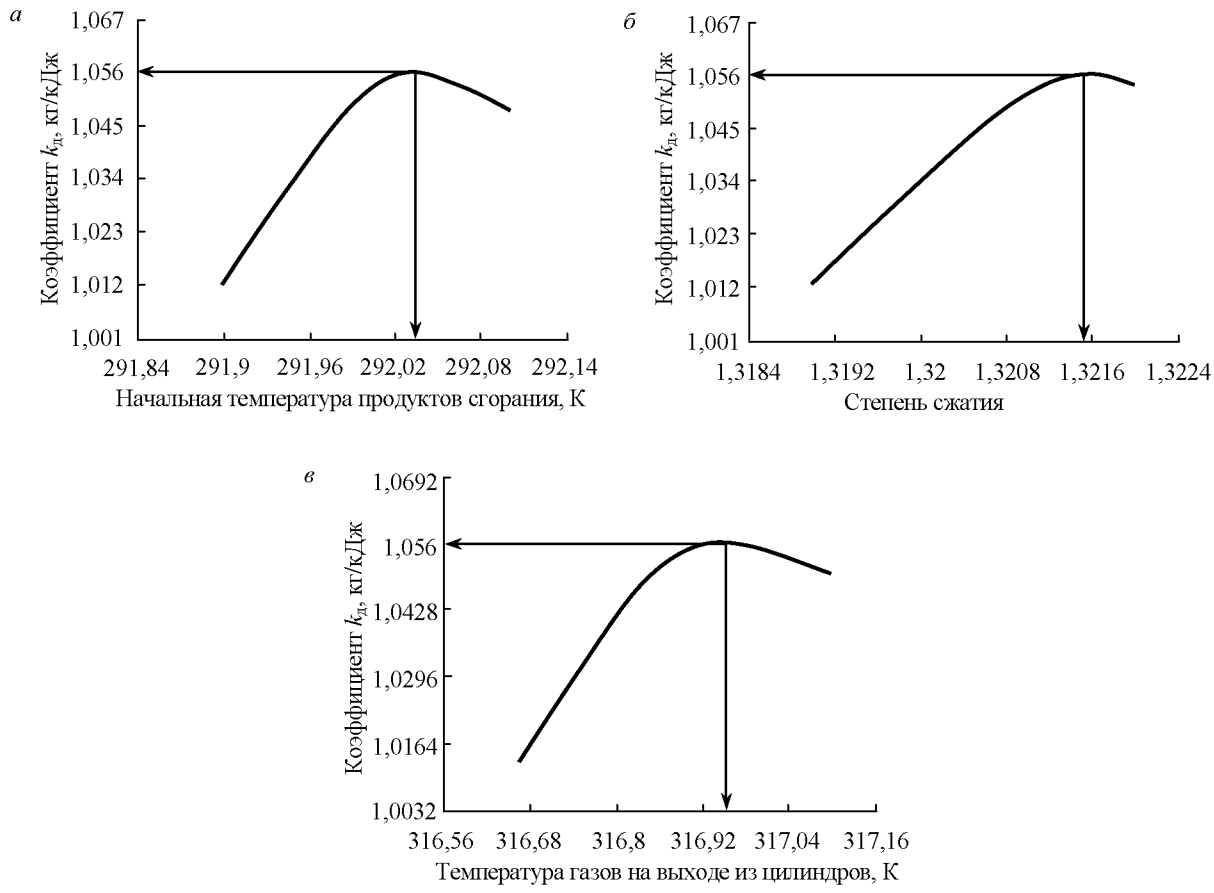
$$E_{\text{т}} = \frac{3600}{z_{\text{ср}} R T_1 (\tau - 1)} \frac{\lg \tau}{\lg \varepsilon} b \eta_{\text{м}}. \qquad (11)$$

Из формулы следует, что удельный расход топлива определяется термодинамическими характеристиками режима работы двигателя автосамосвала и относительным расходом топлива.

В формуле (11) для номинального режима работы автосамосвала термодинамические характеристики двигателя остаются постоянными, определяемыми обобщенной термодинамической характеристикой (термодинамическим коэффициентом),

$$k_{\text{д}} = \frac{1}{z_{\text{ср}} R T_1 (\tau - 1)} \frac{\lg \tau}{\lg \varepsilon}. \qquad (12)$$

Окончательно формулу для удельного расхода дизельного топлива можно записать в виде выражения



Зависимость термодинамического коэффициента двигателя автосамосвала от температуры продуктов сгорания и степени сжатия

$$E_т = 3600 k_д b \eta_м, \quad (13)$$

Численные расчеты показывают, что термодинамический коэффициент в зависимости от температурной характеристики τ и степени сжатия ε изменяется в небольшом пределе. На рисунке приведены графические зависимости термодинамического коэффициента $k_д$ для трех режимов работы двигателя автосамосвала. Из графиков видно, что все кривые имеют единственный максимум ($k_д$ = 1,056 кг/кДж), соответствующий определенным значениям температуры воздуха и степени сжатия.

Термодинамический коэффициент $k_д$ выражает собой массовый расход дизельного топлива на единицу работы при сжатии в цилиндрах двигателя.