



ГОРНЫЕ МАШИНЫ, ТРАНСПОРТ И МАШИНОСТРОЕНИЕ

Научная статья

<https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-2-136-143>Обоснование технико-экономических показателей
шахтных монорельсовых локомотивовК. А. Рябко¹✉, В. О. Гутаревич²  ¹ Донецкий институт железнодорожного транспорта, г. Донецк, Украина² Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина✉ railroader@yandex.ru

Аннотация

Шахтный транспорт является неотъемлемой частью технологического процесса добычи полезных ископаемых. Выполненный анализ современных монорельсовых автономных локомотивов свидетельствует о том, что данный вид подземного вспомогательного транспорта является наиболее перспективным на сегодняшний день ввиду ряда преимуществ, которые определены в данной работе. С целью оценки технико-экономических показателей шахтных монорельсовых локомотивов в настоящее время применяется ряд характеристик – зависимостей нескольких параметров работы силовой установки друг от друга. Вид характеристики определяется по независимой переменной, в качестве которой выбирается один из эксплуатационных или конструктивных параметров. С целью обоснования технико-экономических показателей автономных шахтных подвесных монорельсовых локомотивов в статье предложена взаимосвязь характеристик оборудования тяговой энергетической цепи с коэффициентом полезного действия силовой установки дизелевоза. Для оценки эффективности эксплуатации шахтных монорельсовых подвесных локомотивов предложен комплексный показатель оценки эффективности различных видов тяги – эксплуатационный коэффициент полезного действия. Данный показатель учитывает изменение коэффициента полезного действия агрегатов энергетической цепи в зависимости от их режимов работы. При установлении функциональных зависимостей изменения коэффициента полезного действия силовых и вспомогательных агрегатов монорельсовых локомотивов предложена группировка основных параметров по признакам, зависящим от экономических характеристик силовой установки и режимов ее работы. Эксплуатационный коэффициент полезного действия локомотива в целом определяется как экономическими характеристиками всех агрегатов его энергетической цепи, так и режимами их работы.

Ключевые слова

выработка, монорельсовая дорога, подвесной дизелевоз, подвесной аккумуляторный локомотив, тяговая передача, электрический привод, технико-экономические показатели, коэффициент полезного действия, режимы работы

Для цитирования

Рябко К. А., Гутаревич В. О. Обоснование технико-экономических показателей шахтных монорельсовых локомотивов. *Горные науки и технологии*. 2021;6(2):136–143. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-2-136-143>

MINING MACHINERY, TRANSPORT, AND MECHANICAL ENGINEERING

Research article

Substantiation of performance indicators
of mine monorail locomotivesK. A. Ryabko¹✉, V. O. Gutarevich²  ¹ Donetsk Institute of Railway Transport, Donetsk, Ukraine² Donetsk National Technical University, Donetsk, Ukraine✉ railroader@yandex.ru

Abstract

Mine transport is an integral part of mining process. The performed analysis of modern monorail autonomous locomotives indicates that this type of underground auxiliary transport is the most promising today due to a number of advantages that were identified in this study. To assess performance indicators of mine monorail locomotives, a number of characteristics are currently used, for instance, the dependences between several



parameters of propulsion system operation. The type of characteristic is determined by an independent variable to be selected from the list of the operational or design parameters. To substantiate performance indicators of autonomous mine suspended monorail locomotives, the authors proposed the relationship between the characteristics of the traction energy chain equipment and the diesel locomotive propulsion system efficiency factor. To assess the efficiency of mine suspended monorail locomotive operation, a composite indicator for assessing efficiency of various types of traction was proposed: the operational efficiency factor. This indicator takes into account varying the efficiency factor of the energy chain units depending on their operating modes. When determining the functional dependencies of varying the efficiency factor of power and auxiliary units of monorail locomotives, a grouping of the main parameters according to the features depending on the economic characteristics of the propulsion system and its operating modes was proposed. The operational efficiency factor of the locomotive as a whole is determined both by the economic characteristics of all units of its energy chain and by the modes of their operation.

Keywords

output, monorail, suspended diesel locomotive, suspended storage-battery locomotive, tractive transmission, electric drive, performance indicators, efficiency factor, operating modes

For citation

Ryabko K. A., Gutarevich V. O. Substantiation of performance indicators of mine monorail locomotives. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2021;6(2):136–143. (In Russ.) <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-2-136-143>

Введение

Шахтный транспорт является неотъемлемой частью технологического процесса добычи полезных ископаемых. Основным видом транспорта для перемещения вспомогательных грузов и людей в пределах горного предприятия является внутренний подземный транспорт. В горизонтальных выработках преобладает локомотивная тяга, а в наклонных – канатная, что неизбежно связано с маневровыми операциями и применением многоступенчатой технологии перемещения. На шахтах, имеющих разветвленные и искривленные выработки со знакопеременным профилем, работа вспомогательного подземного транспорта особенно усложняется. Несмотря на сравнительно малый объем перевозок – до 10% от основной погрузки, доставка вспомогательных грузов и людей на сегодняшний день остается достаточно трудоемким процессом. Опыт эксплуатации подвешенного монорельсового транспорта свидетельствует о тенденциях перехода к бесперегрузочной технологии транспортирования с использованием подвешенных монорельсовых дорог, позволяющих перевозить в пределах шахтного поля крупногабаритные грузы массой до 32 т [1–3].

Монорельсовые транспортные системы по сравнению с остальными средствами вспомогательного подземного транспорта обладают рядом преимуществ:

- возможность перевозки грузов в подвешенном состоянии, что в первую очередь приводит к снижению порожней массы состава и в некоторых случаях исключает применение нетяговых подвижных единиц;
- работа при малых радиусах кривых и знакопеременных профилях пути до $\pm 30^\circ$ в отличие от напочвенных локомотивов;
- возможность демонтажа и продления монорельса при разработке новых выработок;
- сокращение количеств транспортных инцидентов, связанных со сходом подвижного состава с рельс;
- уменьшение обводненности и загрязнения пути;

– более рациональное использование пространства выработки за счет совмещения технологических процессов транспортирования вспомогательных грузов и полезного ископаемого.

Тяговыми средствами монорельсовой транспортной системы являются автономные тяговые модули, входящие в состав монорельсового локомотива. Различают два вида тяги монорельсовых локомотивов: дизельная – с применением малотоксичных дизельных двигателей, и электрическая.

Вне зависимости от типа силового агрегата все подвесные монорельсовые локомотивы имеют блочную конструкцию, состоящую из двух кабин управления, тяговых устройств, силового или аккумуляторного модуля, вспомогательных модулей и грузовых тележек или пассажирских вагонеток.

Цель и задачи исследования

Целью данного исследования является разработка универсальной методики обоснования технико-экономических показателей шахтных монорельсовых локомотивов с учетом их режимов работы.

Для достижения поставленной цели в работе определены следующие задачи:

- выполнить анализ современных монорельсовых локомотивов, определить их преимущества и перспективы применения на горнодобывающих предприятиях;
- выполнить обзор научных исследований, посвященных обоснованию технико-экономических показателей шахтных монорельсовых локомотивов;
- используя методы математического анализа, основанные на дифференциальном исчислении, разработать зависимости изменения КПД агрегатов энергетической цепи дизелевоза, а также получить универсальное уравнение для определения эксплуатационного КПД шахтных монорельсовых локомотивов;
- на основании полученных уравнений определить эксплуатационный КПД дизелевоза для опытной поездки.

Анализ современных монорельсовых автономных локомотивов

С целью определения оптимальных технико-экономических показателей шахтных монорельсовых локомотивов, рассмотрим более подробно различные виды тяги.

Монорельсовый шахтный подвесной дизельный локомотив типа DLZ210F (рис. 1) является автономным тяговым подвижным составом, предназначенным для транспортировки вспомогательных грузов или людей в горных выработках и на поверхности, в горизонтальной плоскости и при знакопеременном профиле монорельсового пути до $\pm 30^\circ$.

Шахтный подвесной монорельсовый локомотив DLZ210F в качестве силового агрегата имеет 4-тактный дизельный двигатель мощностью 142 кВт. Коли-

чество приводных единиц 4...12, максимальная скорость 2 м/с, максимальное тяговое усилие 330 кН [4].

Монорельсовый шахтный подвесной аккумуляторный локомотив типа DLZA90F (рис. 2) является автономным тяговым средством, предназначенным для перевозки вспомогательных грузов или людей в горных выработках и на поверхности, в горизонтальной плоскости и при знакопеременном профиле монорельсового пути до $\pm 30^\circ$.

Данный локомотив имеет тяговый электрический привод, получающий питание от аккумуляторной батареи. Электрическая мощность двигателей: $8 \cdot 7,5$ кВт. Количество приводных единиц: 4 (на одной единице размещено по 2 тяговых электрических двигателя). Максимальная скорость 2 м/с. Максимальное тяговое усилие 120 кН [5].



Рис. 1. Подвесной монорельсовый дизельный локомотив Ferrit DLZ210F [4]

Fig. 1. Ferrit DLZ210F suspended monorail diesel locomotive [4]



Рис. 2. Подвесной монорельсовый аккумуляторный локомотив Ferrit DLZA90F [5]

Fig. 2. Ferrit DLZA90F suspended monorail storage-battery locomotive [5]



Выполненный анализ современных монорельсовых автономных локомотивов свидетельствует о том, что данный вид подземного вспомогательного транспорта является наиболее перспективным на сегодняшний день ввиду ряда преимуществ, таких как:

- практически неограниченное расстояние перевозки вспомогательных грузов в пределах монорельсового пути предприятия;
- возможность работы в разветвленных выработках со знакопеременным профилем монорельсовой дороги до $\pm 30^\circ$;
- универсальность и маневренность;
- повышение безопасности работ.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод об актуальности задачи определения оптимальных технико-экономических показателей шахтных монорельсовых локомотивов.

Созданию и совершенствованию монорельсовых транспортных средств для угольной промышленности способствовали работы ряда научно-исследовательских организаций и предприятий, в числе которых следует отметить Гипроуглегормаш, Донгипроуглемаш, ДонУГИ, ИГД им. А.А. Скочинского, МакНИИ, ГОАО НИПКИ «Углемеханизация», ОАО «Луганскгормаш». Среди зарубежных компаний следует выделить BECKER MINING SYSTEMS AG, BECORIT GmbH, GTA MASCHINENSYSTEME GmbH, NEUHAUSER GmbH, SMT SCHARF AG (Германия), BEVEX-BANSKY VYSKUM spol. s.r.o. (Словакия), Grupa FAMUR, SIGMA S.A (Польша), FITE a.s., FERRIT s.r.o., STAVUS (Чехия).

Методики расчета основных параметров и режимов работы шахтных подвесных монорельсовых локомотивов, приведенные в научных публикациях, не в полной мере учитывают особенности эксплуатации, которые непосредственно влияют на технико-экономические показатели тяговых единиц. Обобщить сведения и дать универсальные рекомендации по оценке эффективности различных видов тяги шахтных подвесных монорельсовых локомотивов представляется затруднительным. Выполненный обзор расчетно-теоретических основ для создания подвесных монорельсовых дорог свидетельствует о необходимости разработки новых подходов при обосновании технико-экономических показателей и режимов работы шахтных монорельсовых локомотивов.

На основании анализа конструкций шахтных монорельсовых дорог в более ранних исследованиях выявлены основные требования к обеспечению безопасного использования монорельсов при одновременном увеличении допустимой скорости движения. Определены динамические нагрузки и влияние параметров тормозной системы (время отпуска, тормозное усилие, частота применения тормоза) на подвеску монорельсовой дороги [6].

На основе анализа технических характеристик и недостатков шахтного подвесного вспомогательного транспорта рассмотрены перспективы применения литий-ионных аккумуляторных батарей в качестве тяговых на шахтных локомотивах [7]. Однако в данной работе не рассматриваются вопросы оценки

и обоснования эффективности эксплуатации данного вида транспорта.

Предметом исследований становятся также технические характеристики подвесной монорельсовой дороги с локомотивным органом тяги [8]. Разработаны соответствующие методики тяговых расчетов и ходовые диаграммы подвесных дизелевозов.

Приведенные данные относятся к дизельным подвесным монорельсовым локомотивам, но для аккумуляторных нуждаются в проверке и уточнении.

Большое значение имеют работы, связанные с определением энергопотребления и пройденного пути аккумуляторным подвесным локомотивом, полученные закономерности не учитывают изменение коэффициента полезного действия энергетической цепи, которое происходит при изменении режимов работы локомотива [9].

Обоснованию параметров монорельсовых локомотивов во время движения по вертикальным и горизонтальным закруглениям пути, режимов пуска и торможения шахтной подвесной монорельсовой дороги посвящены достаточно интересные работы [10–13].

Основные положения рассмотренных работ не определяют в полной мере особенности режимов эксплуатации, поскольку не учитывают технико-экономические показатели тяговых единиц монорельсовых локомотивов.

Работа шахтной подвесной монорельсовой дороги характеризуется несколькими режимами: реализация тягового усилия (тяговый режим); создание замедляющих усилий (тормозной режим); работа на холостом ходу (режим выбега). Все эти режимы в достаточной мере исследованы для напочвенных и подвесных локомотивов, но не отражают в полной мере обобщающих технико-экономических показателей работы тяговых средств шахтных подвесных монорельсовых дорог.

Результаты и их обсуждение

Рассмотрим силовую установку подвесного монорельсового дизелевоза. Известно, что основными технико-экономическими показателями дизельных двигателей являются:

- индикаторная мощность N_i – мощность, развиваемая рабочими газами в цилиндрах дизеля в результате давления рабочего тела, действующего на поршень;

- эффективная мощность N_e – мощность, получаемая на коленчатом валу дизеля. Иными словами, это разность индикаторной мощности N_i и мощности, затрачиваемой на преодоление сил трения в дизеле и приведение в действие вспомогательных устройств N_m , равная $N_e = N_i - N_m$;

- механический коэффициент полезного действия дизеля η_m (КПД) – отношение эффективной мощности к индикаторной $\eta_m = N_e / N_i$.

Также для оценки технико-экономических показателей дизельных двигателей на практике применяется ряд характеристик (графических зависимостей нескольких параметров работы дизеля друг от друга). Вид характеристики определяется по независимой



переменной, в качестве которой выбирается один из эксплуатационных или конструктивных параметров, таких как: мощность, расход топлива и частота вращения коленчатого вала. Как правило, данные характеристики получают при стендовых испытаниях дизелей в специализированных лабораториях.

При проектировании транспортных машин и комплексов подземных разработок используются в основном два показателя эффективности [14].

Транспортная мощность, тм/ч:

$$\lambda = V\gamma L,$$

где V – производительность транспортной машины, м³/ч; γ – насыпная масса, т/м³; L – расстояние транспортирования груза, м.

Расчетная производительность горно-транспортной машины:

$$Q_p = \frac{k_H}{k_{BP}} Q_{cp},$$

где k_H – коэффициент неравномерности поступления груза; k_{BP} – коэффициент использования машины во времени; Q_{cp} – средняя часовая производительность за смену, т/ч.

Данные показатели в полной мере справедливы для горно-транспортных машин, участвующих в технологическом процессе транспортировки основного груза, однако для вспомогательных транспортных машин подвесных монорельсовых дорог требуются уточнения.

Для оценки эффективности эксплуатации шахтных монорельсовых дизелевозов целесообразно использовать комплексный показатель оценки эффективности дизельной тяги.

В работах [15–17] предложено рассчитывать сравнительную эффективность дизельной тяги с удельным расходом топлива при заданном режиме эксплуатации, г / кВт · ч,

$$W = \frac{\sum_{i=1}^n b_i N_{ei} \tau_i}{\sum_{i=1}^n N_{ei} \tau_i} \rightarrow \min,$$

где b_i – удельный расход топлива на i -м режиме эксплуатации, г / кВт · ч; N_{ei} – эффективная мощность на i -м режиме эксплуатации, кВт; τ_i – время работы на i -м режиме эксплуатации, ч.

При решении задач оптимизации определяется целевая функция или критерий качества, в качестве которого принимается минимум расхода топлива при постоянной частоте вращения коленчатого вала, а именно $W = B \rightarrow \min$ [18].

Для подвесных шахтных монорельсовых дизелевозов предлагается следующая взаимосвязь его характеристик с силовой энергетической установкой.

КПД дизелевоза в тяговом режиме определяется произведением КПД агрегатов, входящих в его энергетическую цепь $\eta_{дв} = \eta_e \cdot \eta_{ch} \cdot \eta_{га} \cdot \eta_{ты} \cdot \eta_{за}$, где η_e – эффективный КПД силовой установки (дизельного двигателя); η_{ch} – условный КПД вспомогательных систем

и агрегатов собственных нужд; $\eta_{га}$ – КПД гидравлического агрегата; $\eta_{ты}$ – КПД тягового устройства, $\eta_{за}$ – КПД зубчатой передачи.

Изменение экономичности дизелевоза в процессе работы в общем случае определяется относительным изменением КПД агрегатов, а его эксплуатационный КПД:

$$\eta_{двз}(t) = \int_t \eta_{дв} \left(\frac{1}{\eta_e} \frac{d\eta_e}{dt} + \frac{1}{\eta_{ch}} \frac{d\eta_{ch}}{dt} + \frac{1}{\eta_{га}} \frac{d\eta_{га}}{dt} + \frac{1}{\eta_{ты}} \frac{d\eta_{ты}}{dt} + \frac{1}{\eta_{за}} \frac{d\eta_{за}}{dt} \right) dt. \quad (1)$$

Оптимальной соответствует характеристика дизелевоза, для которой $\eta_{двз}$ будет максимальным $W = \eta_{двз} \rightarrow \max$.

В свою очередь изменение КПД агрегатов энергетической цепи дизелевоза, входящих в (1), определяется зависимостями:

$$\begin{aligned} \frac{d\eta_e}{dt} &= \frac{\partial \eta_e}{\partial n} \frac{dn}{dt} + \frac{\partial \eta_e}{\partial N_e} \frac{dN_e}{dt}; \\ \frac{d\eta_{ch}}{dt} &= \frac{\partial \eta_{ch}}{\partial n} \frac{dn}{dt} + \frac{\partial \eta_{ch}}{\partial N_e} \frac{dN_e}{dt} + \frac{\partial \eta_{ch}}{\partial N_{ch}} \frac{dN_{ch}}{dt}; \\ \frac{d\eta_{га}}{dt} &= \frac{\partial \eta_{га}}{\partial n} \frac{dn}{dt} + \frac{\partial \eta_{га}}{\partial P_{га}} \frac{dP_{га}}{dt} + \frac{\partial \eta_{га}}{\partial N_{га}} \frac{dN_{га}}{dt}; \\ \frac{d\eta_{ты}}{dt} &= \frac{\partial \eta_{ты}}{\partial n_{ты}} \frac{dn_{ты}}{dt} + \frac{\partial \eta_{ты}}{\partial P_{га}} \frac{dP_{га}}{dt} + \frac{\partial \eta_{ты}}{\partial N_{ты}} \frac{dN_{ты}}{dt}; \\ \frac{d\eta_{за}}{dt} &= \frac{\partial \eta_{за}}{\partial n_{ты}} \frac{dn_{ты}}{dt} + \frac{\partial \eta_{за}}{\partial P_{га}} \frac{dP_{га}}{dt} + \frac{\partial \eta_{за}}{\partial N_{ты}} \frac{dN_{ты}}{dt}, \end{aligned} \quad (2)$$

где n – частота вращения коленчатого вала дизеля, с⁻¹; N_e – эффективная мощность дизеля, кВт; N_{ch} – мощность агрегатов собственных нужд, кВт; $P_{га}$ – давление гидравлического агрегата, МПа; $N_{га}$ – мощность гидравлического агрегата, кВт; $n_{ты}$ – частота вращения приводного вала тягового устройства, с⁻¹; $N_{ты}$ – мощность тягового устройства, кВт.

В случае отсутствия зубчатой передачи в тяговом устройстве, член

$$\frac{1}{\eta_{за}} \frac{d\eta_{за}}{dt}$$

в уравнении (1) будет равняться 0, а выражение

$$\frac{d\eta_{за}}{dt}$$

исключается из системы (2).

Установление функциональных зависимостей для всех параметров, входящих в уравнения (2), представляет собой громоздкую и трудоемкую задачу. Для анализа удобно все эти параметры разделить на следующие основные группы:

– параметры, зависящие от экономических характеристик силовой установки –

$$\eta_e, \frac{\partial \eta_e}{\partial n}, \frac{\partial \eta_e}{\partial N_e}$$

и режимов ее работы –

$$n, N_e, \frac{dn}{dt}, \frac{dN_e}{dt};$$

– параметры, зависящие от экономических характеристик вспомогательных агрегатов –

$$\eta_{ch}, \frac{\partial \eta_{ch}}{\partial n}, \frac{\partial \eta_{ch}}{\partial N_e}, \frac{\partial \eta_{ch}}{\partial N_{ch}}$$

и режимов их работы –

$$N_{ch}, N_e, n, \frac{dN_{ch}}{dt}, \frac{dN_e}{dt}, \frac{dn}{dt};$$

– параметры, зависящие от экономических характеристик агрегатов передачи мощности – $\eta_{га}, \eta_{ту},$

$$\frac{\partial \eta_{га}}{\partial n}, \frac{\partial \eta_{га}}{\partial P_{га}}, \frac{\partial \eta_{га}}{\partial N_{га}}, \frac{\partial \eta_{ту}}{\partial n}, \frac{\partial \eta_{ту}}{\partial P_{га}}, \frac{\partial \eta_{ту}}{\partial N_{ту}}, \frac{\partial \eta_{зп}}{\partial n}, \frac{\partial \eta_{зп}}{\partial P_{га}}, \frac{\partial \eta_{зп}}{\partial N_{ту}}$$

и режимов их работы –

$$n, n_{ту}, N_{га}, N_{ту}, P_{га}, \frac{dn_{ту}}{dt}, \frac{dn}{dt}, \frac{dP_{га}}{dt}, \frac{dN_{га}}{dt}, \frac{dN_{ту}}{dt}.$$

Таким образом, эксплуатационный КПД дизель-воза в целом определяется как экономическими характеристиками всех агрегатов его энергетической цепи, так и режимами их работы. Однако если режимы работы тяговых устройств и передачи мощности целиком и полностью определяются тяговым режимом дизель-воза, то режимы работы вспомогательных агрегатов и силовой установки зависят от ее скоростных характеристик.

Приняв допущения, учитывающие технико-экономические характеристики дизель-возов и их наиболее типичные режимы работы, мы получили результаты расчетов эксплуатационного КПД для опытной поездки дизель-воза SCHARF DZ 1500 на шахте Комсомолец Донбасса (рис. 3).

Аналогичным образом, имея данные опытных поездок или определив функции параметров и режимов работы аккумуляторных автономных шахтных подвесных локомотивов, можно вычислить их эксплуатационный КПД, зная который, можно выполнить обоснование параметров и режимов эксплуатации аккумуляторных локомотивов.

Закключение

Изменение экономичности шахтных дизель-воза и аккумуляторного подвесного монорельсового локомотива в процессе работы в общем случае определяется относительным изменением КПД агрегатов. Для автономных подвесных шахтных монорельсовых локомотивов с дизельной и электрической тягой предложена взаимосвязь его характеристик с силовой энергетической установкой. Определение оптимальных технико-экономических показателей шахтных монорельсовых локомотивов целесообразно выполнять по комплексному параметру – эксплуатационному коэффициенту полезного действия локомотива.

Эксплуатационный КПД дизель-воза в целом определяется как экономическими характеристиками всех агрегатов его энергетической цепи, так и режимами их работы. Однако если режимы работы тяговых устройств и передачи мощности целиком и полностью определяются тяговым режимом дизель-воза, то режимы работы вспомогательных агрегатов и силовой установки зависят от ее скоростных характеристик.

Определив функции параметров и режимов работы автономных шахтных подвесных локомотивов, можно вычислить эксплуатационный КПД дизельной или аккумуляторной тяги, что в свою очередь позволит выполнить обоснование параметров и режимов работы автономных шахтных подвесных монорельсовых локомотивов.

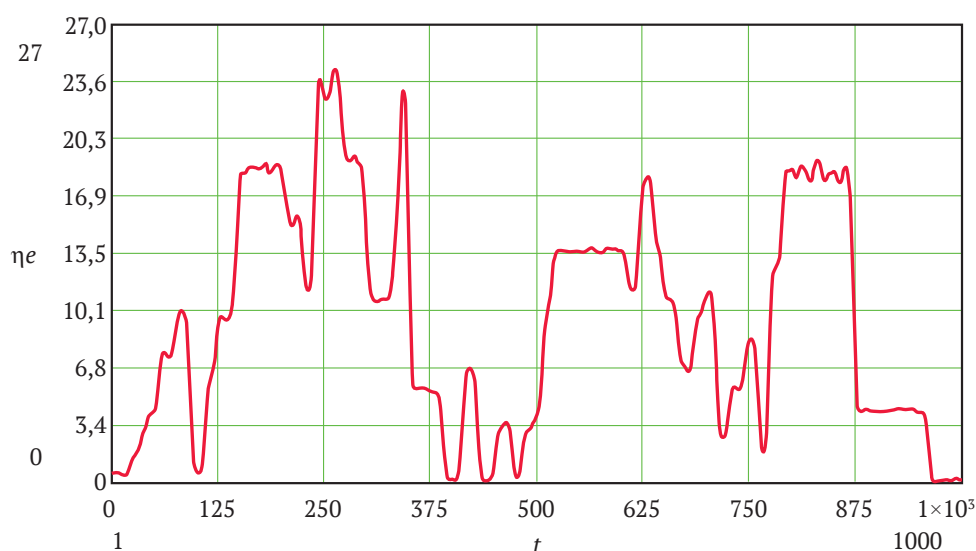


Рис. 3. Изменение эксплуатационного КПД дизель-воза SCHARF DZ 1500 для опытной поездки:

η_e – эксплуатационный КПД дизель-воза, %; t – время поездки, с

Fig. 3. Varying operational efficiency factor of SCHARFDZ 1500 diesel locomotive for a test trip:

η_e – operational efficiency factor of diesel locomotive, %; t – travel time, s



Список литературы

1. Гутаревич В. О. *Динамика шахтных подвесных монорельсовых дорог*. Донецк: ЛАНДОН-XXI; 2014. 206 с.
2. Васильев К. А., Николаев А. К., Сазонов К. Г. *Транспортные машины и оборудование шахт и рудников*. СПб.: Лань; 2012. 544 с.
3. Грядущий Б. А. (общ. ред.) *Шахтный подземный транспорт: в 2 т. Т 1. Шахтный локомотивный и рельсовый транспорт*. Научно-исследовательский институт горной механики им. М. М. Федорова. Донецк: ВИК; 2011. 481 с.
4. Ferrit. *Global Mining Solution*. URL: <https://www.ferrit.cz/en/products/suspended-monorail-transport/diesel-locomotives/dlz210f> (дата обращения: 22.05.2021)
5. Ferrit. *Global Mining Solution*. URL: <https://www.ferrit.cz/en/products/suspended-monorail-transport/accumulator-locomotives/dlza90f> (дата обращения: 22.05.2021)
6. Szewerda K., Tokarczyk J., Wiczorek A. Impact of increased travel speed of a transportation set on the dynamic parameters of a mine suspended monorail. *Energies*. 2021;14(6):1528. <https://doi.org/10.3390/en14061528>
7. Pieczora E., Suffner H. Rozwój napędów dołowych kolejek podwieszonych. *Maszyny Górnicze*. 2017;(3):44–57. URL: <http://komag.eu/images/maszynygornicze1/2017/MG%203-20174.pdf>
8. Кондрашин А. Ю. Методика расчета технических характеристик подвесной монорельсовой дороги с локомотивным органом тяги. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2009;(S10):56–76. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13858294>
9. Konsek R. Elektryczny napęd górniczych kolejek podwieszonych, *Maszyny Elektryczne: Zeszyty Problemowe*. 2017;113(1):195–198. URL: <https://journals.indexcopernicus.com/search/article?articleId=1544916>
10. Gutarevych V. Dynamic model of movement of mine suspended monorail. *Transport Problems*. 2014;9(1):13–18. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24195861>
11. Gutarevych V., Vodolazskaya N. V., Jakupović E., Mirjanić D. Research on the influence of dynamic load on suspended monorail. *Applied Mechanics and Materials*. 2015;806:23–29. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.806.23>
12. Szewerda K. Supporting development of suspended underground monorails using virtual prototyping techniques. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019;545:012018. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/545/1/012018>
13. Herbus K., Szewerda K., Swider J. Virtual prototyping of the suspended monorail in the aspect of increasing the permissible travel speed in hard coal mines. *Eksplorat. Niezawodn.* 2020;4:610–619. <http://dx.doi.org/10.17531/ein.2020.4.4>
14. Кантович Л. И., Хазанович Г. Ш., Волков В. В., Воронова Э. Ю., Отроков А. В., Черных В. Г. *Машины и оборудование для горностроительных работ*. М.: Горная книга; 2013. 445 с.
15. Кузнецов С. Р., Васильева М. А. Параметры, определяющие энергоэффективность карьерных автосамосвалов. *Записки Горного института*. 2014;209:185–189. URL: <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/5305>
16. Володин А. И., Кирияков М. Н. Оптимизация тепловозной характеристики дизеля для микропроцессорных систем управления электропередачей тепловозов. *Известия Транссиба*. 2012;(1):12–19.
17. Александров В. И., Васильева М. А., Коптев В. Эффективная мощность и скорость движения карьерных автосамосвалов в режиме топливной экономичности. *Записки Горного института*. 2019;239:556–563. <https://doi.org/10.31897/PMI.2019.5.556>
18. Коссов Е. Е., Старовойт В. А. Выбор характеристик магистральных и маневровых тепловозов. В: *Повышение топливной экономичности тепловозов. Труды ВНИИЖТ*. 1991. 238 с.

References

1. Gutarevich V. O. *Dynamics of mine suspended monorails*. Donetsk: LONDON-XXI Publ. House; 2014. 206 p. (In Russ.).
2. Vasiliev K. A., Nikolaev A. K., Sazonov K. G. *Transport machines and equipment for mines*. St. Petersburg: Lan' Publ.; 2012. 544 p. (In Russ.).
3. Gryadushchy B. A. (gen. ed.) *Mine underground transport: in 2 volumes. Vol. 1. Mine locomotive and rail transport*. M. M. Fedorov Mining Mechanical Engineering Research Institute. Donetsk: VIK Publ.; 2011. 481 p. (In Russ.).
4. Ferrit. *Global Mining Solution*. URL: <https://www.ferrit.cz/en/products/suspended-monorail-transport/diesel-locomotives/dlz210f> (Accessed: 22.05.2021)
5. Ferrit. *Global Mining Solution*. URL: <https://www.ferrit.cz/en/products/suspended-monorail-transport/accumulator-locomotives/dlza90f> (Accessed: 22.05.2021)



6. Szezerda K., Tokarczyk J., Wiczorek A. Impact of increased travel speed of a transportation set on the dynamic parameters of a mine suspended monorail. *Energies*. 2021;14(6):1528. <https://doi.org/10.3390/en14061528>
7. Pieczora E., Suffner H. Rozwój napędów dołowych kolejek podwieszonych. *Maszyny Górnicze*. 2017;(3):44–57. URL: <http://komag.eu/images/maszynygornicze1/2017/MG%203-20174.pdf>
8. Kondrashin A. Yu. Methodology for calculating the technical characteristics of a suspended monorail with locomotive traction. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2009;(S10):56–76. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13858294>
9. Konsek R. Elektryczny napęd górniczych kolejek podwieszonych, *Maszyny Elektryczne: Zeszyty Problemowe*. 2017;113(1):195–198. URL: <https://journals.indexcopernicus.com/search/article?articleId=1544916>
10. Gutarevich V. Dynamic model of movement of mine suspended monorail. *Transport Problems*. 2014;9(1):13–18. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24195861>
11. Gutarevich V., Vodolazskaya N. V., Jakupović E., Mirjanić D. Research on the influence of dynamic load on suspended monorail. *Applied Mechanics and Materials*. 2015;806:23–29. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.806.23>
12. Szezerda K. Supporting development of suspended underground monorails using virtual prototyping techniques. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019;545:012018. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/545/1/012018>
13. Herbus K., Szezerda K., Swider J. Virtual prototyping of the suspended monorail in the aspect of increasing the permissible travel speed in hard coal mines. *Eksplorat. Niezawodn.* 2020;4:610–619. <http://dx.doi.org/10.17531/ein.2020.4.4>
14. Kantovich L. I., Khazanovich G. Sh., Volkov V. V., Voronova E. Yu. et al. *Machinery and Equipment for Mine Construction*. Moscow: Gornaya Kniga Publ.; 2013, 445 p. (In Russ.).
15. Kuznetsov S. R., Vasil'eva M. A. The parameters defining power efficiency of dump trucks in opencast mine. *Journal of Mining Institute*. 2014;209:185–189. (In Russ.).
16. Volodin A. I., Kirjakov M. N. Optimization of the diesel characteristic of the diesel engine for microprocessor control systems electricity transmission of diesel locomotives. *Izvestiya Transsiba*. 2012;(1):12–19. (In Russ.).
17. Alexandrov V. I., Vasileva M. A., Koptev V. Y. Effective power and speed of mining dump trucks in fuel economy mode. *Journal of Mining Institute*. 2019;239:556–563. <https://doi.org/10.31897/pmi.2019.5.556>
18. Kossov E. E., Starovoi V. A. Selection of characteristics of mainline and shunting locomotives. In: *Improving the fuel efficiency of diesel locomotives. Proceedings of VNIIZhT*. 1991. 238 p. (In Russ.).

Информация об авторах

Рябко Константин Александрович – к.т.н., доцент, декан факультета, Донецкий институт железнодорожного транспорта, г. Донецк, Украина, e-mail: railroader@yandex.ru

Гутаревич Виктор Олегович – д.т.н., доцент, профессор кафедры Транспортных систем и логистики им. И. Г. Штокмана, Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина; Scopus ID 55633624800, ORCID 0000-0002-6294-5232

Information about the authors

Konstantin A. Ryabko – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Dean of the Faculty, Donetsk Institute of Railway Transport, Donetsk, Ukraine, e-mail: railroader@yandex.ru

Viktor O. Gutarevich – Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor, Professor of the Department of Transport Systems and Logistics named after I. G. Shtokman, Donetsk National Technical University, Donetsk, Ukraine; Scopus ID 55633624800, ORCID 0000-0002-6294-5232

Поступила в редакцию 30.04.2021

Поступила после рецензирования 14.06.2021

Принята к публикации 15.06.2021

Received 30.04.2021

Revised 14.06.2021

Accepted 15.06.2021