Повышение энергоэффективности шагающего драглайна

Николай Максимович СУСЛОВ^{*},
Станислав Алексеевич ЧЕРНУХИН^{**},
Дмитрий Николаевич СУСЛОВ^{***}

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

Аннотация

Актуальность работы. Снижение затрат на добычу полезных ископаемых при ведении работ открытым способом, позволяющее снизить себестоимость извлекаемой руды, всегда считалось одной из важных задач в горной промышленности. При разработке карьеров самой затратной работой, при которой не ведется непосредственная добыча, является вскрыша пустых пород. Один из самых эффективных и высокопроизводительных является способ ведения вскрышных работ, при котором применяется бестранспортная технология с использованием шагающего экскаватора-драглайна. Перемещение таких мощных машин энергозатратно и влияет на эффективность работы машины в целом, поэтому модернизация механизма шагания позволит повысить энергоэффективность работы экскаватора и в конечном счете снизить себестоимость добычи полезных ископаемых. Самым распространенным механизмом перемещения таких машин является трехопорный механизм с гидравлическим приводом. В статье описывается предложенная модернизация такого механизма шагания, позволяющая избавиться от двух основных недостатков, а именно отсутствие рекуперации энергии поднятой машины вовремя шага и волочение задней по ходу движения кромки базы о грунт, создающей дополнительное сопротивление перемещению. Установка гидроаккумуляторов в гидравлическую систему привода передвижения машины позволит аккумулировать энергию поднятой над грунтом машины при шагании, а введение дополнительного опорного башмака в опорную базу машины позволит избавиться от волочения базы по грунту во время шага. В целом представленная модернизация механизма позволит снизить энергозатраты перемещения экскаватора-драглайна с трехопорным механизмом шагания на гидравлическом приводе и в конечном итоге снизить себестоимость добычи полезных ископаемых.

Цель работы: повысить эффективность работы драглайна в целом путем повышения энергоэффективности его перемещения.

Задачи: рассмотреть возможность конструктивных изменений, позволяющих снизить затраты энергии на передвижение драглайна.

Результаты. Рассмотрен вариант внесения в механизм шагания дополнительного опорного башмака, позволяющего исключить трение базы о породу во время шага путем полного отрыва базы от грунта. Проведены расчеты энергозатрат механизмов на разных типах драглайнов с существующим и предлагаемым механизмом.

Выводы, применение результатов. Расчеты, приведенные в статье, позволяют сделать вывод об эффективности внесенных изменений в конструкцию механизма шагания. Предлагаемый механизм позволяет существенно снизить затраты на перемещение и избавиться от недостатков, присущих существующему механизму.

Ключевые слова: горные машины, вскрышные работы, гидропривод, экскаватор-драглайн, рекуперация энергии, трехопорный механизм шагания.

Введение

Постоянный рост объемов добычи угля открытым способом влечет за собой разработку новых, более мощных карьеров. Только в России за период с 2013 по 2017 г. годовой объем добычи открытым способом возрос с 352,1 до 408,9 млн т [1, 2]. Для обеспечения таких темпов добычи требуются мощные, высокопроизводительные, энергоэффективные машины. Такой машиной является шагающий драглайн – основное оборудование на вскрышных работах при разработке открытым способом [3].

Такие машины являются самоходными и оснащены шагающими механизмами передвижения, имеющими самое низкое удельное давление на грунт при перемещении, так как основная работа производится на грунтах с низкой несущей способностью (табл. 1) [4].

Остальные механизмы передвижения, такие как пневмоколенный и гусеничный, не смогут обеспечить требуемого удельного давления на грунт из-за больших масс драглайнов. Шагающий механизм обеспечивает низкое

^{*}gmf.gmk@ursmu.ru

^{**}stas_chernuhin@mail.ru

^{***}<https://orcid.org/0000-0003-3423-6129>

^{***}susdmityr@yandex.ru

Таблица 1. Несущие способности грунтов на открытых горных работах.
Table 1. Load bearing capacity of soils in open pit mining.

Вид грунта	Несущая способность, МПа
Супесь	0,196–0,294
Суглинки	0,100–0,300
Глины твердые	0,200–0,600
Уплотненная насыпь или уплотненный отвал из крупного, среднего и мелкого песка, шлака	0,196–0,245
Неуплотненный отвал из крупного среднего или мелкого песка, шлака	0,147–0,176

Таблица 2. Параметры драглайнов с трехопорным гидравлическим механизмом шагания.
Table 2. Parameters of draglines with a three-point hydraulic walking mechanism.

Тип Механизма	Масса, кг × 10 ³	Опорная часть						Удельное давление на грунт	
		База			Башмаки			При работе, МПа	При шагании, МПа
		Диаметр, м	Высота, м	Площадь опоры, м ²	Длина, м	Ширина, м	Площадь опоры, м ²		
ЭШ-10/70	688	9,5	0,85	71	11,0	1,85	40,6	0,118	0,108
ЭШ-14/75	1580	14,0	1,11	154	16,3	2,50	81,4	0,088	0,137
ЭШ-15/90А	1610	14,0	1,10	154	13,0	2,50	65,0	0,098	0,240
ЭШ-25/100	2500	18,0	1,40	254	18,5	3,75	139,0	0,098	0,176

удельное давление на грунт благодаря большим опорным поверхностям, как во время работы, так и во время перемещения. Параметры трехопорных механизмов шагания некоторых типов драглайнов приведены в табл. 2 [4].

Повышение производительности драглайнов возможно за счет увеличения объемов ковша и длины стрелы, но с увеличением длин и объемов увеличивается масса драглайна, повышая нагрузку на механизм шагания и увеличивая энергозатраты на перемещение [5, 6]:

$$G_3 = KE^{0,65} L_{ct}^{1,65},$$

где G_3 – рабочая масса драглайна, т; K – весовой коэффициент (0,146); E – вместимость ковша, м³; L_{ct} – длина стрелы, м.

Материал и методы исследования

Трехопорный шагающий механизм с гидравлическим приводом, представленный на рис. 1, состоит из двух независимых опорных поверхностей: базы, являющейся основной опорной поверхностью при работе, и опорных башмаков. При совершении шага опорная база контактирует с грунтом только задней по ходу движения кромкой, волочась по нему, а опорные башмаки передают весовую нагрузку машины на грунт. Для обеспечения шага механизм снабжен гидроцилиндрами подъема и тяги. Работа по перемещению драглайна циклична и осуществляется в следующей последовательности: 1 – подача опорных башмаков на грунт в направлении движения машины; 2 – подъем передней части по ходу движения опорной

базы экскаватора подъемными цилиндрами; 3 – передвижение экскаватора тяговыми цилиндрами; 4 – опускание экскаватора; 5 – подъем опорных башмаков в исходное положение.

Трехопорный шагающий механизм с гидравлическим приводом является более распространенным, чем механический, благодаря ряду преимуществ:

- обеспечение плавности передвижения, снижаются динамические нагрузки на металлоконструкции и другие узлы экскаватора при передвижении;
- возможность регулировки величины шага;
- меньшая масса по сравнению с механическим ходом.

Но оба механизма имеют два основных недостатка: преодоление сил трения базы о породу при осуществлении шага и отсутствие аккумуляции энергии поднятого драглайна [7, 8].

Для решения выявленных недостатков предлагается внести изменения в гидравлический механизм шагания: в заднюю кромку базы встроить дополнительный опорный башмак со своим гидроцилиндром подъема.

Предлагаемое устройство для передвижения шагающих машин, представленное на рис. 2, содержит поворотный корпус 1, опорную базу 2, снабженную нишей 8, опорные башмаки 3, гидроцилиндры подъема 4 и тяги 5. В нишу 8 встроены дополнительные башмаки 7. Опорная база 2 выполнена с возможностью горизонтального поворота вокруг своей оси при неподвижном поднятом корпусе 1 и опорой на опорные башмаки 3 при помощи

Рисунок 1. Трехопорный гидравлический механизм шагания: 1 – база; 2 – опорные башмаки; 3 – подъемные гидроцилиндры; 4 – тяговые гидроцилиндры.

Figure 1. Three-support hydraulic walking mechanism. 1 – base; 2 – support shoes; 3 – lifting hydraulic cylinders; 4 – traction hydraulic cylinders.

Рисунок 2. Шагающий механизм с дополнительным опорным башмаком: а – общий вид; б – вид разреза дополнительного опорного башмака, размещенного в задней кромке базы.

Figure 2. Walking mechanism with an additional support shoe. а – general view; б – a section view of an additional support shoe located at the rear edge of the base.

Рисунок 3. Распределение действующих сил на трехопорный механизм шагания с дополнительным опорным башмаком время шага: а – общий вид; б – размещение дополнительного опорного башмака в опорной раме.

Figure 3. Distribution of active forces on the three-support walking mechanism with an additional support shoe: а – general drawing; б – placement of an additional support shoe in the support frame.

цилиндров подъема 4. Для подъема задней части кромки опорной базы 2 над уровнем грунта ниша 8 выполнена с проходом насквозь этой кромки с возможностью синхронного передвижения башмака 7 за пределы опорной базы 2, вслед движения башмаков 3 корпуса машины 1.

Работа устройства, представленная на рис. 3, осуществляется следующим образом: перед началом движения машины башмаки 3 выдвигаются вперед относительно опорной базы 2, после чего происходит подъем этой базы при помощи гидроцилиндров 4 с неполным отрывом ее от поверхности грунта. Шагающая машина получает крен. Затем опорная база 2 совместно с поворотным корпусом 1 с помощью дополнительного опорного башмака 7

полностью отрывается от грунта на минимальное расстояние для исключения трения опорной базы о грунт, и происходит перемещение машины за счет работы тяговых гидроцилиндров 5. Башмаки 7 и 3 остаются неподвижными относительно грунта, по мере осуществления шага гидроцилиндр 6 будет увеличиваться в длине для обеспечения шага за счет телескопичности, в конце шага длина гидроцилиндра 6 будет равна длине гидроцилиндров подъема 4. После завершения шага башмак 7 возвращается в исходное положение – в нишу 8 опорной базы 2 для осуществления последующих циклов шагания. При стационарной работе машины башмак 7 все время находится в нише 8 опорной базы 2.

Выполнение ниши 8 насквозь кромки опорной базы 2 позволяет башмаку 7 во время перемещения машины остаться за пределами опорной базы 2 за счет обеспечения полного отрыва базы от грунта посредством работы гидроцилиндра 6. В результате этого полностью исключается трение опорной базы о грунт, уменьшаются энергозатраты на передвижение машины при сохранении размера шага [9].

Устранение второго недостатка механизма шагания, а именно отсутствие аккумуляции энергии поднятой машины возможно при помощи установки гидроаккумуляторов в гидравлическую схему работы механизма шагания. В предлагаемом механизме тяговые гидроцилиндры в момент передвижения машины выполняют две функции, в начальный момент дают импульс поднятой машине для осуществления передвижения; после того, как импульс дан, тяговые гидроцилиндры выполняют функцию тормозного устройства. В момент работы тяговых гидроцилиндров в качестве тормозного устройства можно использовать для торможения опускания машины на грунт не гидроцилиндры, а гидроаккумуляторы, дросселируя рабочую жидкость в них, тем самым накапливая в них энергию для дальнейшего использования ее при осуществлении последующих шагов экскаватора [10, 11]. Энергия гидроаккумуляторов используется для отрыва базы экскаватора от грунта при последующих шагах.

Для определения площади опирания дополнительного опорного башмака рассмотрим действующие силы на данный механизм шагания (рис. 3).

Усилие тяговых гидроцилиндров складывается из горизонтальных сил, приложенных в точках крепления подъемных гидроцилиндров $2P_{\Gamma}$ и гидроцилиндра, расположенного в нише опорной базы $P_{\kappa.г.}$:

$$2P_{\Gamma.г.} = 2P_{\Gamma} + P_{\kappa.г.} \quad (1)$$

Вертикальное усилие в подъемном гидроцилиндре

$$P = \frac{Ga}{b} \quad (2)$$

Вертикальное усилие в гидроцилиндре дополнительного опорного башмака $P_{\kappa.в.}$ находится по формуле:

$$P_{\kappa.в.} = \frac{Gb}{a} \quad (3)$$

где G – сила тяжести экскаватора; b – расстояние от точки центра масс драглайна до крепления гидроцилиндра дополнительного опорного башмака; a – расстояние от точки центра масс драглайна до крепления подъемного гидроцилиндра [5].

Горизонтальное усилие в подъемном гидроцилиндре P_{Γ}

$$P_{\Gamma} = \sin \alpha \cdot P_{\Pi} \quad (4)$$

Горизонтальное усилие в гидроцилиндре дополнительного опорного башмака

$$P_{\kappa.г.} = \sin \alpha \cdot P_{\kappa} \quad (5)$$

Рисунок 4. Опорные поверхности в механизме шагания с дополнительным опорным башмаком: 1 – опорные башмаки; 2 – база; 3 – дополнительный опорный башмак.

Figure 4. Supporting surfaces in the walking mechanism with an additional support shoe. 1 – support shoes; 2 – base; 3 – additional support shoe.

Усилие подъемного гидроцилиндра P_{Π} равно:

$$P_{\Pi} = \frac{P}{\cos \alpha} \quad (6)$$

Усилие в гидроцилиндре дополнительного опорного башмака $P_{\kappa.г.}$:

$$P_{\kappa} = \frac{P_{\kappa.в.}}{\cos \alpha} \quad (7)$$

Удельное давление на грунт дополнительного опорного башмака должно быть примерно равным давлению на грунт драглайна при шагании (табл. 1):

$$p = \frac{P_{\Pi}}{S_{\text{д.б.}}} \quad (8)$$

где $S_{\text{д.б.}}$ – площадь дополнительного опорного башмака

Так как форма площади опирания на грунт дополнительного опорного башмака не является стандартной (рис. 4), то площадь выбирается из расчетов обеспечения приемлемого удельного давления на грунт и диаметра опорной базы. Окончательные размеры дополнительно опорного башмака определяются конструктивно [12, 13].

Полученные результаты и их обсуждение

Рассчитанные параметры шагающих механизмов по формулам (1)–(8) представлены в табл. 3.

Для сравнения предлагаемого и существующего механизмов шагания выполним расчет энергозатрат на передвижение.

Основные затраты энергии привода шагающего ходового механизма заключаются в подъеме экскаватора массой m_{Σ} и преодолении сил трения базы о грунт во время перемещения экскаватора. Работа, расходуемая на подъем экскаватора, Н · м,

$$A_1 = Kgm_{\Sigma}h, \quad (9)$$

Таблица 3. Результаты расчетов.
Table 3. Calculation results.

Тип механизма	P , кН	$P_{к.в.}$, кН	$P_{п.}$, кН	$P_{к.}$, кН	$P_{п.г.}$, кН	$P_{к.г.}$, кН	$2P_{т.г.}$, кН	Параметры дополнительного опорного башмака			Удельное давление на грунт дополнительного опорного башмака при шага-нии, кН/м ²
								Длина, м	Ширина, м	Пло-щадь опоры, м ²	
ЭШ-10/70	32 493,49	1456,74	33 156,63	1486,46	5636,63	252,70	11 525,95	1,66	5	7,153	203,65
ЭШ-14/75	39 500,00	6320,00	42 473,12	6795,70	15 715,05	2514,41	33 944,52	4,00	7	25,870	244,30
ЭШ-15/90А	40 000,00	6400,00	43 478,26	6956,52	16 956,52	2713,04	36 626,09	4,00	7	25,870	247,40
ЭШ-25/100	65 000,00	9615,39	73 863,64	10 926,57	35 454,60	5244,76	76 153,85	5,00	10	45,130	213,06

Таблица 4. Результаты расчетов расхода энергии механизмов шагания.
Table 4. The results of calculations of the energy consumption of the walking mechanisms.

Тип механизма	Масса, кг × 10 ³	Длина шага, м	Существующий привод			Предлагаемый привод	
			Высота подъема центра тяжести экскаватора, м	Расход энергии, Н × м		Расход энергии на подъем машины, Н × м	Аккумуляирование энергии поднятого драглайна, Н × м
				Подъем машины	Перемещение машины		
ЭШ-10/70	688	0,83	0,260	1314,77	1547,52	1753,02	1490,07
ЭШ-14/75	1580	1,90	0,587	6816,83	8135,42	9089,12	6915,11
ЭШ-15/90А	1610	2,00	0,602	7123,77	8726,20	9498,36	8073,60
ЭШ-25/100	2500	2,50	0,925	16 996,88	16 937,50	22 662,50	19 263,13

Рисунок 5. Расход энергии на передвижение драглайна ЭШ-20/100.
Figure 5. Energy consumption for the movement of the dragline EL-20/100.

где K – коэффициент, показывающий, какая часть веса экскаватора ($G = m \cdot g$, Н) передается на башмаки при шагании, $K = 0,7-0,8$; h – высота подъема центра тяжести экскаватора, м.

Работа, расходуемая на преодоление сил трения базы о породу A_2 , Н · м, определяется из выражения [7, 14]:

$$A_1 = (1 - K)g m_3 S \mu_1 + g m_3 S \sin \alpha = g m_3 S [\mu_1 (1 - K) + \sin \alpha], \quad (10)$$

где S – длина шага, м; μ_1 – коэффициент трения базы о породу, $\mu_1 = 0,5-1,0$; α – угол подъема пути, град [15, 16].

В конструкции с использованием дополнительного опорного башмака для обеспечения шага база машины полностью отрывается от грунта, значит, коэффициент K , используемый в формуле (9), равен единице. Также конструкция данного механизма позволяет нам не затрачивать энергию на передвижение машины, преодолевая силы трения, не совершать работу по преодолению этих сил рассчитываемых по формуле (10), а напротив, аккумулировать энергию поднятой машины с использованием поршневых гидроаккумуляторов [17,

18]. За счет конструктивных особенностей гидроаккумулятора в результате его работы на преодоление сил трения затрачивается до 15 % аккумулируемой энергии [20]. Результаты расчетов расхода энергии при существующем и предлагаемом механизмах шагания приведены в табл. 4 [12, 15].

Результаты проведенного расчета показывают, что уже с первого шага расход энергии на перемещение драглайна сократился. Во втором и последующих шагах появляется возможность использования аккумулируемой энергии для совершения последующих шагов. На рис. 5 даны два графика зависимости энергозатрат от количества шагов для драглайна ЭШ-25/100 [19-21].

Заключение

Таким образом, исключение трения задней кромки базы о породу при шагании позволяет экономить энергию на перемещение машины, а применение гидроаккумуляторов позволяет использовать энергию поднятого драглайна для совершения следующего шага, что также содействует повышению энергоэффективности работы шагающего механизма и всей работы драглайна в целом.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Подэрни Р. Ю. Мировой рынок поставок современного выемочно-погрузочного оборудования для открытых горных работ // ГИАБ. 2015. № 2. С. 148–167.
2. Таразанов И. Г. Итоги работы угольной промышленности России за январь–декабрь 2017 года // Уголь. 2018. № 3 (1104). С. 58–73. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2018-3-58-73>
3. Селюков А. В. Вычисление доли бестранспортной технологии при углубочно-сплошной поперечной системе открытой разработки // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. 2017. Т. 25, № 4 (88). С. 88–95.
4. Архипов А. В. Несущая способность грунтов хвостохранилищ и золошлакоотвалов при разработке карьерным горнотранспортным оборудованием // ГИАБ. 2011. № 2. С. 150–156.
5. Злобина Е. В. Статистические модели определения рабочих параметров шагающих экскаваторов // Вестник КузГТУ. 2010. № 5. С. 90–92.
6. Злобина Е. В., Проноза В. Г., Тюленев М. А. К вопросу выбора модели драглайна для разработки перспективных угольных месторождений Кузбасса // Вестник КузГТУ. 2013. № 6 (100). С. 41–45.
7. Крупко И. В. Математическая модель процесса перемещения экскаватора с эксцентриковым механизмом шагания // Автомобильный транспорт. 2012. Вып. 31. С. 188–192.
8. Demirel N., Gölbaşı O. Preventive Replacement Decisions for Dragline Components Using Reliability Analysis // Minerals. 2016. Vol. 6(2). 51. P. 1–15. <https://doi.org/10.3390/min6020051>
9. Устройство для передвижения шагающих машин: пат. № 188401 Российская Федерация / Суслев Н. М., Чернухин С. А., Давыдов С. Я. № 2019102081; заявл. 25.01.19; опубл. 11.04.19, Бюл. № 11.
10. Чернухин С. А. Анализ и перспективы развития шагающего ходового оборудования горных машин // Вестник ЗабГУ. 2018. № 9. С. 29–35.
11. Вин Зо Хтэй, Певзнер Л. Д., Темкин И. О. Структура информационной системы шагающего драглайна // Уголь. 2019. № 1 (1114). С. 34–36. <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-1-34-36>
12. Суслев Н. М., Чернухин С. А. Совершенствование шагающих механизмов, повышающее эффективность их использования // Изв. УГТУ. 2018. № 3 (51). С. 108–113. <http://dx.doi.org/10.21440/2307-2091-2018-3-108-113>
13. Chatterjee S., Dash A., Bandyopadhyay S. Ensemble Support Vector Machine Algorithm for Reliability Estimation of a Mining Machine // Qual. Reliab. Eng. Int. 2014. Vol. 31, issue 8. P. 1503–1516. <https://doi.org/10.1002/qre.1686>
14. Uzgören N., Elevli S., Elevli B., Uysal Ö. Reliability Analysis of Draglines' Mechanical Failures // Eksploatacja i Niezawodność. 2010. Vol. 48. P. 23–28.
15. Комиссаров А. П., Суслев Н. М. Гидрофикация оборудования – резерв повышения технического уровня горных машин // Изв. УГТУ. 2000. Вып. 9. С. 151–154.
16. Бидерман В. Л. Механика тонкостенных конструкций. Статика. М.: Машиностроение, 1977. 488 с.
17. Гусев М. П., Данилов В. Л. Исследование зависимости полезного объема жидкости гидроаккумулятора от его рабочих параметров // Машиностроение и компьютерные технологии. 2012. № 1. С. 34–44
18. Зуев Ю. Ю., Зуева Е. Ю., Голубев В. И. Анализ динамики объемного гидропривода с частотным управлением при энергоснабжении от встроенного пневмогидравлического аккумулятора // Машиностроение и компьютерные технологии. 2015. № 3. С. 15–35.
19. Попиков П. И., Обоянцев Д. В., Меняйлов К. А. Эффективность применения рекуперативного привода на лесных машинах // Лесотехнический журнал. 2012. № 3. С. 95–98.
20. Суслев Н. М. Сокращение простоев драглайна за счет повышения надежности работы механизма шагания // ГИАБ. 2003. № 3. С. 126–127.
21. Samanta B., Sarkar B. Availability Modelling of a Dragline System – A Case Study // Journal of the Institution of Engineers (India), Part PR: Production Engineering Division. 2002. Vol. 83. P. 20–26.

Статья поступила в редакцию 13 марта 2020 года

Increasing energy efficiency of walker dragline

Nikolay Maksimovich SUSLOV*,
Stanislav Alekseevich CHERNUKHIN**,
Dmitriy Nikolaevich SUSLOV***

Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

Abstract

Relevance of the work. Reducing the cost of mining in the course of open pit mining has always been considered one of the important tasks in the mining industry; it allows to reduce the cost of the extracted ore. When developing quarries, the most costly work, in which there is no direct mining, is the overburden of waste rocks. The method of stripping operations is one of the most efficient and highly productive, which uses a non-transport technology with a walking dragline excavator. Moving such powerful machines is energy-intensive and affects the efficiency of the machine as a whole, therefore, the modernization of the walking mechanism will increase the energy efficiency of the excavator and ultimately reduce the cost of mining. The most common mechanism for moving such machines is a hydraulically driven three-bearing mechanism. This paper describes the proposed modernization of such a walking mechanism, which makes it possible to get rid of two main disadvantages, namely, the lack of energy recuperation of the lifted machine along the path and the dragging of the base edge against the ground, which creates additional resistance to movement. The installation of hydraulic accumulators in the hydraulic system of the drive of the movement of the machine will allow accumulating the energy of the machine raised above the ground when walking, and the introduction of an additional support shoe into the support base of the machine will get rid of dragging the base. In general, the presented modernization of the mechanism will reduce the energy consumption of moving a dragline excavator with a three-bearing walking mechanism with a hydraulic drive and, ultimately, reduce the cost of mining.

Purpose of the work: to improve the efficiency of the dragline as a whole by increasing the energy efficiency of its movement.

Objectives: consider design changes to reduce the energy cost of moving the dragline.

Results. A variant of adding a support shoe into the walking mechanism is considered, which makes it possible to eliminate the friction of the base against the rock along the path by completely separating the base from the ground. Calculations of energy consumption of mechanisms for different types of draglines with the existing and proposed mechanism are carried out.

Conclusions, application of results. The calculations given in this paper allow us to conclude about the effectiveness of the changes made to the design of the walking mechanism. The proposed mechanism allows you to significantly reduce the cost of moving and get rid of the disadvantages inherent in the existing mechanism.

Keywords: mining machines, stripping works, hydraulic drive, dragline excavator, energy recovery, three-bearing walking mechanism.

Authors do not have any conflict of interest.

REFERENCES

1. Poderni R. Yu. 2015, The world market for the supply of modern mining equipment for open pit mining. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining informational and analytical bulletin], no. 2, pp. 148–167. (In Russ.)
2. Tarazanov I. G. 2018, Results of the work of the coal industry in Russia for January–December 2017. *Ugol'* [Coal], no. 3, (1104), pp. 58–73. (In Russ.) <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2018-3-58-73>
3. Selyukov A. V. 2017, Calculation of the share of non-transport technology in the case of a sinking massive transverse system of opencast mining. *Vestnik Akademii nauk Respubliki Bashkortostan* [The Herald of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan], vol. 25, no. 4 (88), pp. 88–95. (In Russ.)
4. Arhipov A. V. 2011, Bearing capacity of the soils of tailings dams and ash dumps during the development of open-pit mining transport equipment. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining informational and analytical bulletin], no. 2, pp. 150–156. (In Russ.)
5. Zlobina E. V. 2010, Statistical models for determining the operating parameters of walking excavators. *Vestnik KuzGTU* [Bulletin of the Kuzbass State Technical University], no. 5, pp. 90–92. (In Russ.)
6. Zlobina E. V., Pronozha V. G., Tyulenev M. A. 2013, On the issue of choosing a dragline model for the development of promising coal deposits in Kuzbass. *Vestnik KuzGTU* [Bulletin of the Kuzbass State Technical University], no. 6 (100), pp. 41–45. (In Russ.)
7. Krupko I. V. 2012, Mathematical model of the process of moving an excavator with an eccentric walking mechanism. *Avtomobil'nyy transport* [Automobile transport], issue 31, pp. 188–192. (In Russ.)

*gmf.gmk@ursmu.ru

**stas_chernuhin@mail.ru

***<https://orcid.org/0000-0003-3423-6129>

susdmitya@yandex.ru

8. Demirel N., Gölbaşı O. 2016, Preventive Replacement Decisions for Dragline Components Using Reliability Analysis. *Minerals*, vol. 6(2). 51, pp. 1–15. <https://doi.org/10.3390/min6020051>
9. Suslov N. M. 2019, *Ustroystvo dlya peredvizheniya shagayushchikh mashin* [Device for moving walking machines]. Patent RF no. 188401.
10. Chernukhin S. A. 2018, Analysis and development prospects of walking undercarriage for mining machines. *Vestnik Zabaykal'skogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Trans-Baikal State University], no. 9, pp. 29–35. (In Russ.)
11. Win Zo Htei, Pevsner L. D., Temkin, I. O. 2019, The structure of the information system of the walking dragline. *Ugol'* [Coal], no. 1 (1114), pp. 34–36. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-1-34-36>
12. Suslov N. M., Chernukhin S. A. 2018, Improvement of walking mechanisms, increasing the efficiency of their use. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of the Ural State Mining University], no. 3 (51), pp. 108–113. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.21440/2307-2091-2018-3-108-113>
13. Chatterjee S., Dash A., Bandopadhyay S. 2014, Ensemble Support Vector Machine Algorithm for Reliability Estimation of a Mining Machine. *Qual. Reliab. Eng. Int.*, vol. 31, issue 8, pp. 1503–1516. <https://doi.org/10.1002/qre.1686>
14. Uzgören N., Elevli S., Elevli B., Uysal Ö. 2010, Reliability Analysis of Draglines' Mechanical Failures. *Eksploracja i Niezawodność*, vol. 48, pp. 23–28.
15. Komissarov A. P., Suslov N. M. 2000, Hydraulic actuator for equipment is a reserve for increasing the technical level of mining machines. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of the Ural State Mining University], issue 9, pp. 151–154. (In Russ.)
16. Biderman V. L. 1977, *Mekhanika tonkostennykh konstruktsiy* [Mechanics of thin-walled structures]. Statics, 488 p.
17. Gusev M. P., Danilov V. L. 2012, Investigation of the dependence of the useful volume of fluid in a hydraulic accumulator on its operating parameters. *Mashinostroyeniye i komp'yuternyye tekhnologii* [Mechanical engineering and computer technology], no. 1, pp. 34–44. (In Russ.)
18. Zuev Yu. Yu., Zueva E. Yu., Golubev V. I. 2015, Analysis of dynamics of a volumetric hydraulic drive with frequency control when powered by a built-in pneumohydraulic accumulator. *Mashinostroyeniye i komp'yuternyye tekhnologii* [Mechanical engineering and computer technology], no. 3, pp. 15–35. (In Russ.)
19. Popikov P. I., Oboyantsev D. V., Menyailov K. A. 2012, Efficiency of the regenerative drive on forestry machines. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry engineering journal], no. 3, pp. 95–98. (In Russ.)
20. Suslov N. M. 2003, Reduction of dragline downtime by increasing the reliability of the walking mechanism. *Gornyy informatsionno-analiticheskii byulleten'* [Mining informational and analytical bulletin], no. 3, pp. 126–127. (In Russ.)
21. Samanta B., Sarkar B. 2002, Availability Modelling of a Dragline System – A Case Study. *Journal of the Institution of Engineers (India), Part PR: Production Engineering Division*, vol. 83, pp. 20–26.

The article was received on Marth 13, 2020