

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ШАГАЮЩИХ МЕХАНИЗМОВ, ПОВЫШАЮЩЕЕ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Николай Максимович Сулов,
Станислав Алексеевич Чернухин
stas_chernuhin@mail.ru

Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург

Актуальность работы обусловлена необходимостью повышения эффективности работы драглайна в условиях открытых горных работ.

Цель работы: изучение основных аспектов затрат энергии драглайна на перемещение экскаватора и выработка перспективных решений по совершенствованию механизма шага с целью снижения затрат на перемещение машины и в целом повышения эффективности использования драглайнов.

Задачи: детальное изучение цикла шага экскаватора и установление этапов цикла, требующих необходимости совершенствования конструкции.

Результаты. Отмечено, что механизмы передвижения являются важными составляющими конструкции экскаваторов, обеспечивающими технологическое и транспортное перемещение машины и во многом определяющими эффективность ее использования. Существующие конструкции гидравлических шагающих механизмов энергозатратны в связи с необходимостью подъема базы экскаватора на большую высоту для обеспечения шага. Энергия поднятого экскаватора впоследствии теряется. Представлены изменения в действующую конструкцию механизма передвижения, устраняющие указанные недостатки путем внесения в гидросхему сдвоенного гидроцилиндра подъема и гидроаккумуляторов, а также изменение конструктивного положения тяговых гидроцилиндров в совокупности со скользящими опорами. Путем расчета проведено обоснование выбранных решений.

Выводы, применение результатов. Для приведенных типов шагающих экскаваторов предлагаемые изменения позволяют значительно снизить затраты на перемещение, а значит, повысить эффективность работы экскаватора в целом. Это подтверждается приведенными расчетами, таблицами и графиком.

Ключевые слова: горные машины, вскрышные работы, экскаватор, гидропривод, гидроцилиндр, экскаватор-драглайн, рекуперация энергии, механизм шага, трехопорный драглайн, шагающее оборудование, повышение эффективности.

Введение

Открытый способ разработки месторождений, как отмечал академик Н. В. Мельников, стал генеральным направлением современной горной промышленности благодаря широким возможностям. Россия – одна из ведущих стран мира по запасам и добыче минерального сырья. В перспективе развития горнодобывающей отрасли России добычу угля открытым способом планируется довести до 268,2 млн т в 2030 г. Также в планах строительство новых крупных разрезов за счет увеличения среднегодовой производственной мощности разрезов в 1,7 раза [1, 2].

Основным оборудованием при вскрышных работах на карьерах являются мощные экскаваторы-драглайны. Для передвижения таких экскаваторов единственным способом является шагающий ход. А так как работа этих машин происходит на грунтах с низкой несущей способностью, то при выборе шагающего хода необходимо учитывать возможность регулировки параметров шага, а таким требованиям отвечает только шагающий ход с гидроприводом. Самыми распространенными драглайнами с гидроприводом являются трехопорные драглайны. Но и у них в свою очередь существуют недостатки, основные – это подъем базы экскаватора на большую высоту для обеспечения требуемой величины шага и потеря потенциальной энергии поднятой базы. Предлагается использование сдвоенного гидроцилиндра подъема и гидроаккумуляторов в совокупности с применением скользящих опор на опорных башмаках. Схема механизма и его описание приведены на рис. 1 [3–6].

Схема работы гидропривода

Гидропривод работает следующим образом. При опускании опорных башмаков 21 на грунт рабочая жидкость подается от насосной установки 8 через распределитель 12 управления гидроцилиндром (позиция а), гидрозамок 15 в поршневую полость дополнительного гидроцилиндра 3. Поршневая полость подъемного гидроцилиндра заполняется в это время жидкостью, поступающей от аккумулятора 19 низкого давления через крановый распределитель 20. Из штоковой полости дополнительного гидроцилиндра 3 жидкость через гидрозамок 15 распределителя 12 (позиция а), 13 и 11 управления гидроцилиндрами вытесняется на слив. После передачи веса экскаватора на опорные башмаки 21 через скользящие опоры 22 для перехода на индивидуальный привод гидроцилиндров 1 подъема включается автоматический разъединитель 17. Начинается подъем экскаватора. Для этого из аккумулятора 14 высокого давления рабочая жидкость через распределитель 12 (позиция б) управления гидроцилиндрами поступает в поршневую полость подъемного гидроцилиндра 1. В результате силы от давления рабочей жидкости уравниваются весом экскаватора. Дальнейший подъем экскаватора происходит за счет давления рабочей жидкости, поступающей от насосной установки 8 в поршневую полость дополнительного гидроцилиндра 3. При перемещении экскаватора рабочая жидкость от насосной установки 8 через распределитель 13 поступает в штоковую полость вспомогательного гидроцилиндра 2 и перемещает экскаватор, опирающийся на скользящие опоры 22, по масляной прослойке между башмаками и скользящими опорами. При опускании экскаватора рабочая жидкость из поршневой полости подъемного гидроцилиндра через распределитель 11 (положение б) поступает в гидроаккумулятор 14. Из поршневой полости дополнительного гидроцилиндра 3 жидкость через гидрозамок 15, распределители 12 и 13 идет на слив, а в поршневую полость поступает от насосной установки 8 через распределитель 12 (положение б), гидрозамок 15 по трубопроводам 18. При подъеме опорных башмаков 21 рабочая жидкость от насосной установки 8 через распределитель 12 (положение б), гидрозамок 15 поступает в штоковую полость дополнительного гидроцилиндра 3, а из поршневой полости подъемного гидроцилиндра 1 через крановый распределитель 20 поступает в гидроаккумулятор 19 низкого давления. Таким образом, использование аккумуляторов низкого и высокого давления, размещенных в штоках подъемных гидроцилиндров и дополнительных гидроцилиндров,

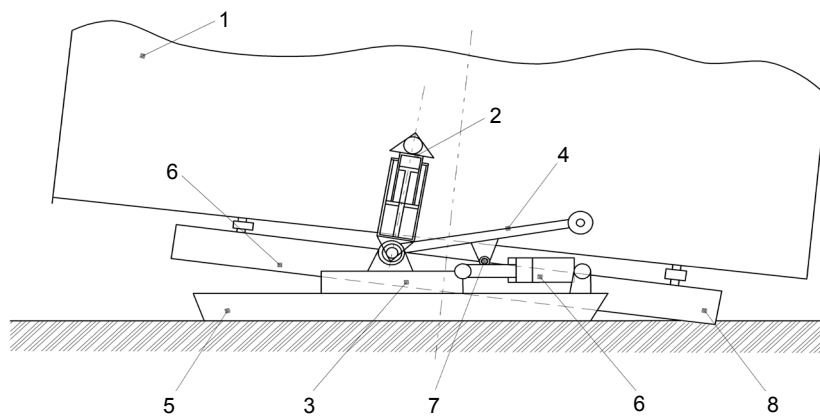


Рисунок 1. Схема механизма шагания трехопорного драглайна. 1 – кузов; 2 – гидроцилиндры подъема; 3 – скользящая опора; 4 – тяга; 5 – опорный башмак; 6 – тяговый гидроцилиндр; 7 – упор; 8 – база.
Figure 1. Scheme of walking mechanism of a three-point dragline.

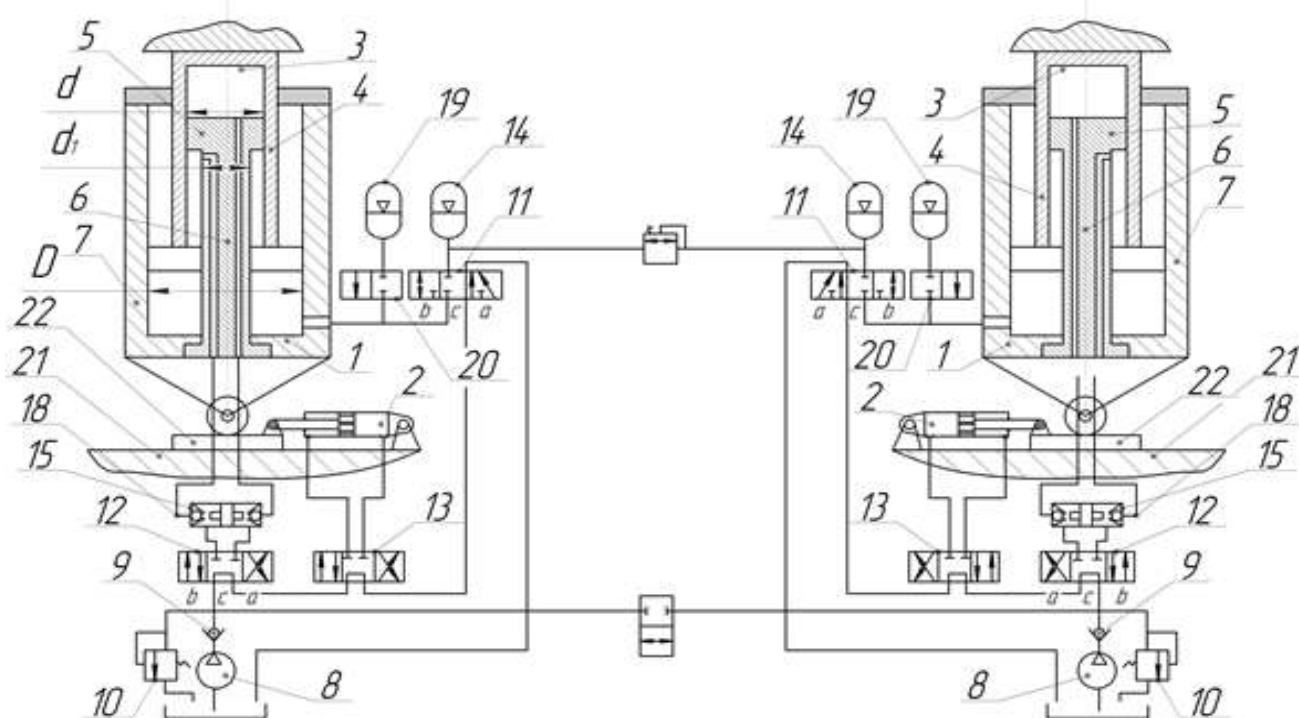


Рисунок 2. Гидравлическая схема механизма шагания с применением сдвоенного цилиндра подъема. 1 – подъемный гидроцилиндр, 2 – вспомогательный гидроцилиндр, 3 – дополнительный гидроцилиндр, 4 – полый шток подъемного гидроцилиндра, 5 – дополнительный поршень, 6 – дополнительный шток, 7 – днище подъемного гидроцилиндра, 8 – насосная установка, 9 – обратный клапан, 10 – разгрузочный клапан, 11–13 – распределители управления гидроцилиндрами, 14 – гидроаккумулятор высокого давления, 15 – гидрозамки, 16 – вентиль, 17 – автоматический разъединитель, 18 – трубопроводы, 19 – гидроаккумулятор низкого давления, 20 – крановый распределитель, 21 – опорные башмаки, 22 – скользящая опора.
Figure 2. Hydraulic scheme of the walking mechanism with the use of a double lifting cylinder.

штоки которых закреплены в днищах подъемных гидроцилиндров, позволяет использовать аккумулируемую энергию при опускании экскаватора для его подъема, снизить установочную мощность приводов насосных установок путем сокращения производительности насосных установок, а также снизить их стоимость и повысить КПД привода за счет полной рекуперации потенциальной энергии [7–9].

Расчеты

Основные затраты энергии привода шагающего ходового механизма заключаются в подъеме экскаватора массой m_3 , кг, и преодолении сил трения базы о грунт во время перемещения экскаватора. Работа, расходуемая на подъем экскаватора, $H \cdot m$,

$$A_1 = Kgm_3h,$$

где K – коэффициент, показывающий, какая часть веса экскаватора ($G = m_3g$, Н) передается на башмаки при шагании, $K = 0,7-0,8$; h – высота подъема центра тяжести экскаватора, м, $h = R - h' - h''$.

Работа, расходуемая на преодоление сил трения базы о породу A_2 , Н · м, определяется из выражен

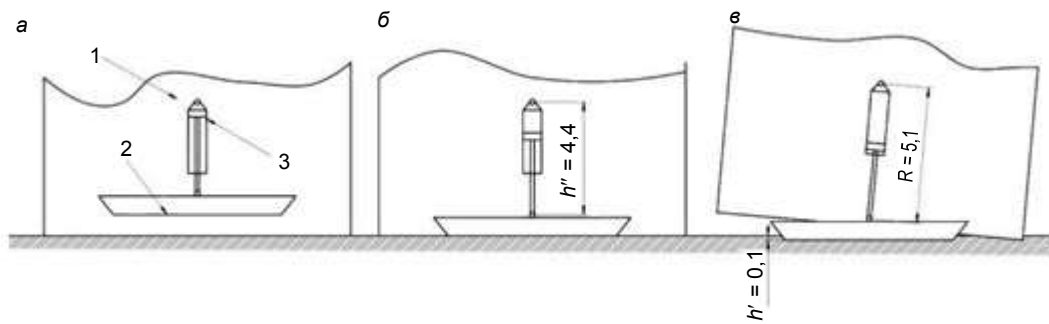


Рисунок 3. Маневровые операции с башмаками при шагании. 1 – база, 2 – опорный башмак, 3 – гидроцилиндр подъема; h' – глубина проседания грунта во время шагания, м; h'' – расстояние во время соприкосновения лыж с грунтом, м; R – расстояние при полном выдвигении штока, м.

Figure 3. Shunting operations with beams with walking.

$$A_2 = (1 - K) g m_3 S \mu_1 + g m_3 S \sin \alpha = g m_3 S [\mu_1 (1 - K) + \sin \alpha],$$

где S – длина шага, м; $\mu_1 = 0,5-1,0$ – коэффициент трения базы о породу; α – угол подъема пути, град. [10, 11].

Если принять продолжительность одного шага T (с), то привод за время, примерно равное $0,25T$, произведет подъем экскаватора и его перемещение, а за время равное $0,5T$, осуществит перенос башмаков.

Мощность N_x , кВт, привода ходовой части определим, как

$$N_x = (A_1 + A_2) / (0,25T\eta) = g m_3 [Kh + S\mu_1(1 - K) + S \sin \alpha] / (0,25T\eta),$$

где $\eta = 0,5-0,7$ – КПД механизма шагания.

Скорость хода v_x , км/ч, шагающих экскаваторов определяется по формуле

$$v_x = 3600 S K'' / T,$$

где $K'' = 0,7-0,9$ – коэффициент, учитывающий проскальзывание башмаков по грунтовому основанию в начале и конце шага, ведущее к уменьшению фактической длины шага [12].

На примере рассмотрим расчет экскаватора ЭШ 15/90 при существующем приводе, данные экскаватора приведены в табл. 1.

$$\begin{aligned} h &= 5,1 - 0,1 - 4,398 = 0,602 \text{ м;} \\ A_1 &= 0,75 \times 9,8 \times 1610 \times 0,602 = 7123,77 \text{ Н} \times \text{м;} \\ A_2 &= 9,8 \times 1610 \times 2 (0,9(1 - 0,75) + \sin 3) = 8726,2 \text{ Н} \times \text{м.} \end{aligned}$$

Аналогично рассчитываем расход энергии для подъема и перемещения драглайна для других типов механизмов и заносим данные в табл. 1.

А теперь проведем расчет этого же драглайна, но уже на предлагаемом приводе. Масса экскаватора m_3 , как и длина S шага, остаются прежними. Высота подъема центра тяжести экскаватора h меняется и становится равной $0,1$ м за счет предлагаемого горизонтального расположения тягового цилиндра так, как показано на рис. 1. В этом случае нам необходимо поднять базу на минимальную высоту для обеспечения шага. Также за счет предлагаемых нововведений коэффициент трения базы о породу становится минимальным и равным $\mu_1 = 0,5$; коэффициент, учитывающий проскальзывание башмаков по грунту, полностью исключается, а коэффициент, характеризующий, какая часть веса экскаватора передается на башмаки, будет равен $K = 0,9$ [13, 14]:

$$\begin{aligned} A_1 &= 0,9 \times 9,8 \times 1610 \times 0,1 = 1420,02 \text{ Н} \times \text{м;} \\ A_2 &= 9,8 \times 1610 \times 2 (0,5(1 - 0,9) + \sin 3) = 8726,2 \text{ Н} \times \text{м.} \end{aligned}$$

Таблица 1. Сравнение расхода энергии для первого шага разных драглайнов.

Table 1. Comparison of energy consumption for the first pitch of different draglines.

Тип механизма	Масса, т	Длина шага, м	Существующий привод				Предлагаемый привод			Экономия энергии после предложенных изменений, %
			Высота подъема центра тяжести экскаватора, м	Расход энергии, Н × м		Высота подъема центра тяжести экскаватора, м	Расход энергии, Н × м			
				Подъем машины	Перемещение машины		Подъем машины	Перемещение машины		
ЭШ-10/70	688	0,83	0,260	1314,77	1547,52	0,1	564,16	571,04	60,3	
ЭШ-14/75	1580	1,9	0,587	6816,83	8135,42	0,1	1393,56	3002	70,6	
ЭШ-15/90А	1610	2	0,602	7123,77	8726,2	0,1	1420	3220	70,7	
ЭШ-25/100	2500	2,5	0,925	16996,88	16937,5	0,1	2205	6250	75,1	

По аналогии рассчитываем расход энергии для других типов механизмов и заносим данные в табл. 1.

При использовании гидроаккумуляторов, КПД которых составляет 70 %, мы аккумулируем потенциальную энергию поднятого экскаватора для использования ее в последующих подъемах для обеспечения шага. При таких возможностях для второго и последующих подъемов базы экскаватора нам потребуется только 30 % от затрачиваемой энергии на 1-й подъем. Расчет энергии на второй A'_1 подъем [10, 15, 16]:

$$A'_1 = 0,3A_1.$$

Затрата энергии на второй и все последующие шаги:

$$A = A'_1 + A_2.$$

Для экскаватора ЭШ-15/90А:

$$A = A'_1 + A_2.$$

$$A'_1 = 14\,207 \cdot 0,3 = 426 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$A = 426 + 3200 = 4652 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Аналогично рассчитывается расход для других типов.

Обычно драглайн передвигается между очередными стоянками на 1/5 длины стрелы. Исходя из таких соображений, составим табл. 2 среднего расхода энергии на перемещение между рабочими местами драглайна [17,18].

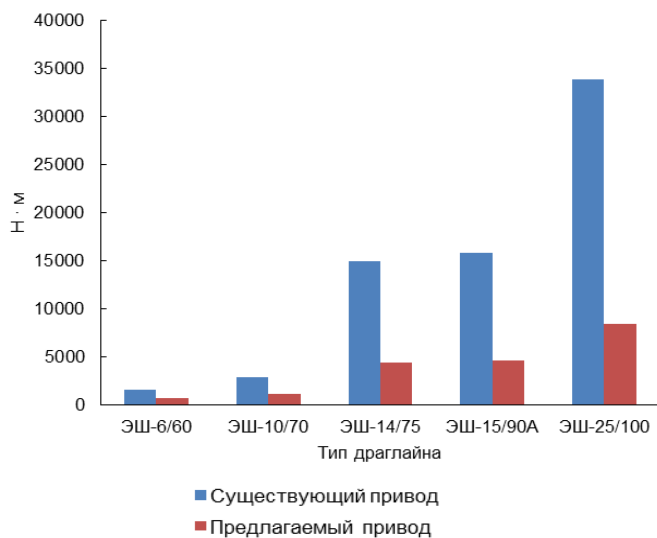


Рисунок 4. Диаграмма соотношения затрачиваемой энергии на первый шаг у различных экскаваторов-драглайнов.
Figure 4. The diagram of the ratio of the energy expended to the first pitch for various dragline excavators.

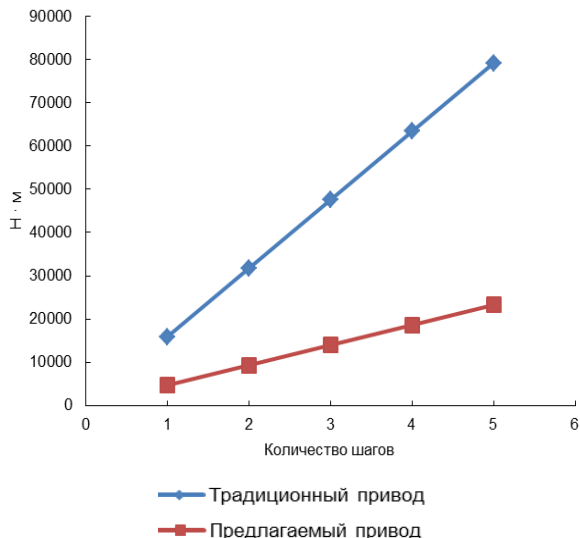


Рисунок 5. График зависимости энергозатрат от количества шагов для драглайна ЭШ-15/90.
Figure 5. The graph of energy consumption versus the number of pitches for the ES-15/90 dragline.

Таблица 2. Расход энергии на перемещение драглайна на среднее расстояние между стоянками.
Table 2. The energy consumption for moving the dragline in the average distance between the parking lots.

Тип драглайна	Среднее расстояние, преодолевается между стоянками, м	Затрата энергии при существующем приводе	Затрата энергии при предлагаемом приводе	Экономия, %
ЭШ-10/70	14	40 072,06	7797,792	80,5
ЭШ-14/75	15	224 283,75	35 176,170	84,3
ЭШ-15/90А	18	285 299,46	37 454,000	86,9
ЭШ-25/100	20	678 687,60	70 658,500	89,6

Заключение

Проведенные исследования подтверждают значительное повышение эффективности работы механизма шагания и драглайна в целом за счет использования предлагаемой схемы ходового оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

- Касьянов П. А. Повышение эффективности шагающих драглайнов на основе увеличения ресурса базовых деталей и узлов // ГИАБ. 1999. № 8. С. 175–176.
- Герике Б. Л., Герике П. Б. Диагностика технического состояния преобразовательных агрегатов экскаваторов типа драглайн // Вестник КузГТУ. 2014. № 4(104). С. 16–19.
- Исаев Ю. М., Матросов А. В. Снижение пиковых мощностей гидроприводов механизма шагания робота // Неделя науки СПбГПУ: материалы науч.-практ. конф. с международным участием (Санкт-Петербург, 2–7 дек. 2013 г.). СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. С. 50–51.

4. Трубецкой К. Н., Киселев Н. Н., Домбровский А. Н., Сеинов Н. П., Сидоренко И. А., Шендеров А. И. Погрузочный экскаватор-драглайн: пат. 2186178. Рос. Федерация. Заявл. 13.11.00; опубл. 27.07.02. Кл. Е 02 F3/60.
5. А. с. 1121366 Рос. Федерация, МКИ⁹ Е 02 F 9/22. Гидропривод ходового оборудования шагающего экскаватора / В. Р. Кубачек, П. А. Касьянов, Н. М. Суслов, В. С. Шестаков (СССР). 1979.
6. Братченко А. И. Модернизация механизма шагания экскаваторов типа ЭШ 15/90 и ЭШ 20/90 // ГИАБ. 2015. № S45-2. С. 74–78.
7. Суслов Н. М., Чернухин С. А. Гидравлический привод механизма шагания с гидроаккумуляторами // Горное оборудование и электромеханика. 2018. № 1. С. 3–7.
8. Чернышев В. В., Арыканцев В. В., Гаврилов А. Е. Управление движением подводных шагающих аппаратов, передвигающихся по дну // Изв. ЮФУ. Технические науки. 2016. № 1 (174). С. 141–155.
9. Bruce T. J. Dragline Maintenance Engineering: dissertation submitted / University of Southern Queensland, Faculty of Engineering and Surveying. 2007. P. 71.
10. Лагунова Ю. А., Калянов А. Е. Применение гидропневмоаккумуляторов в горных машинах // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2013. № 12. С. 39–48.
11. Washimkar P. V., Deshpande V. S. Empirical Determination of Reliability of Dragline System by Application of NHP Model // International Journal of Engineering Research and Industrial Application. 2009. Vol. 2, № IV. P. 67–86.
12. Вершинина И. П., Колесов А. М., Малолетов А. В. Определение области допустимых положений движителей, обеспечивающих статическую устойчивость шагающей машины // Изв. ВолгГТУ. 2015. № 2 (157). С. 172–175.
13. Спицын Е. Б., Димов А. В. Гидропривод механизма шагания экскаватора: пат. 152936 Рос. Федерация. Кл. Е 02 F9/00. 2015.
14. Лагунова Ю. А., Вяткин А. В., Ищенко Б. М. Опыт эксплуатации опорной базы шагающих драглайнов // Горное оборудование и электромеханика. 2013. № 1. С. 7–10.
15. Washimkar P. V., Deshpande V. S., Modak J. P., Mrs. Nasery A. V. Formulation of Preventive Maintenance Schedule for Dragline System // IACSIT International Journal of Engineering and Technology. 2011. Vol. 3, № 4, August. P. 396–399.
16. Nuray Demirel, Onur Gölbaşı. Preventive Replacement Decisions for Dragline Components Using Reliability Analysis // Minerals. 2016. Vol. 6, 51. P. 1–15.
17. Галинина О. И. Горное оборудование ПАО «Уралмашзавод» для отечественных заказчиков // Уголь. № 7. С. 18–23.
18. Груздев А. В., Сандригайло И. Н. МК «УРАЛМАШ»: шагающие драглайны // Горная промышленность. 2008. № 5(81). С. 6–8.

Статья поступила в редакцию 4 марта 2018 г.

DEVELOPMENT OF LEGGED LOCOMOTION MACHINE TO INCREASE THE EFFICIENCY OF THEIR USE

Nikolay Maksimovich Suslov,
Stanislav Alekseevich Chernukhin
stas_chernuhin@mail.ru

Ural State Mining University
Ekaterinburg, Russia

Relevance of the work is caused by the need to improve the efficiency of drag-line excavator work in conditions of open mining.

Purpose of the work: study of the main aspects of energy consumption of a drag-line excavator to its movement, as well as develop promising solutions to improve the walking mechanism in order to reduce the cost of moving the machine and, in general, improve the efficiency of using drag-lines.

Methodology: a detailed study of the cycle of the excavator walking and the establishment of the stages of the cycle, which require the need to improve the design.

Results: mechanisms of movement are important components of the construction of excavators, providing technological and transport movement of the machine and largely determine the effectiveness of its use. The existing designs of hydraulic walking machines are energy-intensive in connection with the need to raise the excavator base to a large height to provide a pitch. The energy of the lifted excavator is subsequently lost. The changes in the current design of the movement mechanism are shown; they eliminate the shortcomings with the help of a hydraulic lift cylinder and hydraulic accumulators in the hydraulic circuit; also there is a change in position of the tractive cylinder actuators in combination with sliding base. The justification of the selected solutions was carried out by calculation.

Conclusions: for these types of walking excavators, the proposed changes can significantly reduce the cost of moving, and therefore increase the efficiency of the excavator as a whole. This is confirmed by the above calculations, tables, and graph.

Keywords: mining machines, overburden operations, excavator, hydraulic drive, hydraulic cylinder, drag-line excavator, energy recovery, walking mechanism, three-point drag-line, walking equipment, increasing efficiency.

REFERENCES

1. Kasyanov P. A. 1999, *Povysheniye effektivnosti shagayushchikh draglaynov na osnovne uvelicheniya resursa bazovykh detaley i uzlov* [Increasing the efficiency of walking draglines on the basis of increasing the resource of basic parts and assemblies]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten* [Mining informational and analytical bulletin], no. 8, pp. 175–176.
2. Gerike B. L., Gerike P. B. 2014, *Diagnostika tekhnicheskogo sostoyaniya preobrazovatel'nykh agregatov ekskavatorov tipa draglayn* [Preliminary treatment of the technical condition of the converter aggregates of dragline-type excavators]. *Vestnik KuzGTU* [Vestnik of Kuzbass State Technical University], no. 4 (104), pp. 16–19.
3. Isaev Yu. M., Matrosov A. V. 2014, *Snizheniye pikovykh moshchnostey gidroprivodov mekhanizma shaganiya robota* [Decrease in peak power of hydraulic drives of the robot walking mechanism]. Science Week of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University: materials of scientific and practical conference with international participation (St. Petersburg, 2–7 December 2013). Saint-Petersburg: Published by Polytechnic University, pp. 50–51.
4. 2002, Trubetskoy K. N., Kiselev N. N., Dombrovsky A. N., Seinov N. P., Sidorenko I. A., Shenderov A. I. Loading dragline excavator: Patent RF no. 2186178.
5. 1979, Kubachek V. R., Kasyanov P. A., Suslov N. M., Shestakov V. S. *Gidroprivod khodovogo oborudovaniya shagayushchego ekskavatora* [Hydraulic drive of equipment of a walking excavator]: Inventors certificate RF no. 1121366.
6. Bratchenko A. I. 2015, *Modernizatsiya mekhanizma shaganiya ekskavatorov tipa ESH 15/90 i ESH 20/90* [Modernization of the walking mechanism of excavators of the type ESH 15/90 and ESH] 20/90. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten* [Mining informational and analytical bulletin], no. S45-2, pp. 74–78.
7. Suslov N. M., Chernukhin S. A. 2018, *Gidravlicheskiy privod mekhanizma shaganiya s gidroakkumulyatorami* [Hydraulic drive of the walking mechanism with accumulators]. *Gornoye oborudovaniye i elektromekhanika* [Mining equipment and electromechanics], no. 1, pp. 3–7.
8. Chernyshev V. V., Arykantsev V. V., Gavrilov A. E. 2016, *Upravleniye dvizheniyem podvodnykh shagayushchikh apparatov, peredvigayushchikhsya po dnu* [Control of the motion of underwater walking devices moving along the bottom]. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Proceedings of Southern Federal University, Technical science], no. 1 (174), pp. 141–155.
9. Bruce T. J. 2007, *Dragline Maintenance Engineering*: dissertation submitted. University of Southern Queensland, Faculty of Engineering and Surveying, p. 71.
10. Lagunova Yu. A., Kalyanov A. E. 2013, *Primeneniye gidropnevmoakkumulyatorov v gornykh mashinakh* [Application of hydropneumatic accumulators in mining machines]. *Sbornik v mashinostroyeniye, priborostroyeniye* [Assembling in mechanical engineering, instrument making], no. 12, pp. 39–48.
11. Washimkar P. V., Deshpande V. S. 2009, Empirical Determination of Reliability of Dragline System by Application of NHP Model. *International Journal of Engineering Research and Industrial Application*, vol. 2, no. IV, pp. 67–86.
12. Vershinina I. P., Kolesov A. M., Maloletov A. V. 2015, *Opredeleniye oblasti dopustimyykh polozheniy dvizhiteley, obespechivayushchikh staticheskuyu ustoychivost' shagayushchey mashiny* [Determination of the range of permissible positions of propellers providing static stability of a walking machine]. *Izvestiya VolgGTU* [News of Volgograd State Technical University], no. 2(157), pp. 172–175.
13. Spitsyn E. B., Dimov A. V. 2015, *Gidroprivod mekhanizma shaganiya ekskavatora* [Hydraulic drive mechanism of the walking excavator]: Patent RF no. 152936.
14. Lagunova Yu. A., Vyatkin A. V., Ishchenko B. M. 2013, *Opyt ekspluatatsii oporno-y bazy shagayushchikh draglayno.v* [Experience of exploitation of the supporting base of walking draglines]. *Gornoye oborudovaniye i elektromekhanika* [Mining equipment and electromechanics], no. 1, pp. 7–10.
15. Washimkar P. V., Deshpande V. S., Modak J. P., Mrs. Nasery A. V. 2011, Formulation of the Preventive Maintenance Schedule for the Dragline System. *IACSIT International Journal of Engineering and Technology*, vol. 3, no. 4, August, pp. 396–399.
16. Nuray Demirel, Onur Gölbaşı. 2016, Preventive Replacement Decisions for Dragline Components Using Reliability Analysis. *Minerals*, vol. 6, 51, pp. 1–15.
17. Galinina O. I. *Gornoye oborudovaniye PAO «Uralmashzavod» dlya otechestvennykh zakazchikov* [Mining equipment of PAO Uralmashzavod for domestic customers]. *Ugol'* [Ugol], no. 7, pp. 18–23.
18. Gruzdev A. V., Sandrigailo I. N. 2008, MK URALMASH: walking draglines. *Gornaya promyshlennost'* [Mining industry journal], no. 5 (81), pp. 6–8.

The article was received on March 4, 2018