

УДК 622.232
DOI: 10.21209/2227-9245-2018-24-9-29-35

АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ШАГАЮЩЕГО ХОДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ГОРНЫХ МАШИН

ANALYSIS AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF STEPPING EQUIPMENT FOR MINING MACHINES

*С. А. Чернухин, Уральский государственный горный университет,
г. Екатеринбург
stas_chernuhin@mail.ru*

S. Chernukhin, Ural State Mining University, Yekaterinburg



Отмечено, что современные условия рыночной экономики требуют постоянного совершенствования предлагаемого товара для успешной конкуренции. Однако российский рынок больших одноковшовых экскаваторов-драглайнов находится не в лучшем состоянии, так как для конкурентоспособности с зарубежными фирмами требуются постоянные доработки в существующих конструкциях шагающих драглайнов, в частности, механизм передвижения, так как он является одной из основополагающих частей машины. Дан анализ существующего ходового оборудования всех типов механизмов шагания: трехопорный, четырехопорный и многоопорный. Отмечены положительные и отрицательные стороны всех типов в механизме. Приведено сравнение механического привода шагания и гидравлического. Рассмотрено одно из возможных перспективных направлений в развитии для трехопорного гидравлического механизма шагания

Ключевые слова: драглайн; шагающее оборудование; гидропривод; открытая разработка; механизм передвижения; трехопорный механизм; механический привод; шагающий экскаватор; перспективные направления; анализ

Modern conditions of market economy require constant improvement of the offered goods, for successful competition. But the Russian market of large single-bucket excavators-draglines is not in the best condition to date, as for the competitiveness with foreign firms, permanent improvements are required in the existing designs of walking draglines, in particular the movement mechanism, since it is one of the fundamental parts of the machine. In view of this, an analysis has been made of the existing running equipment of all types of pacing mechanisms: three-bearing, four-bearing and multi-bearing. Positive and negative aspects of all types in the mechanism are noted. A mechanical drive of walking and hydraulic is also compared. One of the possible prospective directions in development for a three-bearing hydraulic pacing mechanism is considered

Key words: dragline; walking equipment; hydraulic drive; open development; movement mechanism; three-bearing mechanism; mechanical drive; walking excavator; promising areas; analysis

Введение. В XXI в. горнодобывающая промышленность является ведущей отраслью производства как в нашей стране, так и во всем мире. Большая часть разработок полезных ископаемых ведется от-крытым способом. Благодаря открытой разработке месторождений, добывается 65 % от общего объема мирового сырья, как рудного, так и не рудного происхождения, а также 35 % топлива твердого типа.

Около 90 % бурых и 20...30 % каменных углей также извлекаются в разрезах, 75 % железных руд и порядка 80 % руд цветных металлов, 90 % других ископаемых и строительных материалов. В России до 93 % руд как черных, так и цветных металлов, 66 % угля и практически 100 % строительных материалов получают в карьерах [1].

Методы и методология исследования. Основным технологическим оборудованием на открытых горных работах являются шагающие драглайны. Рабочее место драглайна – забой – не является стационарным, машина перемещается по мере продвижения работ, поэтому является самоходной. Рабочий вес драглайна может достигать более 120 000 кН, поэтому од-

ним из важных аспектов в проектировании этих самоходных машин является механизм передвижения. Аналогичный вопрос возникает при создании отвалообразователей, роторных комплексов, конвейерных перегружателей, транспортно-отвальных мостов. Так как работы этих машин в основном проводятся на грунтах с низкой несущей способностью, то механизмы передвижения с малыми опорными поверхностями (гусеничный ход или пневмоколесный) не пригодны для использования. Поэтому единственным выходом является применение оборудования с шагающим ходом. Пример несущей способности грунтов представлен в табл. 1 [8].

Таблица 1 / Table 1

Несущая способность грунтов карьеров / Bearing capacity of quarry soils

Тип грунта / Type of soil	Влажность, % / Humidity, %	Первая предельная нагрузка / First breaking load $P'_{пред}, \text{кН}/\text{м}^2$	Вторая предельная нагрузка / Second breaking load $P'_{пред}, \text{кН}/\text{м}^2$	$\frac{P''_{пред}}{P'_{пред}}$
Глины (отвал) / Clay (blade)	24	184,43	372,78	2,01
Глины (целик) / Clays (crescent)	22	302,15	588,60	1,95
Суглинки, супеси (отвал) / Loam, sandy loam (blade)	23	179,52	343,35	1,85
Суглинки, супеси (целик) / Loams, sandy loam (celix)	23	220,73	421,83	1,91

Шагающее горнотранспортное оборудование состоит из двух самостоятельных систем опорных поверхностей – базы (опорной рамы) и опорных башмаков. При работе машины база является основной опорной поверхностью и представляет собой круглую плиту, диаметр которой может составлять 27 м (ЭШ-100.100). Таким образом, можно сделать вывод, что максимальное удельное давление на грунт во время работы драглайна может составлять $216 \text{ кН}/\text{м}^2$. Примеры удельного давления на

грунт различными драглайнами представлены в табл. 2.

Достоинствами шагающего хода является простота и надежность в эксплуатации (нет таких сложных составляющих элементов, как гусеничная цепь), высокая маневренность, достигаемая благодаря возможности поворота опорных башмаков вокруг базы на 360°. Все это способствует повышению эффективности работы экскаватора [7].

Таблица 2 / Table 2

Основные параметры шагающего оборудования драглайнов /
Basic parameters of walking dragline equipment

Тип машины / Type of machine	Тип привода шагающего оборудования / Type of drive walking equipment	Масса, т / Weight, t	Длина шага, м / Step length, m	Скорость передвижения, км/ч / Travel speed, km / h	Среднее давление на грунт, кН/м ² / Average ground pressure, кН/м ²	
					при передвижении / when traveling	при работе / at work
ЭШ-4/40	Механический / Mechanical		1,9	0,47	103	42
ЭШ-4/40М			1,5	0,45	98	39
ЭШ-5/45	Гидравлический / Hydraulic	250	1,5	0,45	98	39
ЭШ-6/60		520			103	72
ЭШ-10/60		620			118	81
ЭШ-10/70		688	1,81	0,2	124	88
ЭШ-10/70А						
ЭШ-14/75			До 2,0	0,06	137	
ЭШ-15/90		1620				
ЭШ-15/90А		1610	До 2,3			
ЭШ-25/100		2500			147	98

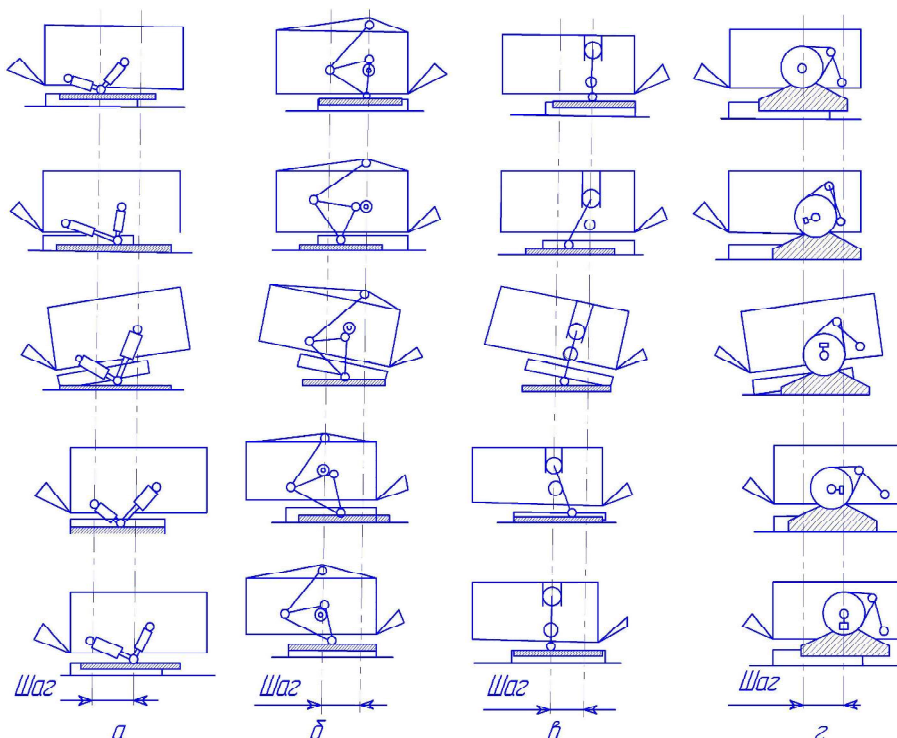


Рис. 1. Схемы техопорных механизмов шагания горнотранспортных машин: а – гидравлический УЗТМ; б – кривошипно-шарнирный с треугольной рамой; в – кривошипно-шарнирный крестоподный; г – эксцентриковый с задней серьгой / Fig. 1. Schemes of the control mechanisms of mining vehicles walking: а – hydraulic UZTM; б – crank-hinged with a triangular frame; в – crank-hinged crosshead; г – eccentric with rear earring

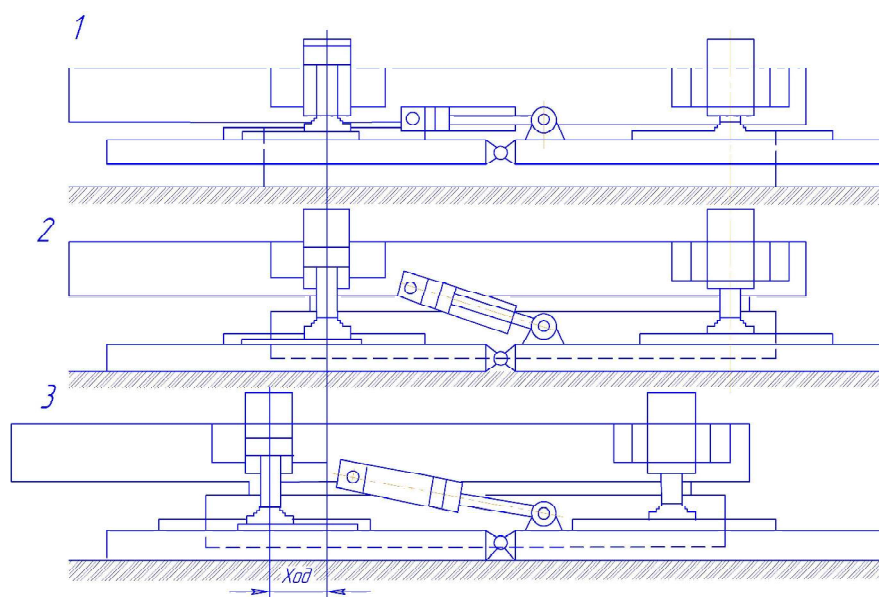


Рис. 2. Схема четырехопорного механизма шагания драглайна ЭШ-100.100 с гидроприводом /
Fig. 2. Scheme of the four-legged dragging mechanism ESh-100.100 with hydraulic drive

Шагающее оборудование можно разделить на две большие группы, различающиеся по типу привода: с гидравлическим приводом (рис. 1а, 2) и механическим (рис. 1б, в, з).

Механизмы с механическим типом привода можно разделить на трехопорные и четырехопорные. У гидравлического привода есть три типа механизма: трехопорный (рис. 1а), четырехопорный (рис. 2) и многоопорный.

У механического привода имеется ряд недостатков: большое давление на зубья в зубчатой передаче при шагании; передачи являются открытыми, тем самым они подвержены влиянию внешних негативных факторов (влага, пыль и т. п.); невозможность регулировки шага [2]. Однако механизм обладает высокой скоростью передвижения (табл. 2) [9].

Одним из главных преимуществ гидропривода перед механическим является возможность регулировки шага экскаватора, что особенно важно при движении по грунтам с низкой несущей способностью.

Рассмотрим недостатки трехопорного, четырехопорного и многоопорного механизмов. Четырехопорный и многоопорный

механизмы (применяются для машин массой более 10 000 т, таких как ЭШ-100.100, 4250-W) [2; 4] с гидравлическим приводом имеют достаточно сложную конструкцию и затрудненность синхронизации работы гидроцилиндров, так как опорами являются четыре или несколько опорных башмаков, у каждого из которых имеется по два гидроцилиндра (подъемный и тяговый) и база, что снижает надежность механизма. Положительными чертами четырехопорного гидравлического механизма является то, что при перемещении экскаватора силы тяжести равномерно распределяются на все опоры и обеспечение горизонтального положения базы не зависит от рельефа грунта [6].

Трехопорные механизмы шагания как с механическим приводом, так и с гидроприводом имеют ряд одинаковых недостатков: нагружение кромки базы при шагании и образование призмы волочения, т. е. дополнительное сопротивление движению.

У трехопорных механизмов шагания с механическим приводом в начале шага на опорные башмаки приходится в 1,27...1,35 раза весовой нагрузки меньше, чем в конце шага, а при движении на

подъем часть весовой нагрузки на башмаки уменьшается в 1,33...1,42 раза, чем во время движения по горизонтальной поверхности, что является существенным недостатком механизма [8]. Поэтому целесообразно применять такой механизм при небольших массах машин (до 1 000 т), что позволяет за счет применения сквозного поперечного вала синхронизировать работу левой и правой сторон механизма, тем самым обеспечивая стабильную траекторию движения центра масс машины [3].

В трехопорном механизме с гидравлическим приводом опорами являются два башмака и база, механизм передвижения имеет два тяговых и два подъемных гидро-

цилиндра. Основной недостаток механизма – потеря энергии поднятого экскаватора при шагании, которая составляет определяющую часть (до 80 %) всей затраченной энергии на шагание.

Таким образом, у гидропривода имеется возможность регулировки скорости передвижения экскаватора и величины подъема базы при шагании, что весьма важно при работе на грунтах с разной несущей способностью. Кроме того, масса шагающего механизма на гидроприводе значительно меньше массы того же шагающего хода на механическом приводе. Следовательно, перспективы развития шагающего оборудования за гидроприводом [5].

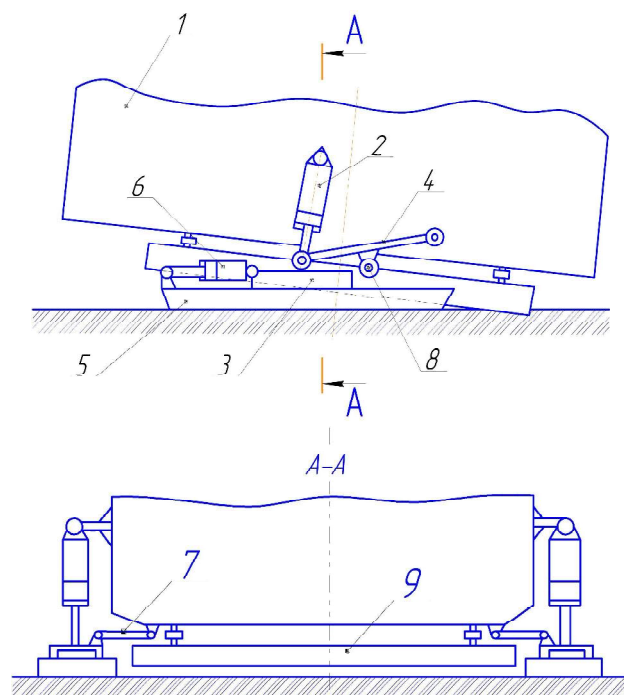


Рис. 3. Схема трехопорного механизма шагания с неполным отрывом базы при шагании с гидростатическими опорами: 1 – кузов; 2 – гидроцилиндры подъема; 3 – скользящая опора; 4 – тяга; 5 – опорный башмак; 6 – тяговый гидроцилиндр; 7 – тяга; 8 – упор; 9 – база /

Fig. 3. Scheme of a three-support pacing mechanism with incomplete base separation when striking with hydrostatic supports: 1 – body; 2 – lifting cylinders; 3 – sliding support; 4 – draft; 5 – supporting shoe; 6 – traction hydraulic cylinder; 7 – draft; 8 – horn; 9 – base

Предлагается новое техническое решение трехопорного гидравлического привода (рис. 3). Такой механизм шагания работает следующим образом. При выдвигении штоков подъемных силовых цилиндров передняя по ходу движения кромка опорной

части отрывается от грунта. Включаются на втягивание тяговые силовые цилиндры, и корпус перемещается относительно опорных башмаков. При этом усилия с тяговых силовых цилиндров передаются на опорные плиты и корпус через продольные тяги.

Штоки подъемных силовых цилиндров втягиваются, передняя по ходу движения кромка опорных башмаков отрывается от грунта, включаются на выдвигание тяговые силовые цилиндры. При этом опорные башмаки перемещаются в положение следующего шага. По окончании перемещения штоки подъемных силовых цилиндров втягиваются до соприкосновения опорных башмаков с упорами, и опорные башмаки занимают горизонтальное положение. Одновременно с поворотом поперечных тяг при подъеме опорных башмаков они подтягиваются к корпусу и удерживаются в таком положении при повороте машины [10].

Заключение. Представленный механизм шагания позволяет избавиться от основных недостатков шагающего хода трехопорных драглайнов, т. е. не будет образовываться призма волочения, для подъема базы и передвижения затрата энергии будет минимальна, появится возможность регулировки величины шага и скорости передвижения. Это достигается за счет того, что при шагании отрыв передней (по ходу движения) кромки опорной части от грунта минимален и необходим лишь для обеспечения отсутствия касания с грунтом. Однако для обоснования теории необходимо провести силовой и кинематический анализ.

Список литературы

1. Глинина О. И. Горное оборудование ПАО «Уралманшзавод» для отечественных заказчиков // Уголь. 2016. № 7. С. 18–23.
2. Груздев А. В., Сандригайло И. Н. Шагающие драглайны // Горная промышленность. 2008. № 5. С. 6–8.
3. Груздев А. В., Бойко Г. Х. Шагающие экскаваторы-драглайны производства корпорации ОМЗ // Горная промышленность. 2003. № 3. С. 16–20.
4. Суслов Н. М. Направления повышения эффективности шагания экскаватора-драглайна // Горное оборудование и электромеханика. 2017. № 2. С. 3–6.
5. Суслов Н. М. Разработка перспективных схем механизмов шагания экскаваторов с гидроприводом // Горное оборудование и электромеханика. 2012. № 5. С. 26–30.
6. Bülent E., İhsan Ö., Zekeriya D. Synchronizing a triple dragline stripping system in thick overburden // De gruyter open. 2017. No. 2. P. 26–39.
7. Nuray Demirel, Onur Gölbaşı. Preventive replacement decisions for dragline components using reliability analysis // Minerals. 2016. No. 6.
8. Rahimdel M. J., Ataci M., Khalokakaei R., Hoseinie S. H. Reliability-Based maintenance scheduling of hydraulic system of rotary drilling machines // Int. J. Min. Sci. Technol. 2013. Vol. 23. P. 771–775.
9. Washimkar P. V., Deshpande V. S., Modak J. P., Mrs. A. V. Nasery. Formulation of preventive maintenance schedule for dragline system IACSIT // International Journal of Engineering and Technology. 2011. Vol. 3. P. 396–399.
10. Washimkar P. V., Deshpande V. S. Empirical determination of reliability of dragline system by application of NIIP model // International Journal of Engineering Research and Industrial Application. 2009. Vol. 2. P. 67–86.

References

1. Glinina O. I. *Ugol* (Coal), 2016, no. 7, pp. 18–23.
2. Gruzdev A. V., Sandrigailo I. N. *Gornaya promyshlennost* (Mining), 2008, no. 5, pp. 6–8.
3. Gruzdev A. V., Boyko G. Kh. *Gornaya promyshlennost* (Mining), 2003, no. 3, pp. 16–20.
4. Suslov N. M. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika* (Mining equipment and electrical engineering), 2017, no. 2, pp. 3–6.
5. Suslov N. M. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika* (Mining equipment and electrical engineering), 2012, no. 5, pp. 26–30.
6. Bülent E., İhsan Ö., Zekeriya D. *De gruyter open* (De gruyter open), 2017, no. 2, pp. 26–39.
7. Nuray Demirel, Onur Gölbaşı. *Minerals* (Minerals), 2016, no. 6.
8. Rahimdel M. J., Ataci M., Khalokakaei R., Hoseinie S. H. *Int. J. Min. Sci. Technol* (Int. J. Min. Sci. Technol), 2013, vol. 23, pp. 771–775.

9. Washimkar P. V., Deshpande V. S., Modak J. P., Mrs. A. V. Nasery. *International Journal of Engineering and Technology* (International Journal of Engineering and Technology), 2011, vol. 3, pp. 396–399.

10. Washimkar P. V., Deshpande V. S. *International Journal of Engineering Research and Industrial Application* (International Journal of Engineering Research and Industrial Application), 2009, vol. 2, pp. 67–86.

Коротко об авторе

Briefly about the author

Чернухин Станислав Алексеевич, аспирант, Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия. Область научных интересов: развитие отрасли горных машин, экскаваторов и шагающих драглайнов, модернизация гидравлического шагающего оборудования
stas_chernuhin@mail.ru

Stanislav Chernukhin, postgraduate, Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia. Sphere of scientific interests: development of mining machines, excavators and walking draglines, modernization of hydraulic walking equipment

Образец цитирования

Чернухин С. А. Анализ и перспективы развития шагающего ходового оборудования горных машин // Вестн. Забайкал. гос. ун-та. 2018. Т. 24. № 9. С. 29–35. DOI: 10.21209/2227-9245-2018-24-9-29-35.

Chernukhin S. Analysis and prospects for the development of stepping equipment for mining machines // Transbaikal State University Journal, 2018, vol. 24, no. 9, pp. 29–35. DOI: 10.21209/2227-9245-2018-24-9-29-35.

Статья поступила в редакцию: 14.05.2018 г.
Статья принята к публикации: 06.11.2018 г.

