

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ (ПОДЗЕМНАЯ, ОТКРЫТАЯ И СТРОИТЕЛЬНАЯ)

DOI: 10.26730/1999-4125-2019-4-84-89

УДК 622.271.4

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕСТРАНСПОРТНОЙ ЗОНЫ СМЕШАННОЙ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ ПОЛОГОГО ПЛАСТА НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАЗРЕЗОВ

SUBSTANTIATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE NON-TRANSPORT ZONE OF THE COMBINED MINING METHOD OF THE COAL SEAM AT THE STAGE OF OPEN PIT DESIGNING

Сысоев Андрей Александрович,
доктор техн. наук, профессор, e-mail: ia_sys@mail.ru
Andrei A. Sysoev, Dr. Sc. in Engineering, Professor
Злобина Елена Владимировна,
кандидат техн. наук, e-mail: fedjanina@list.ru
Elena V. Zlobina, C. Sc. in Engineering
Сысоев Иван Андреевич,
студент, e-mail: vanya.saw2@gmail.com
Ivan A. Sysoev, student

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия,
г. Кемерово, ул. Весенняя, 28
T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennyaya St., Kemerovo, 650000, Russian
Federation

Аннотация:

Отечественная промышленность имеет возможность выпускать различные модели шагающих экскаваторов-драглайнов в широком диапазоне производительности, рабочих параметров и рабочей массы. Поэтому в практике проектирования разрезов актуален вопрос выбора модели шагающего драглайна в зависимости от горно-геологических условий карьерного поля, разрабатываемого по смешанной системе.

В работе обосновывается методика выбора модели драглайна на стадии проектирования разреза, который обеспечивает максимальную эффективность разработки бестранспортной зоны при существующих условиях залегания пласта. Рекомендации основаны на результатах многовариантных расчетов технологических показателей схем экскавации при различных условиях залегания пласта с применением различных модификаций драглайнов, соответствующих модельному ряду.

Заданная скорость подвигания фронта горных работ может быть обеспечена различными комбинациями емкости ковша и длины стрелы экскаватора-драглайна, конкретные значения которых при имеющихся горно-геологических условиях залегания пласта необходимо устанавливать исходя из минимальной рабочей массы возможных вариантов моделей драглайна.

Ключевые слова: шагающий экскаватор-драглайн, рациональная модель драглайна, бестранспортная технология, смешанная система разработки, горно-геологические условия, выбор горного оборудования, проектирование открытых горных работ.

Abstract:

Domestic industry has the ability to produce various models of dragline in a wide range of performance, operating parameters and operating weight. Therefore, in the practice of designing open pits, the issue of choosing a dragline model is relevant, depending on the mining and geological conditions of the quarry field being

developed by a combined system.

The study substantiates the method of choosing a dragline model at the stage of an open pit designing, which ensures maximum efficiency in the development of non-transport mining zone under the existing conditions of the bedding. The recommendations are based on the results of multivariate calculations of technological parameters of excavation schemes under various conditions of bedding using various modifications of draglines corresponding to the model series.

The set speed of pushing the extraction front can be ensured by various combinations of bucket capacity and length of the dragline boom, the specific values of which, given the existing geological conditions of the coal seam, must be set on the basis of the minimum operating weight of possible dragline models options.

Key words: dragline, rational dragline selection, non-transportation technology, combined mining method, mining and geological conditions, selection of mining equipment, designing of open pit mining operations..

Актуальность работы

При проектировании разработки новых участков открытых горных работ выполняется индивидуальный выбор основного горнотранспортного оборудования. При этом целесообразно исходить из мировой практики, заключающейся в том, что модель драглайна по рабочим параметрам и вместимости ковша должна соответствовать горно-геологическим условиям конкретной залежи и заданной проектной мощности разреза.

Цель работы

Разработать методику обоснования рациональных технологических параметров драглайна для бестранспортной зоны смешанной системы разработки в зависимости от условий залегания пласта.

Методы исследования

В настоящей работе на основе объективно существующих закономерностей проектирования технологических параметров драглайнов, а также с использованием результатов исследований по данной теме [1-6] обосновываются рекомендации по выбору рациональной модели драглайна на стадии проектирования разреза, который обеспечивает максимальную эффективность разработки бестранспортной зоны при существующих условиях залегания пласта.

Технико-экономические задачи оптимизации горных предприятий, связанные с выбором оборудования, в общем случае относятся к группе динамических задач, в которых оцениваемые и сравниваемые варианты различаются не только затратами, но также временем их вложения, величиной прибыли и временем ее получения [7,8]. В соответствии с методическими рекомендациями по оценке инвестиционных проектов и их отбору для финансирования решение долгосрочных и перспективных задач производства должно выполняться с учетом фактора времени [9]. С этой целью используются критерии чистого дисконтированного дохода, индекса доходности, срока окупаемости [10]. Все перечисленные критерии включают в себя первоначальные затраты на приобретение и монтаж оборудования.

В настоящее время получить достоверные

данные о ценах на горное оборудование различных моделей и типоразмеров не представляется возможным, эта информация носит индивидуальный договорной характер и рассматривается заводами-изготовителями как коммерческая тайна. Поэтому в предлагаемой методике выбора модели драглайна на стадии проектирования разреза в качестве показателя, отражающего уровень капитальных затрат, используется рабочая масса экскаватора.

В фундаментальных работах академика Н.В. Мельникова отмечается, что «технико-экономические показатели работы карьера при бестранспортной системе разработки прямым образом связаны со стоимостью оборудования и эксплуатационными затратами на него. Последние являются функцией рабочей массы машины. В свою очередь, масса экскаватора определяется его основными рабочими параметрами» [11].

По принятой на ПАО «Уралмашзавод» методике предварительное определение массы экскаватора производится по формуле, предложенной к.т.н. Винокурским Х.А. [12, 13]:

$$G_3 = k \cdot V_k^{0,65} \cdot L^{1,65}, (1)$$

где G_3 – масса экскаватора, т; k – весовой коэффициент (для экскаваторов ПАО «Уралмашзавод» с трехгранной стрелой $k=0,146$); V_k – вместимость ковша, м; L – длина стрелы, м.

Результаты, полученные по формуле к.т.н. Винокурского Х.А., хорошо согласуются со статистическими данными по массе отечественных и зарубежных шагающих экскаваторов с ковшом вместимостью до 40 м³ и длиной стрелы до 100 м [14].

Для решения этой задачи выбран критерий в виде скорости подвигания фронта горных работ. Скорость подвигания фронта работ определяет производственную мощность системы разработки пологих пластов и зависит, в частности, от мощности пласта и производительности добычного оборудования. В работе не ставилась задача исследования добычного звена системы разработки, поэтому скорость подвигания фронта (v_f , м/год) принималась как заданный при проектировании параметр.

По результатам обработки многовариантных графоаналитических расчетов в значительном диапазоне горно-геологических условий и с применением различных моделей экскаватора-драглайна, с

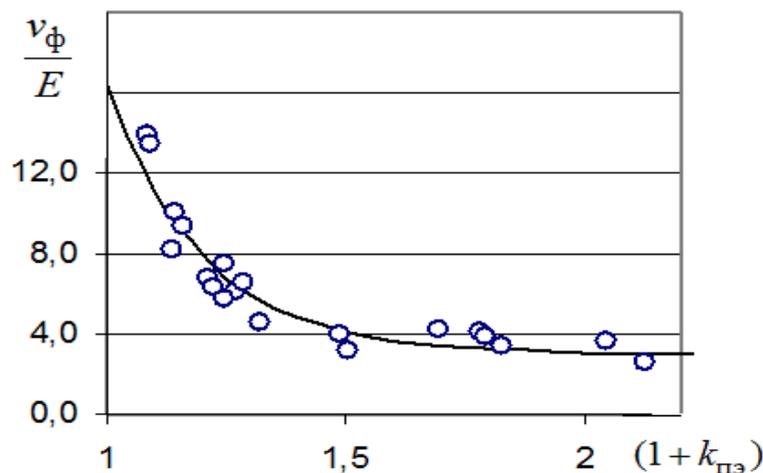


Рис. 1. Взаимная связь между величинами (v_{ϕ}/E) и $(1+k_{пэ})$
Fig. 1. Interrelation between values (v_{ϕ}/E) and $(1+k_{пэ})$

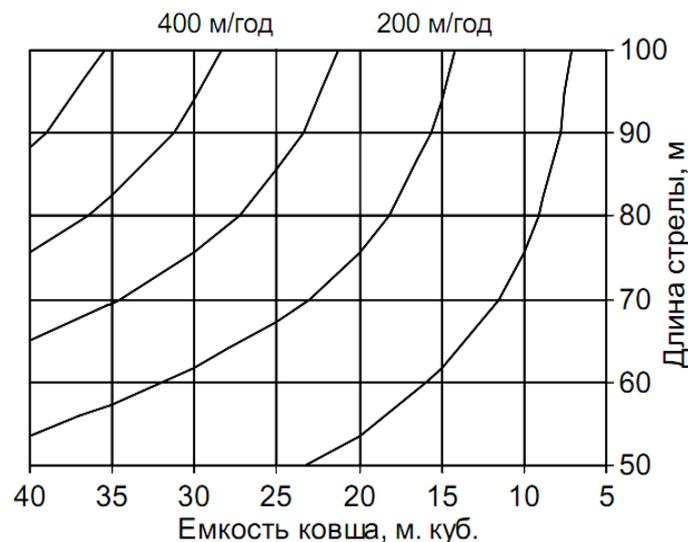


Рис. 2. Линии уровня скорости подвигания фронта горных работ
Fig. 2. Lines of the level of speed of the extraction front moving

достоверностью 0,83 установлена взаимосвязь (рис. 1) между величинами (v_{ϕ}/E) и $(1+k_{пэ})$, где E – емкость ковша экскаватора; $k_{пэ}$ – общий коэффициент переэкскавации [15, 16].

Аппроксимация данных позволила определить формулу для расчета скорости подвигания фронта горных работ в бестранспортной зоне при смешанной системе разработки:

$$v_{\phi} = E \cdot (3 + 2000 \cdot e^{-5(1+k_{пэ})}). \quad (2)$$

Заданная скорость подвигания фронта работ может быть достигнута при различных соотношениях емкости ковша и длины стрелы драглайна. На рис. 2 показан пример линий уровня функции скорости подвигания фронта $v_{\phi}(E; L_{ст})$ в плоскости $(E; L_{ст})$, так, скорость подвигания, например, около 200 м/год может быть достигнута, в частности, экскаваторами ЭШ 32.60 и ЭШ 15.95.

Дальнейший выбор одной из возможных моделей драглайна для конкретных параметров залегания пласта (угол падения и мощность, влияние которых учитывается через коэффициент переэкскавации и скорость подвигания фронта) осуществляется путем сравнения рабочих масс машин. Расчетная масса ЭШ 32.60 составляет 1200 т, масса ЭШ 15.95 – 1560 т, целесообразно из двух приведенных моделей драглайна выбрать вариант с меньшей массой.

Для практической реализации изложенного метода выбора модели драглайна на стадии проектирования разработана программа для ПК в среде MS Excel, основанная на установленных закономерностях изменения технико-экономических

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
30													
31		Таблица масс различных моделей драглайнов (т)											
32													
33		Угол падения пласта, град. 3				Мощность пласта, м 4							
34		Скорость продвижения фронта работ, м/год: от 100 до 150											
35		Ковш,	Длина стрелы, м										
36		м. куб.	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
37		5	264	309	357	407	460	516	574	634	697	762	829
38		10	415	485	560	639	722	809	900	995	1094	1196	1301
39		15	540	632	729	832	940	1054	1172	1295	1423	1556	1694
40		20	651	761	879	1003	1134	1270	1413	1562	1716	1876	2042
41		25	752	880	1016	1160	1310	1468	1633	1805	1984	2169	2361
42		30	847	991	1144	1306	1475	1653	1839	2032	2233	2442	2658
43		35	936	1095	1265	1443	1631	1827	2033	2247	2469	2699	2938
44		40	1021	1195	1379	1574	1779	1993	2217	2450	2693	2944	3204
45		Рамкой выделены варианты моделей, которые обеспечивают скорость											
46		подвижения от 100 до 150 м/год при падении пласта 3 град.											

Рис. 3. Фрагмент программы по выбору модели драглайна и результатов расчета при угле падения пласта 3°

Fig. 3. Fragment of the program for selecting the dragline model and the results of the calculation at a dip angle of 3°

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
30													
31		Таблица масс различных моделей драглайнов (т)											
32													
33		Угол падения пласта, град. 9				Мощность пласта, м 4							
34		Скорость продвижения фронта работ, м/год: от 100 до 150											
35		Ковш,	Длина стрелы, м										
36		м. куб.	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
37		5	264	309	357	407	460	516	574	634	697	762	829
38		10	415	485	560	639	722	809	900	995	1094	1196	1301
39		15	540	632	729	832	940	1054	1172	1295	1423	1556	1694
40		20	651	761	879	1003	1134	1270	1413	1562	1716	1876	2042
41		25	752	880	1016	1160	1310	1468	1633	1805	1984	2169	2361
42		30	847	991	1144	1306	1475	1653	1839	2032	2233	2442	2658
43		35	936	1095	1265	1443	1631	1827	2033	2247	2469	2699	2938
44		40	1021	1195	1379	1574	1779	1993	2217	2450	2693	2944	3204
45		Рамкой выделены варианты моделей, которые обеспечивают скорость											
46		подвижения от 100 до 150 м/год при падении пласта 9 град.											

Рис. 4. Фрагмент программы по выбору модели драглайна и результатов расчета при угле падения пласта 9°

Fig. 4. Fragment of the program for selecting the dragline model and the results of the calculation at a dip angle of 9°

параметров технологических схем экскавации в бестранспортной зоне. Область применения программы соответствует условиям залегания пологих пластов на угольных месторождениях центрального Кузбасса. Фрагмент программы и результатов расчета при падении пласта 3° представлен на рис. 3. Возможные варианты моделей в таблице соответствуют выделенным ячейкам.

Численные эксперименты показывают, что мощность угольного пласта практически не влияет на выбор модели драглайна для бестранспортной зоны при смешанной системе разработки. Вместе с тем угол падения пласта, от которого зависит вместимость ярусов бестранспортного отвала,

оказывает существенное влияние на перечень моделей драглайнов, обеспечивающих необходимую скорость продвижения.

На рис. 4 представлены результаты аналогичного расчета при падении пласта 9°, который свидетельствует о существенном сдвиге возможных моделей драглайнов в сторону увеличения технологических параметров. Если в первом случае диапазоны технологических параметров составляли для ковшей 10-25 м³, длины стрелы до 90 м, массы от 650 до 1100 т, то для залегания пласта под углом 9° требуются драглайны массой 940-1700 т с большими объемами ковшей и стрелой до 100 м.

Результаты

Заданная скорость подвигания фронта горных работ обеспечивается различными комбинациями емкости ковша и длины стрелы экскаватора-драглайна, конкретные значения которых при

имеющихся горно-геологических условиях залегания пласта необходимо устанавливать исходя из минимальной массы возможных вариантов моделей драглайна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mirabediny H. A dragline simulation model for strip mine design and development. – 1998.
2. Erdem B., Çelebi N., Pasamehmetoglu A. G. Optimum dragline selection for strip coal mines //Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy-Section A-Mining Industry. – 1998. – Т. 107. – С. А13
3. Zhang W., Cai Q., Chen S. Optimization of transport passage with dragline system in thick overburden open pit mine //International Journal of Mining Science and Technology. – 2013. – Т. 23. – №. 6. – С. 901-906.
4. MA J. et al. Influence adaptability of dragline to variation of coal seam thickness during mining operation period of large surface coal mine //Journal of Liaoning Technical University. – 2006. – Т. 25. – №. 5. – С. 662-665.
5. Selyukov A.V. Technological significance of internal dumping in open pit coal mining in the Kemerovo Region //Journal of Mining Science. – 2015. – Т. 51. – №. 5. – С. 879-887.
6. Назаров И.В. Численное моделирование перевалки вскрышных пород драглайнами //Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Физико-математические и технические науки. – 2013. – №. 4.
7. Samanta B., Sarkar B., Mukherjee S. K. Selection of opencast mining equipment by a multi-criteria decision-making process //Mining Technology. – 2002. – Т. 111. – №. 2. – С. 136-142.
8. Сысоев, А. А. Обоснование технологических решений на разрезах: учеб. пособие / А.А. Сысоев, О.И. Литвин, Я.О. Литвин. – Кемерово: КузГТУ, 2015. – 126 с.
9. Сысоев, А.А. Инженерно-экономические расчеты для открытых горных работ: учеб. пособие / А.А. Сысоев. – Кемерово: КузГТУ, 2005. – 179 с.
10. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. Вторая редакция / М-во экон. РФ; М-во фин. РФ; ГК по стр-ву, архит. и жил. политике; рук. авт. кол. В.В. Косов, В.Н. Лившиц, А.Г. Шахназров – М.: ОАО «НПО»; Экономика, 2000. – 421 с.
11. Мельников, Н.В. Теория и практика открытых разработок / Н.В. Мельников, Э.И. Реентович, Б.А.Симкин. – М.: Недра, 1979. – 636 с.
12. Винокурский, Х.А. Стальные конструкции в тяжелом машиностроении / Х.А. Винокурский. – Свердловск: Машгиз, 1960. – 352 с.
13. Винокурский, Х.А. Шагающие экскаваторы Уралмашзавода / Х.А. Винокурский, Т.Е. Исаев, Б.И. Сатовский. – М., Свердловск: Машгиз, 1958. – 331 с.
14. Горное оборудование Уралмашзавода / Коллектив авторов. Ответственный редактор-составитель Г.Х. Бойко. – Екатеринбург: «Уральский рабочий», 2003. – 240 с.
15. Злобина, Е.В. Формирование коэффициента переэкскавации при бестранспортной разработке вскрышных уступов модельным рядом драглайнов одной рабочей массы / Е.В. Злобина, В.Г. Проноза // Вестн. КузГТУ. – 2015. – №2. – С. 41-48.
16. Злобина, Е.В. Статистические модели рабочих параметров шагающих драглайнов / Е.В. Злобина // Вестн. КузГТУ – Кемерово, КузГТУ, 2010. – №5. – С. 90-92.

REFERENCES

1. Mirabediny H. A dragline simulation model for strip mine design and development. – 1998.
2. Erdem B., Çelebi N., Pasamehmetoglu A. G. Optimum dragline selection for strip coal mines //Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy-Section A-Mining Industry. – 1998. – Т. 107. – С. А13
3. Zhang W., Cai Q., Chen S. Optimization of transport passage with dragline system in thick overburden open pit mine //International Journal of Mining Science and Technology. – 2013. – Т. 23. – №. 6. – С. 901-906.
4. MA J. et al. Influence adaptability of dragline to variation of coal seam thickness during mining operation period of large surface coal mine //Journal of Liaoning Technical University. – 2006. – Т. 25. – №. 5. – С. 662-665.
5. Selyukov A.V. Technological significance of internal dumping in open pit coal mining in the Kemerovo

Region //Journal of Mining Science. – 2015. – Т. 51. – №. 5. – С. 879-887.

6. Nazarov I.V. Chislennoye modelirovaniye perevalki vskryshnykh porod draglaynami //Vestnik Baltiyskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta. Seriya: Fiziko-matematicheskiye i tekhnicheskiye nauki. – 2013. – №. 4.

7. Samanta B., Sarkar B., Mukherjee S. K. Selection of opencast mining equipment by a multi-criteria decision-making process //Mining Technology. – 2002. – Т. 111. – №. 2. – С. 136-142.

8. Sysoyev, A.A. Obosnovaniye tekhnologicheskikh resheniy na razrezakh: ucheb. posobiye / A.A. Sysoyev, O.I. Litvin, Ya.O. Litvin. – Kemerovo: KuzGTU, 2015. – 126 s.

9. Sysoyev, A.A. Inzhenerno-ekonomicheskkiye raschety dlya otkrytykh gornykh rabot: ucheb. posobiye / A.A. Sysoyev. – Kemerovo: KuzGTU, 2005. – 179 s.

10. Metodicheskiye rekomendatsii po otsenke effektivnosti investitsionnykh proyektov. Vtoraya redaktsiya / M-vo ekon. RF; M-vo fin. RF ; GK po str-vu, arkh. i zhil. politike; ruk. avt. kol. V.V. Kosov, V.N. Livshits, A.G. Shakhnazrov – M.: OAO «NPO»; Ekonomika, 2000. – 421 s.

11. Mel'nikov, N.V. Teoriya i praktika otkrytykh razrabotok / N.V. Mel'nikov, E.I. Reyentovich, B.A.Simkin. – M.: Nedra, 1979. – 636 s.

12. Vinokurskiy, Kh.A. Stal'nyye konstruksii v tyazhelom mashinostroyenii / Kh.A. Vinokurskiy. – Sverdlovsk: Mashgiz, 1960. – 352 s.

13. Vinokurskiy, Kh.A. Shagayushchiye ekskavatory Uralmashzavoda / KH.A. Vinokurskiy, T.Ye. Isayev, B.I. Satovskiy. – M., Sverdlovsk: Mashgiz, 1958. – 331 s.

14. Gornoye oborudovaniye Uralmashzavoda / Kollektiv avtorov. Otvetstvennyy redaktor-sostavitel' G.Kh. Boyko. – Yekaterinburg: «Ural'skiy rabochiy», 2003. – 240 s.

15. Zlobina, Ye.V. Formirovaniye koeffitsiyenta pereekskavatsii pri bestransportnoy razrabotke vskryshnykh ustupov model'nyim ryadom draglaynov odnoy rabochey massy / Ye.V. Zlobina, V.G. Pronoza // Vestn. KuzGTU. – 2015. – №2. – С. 41-48.

16. Zlobina, Ye.V. Statisticheskkiye modeli rabochikh parametrov shagayushchikh draglaynov / Ye.V. Zlobina // Vestn. KuzGTU – Kemerovo, KuzGTU. – 2010. – №5. – С. 90-92.

Поступило в редакцию 02.04.2019

Received 02 April 2019