

## **ОЦЕНКА СООТНОШЕНИЙ ВМЕСТИМОСТИ КОВША ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЭКСКАВАТОРОВ И ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ АВТОСАМОСВАЛОВ ПРИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

*Евгений Владимирович Курехин*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела; Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, тел. (903)907-67-76, e-mail: ogdm@yandex.ru

В статье рассмотрены выемочно-погрузочные комплексы с применением автомобильного транспорта, обеспечивающая эффективность открытой разработки угольных месторождений. Установлены рациональные соотношения грузоподъемности автосамосвалов и вместимости ковша гидравлических экскаваторов.

**Ключевые слова:** выемочно-погрузочный комплекс, гидравлический экскаватор, автосамосвал, вместимости ковша, грузоподъемность автосамосвала.

## **EVALUATION OF THE RATIO OF THE CAPACITY OF THE BUCKET HYDRAULIC SHOVELS AND LOAD TRUCKS IN SURFACE MINING OF COAL DEPOSITS**

*Eugeny V. Kurehin*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying; T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennyaya St., Kemerovo, 650000, Russia, phone: (903)907-67-76, e-mail: ogdm@yandex.ru

The article deals with the excavation and loading complexes with the use of road transport, ensuring the efficiency of the open development of coal deposits. Established rational relation to the capacity of the trucks and the capacity of the bucket hydraulic excavators.

**Key words:** excavation and loading complex, hydraulic excavator, dump truck, bucket capacity, dump truck capacity.

### ***Введение***

Открытая разработка угольных месторождений в Российской Федерации осуществляется разрезами, которые входят как в состав угольных компаний, так и самостоятельными разрезами.

Разработка месторождений осуществляется карьерными полями, длина которых в плане составляет от 0,2 до 6,0 км. Длина малых карьерных полей в Кузнецком бассейне составляет 0,2–1,6 км (рис. 1) с площадью 0,4–2,0 км<sup>2</sup> [1]. Запасы угля при отработке малыми карьерными полями в Кузнецком бассейне составляют 2–50 млн т, которые располагаются вблизи земной поверхности (глубиной до 100 м), характеризуются поверхностными. Наибольшая часть

угольных пластов (82–88 %) представлены малой и средней мощности (0,5–8 м) [2, 3].

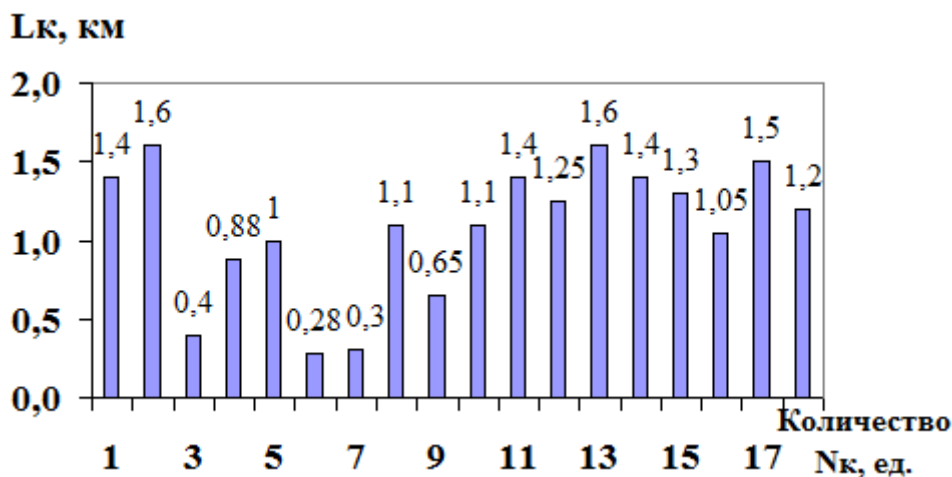


Рис. 1. Длина малых карьерных полей в Кузнецком бассейне

На открытых горных работах применяются гидравлические экскаваторы и колесные погрузчики известных зарубежных производителей: Komatsu, Caterpillar, Liebherr, Hyundai и др. с вместимостью ковша от 0,3 до 56 м<sup>3</sup> [4–14]. Для транспортировки вскрышных пород и угля используются автосамосвалы БелАЗ, МАЗ, Komatsu, Caterpillar, Hitachi, Terex, Scania, Volvo и др., с грузоподъемностью 5–450 т [15, 16].

Горно-геологические условия (маломощные угольные пласты, нарушения и др.), разнообразие производителей нового горного и транспортного оборудования не позволяют в полной мере выбрать выемочно-погрузочное оборудование на вскрышных и добычных работах.

Поэтому задачей исследования является обоснование структуры выемочно-погрузочного комплекса с применением автомобильного транспорта и рационального соотношения вместимости ковша гидравлического экскаватора и грузоподъемности автосамосвала, обеспечивающие повышение эффективности при открытой разработке угольных месторождений.

Комплексная механизация открытых горных работ развивается на основе циклической технологии с применением автомобильного транспорта, а также возможного совмещения видов работ одним выемочно-погрузочным комплексом.

При выборе комплекса горного оборудования руководствуются следующими рекомендациями [17]:

- в комплекс оборудования должны входить только машины, паспортные характеристики которых соответствуют горно-технологическим характеристикам горных пород;

- комплекс оборудования должен соответствовать климатическим и горно-геологическим условиям разработки (залеганию, структуре залежи, обводненности), обеспечивать техническую возможность выполнения технологических процессов при изменении горно-геологических условий работ;
- комплекс оборудования должен соответствовать принятым системам разработки и вскрытия, размерам и форме карьера, его мощности, сроку строительства и эксплуатации, организационным условиям ведения горных работ;
- машины и механизмы комплекса по своим параметрам должны соответствовать друг другу (высота погрузки и разгрузки, отношение геометрических емкостей и т.д).

В соответствии с рекомендациями [18] было предложено рациональное соотношение вместимости ковша экскаватора-мехлопаты с вместимостью ковша 2,5–40,0 м<sup>3</sup> и грузоподъемности автосамосвала 8–355 т ( $q_A/q_E$ ) (рис. 2).

В настоящее время на добычных работах используют гидравлические экскаваторы с вместимостью ковша 0,5–5,0 м<sup>3</sup>, следовательно, вышеуказанные рекомендации не позволяют выбрать ковш в диапазоне от 0,5 до 2,5 м<sup>3</sup> и подобрать автосамосвал соответствующей грузоподъемности.

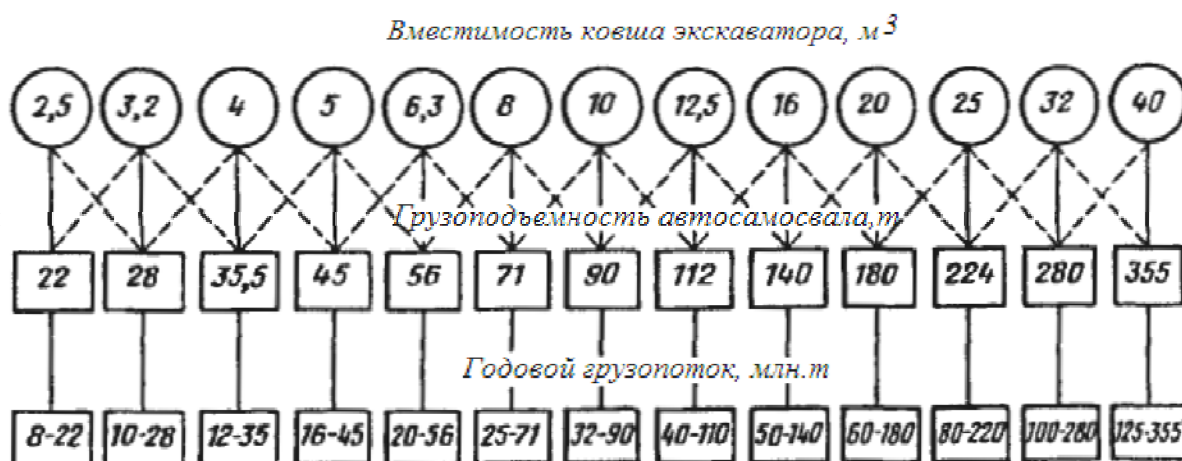


Рис. 2. Схема рекомендуемых соотношений грузопотока карьера, вместимости ковша экскаватора-мехлопаты и грузоподъемности автосамосвала

Для эффективной разработки угольных месторождений была разработана структура выемочно-погрузочных комплексов, которая представлена гидравлическими экскаваторами (Komatsu PC) и колесными погрузчиками (Komatsu WA) [19]:

- на выемке угля гидравлическими экскаваторами с вместимостью ковша  $E = 0,3–6,7$  м<sup>3</sup> и погрузкой в автосамосвал МАЗ, грузоподъемностью  $q_A = 3,8–26,9$  т) [20];

– на выемке коренных пород гидравлическими экскаваторами с вместимостью ковша  $E = 6,5–22,0 \text{ м}^3$  с погрузкой в автосамосвал МАЗ, БелАЗ, Komatsu, грузоподъемностью  $q_A = 21–110 \text{ т}$ ;

– на выемке коренных пород колесными погрузчиками с вместимостью ковша  $E = 6,1–19,0 \text{ м}^3$  с погрузкой в автосамосвал БелАЗ, Komatsu, грузоподъемностью  $q_A = 30–220 \text{ т}$ .

На основе предложенных рекомендаций [19] установлены рациональные соотношения грузоподъемности автосамосвала и вместимости ковша ( $q_A/q_E$ ), с учетом свойств горных пород (рис. 3).

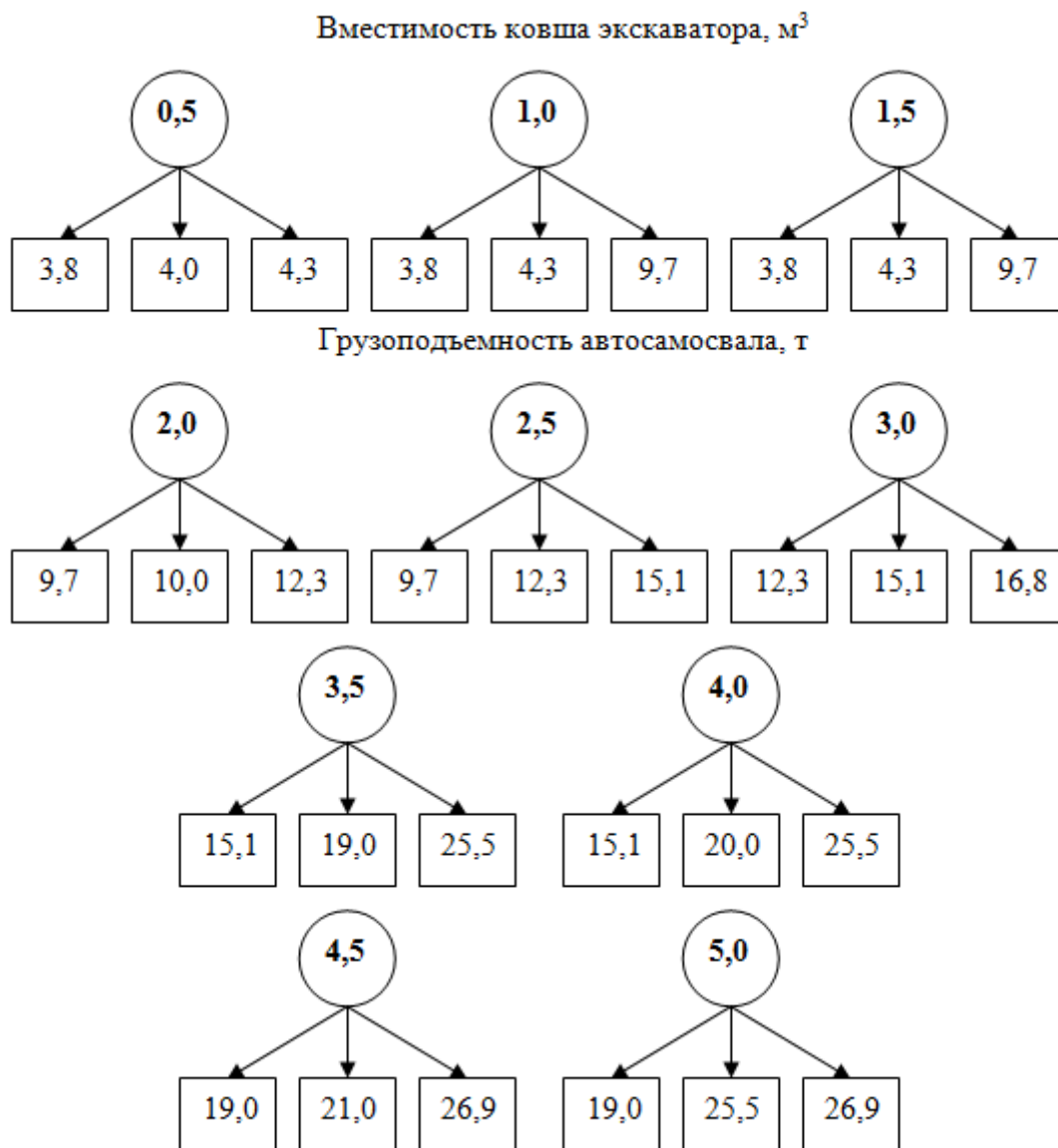


Рис. 3. Рациональные сочетания вместимости ковша гидравлического экскаватора и грузоподъемности автосамосвала

Так как на открытых горных работах при разработке угольных пластов малой мощности используют гидравлические экскаваторы (Komatsu PC) с ковшом

0,3–6,7 м<sup>3</sup>, то необходимо выбрать автосамосвалы соответствующей грузоподъемности. При этом количество ковшей загружаемых в кузов автосамосвала должно быть минимальным 3–5. Но с повышением количества ковшей загружаемых в кузов автосамосвала может привести к увеличению времени погрузки автосамосвала и, следовательно, продолжительности рейса и снижению сменной производительности автосамосвала.

Количество ковшей загружаемых в автосамосвал при погрузке угля и вскрышных пород гидравлическими экскаваторами определяется по выражению [18]:

$$n_K = \frac{q_A}{E \cdot k_{\text{Э}} \cdot \rho_{\text{П}}}, \quad (1)$$

где  $q_A$  – грузоподъемность автосамосвала, т;  $E$  – вместимость ковша экскаватора, м<sup>3</sup>;  $k_{\text{Э}}$  – коэффициент экскавации;  $\rho_{\text{П}}$  – плотность перевозимой породы (полезного ископаемого) в целике (для угля  $\rho_{\text{П}} = 1,4$ ; для скальных пород  $\rho_{\text{П}} = 2,5$ ), т/м<sup>3</sup>.

Количество ковшей загружаемых в кузов автосамосвала грузоподъемностью 3,8–26,9 т гидравлическим экскаватором с вместимостью ковша 0,5–5,0 м<sup>3</sup>, составит при погрузке: угля 2,0–6,7; вскрышной породы 1,7–6,5 (табл. 1).

Установлено соотношение грузоподъемности автосамосвалов МАЗ (3,8–26,9 т) и вместимости ковша гидравлических экскаваторов Komatsu PC (0,5–5,0 м<sup>3</sup>), которое составит при погрузке: угля  $q_A/q_E = 2,5–9,7$ ; породы  $q_A/q_E = 2,7–12,7$  (табл. 1).

Таблица 1

Соотношение грузоподъемности автосамосвалов и гидравлических экскаваторов

Наименование	Вместимость ковша экскаватора, м <sup>3</sup>									
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
$q_A$ , т	3,8– 4,3	3,8– 9,7	3,8– 9,7	9,7– 12,3	9,7– 15,1	12,3– 16,8	15,1– 25,5	15,1– 25,5	19,0– 26,9	19,0– 26,9
Полезное ископаемое										
$n_K$ , ед. (уголь)	6,0– 6,7	3,0– 7,6	2,0– 5,0	3,8– 4,8	3,0– 4,7	3,2– 4,4	3,4– 5,7	3,0– 5,0	3,3– 4,7	3,0– 4,2
$q_A/q_E$ , ед.	7,6– 8,6	3,8– 9,7	2,5– 6,4	4,8– 6,1	3,8– 6,0	4,1– 5,6	4,3– 7,2	3,7– 6,3	4,2– 5,9	3,8– 5,3
Вскрышные породы										
$n_K$ , ед. (порода)	5,1– 5,8	2,5– 6,5	1,7– 4,3	3,2– 4,1	2,6– 4,0	2,7– 3,7	2,9– 4,9	2,5– 4,3	2,8– 4,0	2,5– 3,6
$q_A/q_E$ , ед.	11,2– 12,7	5,6– 6,5	3,7– 9,5	7,1– 9,1	5,7– 8,9	2,7– 8,3	2,9– 10,8	5,5– 9,4	6,2– 8,8	5,6– 7,9

Примечание. Коэффициент экскавации:  $K_{\text{Э}} = 1,0/1,1 = 0,99$  (уголь);  $K_{\text{Э}} = 0,8/1,35 = 0,59$  (порода).

Установлено соотношение грузоподъемности автосамосвалов МАЗ (3,8–26,9 т), БелАЗ (30–55 т) и вместимости ковша гидравлических экскаваторов Komatsu PC (0,36–6,7 м<sup>3</sup>), которое составит при погрузке: угля  $q_A/q_E = 8–14$  (табл. 2).

Таблица 2

Соотношение грузоподъемности автосамосвалов (МАЗ, БелАЗ) и гидравлических экскаваторов (Komatsu PC) на выемке и погрузке угля

Наименование	Вместимость ковша экскаватора Komatsu PC, м <sup>3</sup>				
	0,36–0,64	0,7–1,1	2,8–3,4	4,0–4,5	4,5–6,7
$q_A$ , т	4–6	6–10	21–26,9	30–45*	50–55*
$n_K$ , ед.	8,7–4,9	6,7–7,1	5,8–6,2	5,8–7,8	8,7–6,4
$q_A/q_E$ , ед.	14,1–7,9	10,9–11,5	9,5–10,0	9,5–12,7	14,1–10,4

Примечание. Плотность угля 1,4 т/м<sup>3</sup>. \* – автосамосвалы БелАЗ.

При погрузке вскрышных пород в автосамосвалы грузоподъемностью 21–110 т соотношение  $q_A/q_E$  составит 1,6–4,0 (табл. 3).

Таблица 3

Соотношение грузоподъемности автосамосвалов (МАЗ, БелАЗ, Komatsu) и гидравлических экскаваторов (Komatsu PC) на выемке и погрузке вскрышных пород

Наименование	Вместимость ковша экскаватора, м <sup>3</sup>			
	4,5–6,5	11,0–15	15,0–17,0	19,0–22,0
$q_A$ , т	21–26,9*	26,9*–30	55–80	93–110
$n_K$ , ед.	5,8–5,1	3,0–2,5	4,5–5,8	6,1–6,2
$q_A/q_E$ , ед.	3,7–3,3	1,9–1,6	2,9–3,7	3,9–4,0

Примечание. \* – автосамосвалы МАЗ. Коэффициент экскавации при погрузке вскрышной породы принят  $K_{Э} = 0,8/1,4 = 0,57$ .

На рис. 4 показана зависимость соотношения ( $q_A/q_E$ ) от вместимости ковша ( $E$ ) гидравлического экскаватора. Достоверность аппроксимации составляет  $R^2 = 61\%$ .

На основе рекомендуемых сочетаний гидравлических экскаваторов и автосамосвалов (см. табл. 1) установлено выражение для определения показателя загрузки угля в кузов автосамосвала ( $n_q$ ):

$$n_q = 7,1 \cdot E^{-0,2}, \quad (2)$$

где  $E$  – вместимость ковша экскаватора, м<sup>3</sup>.

Для ковшей вместимостью  $E = 0,5-1,5 \text{ м}^3$  значение показателя  $n_q$  составляет  $2,5-9,7$ , с увеличением вместимости  $E = 2,0-5,0 \text{ м}^3$  показатель  $n_q$  снижается по степенной зависимости в диапазоне  $3,8-6,1$  (рис. 4).

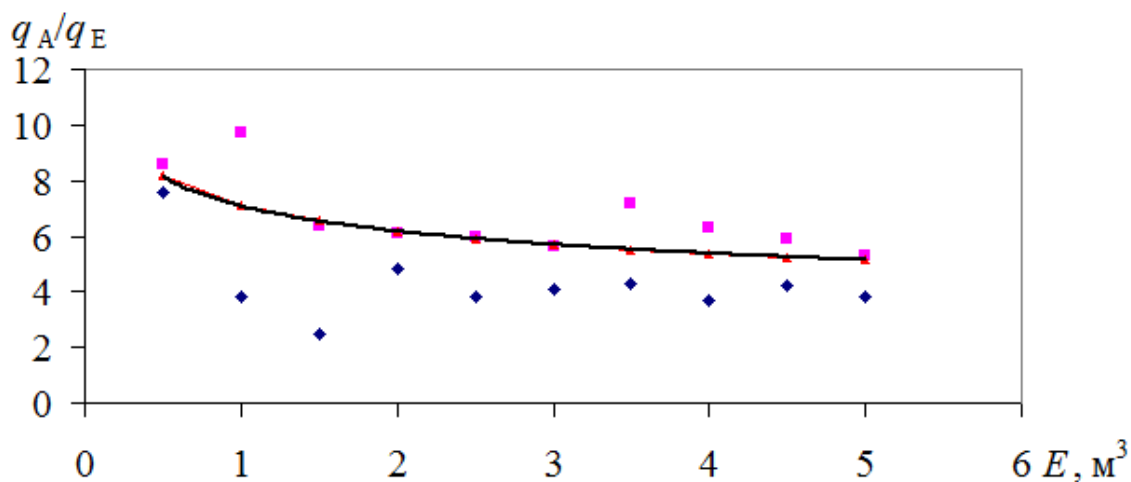


Рис. 4. Зависимость соотношения показателя загрузки угля в кузов автосамосвала ( $q_A/q_E$ ) от вместимости ковша ( $E$ ) гидравлического экскаватора

### Заключение

На основе выполненных исследований получены следующие выводы:

1. Для открытой разработки месторождений, представленных угольными пластами малой и средней мощности потребуются вскрышное и добычное оборудование с вместимостью ковша  $0,5-5,0 \text{ м}^3$ .
2. Предложены рекомендации по рациональному сочетанию вместимости ковша гидравлических экскаваторов Komatsu PC  $0,5-5,0 \text{ м}^3$  и автосамосвалов МАЗ грузоподъемностью  $3,8-26,9 \text{ т}$ .
3. Установлено соотношение грузоподъемности автосамосвалов МАЗ, БелАЗ и гидравлических экскаваторов Komatsu PC на выемке и погрузке вскрышных пород и угля.
4. Получена степенная зависимость показателя загрузки угля в кузов автосамосвала от вместимости ковша экскаватора.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Курехин Е. В. Анализ взаимного расположения карьерных полей на угольных месторождениях Кузбасса // Современные тенденции и инновации в науке и производстве: материалы III Междунар. науч.-практ. конф., Междуреченск, 2-4 апреля 2014 г. – Кемерово, 2014.
2. Угольная база России. Угольные бассейны и месторождения Западной Сибири. – Т. II. – М. : ООО «Геоинформцентр», 2003. – 604 с.
3. Колесников В. Ф., Кузнецов В. И., Ташкинов А. С. Технические решения по вскрытию рабочих горизонтов разрезов Кузбасса. – Кемерово : Кузбассвуиздат, 1998. – 172 с.

4. Курехин Е. В. Применение экскаваторов-мехлопат зарубежного производства (РН-2300, РН-2800) на угольных разрезах Кузбасса // Вестник КузГТУ. – 2007. – № 5. – С. 26–28.
5. Курехин Е. В. Применение циклично-поточной технологии на угольных разрезах Кузбасса // Вестник КузГТУ. – 2007. – № 5. – С. 29–30.
6. World Coal. October 2013 volume 22 number 10. Dr Erik Zimmermann and Alexander Hochgurtel, Komatsu Mining, Germany, summarise the development history of the Komatsu PC 8000.
7. Hitachi unleashes the EX 5600 – 6 // Coal Age. 2012. vol. 117. № 5. – p. 56.
8. Журнал «Горная промышленность». Гидравлический экскаватор Komatsu PC 750-7. Находка для строителей и горняков. № 3 (73). 2007 г. с. 34.
9. Журнал «Горная промышленность». Карьерные гидравлические экскаваторы Komatsu (KMG) № 1 (113). 2014 г. с. 27-30.
10. Журнал «Горная промышленность». Погрузчик «Кировец» К-3080. № 3 (97). 2011 г. с. 14-15.
11. Журнал «Горная промышленность». А.А. Крагель, С.Я. Обросов, И.Н. Санригайло. Опыт эксплуатации карьерных экскаваторов ЭКГ-12 в России. № 6 (94). 2010 г. с. 24-26.
12. Журнал «Горная промышленность». Томас Кноте. Компания Vermeer освоила производство самой мощной карьерной выемочной машины. № 6. (112). 2013 г. с. 68-69.
13. A New World order for mining OEMS. Cat integrates Bucyrus and unveils its Future in ten tions. By Steve Fiscor, Editor – in – Chief. // Coal Age. 2011. vol. 116. № 10. – p. 30 – 35.
14. Журнал «Горная промышленность». Фронтальные погрузчики компании Doosan-Daewoo. № 4 (66). 2006. с. 34-36.
15. Вид техники Komatsu: экскаваторы, погрузчики, самосвалы: [Электронный ресурс] // ООО «Комацу СНГ», 2005-2012. – URL: [http://www.komatsu.ru/group.xgi?&category\\_id=128](http://www.komatsu.ru/group.xgi?&category_id=128). (Дата обращения: 16.03.2019).
16. Продукция > Машины: [Электронный ресурс] // Caterpillar Inc., 2010-2013. – URL: <http://rossiya.cat.com/Машины>. (Дата обращения: 16.03.2019).
17. Ржевский В. В. Открытые горные работы: Технология и комплексная механизация : учебник. – Изд. 5-е. – М. : Книжный дом «Либроком», 2010. – 552 с.
18. Трубецкой К. Н. Проектирование карьеров: учеб. для вузов: в 2 т. – 2-е изд., перераб. и доп. / К. Н. Трубецкой, Г. Л. Краснянский, В. В. Хронин. – М. : Изд-во Академии горных наук, 2001. – Т. 2. – 535 с. : ил.
19. Курехин Е. В. Обоснование структуры комплексов горного оборудования для разработки угольных месторождений разрезами малой производственной мощности // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы в горном деле». Междуреченск, 25.02.2016 г. – Кемерово, 2016. – С. 226–231.
20. Самосвалы: [Электронный ресурс] // Минский автомобильный завод. – Режим доступа: [http://maz.by/ru/products/cargo\\_vehicle/dump\\_vehicles/](http://maz.by/ru/products/cargo_vehicle/dump_vehicles/) (Дата обращения: 18.03.2019).

© Е. В. Курехин, 2019