

УДК 622.271:621.879

**Журавлев Артем Геннадиевич**

кандидат технических наук,  
заведующий лабораторией  
транспортных систем карьеров и геотехники,  
Институт горного дела УрО РАН,  
620075, Екатеринбург,  
ул. Мамина-Сибиряка, д. 58,  
e-mail: [juravlev@igduran.ru](mailto:juravlev@igduran.ru)

**Глебов Игорь Андреевич**

научный сотрудник,  
лаборатория транспортных  
систем карьеров и геотехники,  
Институт горного дела УрО РАН  
e-mail: [i.glebov@igduran.ru](mailto:i.glebov@igduran.ru)

**Черепанов Владимир Александрович**

научный сотрудник,  
лаборатория транспортных  
систем карьеров и геотехники,  
Институт горного дела УрО РАН  
e-mail: [transport@igduran.ru](mailto:transport@igduran.ru)

**К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ  
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И  
ТЕХНИЧЕСКОЙ ГОТОВНОСТИ  
МОЩНЫХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ  
ЭКСКАВАТОРОВ\****Аннотация:*

*В условиях роста интенсивности разработки месторождений полезных ископаемых и увеличения глубины карьеров вопрос высокопроизводительной и экономичной работы выемочно-погрузочного и транспортного оборудования приобретает важное значение. В статье приведены показатели реальной фактической производительности экскаваторов, эксплуатируемых в России в сопоставлении с возможной технической производительностью. Отражен опыт применения современных отечественных экскаваторов, в том числе с ковшом 35 м<sup>3</sup>. Отмечены перспективные направления развития отечественного экскаваторостроения для горнодобывающих предприятий.*

*Ключевые слова:* экскаваторно-автомобильный комплекс, экскаватор, автосамосвал, производительность экскаваторов, коэффициент технической готовности.

DOI: 10.25635/2313-1586.2023.04.076

**Zhuravlev Artem G.,**

Candidate of Technical Sciences,  
Head of Laboratory of transport systems  
and geomechanics,  
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,  
620075 Ekaterinburg,  
58 Mamina-Sibiryaka Str.  
e-mail: [juravlev@igduran.ru](mailto:juravlev@igduran.ru)

**Glebov Igor A.**

Scientific Researcher,  
Laboratory of transport systems  
and geomechanics,  
Institute of Mining, Ural Branch of RAS  
e-mail: [i.glebov@igduran.ru](mailto:i.glebov@igduran.ru)

**Cherepanov Vladimir A.**

Scientific Researcher,  
Laboratory of transport systems  
and geomechanics,  
Institute of Mining, Ural Branch of RAS  
e-mail: [transport@igduran.ru](mailto:transport@igduran.ru)

**ON THE ISSUE OF DEVELOPMENT  
OF PRODUCTIVITY AND TECHNICAL  
READINESS OF POWERFUL DOMESTIC  
EXCAVATORS***Abstract:*

*In conditions of growing intensity of development of mineral deposits and increasing the depth of quarries, the issue of highly productive and economical operation of excavation, loading and transport equipment is becoming especially important. The article presents indicators of the actual productivity of excavators operated in Russia in comparison with the possible technical productivity. The experience of using modern domestic excavators, including those with a 35 m<sup>3</sup> bucket, is shown. Promising directions for the development of domestic excavator construction for mining enterprises are noted.*

*Key words:* excavator-automobile complex, excavator, dump truck, excavator capacity, technical readiness coefficient.

**Введение**

В условиях роста интенсивности разработки месторождений полезных ископаемых и увеличения глубины карьеров вопрос высокопроизводительной и экономичной работы выемочно-погрузочного и транспортного оборудования, формирующего до 60 % себестоимости добычи, приобретает первостепенное значение. Поэтому многие горнодобывающие предприятия все больше используют карьерные экскаваторы с вместимостью ковша более 15 м<sup>3</sup> и автосамосвалы грузоподъемностью свыше 130 т.

\* Статья подготовлена в рамках выполнения Госзадания №075-00412-22 ПР. Тема 1 (2022-2024). Методологические основы стратегии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых в динамике развития горнотехнических систем (код темы FUWE-2022-0005, пер. ПТНИ №1021062010531-8-1.5.1, пер. №123012300005-3)

В период 70 – 80-х гг. наблюдался стремительный рост производительности экскаваторов горнодобывающих предприятий страны, который сопровождался увеличением единичной мощности (вместимости ковша) машин (рис. 1). В период с 1990 по 2000 г. наблюдалось снижение производительности и количества экскаваторов по целому ряду причин, обусловленных кризисом 1990-х гг. Однако затем эти показатели начинают расти, в том числе за счет развития закупки импортного горнодобывающего оборудования. В горно-технологическом плане это объясняется развитием технологий и постоянным усовершенствованием оборудования, которое становится более мощным и эффективным. Увеличение вместимости ковша экскаватора позволяет быстрее выполнять погрузочные и транспортные работы, что в свою очередь снижает трудозатраты и повышает общую эффективность работы горнодобывающего предприятия.

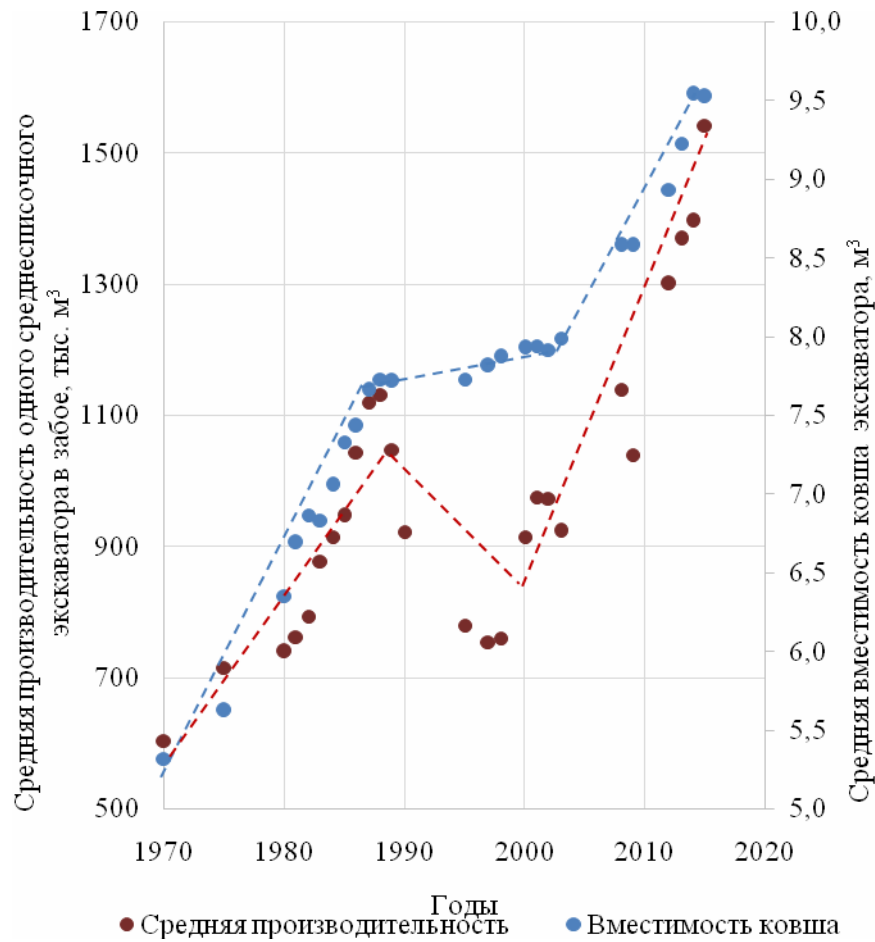
С 1990-х гг. до настоящего времени по различным причинам объемы и расстояние перевозок горной массы автомобильным транспортом на большинстве крупных карьеров непрерывно увеличиваются в процентном отношении в сравнении с другими видами транспорта [1], соответственно, меняется соотношение между средней грузоподъемностью карьерного автосамосвала и вместимостью ковша экскаватора [2, 3]. С 1970 по 2015 г. вместимость ковша среднесписочного экскаватора на крупнейших ГОКах России увеличилась с 5,3 до 9,5 м<sup>3</sup>, т.е. на 44,2 %, но в последнее время увеличение объема среднесписочного ковша наблюдается более сдержанно. Грузоподъемность среднесписочного автосамосвала возросла с 87,6 до 136,8 т, т.е. почти на 56,2 % [1 – 3]. Вышеуказанная тенденция по росту единичной мощности экскаваторов подтверждается фактическими данными (см. рис. 1).

Основные высокопроизводительные экскаваторы с ковшом 15 м<sup>3</sup> и более, эксплуатируемые на карьерах в России на сегодняшний день, приведены в табл. 1. Соотношение экскаваторов различных типов в общем парке выемочного оборудования на горнодобывающих предприятиях находится в достаточно широком диапазоне [3 – 8]. На предприятиях эксплуатируют как гидравлические, так и электромеханические экскаваторы, каждый из этих типов машин имеет свою область применения, в которой реализует наибольшую производительность и эффективность [9 – 15].

Многолетняя практика работы гидравлических экскаваторов на рудных карьерах со скальными породами (Мурунтау, Карельский окатыш, предприятия КМА) и угольных разрезах показала, что суммарные затраты на владение гидравлическими экскаваторами (затраты на приобретение, эксплуатацию, технический сервис, а также капитальные затраты на создание инфраструктуры для их технического сервиса с целью достижения сравнимых с канатными экскаваторами показателей надежности [16]) в 1,5 – 2,5 раза больше [17], чем с электромеханическими. Тем не менее гидравлические экскаваторы рациональнее применять при селективной выемке или на участках с крутопадающими залежами, в местах, где имеются проблемы с подводом электричества, а также в обводненных условиях. В работе [18] показано, что современные гидравлические экскаваторы за счет возможности позиционирования ковша на рукояти имеют значения фактических усилий копания по ряду направлений в 2 – 2,5 раза больше по сравнению с механическими лопатами, что предопределяет их преимущество при разработке крепких пород либо при безвзрывной выемке. Возможность надежной эксплуатации гидравлических машин прослеживается на примерах железорудного карьера в АО «Карельский окатыш» (коэффициент готовности экскаватора РС-5500Е достигал 0,84 - 0,98), Черниговского разреза в Кузбассе, разреза «Восточно-Бейский» (в январе 2015 г. на экскаваторах РС-3000Е достигнута производительность 752 и 844 тыс. м<sup>3</sup>, что является мировым рекордом в этом классе машин) [19].

При этом свои области применения имеются и для различных по емкости ковшей экскаваторов (как гидравлических, так и электромеханических), а сверхмощное оборудование нерационально применять повсеместно.

а) Карьерные экскаваторы



б) Карьерные автосамосвалы

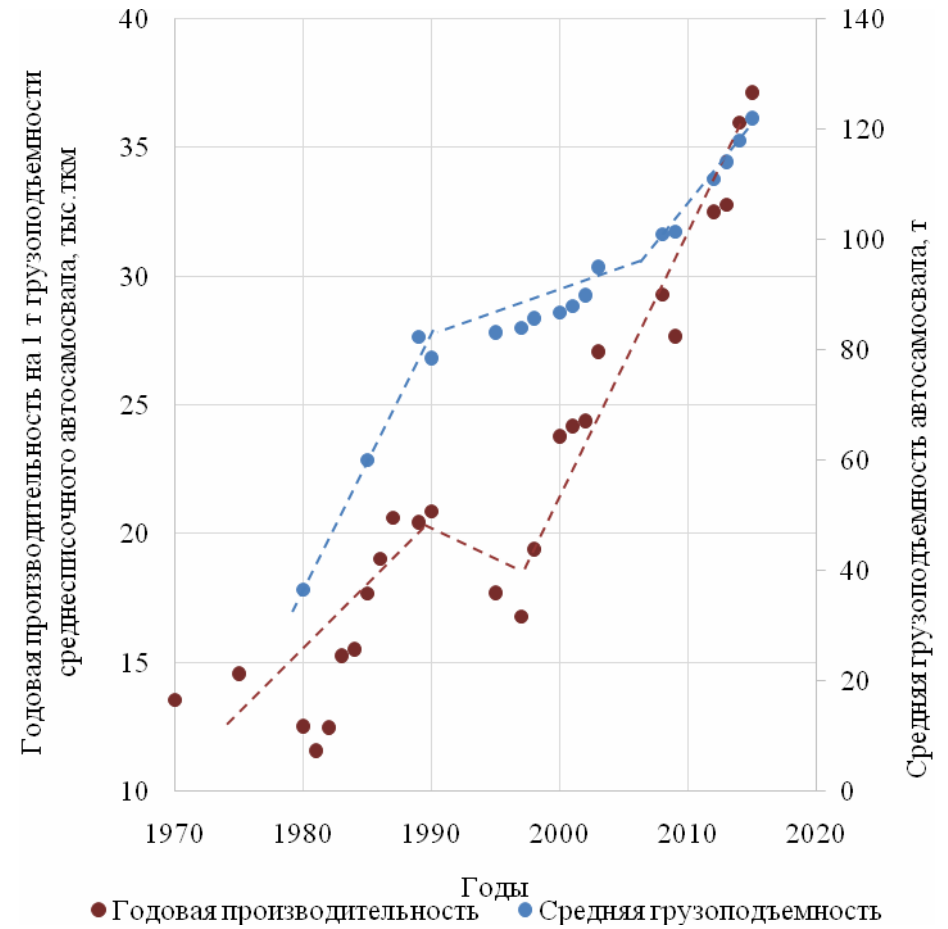


Рис. 1. Динамика изменения типоразмера и производительности экскаваторов и автосамосвалов на крупнейших железорудных карьерах России (Михайловский ГОК, Стойленский ГОК, Лебединский ГОК, Качканарский ГОК, предприятия ММК, Костомукшский ГОК, Оленегорский ГОК и Ковдорский ГОК)

Таблица 1

Наиболее распространенные мощные экскаваторы с ковшом 15 м<sup>3</sup> и более, эксплуатируемые на карьерах в России<sup>3</sup>

Емкость ковша экскаватора, м <sup>3</sup>	Рациональная грузоподъемность самосвалов, т	Эксплуатационная масса экскаватора <sup>1</sup> , т	Канатные <sup>2</sup>				Гидравлические <sup>2</sup>				
			УЗТМ-КАРТЕКС	P&H	Cat ( Bucyrus)	WK (TZ)	Cat (Terex, Bucyrus)		Komatsu	Liebherr	Hitachi
15 – 17	130 – 220	$\frac{725}{250 - 300}$	ЭКГ-15 V=15 м <sup>3</sup> m=725 т	PH 2100 V=13–15 м <sup>3</sup> m=485–495 т	–	WK-12 V=8–16 м <sup>3</sup> m=490 т	Terex RH120 V=15–17 м <sup>3</sup> m=285 т	Cat 6030 V=16,5–17 м <sup>3</sup> m=294 т	PC 3000 V=12 – 16,5 м <sup>3</sup> m=250–261 т	R 9250 V=15 м <sup>3</sup> m=249–253 т	EX2600 V=15–17 м <sup>3</sup> m=256 т
16 – 25	180 – 240	$\frac{740 - 800}{300 - 400}$	ЭКГ-18 (М) / ЭКГ-20 (К)(КМ) V=16 – 25 м <sup>3</sup> m=740 – 800 т	–	–	WK-20 V=16–34 м <sup>3</sup> m=792 т	Terex RH170 V=21 м <sup>3</sup> m=395 т	Cat 6040 V=22 м <sup>3</sup> m=405 т	PC 4000 V=19–25 м <sup>3</sup> m=380–399 т	R 9350/9400 V=18/22 м <sup>3</sup> m=302–345 т	EX3600 V=21–23 м <sup>3</sup> m=359–366 т
25 – 30	180 – 290	$\frac{775 - 980}{450 - 540}$	–	PH 2300 V=22–28 м <sup>3</sup> m=775–790 т	Cat 7295 V=18,4-39 м <sup>3</sup> m=789 т	WK-27 V=27 м <sup>3</sup> m=980 т	Terex RH200 V=26–28 м <sup>3</sup> m=525–537 т	Cat 6050 V=26–28 м <sup>3</sup> m=537 т	PC 5500 V=28–29 м <sup>3</sup> m=527–533 т	R995 V=26,5 м <sup>3</sup> m=450 т	EX 5500 V=27 м <sup>3</sup> m=518 т
34 – 36	200 – 320	$\frac{1080 - 1250}{540 - 690}$	ЭКГ-32Р / ЭКГ-35 V=32 – 35 м <sup>3</sup> m=1085 –1250 т	PH 2800 V=35–39 м <sup>3</sup> m=1079 т	Cat 7395 V=19,1-49,7 m=1179 т	WK-35 V=35 м <sup>3</sup> m=1080 т	–	Cat 6060 V=34 м <sup>3</sup> m=547–570 т	PC 7000 V=34–36 м <sup>3</sup> m=677-681 т	R996 V=29–34 м <sup>3</sup> m=668 т	EX5600 V=34 м <sup>3</sup> m=537 т
42 – 52	240 – 400	$\frac{1200 - 1560}{750 - 1000}$	–	PH 4100 V=53–61 м <sup>3</sup> m=1459 т	495HD/HR V=31-61,2 м <sup>3</sup> m=1200/1300 т	WK-45/55 V=45/55 м <sup>3</sup> m=1380/1560 т	–	Cat 6090 V=52 м <sup>3</sup> m=1000 т	PC 8000 V=38–42 м <sup>3</sup> m=752–777 т	R9800 V=42–47,5 м <sup>3</sup> m=800–810 т	EX8000 V=43 м <sup>3</sup> m=837 т

## Примечания:

<sup>1</sup> – в числителе – средние значения для канатных экскаваторов; в знаменателе – для гидравлических

<sup>2</sup> – в колонках: ЭКГ-15 – модель экскаватора;

V=15 м<sup>3</sup> – номинальная вместимость ковша экскаватора;

m=725 т – эксплуатационная масса экскаватора.

<sup>3</sup> – Мощные гидравлические экскаваторы с емкостью ковша в диапазоне 34 – 36 м<sup>3</sup> и 42 – 52 м<sup>3</sup> (кроме EX5600), а также экскаватор WK-45/55 приведены справочно.

### Изложение рассматриваемых вопросов

Исходя из представленных на рис. 2 данных, отражающих фактические показатели на некоторых горнодобывающих предприятиях за период с 2015 по 2023 г., можно сделать вывод, что среднемесячная выработка экскаваторов по отгруженной горной массе кардинально ограничивается условиями эксплуатации. Так, для экскаваторов с ковшем 18 – 20 м<sup>3</sup> производительность составляла от 430 до 510 тыс. м<sup>3</sup>, что в среднем на 50 – 55 % меньше их технической производительности. При этом рекордные показатели достигали от 700 до 1020 тыс. м<sup>3</sup>/мес.

Для экскаваторов с большой емкостью ковша (32 – 35 м<sup>3</sup>) производительность была, соответственно, выше: среднемесячный показатель составлял от 600 до 900 тыс. м<sup>3</sup>/мес, что на 43 – 47 % меньше их технической производительности.

Важно отметить, что даже при интенсивном использовании экскаваторов и установлении рекордных показателей за счет непрерывной двухсторонней погрузки их фактическая производительность остается ниже расчетной (например, анализ, приведенный в [20]). Это связано с техническими ограничениями, организационными проблемами, погодными условиями и другими факторами, которые влияют на процесс выемочно-погрузочных работ.

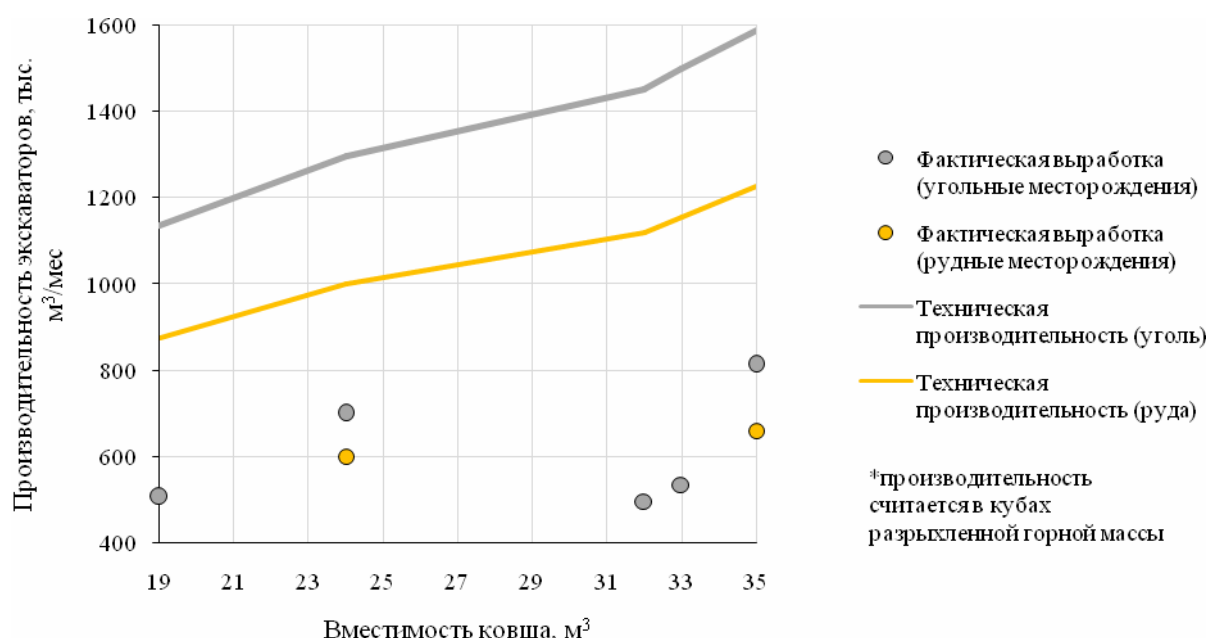


Рис. 2. Зависимость производительности от единичной мощности экскаватора (емкости ковша)

С 1990-х гг. развитие российского экскаваторостроения было стагнировано как в части проектирования и экспериментального производства в сфере машиностроения, так и в части неготовности горнодобывающих предприятий принимать на себя организационно-финансовую нагрузку по опытно-промышленной эксплуатации новых машин, которая неизбежно связана с необходимостью их доводки и устранения недостатков. В последнее десятилетие темпы развития возросли, ускорившись в последние годы, в том числе ввиду геополитической обстановки. УЗТМ-КАРТЕКС разработаны и эксплуатируются российские экскаваторы с вместимостью ковша до 35 м<sup>3</sup>. Насыщена линейка экскаваторов с ковшами 15 – 20 м<sup>3</sup> с различной конструкцией рабочего оборудования (реечный однобалочный и двухбалочный напор, канатный напор). Ведутся работы по созданию линейки отечественных гидравлических карьерных экскаваторов. Стоит задача создания экскаваторов с большей вместимостью ковша для условий угольных месторождений [17, 21, 22].

С горно-технологической точки зрения экскаватор выбирается по двум основным группам факторов:

– соответствие экскаватора технологии добычи полезных ископаемых, определяемой горно-геологическими условиями, выражающееся в высоте рабочих уступов (подуступов) и, соответственно, высоте черпания и единичной производительности экскаватора (определяемой вместимостью ковша), которые также должны учитывать селективность выемки руды;

– соответствие типоразмеру карьерного транспорта как по рациональной продолжительности погрузки транспортных единиц, так и по соответствию геометрических параметров рабочего оборудования.

С учетом современного развития вычислительных мощностей выбор рациональной структуры экскаваторно-автомобильного комплекса должен осуществляться с учетом обоих вышеуказанных направлений путем оптимизации под конкретные горно-геологические условия с учетом всего жизненного цикла карьера.

Для определения рациональной типоразмерной линейки экскаваторов в общем случае можно ориентироваться на соответствие типоразмерному ряду карьерных автосамосвалов как превалирующему виду сборочного транспорта (по вместимости ковша и геометрическим параметрам разгрузки), исходя из соотношения вместимостей грузовой платформы автосамосвала и ковша экскаватора (табл. 2).

Из представленного укрупненного анализа видно, что особого внимания требуют следующие группы экскаваторов:

– с вместимостью ковша 15 – 25 м<sup>3</sup> – для этой группы необходим максимальный диапазон конструктивных вариантов и вместимости ковшей под широкий диапазон горно-геологических условий;

– с вместимостью ковша 30 – 35 м<sup>3</sup> – требуется развитие конструкций для повышения ремонтпригодности, повышения ресурса изнашиваемых частей, повышения коэффициента технической готовности, комплексная проработка конструктивных и организационно-эксплуатационных мероприятий, обеспечивающих сокращение продолжительности внутригодовых поддерживающих текущих ремонтов.

В перспективе необходима также разработка особо мощных экскаваторов с ковшами 45 – 60 м<sup>3</sup> для обеспечения развития наиболее мощных экскаваторно-автомобильных комплексов при обеспечении импортонезависимости. Также актуальной проблемой является отсутствие отечественной линейки мощных карьерных гидравлических экскаваторов с ковшами 10 – 18 м<sup>3</sup>, применение которых востребовано в сложных горно-геологических условиях и для отработки приконтурных зон.

Новые экскаваторы производства УЗТМ-КАРТЕКС регулярно дорабатываются и выходят на хорошие рабочие показатели (рис. 3). Так, например, экскаваторы первой опытной партии ЭКГ-35 производства «Уралмашзавода» в результате планомерной работы по их «доводке» вышли с показателей 600 – 700 тыс. м<sup>3</sup>/мес на стабильные 750 - 830 тыс. м<sup>3</sup>/мес (отметим, что такая среднемесячная выработка заметно ниже технической производительности машины из-за ограничений по горно-геологическим и организационно-технологическим факторам). Коэффициент технической готовности повысился за указанный период с 0,77 до 0,85 – 0,88. Это стало результатом как конструктивных доработок изготовителем, так и адаптации системы эксплуатации с учетом особенностей данных экскаваторов силами эксплуатирующих организаций (угольных разрезов).

Модернизированный ЭКГ-35М, в конструкции которого учтены выявленные недостатки и применен ряд усовершенствований, в реальных условиях эксплуатации обеспечивает 900 – 1000 тыс. м<sup>3</sup>/мес и выше.

Таблица 2

**Линейка типоразмеров мощных экскаваторов, построенная по соответствию линейке карьерных автосамосвалов**

Типоразмер автосамосвалов		Типоразмер экскаваторов производства УЗТМ-КАРТЕКС										
		Имеющиеся модели экскаваторов							Перспективные модели			
		УГЭ-300 (гидравл.)	ЭКГ-15М	ЭКГ-18Р	ЭКГ-20	ЭКГ-20К	ЭКГ-20КМ	ЭКГ-32Р	ЭКГ-35	ЭКГ-25, ЭКГ-30Р	(45)****	(55)****
Грузоподъемность, т Вместимость, м <sup>3</sup> *	Рекоменд. ковш экскаватора, м <sup>3</sup> **	вместимость основного ковша экскаватора, м <sup>3</sup> *** / диапазон вместимости сменных ковшей, м <sup>3</sup>										
		16 / 11 – 16	15-16,5 / 8 – 18	20 / 16 – 26	20 / 16 – 22	20 / 18 – 28	25 / 20 – 32	35 / 20 – 45	35 / 20 – 40	25 / 20 – 32	45 / 40 – 50	55 / 50 – 60
<u>110 – 140</u> (136) 67 – 135 (70)	12 – 20	6,1	–	4,2	4,2	3,7	–	–	–	–	–	–
		5,0	5,3	4,0	4,0	4,0	–					
		–	–	5,2	6,1	4,8	4,2					
<u>160</u> 65 – 96 (90)	20 – 30	–	–	6,0	6,0	5,4	4,8	4,8	4,8	4,8	–	–
		6,0	–	4,8	4,8	4,8	3,9	–	–	3,9	–	–
		6,0	5,4	3,7	4,4	3,4	–	–	–	–	–	–
<u>180</u> 72 – 108 (90)	20 – 30	–	–	–	–	6,0	5,4	5,4	5,4	5,4	–	–
		–	–	5,4	5,4	5,4	4,3	–	–	4,3	–	–
		–	6,0	4,2	4,9	3,9	3,4	–	–	3,4	–	–
<u>220</u> 90 – 147 (110)	30 – 45	–	–	–	–	–	5,6	5,6	5,6	5,6	–	–
		–	–	–	–	–	5,1	3,7	3,7	5,1	–	–
		–	–	5,7	–	5,3	4,6	3,3	3,3	4,6	–	–
<u>240</u> 96 – 141 (120)	30 – 45	–	–	–	–	–	–	–	–	–	3,5	–
		–	–	–	–	–	5,6	4,0	4,0	5,6	–	–
		–	–	5,4	–	5,0	4,4	3,1	3,1	4,4	–	–
<u>290</u> 116 – 172 (150)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	4,3	3,5
		–	–	–	–	–	–	4,9	4,9	–	3,8	–
		–	–	–	–	–	5,4	3,8	3,8	5,4	3,5	–
<u>360</u> 150 – 205 (180)	45 – 60	–	–	–	–	–	–	–	–	–	5,0	4,0
		–	–	–	–	–	–	5,9	5,9	–	4,6	3,7
		–	–	–	–	–	–	4,8	4,8	–	4,4	3,6
<u>450</u> 200 – 268	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	5,4
		–	–	–	–	–	–	–	–	–	6,0	4,9
		–	–	–	–	–	–	6,0	6,0	–	5,4	4,5

Примечание: \* Указана вместимость грузовой платформы автосамосвала с учетом «шапки», м<sup>3</sup> (в скобках дан параметр для базовой модификации).

\*\*Объем ковша, рекомендуемый заводом-изготовителем карьерных самосвалов БелАЗ (<https://belaz.by/products/products-belaz/dumpers/>).

\*\*\* Указан диапазон емкости ковша с сайта завода-изготовителя экскаваторов УЗТМ-КАРТЕКС (<https://uralmash-kartex.ru/eksavatory/>).

В ячейках указано соотношение вместимости кузова автосамосвала и ковша экскаватора (чем темнее заливка ячейки, тем рациональнее вариант) для ковшей: уменьшенный / основной / максимальный.

\*\*\*\* Приведены возможные для изготовления экскаваторы (исходя из зарубежных аналогов экскаваторов и применяющихся автосамосвалов).

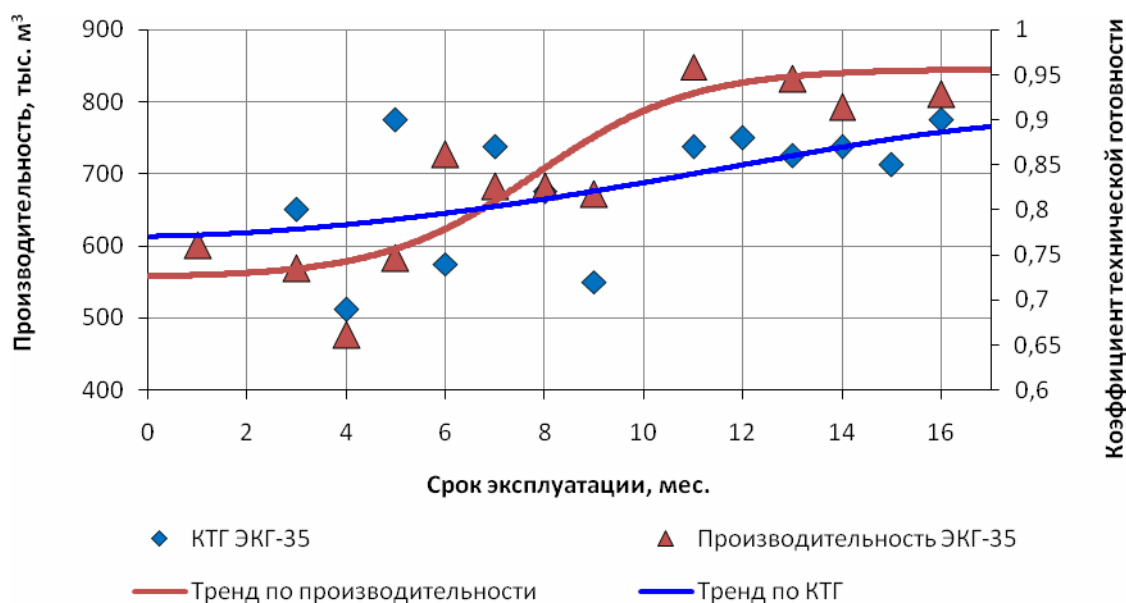


Рис. 3. Динамика улучшения показателей работы экскаватора ЭКГ-35 на угольном разрезе в период его конструктивной доводки

Сравнение показателей работы экскаваторов ЭКГ-35 и зарубежных серийных аналогов для условий угольного разреза показывает (рис. 4), что относительно новые модели мощных отечественных экскаваторов конкурентоспособны. В то же время есть необходимость совершенствования рассматриваемых отечественных машин (рис. 5) для достижения и превышения показателей лучших образцов мировых производителей: среднеэксплуатационную производительность ЭКГ-35 необходимо увеличить на 7 – 12% от текущего показателя, а коэффициент технической готовности должен обеспечиваться на уровне 0,85 – 0,90.

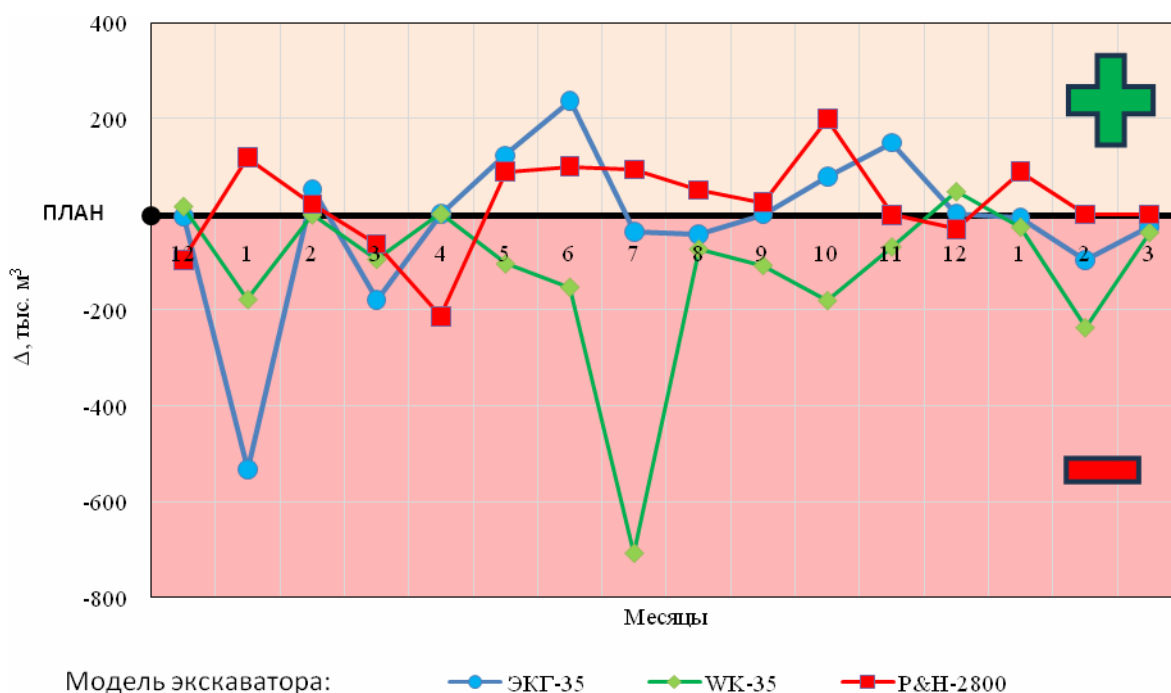
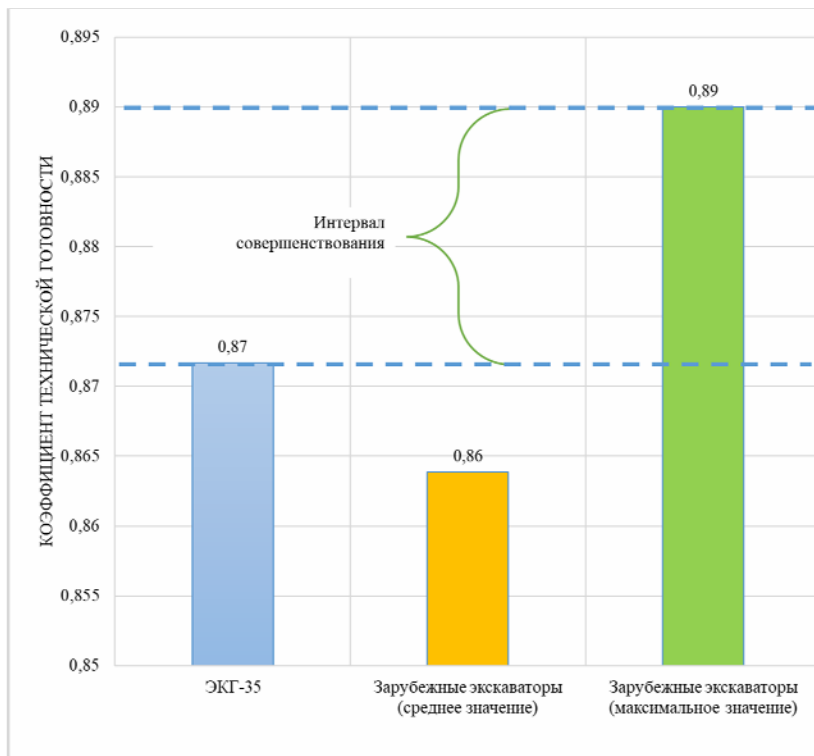


Рис. 4. Разница плановой и фактической производительности отечественного и зарубежных экскаваторов с емкостью ковша 35 м<sup>3</sup> на одном из угольных разрезов



а) Коэффициент технической готовности



б) Производительность

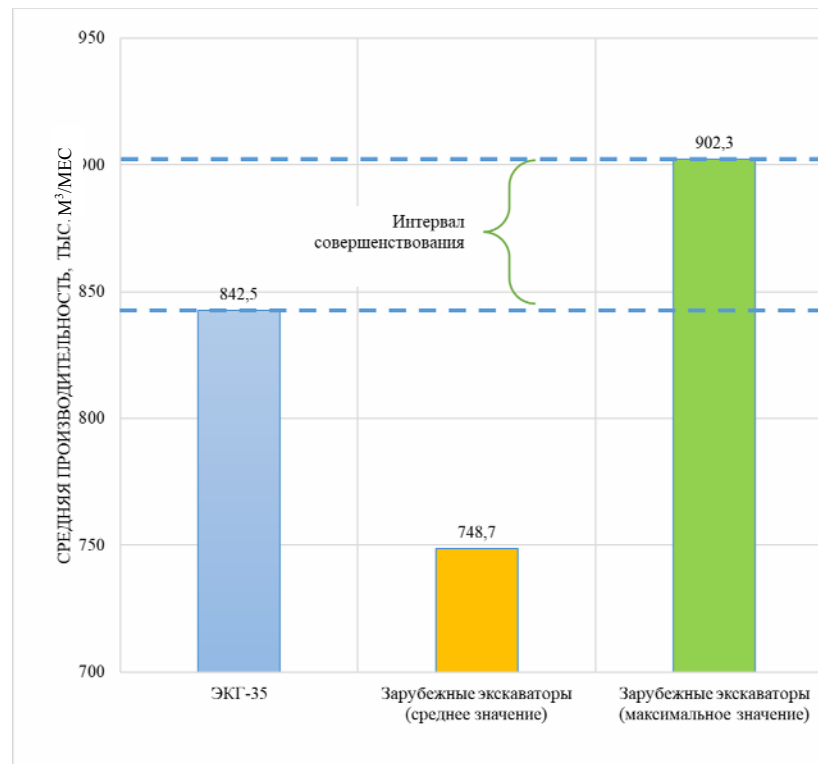


Рис. 5. Сравнение показателей работы отечественного экскаватора ЭКГ-35 (после первичной опытно-промышленной доводки конструкции) и зарубежных аналогов на угольном разрезе (фактическая выработка всех рассмотренных экскаваторов существенно ниже их технической производительности с учетом ограничений по горно-геологическим и организационно-технологическим факторам)

В настоящее время актуальным является вопрос доработки конструкций уже выпускаемых российских экскаваторов с вместимостью ковшей 20 – 35 м<sup>3</sup> с целью обеспечения высоких эксплуатационных показателей. Анализ на действующих российских горнодобывающих предприятиях, где они эксплуатируются, показал следующее:

1. Геометрические параметры экскаваторов обеспечивают эффективную экскавацию и погрузку горной массы в карьерный транспорт.

2. Базовая конструкция экскаваторов обеспечивает их адаптацию к фактическим условиям эксплуатации путем конструктивной «доводки» с учетом данных, полученных в ходе опытно-промышленных испытаний; перепроектирование машин не требуется.

3. Требуют совершенствования конструкции экскаваторов:

– развитие конструктивно-силовых схем рабочего оборудования с целью повышения их ресурса, снижения объема работ по «поддерживающему» их ресурсу ремонту;

– усиление износостойкости зон повышенного износа на ковше, выявленных в ходе опытно-промышленной эксплуатации; оптимизация формы зубьев для повышения их ресурса;

– развитие конструкции гусеничного хода для повышения ресурса в условиях недостаточно качественно подготовленных оснований забоев при их динамичном подвигании;

– комплексная оптимизация по факторам «качество материалов – ресурс деталей», которые обеспечили бы рациональное распределение количества изнашиваемых деталей во времени по видам ремонтов с целью снижения «нагрузки» на внутригодовые поддерживающие (текущие) ремонты.

4. Для сложных горно-геологических условий необходима модификация экскаваторов с речным напором, снабженным механическим ограничителем усилия напора, чтобы предотвращать чрезмерные нагрузки на металлоконструкции и их преждевременный выход из строя.

#### *Выводы*

1. Анализ показателей функционирования основных высокопроизводительных экскаваторов, применяющихся на ведущих угольных разрезах и железорудных ГОКах России показал, что коэффициент технической готовности отечественных и зарубежных экскаваторов находится на близком уровне. Расчетная техническая производительность экскаваторов выше реальной фактической производительности, достигаемой на ГОКах на 30 % и более. Для ее увеличения необходима минимизация негативно влияющих факторов, что достигается при установлении рекордных показателей на ГОКах и разрезах.

2. За последнее десятилетие российскими производителями карьерных экскаваторов сформирована линейка экскаваторов с ковшами 15 – 35 м<sup>3</sup>. Экскаваторы прошли этап опытно-промышленного освоения и усовершенствования. В настоящее время продолжается развитие их конструкций. Опыт показал, что конструктивная «доводка» обеспечивает приближение их производительности и технической готовности к показателям аналогичных серийных зарубежных машин.

3. Группой экскаваторов, требующих наиболее пристального внимания и скорейшей доводки конструкций до высоких показателей производительности и надежности, являются канатные экскаваторы-мехлопаты с вместимостью ковша 20 - 35 м<sup>3</sup>.

4. Перспективной областью освоения для отечественного экскаваторостроения в области добычи полезных ископаемых являются:

– электромеханические канатные экскаваторы с вместимостью ковша 40 - 60 м<sup>3</sup>;

– гидравлические экскаваторы с вместимостью ковша 10 – 18 м<sup>3</sup> (а в перспективе и более).

### Список литературы

1. Яковлев В.Л., Яковлев В.А., 2017. Актуальные проблемы карьерного транспорта и перспективы его развития. *Проблемы недропользования*, № 4(15), С. 5 – 9. DOI: 10.18454/2313-1586.2017.04.005
2. Яковлев В.Л., 2012. Транспорт глубоких карьеров: состояние, проблемы, перспективы развития. *Глубокие карьеры: сборник докладов Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, Апатиты, 18–22 июня 2012 года.* – Апатиты: ООО "Реноме", С. 67 – 80.
3. *Технико-экономические показатели горных предприятий за 1990 – 2015 гг.* Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2015, 255 с.
4. Хорешок А.А., Дубинкин Д.М., Марков С.О., Тюленев М.А., 2021. Оценка степени взаимовлияния вместимости ковша экскаватора и кузова автосамосвала. *Вестник Кузбасского государственного технического университета*, № 3(145), С. 104 – 112.
5. Сытенков В.Н., Ганин А.Р., Донченко Т.В., Шибанов Д.А., 2014. Анализ областей применения канатных и гидравлических экскаваторов при открытой разработке месторождений. *Рациональное освоение недр*, № 3, С. 30 – 37.
6. Гавришев С.Е., Кольга А.Д., Пыталев И.А., Попова Т.М., 2019. Повышение эффективности использования автосамосвалов в условиях карьеров на открытых горных работах. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*, № 3, С. 161 – 170.
7. Подэрни Р.Ю., 2015. Мировой рынок поставок современного выемочно-погрузочного оборудования для открытых горных работ. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 2, С. 148 – 167.
8. Анистратов Ю.И., Анистратов К.Ю. и др., 2019. *Открытые горные работы – XXI век. Справочник.* Том 1. Под ред. Анистратова К.Ю. Москва: ООО «Система максимум», 640 с.
9. Колесников В.Ф., Цехлар М., Тюленева Е.А., 2018. Обзор ведения выемочно-погрузочных работ при отработке угленасыщенных зон разрезов Кузбасса. *Техника и технология горного дела*, № 2 (2), С. 36 – 50.
10. Подэрни Р.Ю., Булес П., 2015. Сравнительный анализ гидравлических и механических экскаваторов с прямой лопатой. *Горный журнал*, № 1, С. 55 – 61.
11. Страбыкин Н.Н., Горячкин В.М., 2012. Основные направления технической политики в области развития экскаваторостроения для карьеров. *Горное оборудование и электромеханика*, № 3, С. 36 – 44.
12. Litvin O., Makarov V., Strelnikov A., Tyuleneva E., 2019. Study of the backhoe's digging modes at rock face working-out. *E3S Web of Conferences*, Vol. 105, Article no. 01024.
13. Кантович Л.И. Литвин О.И., Хорешок А.А., Тюленева Е.А., 2019. Опыт и перспективы применения гидравлических экскаваторов при отработке угленасыщенных зон на разрезах Кузбасса. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 4, С. 152 – 160.
14. Тюленев М.А., Марков С.О., Дубинкин Д.М., Аксенов В.В., 2021. Об интенсивности изменения производительности автономной тяжелой платформы. *Вестник КузГТУ*, № 1, С. 97 – 108.
15. Дубинкин Д.М., Аксенов В.В., Тюленев М.А., Марков С.О., 2020. Влияние горнотехнических факторов на производительность беспилотных карьерных автосамосвалов. *Техника и технология горного дела*, № 4 (11), С. 42 – 69.
16. Анистратов К.Ю., 2012. Анализ рынка карьерных экскаваторов и самосвалов в РФ и странах СНГ. *Горная промышленность*, № 2(102), С. 16 – 19.
17. Анистратов К.Ю., 2016. Технико-экономическое обоснование эффективности применения карьерных экскаваторов ЭКГ-18 с речным напором ПАО "Уралмашзавод" на угольных разрезах. *Горная промышленность*, № 5(129), С. 18 – 24.

18. Фирсов А.Л., Бобровский Д.А., Синяков А.А., 2009. Техническое перевооружение филиала ОАО ХК «Якутуголь» разрез «Нерюнгринский». *Горный информационно-аналитический бюллетень*. № 1, С. 361 – 369.

19. Бураков А.М., Панишев С.В., Алькова Е.Л., Хосоев Д.В., 2022. Опыт применения гидравлических экскаваторов в сложных горно-геологических и климатических условиях. *Горная промышленность*, № 2, С. 90 – 96. DOI 10.30686/1609-9192-2022-2-90-96.

20. Журавлев А.Г., Глебов И.А., Черепанов В.А., 2023. Поиск резервов повышения производительности экскаваторно-автомобильных комплексов с применением компьютерного моделирования. *Горная промышленность*, № 6, С. 72 – 78.

21. Анистратов К.Ю., 2019. Анализ эффективности применения экскаваторов УЗТМ-КАРТЭКС на карьерах. *Горная промышленность*, № 5(147), С. 20.

22. Уралмашзавод и Газпромбанк: комплексные решения для горной промышленности. *Горная промышленность*, 2017, № 1(131), С. 59.

### References

1. Yakovlev V.L., Yakovlev V.A., 2017. Aktual'nye problemy kar'ernogo transporta i perspektivy ego razvitiya [Current problems of career transport and prospects for its development]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 4(15), P. 5 – 9. DOI: 10.18454/2313-1586.2017.04.005

2. Yakovlev V.L., 2012. Transport glubokikh kar'erov: sostoyanie, problemy, perspektivy razvitiya [Deep quarry transport: status, problems, development prospects]. *Glubokie kar'ery: sbornik dokladov Vserossiiskoi nauchno-tekhniceskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, Apatity, 18–22 iyunya 2012 goda.* – Apatity: ООО "Renome", P. 67 – 80.

3. Tekhniko-ekonomicheskie pokazateli gornyykh predpriyatii za 1990 – 2015 gg. [Technical and economic indicators of mining enterprises for 1990 – 2015]. Ekaterinburg: IGD UrO RAN, 2015, 255 p.

4. Khoreshok A.A., Dubinkin D.M., Markov S.O., Tyulenev M.A., 2021. Otsenka stepeni vzaimovliyaniya vmestimosti kovsha ekskavatora i kuzova avtosamosvala [Assessment of the degree of mutual influence of the bucket capacity of the excavator and the dump truck body]. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, № 3(145), P. 104 – 112.

5. Sytenkov V.N., Ganin A.R., Donchenko T.V., Shibanov D.A., 2014. Analiz oblastei primeneniya kanatnykh i gidravlicheskikh ekskavatorov pri otkrytoi razrabotke mestorozhdenii [Analysis of the application of rope and hydraulic excavators in the open-pit mining of deposits]. *Ratsional'noe osvoenie nedr*, № 3, P. 30 – 37.

6. Gavishev S.E., Kol'ga A.D., Pytalev I.A., Popova T.M., 2019. Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya avtosamosvalov v usloviyakh kar'erov na otkrytykh gornyykh rabotakh [Improving the efficiency of using dump trucks in open pit mining operations]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*, № 3, P. 161 – 170.

7. Poderni R.Yu., 2015. Mirovoi rynek postavok sovremennogo vyemochno-pogruzochnogo oborudovaniya dlya otkrytykh gornyykh rabot [The global market for the supply of modern dredging and loading equipment for open-pit mining]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 2, P. 148 – 167.

8. Anistratov Yu.I., Anistratov K.Yu. i dr., 2019. Otkrytye gornye raboty – XXI vek. Spravochnik [Open-pit mining – the XXI century. Guide]. Vol. 1. Pod red. Anistratova K.Yu. Moscow: ООО "Sistema maksimum", 640 p.

9. Kolesnikov V.F., Tsekhlar M., Tyuleneva E.A., 2018. Obzor vedeniya vyemochno-pogruzochnykh rabot pri otrabotke uglenasyschennykh zon razrezov Kuzbassa [Overview of the conduct of excavation and loading operations during the development of coal-rich zones of Kuzbass sections]. *Tekhnika i tekhnologiya gornogo dela*, № 2 (2), P. 36 – 50.

10. Poderni R.Yu., Bules P., 2015. Sravnitel'nyi analiz gidravlicheskiikh i mekhanicheskikh ekskavatorov s pryamoj lopatoi [Comparative analysis of hydraulic and mechanical excavators with a straight shovel]. *Gornyi zhurnal*, № 1, P. 55 – 61.
11. Strabykin N.N., Goryachkin V.M., 2012. Osnovnye napravleniya tekhnicheskoi politiki v oblasti razvitiya ekskavatorostroeniya dlya kar'erov [Main directions of technical policy in the field of quarries excavator construction development of quarries excavators]. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*, № 3, P. 36 – 44.
12. Litvin O., Makarov V., Strelnikov A., Tyuleneva E., 2019. Study of the backhoe's digging modes at rock face working-out. *E3S Web of Conferences*, Vol. 105, Article no. 01024.
13. Kantovich L.I. Litvin O.I., Khoreshok A.A., Tyuleneva E.A., 2019. Opyt i perspektivy primeneniya gidravlicheskiikh ekskavatorov pri otrabotke uglenasyshchennykh zon na razrezakh Kuzbassa [Main directions of technical policy in the field of quarries excavator construction development of quarries excavators]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 4, P. 152 – 160.
14. Tyulenev M.A., Markov S.O., Dubinkin D.M., Aksenov V.V., 2021. Ob intensivnosti izmeneniya proizvoditel'nosti avtonomnoi tyazheloi platform [On the intensity of changing the performance of an autonomous heavy platform]. *Vestnik KuzGTU*, № 1, P. 97 – 108.
15. Dubinkin D.M., Aksenov V.V., Tyulenev M.A., Markov S.O., 2020. Vliyanie gornotekhnicheskikh faktorov na proizvoditel'nost' bespilotnykh kar'ernykh avtosamosvalov [Influence of mining engineering factors on the productivity of unmanned mining dump trucks]. *Tekhnika i tekhnologiya gornogo dela*, № 4 (11), P. 42 – 69.
16. Anistratov K.Yu., 2012. Analiz rynka kar'ernykh ekskavatorov i samosvalov v RF i stranakh SNG [Market analysis of mining excavators and dump trucks in Russia and CIS countries]. *Gornaya promyshlennost'*, № 2(102), P. 16 – 19.
17. Anistratov K.Yu., 2016. Tekhniko-ekonomicheskoe obosnovanie effektivnosti primeneniya kar'ernykh ekskavatorov EKG-18 s reechnym naporom PAO "Uralmashzavod" na ugol'nykh razrezakh [Feasibility study of the effectiveness of using EKG-18 rack-and-pinion excavators of PJSC Uralmashzavod at coal mines]. *Gornaya promyshlennost'*, № 5(129), P. 18 – 24.
18. Firsov A.L., Bobrovskii D.A., Sinyakov A.A., 2009. Tekhnicheskoe perevooruzhenie filiala OAO KhK "Yakutugol" razrez "Neryungrinskii" [Technical re-equipment of the branch of JSC HC "Yakutugol" section "Neryungrinsky"]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. № 1, P. 361 – 369.
19. Burakov A.M., Panishev S.V., Al'kova E.L., Khosoev D.V., 2022. Opyt primeneniya gidravlicheskiikh ekskavatorov v slozhnykh gorno-geologicheskikh i klimaticheskikh usloviyakh [Experience in the use of hydraulic excavators in difficult mining, geological and climatic conditions]. *Gornaya promyshlennost'*, № 2, P. 90 – 96. DOI 10.30686/1609-9192-2022-2-90-96.
20. Zhuravlev A.G., Glebov I.A., Cherepanov V.A., 2023. Poisk rezervov povysheniya proizvoditel'nosti ekskavatorno-avtomobil'nykh kompleksov s primeneniem komp'yuternogo modelirovaniya [Search for reserves to increase the productivity of excavator-automotive complexes using computer modeling]. *Gornaya promyshlennost'*, № 6, P. 72 – 78.
21. Anistratov K.Yu., 2019. Analiz effektivnosti primeneniya ekskavatorov UZTM-KARTEKS na kar'erakh [Analysis of the effectiveness of UZTM-KARTEX excavators in quarries]. *Gornaya promyshlennost'*, № 5(147), P. 20.
22. Uralmashzavod i Gazprombank: kompleksnye resheniya dlya gornoj promyshlennosti [Uralmash-plant and Gazprom-bank: integrated solutions for the mining industry]. *Gornaya promyshlennost'*, 2017, № 1(131), P. 59.