

УДК 622.271.3

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ВСКРЫШНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Дитятьев А.К., студент гр. ГОc-191, VI курс

Глушков А.С., студент гр. ГОc-211, IV курс

Куленков Р.Д., студент гр. ГОc-211, IV курс

Паламарчук А.Б., заместитель директора по производству,
филиал «Разрез Коксовый», АО «Распадская-Коксовая»

Научные руководители:

Марков С.О., к.т.н., доцент, Самусев П.А., к.т.н., доцент

Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово

Значение использования современного оборудования в производстве невозможно переоценить. Современные системы безопасности и диагностики, а также инновационные методы ведения горных работ, предлагаемые новейшими технологиями, способствуют повышению производительности и безопасности труда, что является ключевым принципом любого производственного процесса. Производители горного оборудования регулярно улучшают и расширяют возможности своих решений, что способствует совершенствованию рабочих процессов и повышению уровня безопасности на рабочих местах.

В условиях раздельной разработки сложноструктурных и сложнозалегающих пластов, помимо внедрения высокопроизводительного оборудования, необходимо обеспечить снижение эксплуатационных потерь угля, повышение его качества, улучшение экологических показателей предприятия и ряд иных факторов, влияющих на технико-экономические показатели работы предприятия в целом [1-20]. Это требует использования выемочных машин, наиболее подходящих для данных условий. В первую очередь к таким машинам относятся гидравлические обратные лопаты.

Благодаря своим конструктивным особенностям эти экскаваторы способны осуществлять выемку и загрузку горной массы в транспортные средства как на уровне стояния, так и выше и ниже его. Это делает их более технологичными по сравнению с экскаваторами, оснащенными прямой лопатой.

Ключевой характеристикой гидравлических экскаваторов является наличие ковша, который может вращаться относительно рукояти в вертикальной плоскости.

К достоинствам использования гидравлических экскаваторов следует отнести их высокую маневренность, точность выполнения работ, способность функционировать при отключении электроэнергии, сокращенный рабочий цикл по сравнению с механическими экскаваторами, а также отсутствие необходимости в помощи со стороны оператора.

К недостаткам можно отнести высокие эксплуатационные расходы, связанные с увеличенным объемом расходных материалов (топливо, масла,

запчасти), значительную сложность ремонта, что часто требует привлечения сервисных специалистов, а также длительные сроки поставки запчастей.

В качестве альтернативы экскаватору Hitachi ZX-870 (вместимость ковша 4,5 м³) предлагается рассмотреть гидравлический экскаватор Hitachi EX1200 (вместимость ковша 7,0 м³) для использования на вскрышных работах.

Сравнение базовых технических характеристик Hitachi ZX-870 и Hitachi EX1200 представлено в таблице 1, а кинематическая схема движения ковша этих экскаваторов приведена на рисунках 1 и 2.

Таблица 1

Сравнение технических характеристик Hitachi EX1200 и Hitachi ZX-870

Наименование показателя	Hitachi EX1200	Hitachi ZX-870
Емкость ковша, м ³	7,0	4,5
Максимальный радиус черпания, м	13,7	14,1
Максимальная глубина черпания, м	8,1	8,3
Максимальная высота черпания, м	12,3	10,6
Наибольший радиус выгрузки, м	12,6	12,9
Радиус вращения кузова, м	4,4	12,01
Рабочий объем, л	23,15	15,68
Расход ГСМ, кг/моточас.	138	99,95
Мощность двигателя, кВт (л.с)	567 (770)	360 (483)
Эксплуатационная масса, т	117,0	83,0

Кинематическая схема траектории движения ковша гидравлического экскаватора Hitachi ZX-870 типа "обратная лопата".

M 1:200

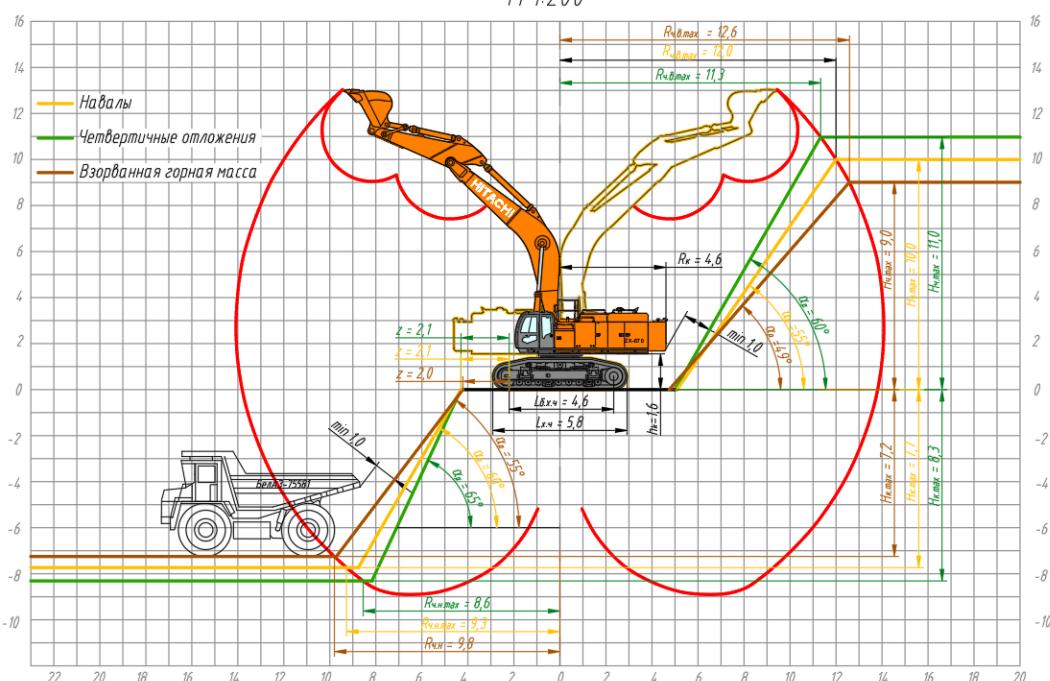


Рис. 1. Кинематическая схема движения ковша экскаватора Hitachi ZX-870

Кинематическая схема траектории движения ковша гидравлического экскаватора Hitachi EX1200 типа "обратная лопата".

M 1:200

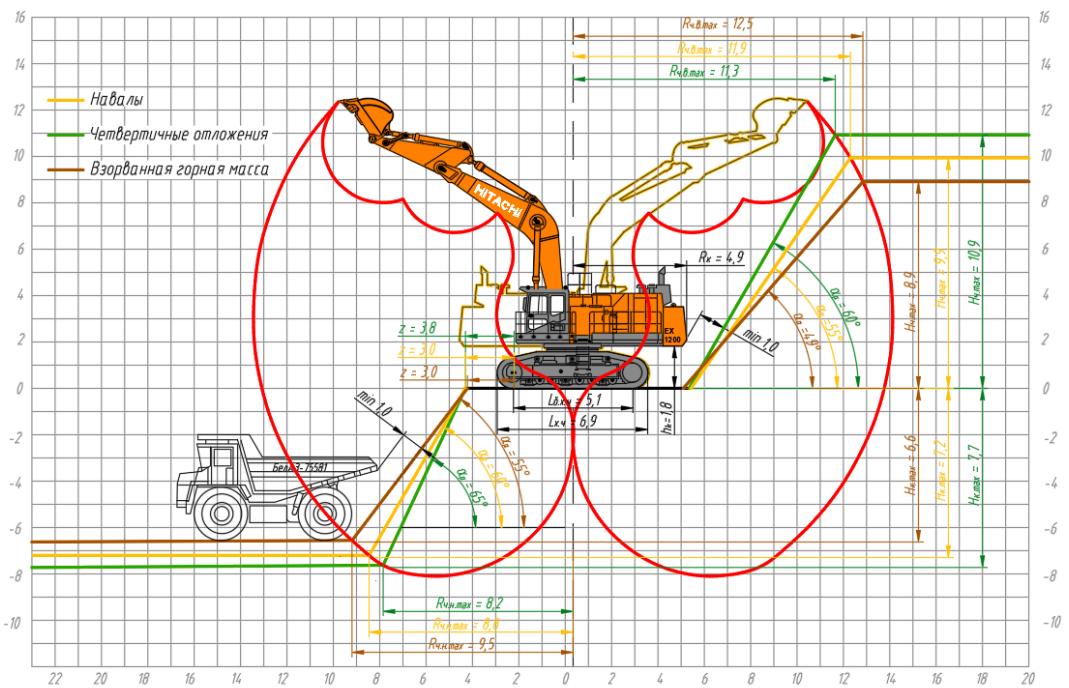


Рис. 2. Кинематическая схема движения ковша экскаватора Hitachi EX-1200

Расчет производительности экскаваторов, выполненный по известным методикам, показал, что годовая производительность EX-1200 превышает таковую у ZX-870 примерно в 1,6 раза (2,238 млн м³/год и 1,395 млн м³/год соответственно).

Для транспортировки породы от экскаватора на отвал используется автосамосвал БелАЗ-75581, имеющий грузоподъемность 90 тонн, который имеется в наличии на предприятии.

Расчёт количества ковшей при погрузке в автосамосвал:

$$n_{\text{ковшей}} = V_{\text{авто}} / E_{\text{ковша}}$$

где $V_{\text{авто}}$ – вместимость кузова автосамосвала БелАЗ 75581 – 53,3 м³;

$E_{\text{ковша}}$ – вместимость ковша, м³ (с учётом коэффициента использования вместимости ковша).

Для Hitachi ZX-870 – 4,5 м³, для Hitachi EX1200 – 7,0 м³

Hitachi ZX-870

$$n_{\text{ковшей}} = \frac{53,3}{4,5} = 12$$

Hitachi EX1200

$$n_{\text{ковшей}} = \frac{53,3}{7,0} = 8$$

Расчёт времени погрузки одного автосамосвала:

$$T_{\text{погр}} = t_{\text{загр}}$$

где $t_{\text{загр}}$ – время загрузки автосамосвала;

$$t_{\text{загр}} = n_{\text{ковшей}} \times t_{\text{цикл}}$$

$t_{\text{уст}}$ – время установки автосамосвала на погрузку;

$$t_{\text{загр}} = n_{\text{ковшей}} \times t_{\text{ц}}$$

Hitachi ZX-870

$$T_{\text{погр}} = 12 \times 26,4 = 316,8 \text{ сек}$$

Hitachi EX1200

$$T_{\text{погр}} = 8 \times 25,6 = 204,8 \text{ сек}$$

Расчёт количества загруженных автосамосвалов за смену:

$$N_{\text{авто}} = \frac{3600 \times T \times k_{\text{ис}}}{T_{\text{погр}}}$$

где T – продолжительность смены, час ($T = 12$ часов);

$k_{\text{ис}}$ – коэффициент использования сменного времени экскаватора (при погрузке в автомобильный транспорт на два подъезда $k_{\text{ис}}=1$)

Hitachi ZX-870

$$N_{\text{авто}} = \frac{3600 \times 12 \times 1}{316,8} = 137 \text{ шт.}$$

Hitachi EX1200

$$N_{\text{авто}} = \frac{3600 \times 12 \times 1}{204,8} = 211 \text{ шт.}$$

Расчёт производительности экскаватора по возможности автотранспорта:

$$Q_{\text{э.сут}} = 2 \times N_{\text{авто}} \times V_{\text{авто}}$$

Hitachi ZX-870

$$Q_{\text{сут}} = 2 \times 137 \times 53,3 = 14604 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Hitachi EX1200

$$Q_{\text{сут}} = 2 \times 211 \times 53,3 = 22493 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Годовая производительность, при условии количества 336 рабочих дней в году составит

$$Q_{\text{э.год}} = Q_{\text{э.сут}} \times n_{\text{дней}}$$

Hitachi ZX-870

$$Q_{\text{э.год}} = 14604 \times 336 = 4\,906\,944 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Hitachi EX1200

$$Q_{\text{сут}} = 22493 \times 336 = 7\,557\,648 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Время рейса автомобиля (мин.):

$$T_p = t_n + t_p + t_{\text{дв}} + t_m, \text{ мин}$$

где t_n – время погрузки, мин;

$$t_n = t_{\text{ц}} \times n_k$$

где $t_{\text{ц}}$ – время цикла экскаватора, мин;

n_k – число ковшей, разгружаемых в кузов, шт

Время движения:

$$t_{\text{дв}} = \sum_1^n t_{\text{дв}i} = \sum_1^n \frac{60 \times l_i}{v_i}$$

где $t_{\text{дв}i}$ - время движения автомобиля на i -м участке автодороги;

l_i - длина i -го участка, км;

v_i - скорость движения на i -м участке (км/час).

Среднее расстояние перевозки вскрыши составляет 2,0 км.

При движении автомобилей по временным дорогам в забое и на отвале вводится ограничение скорости 15 км/час, при движении на спуске более 50% - 20 км/час. При расчёте используем значения средней технической (приведённой технической) скорости (км/час):

$$v_{\text{ср.м.}} = \frac{L_{\text{mp}} + L_{\text{пор}}}{t_{\text{дв}}} = \frac{2v_{\text{гр}} \times v_{\text{пор}}}{v_{\text{гр}} + v_{\text{пор}}},$$

Число автосамосвалов, которое может эффективно использоваться в комплексе с одним экскаватором, определяют по формуле:

$$N_a = \frac{T_p}{t_{\text{пог}}}$$

Число рейсов в час автосамосвала:

$$N_p = \frac{60}{T_p}$$

Hitachi ZX-870

$$t_n = 30 \times 5 = 150 \text{ сек} = 2,08 \text{ мин}$$

$$v_{\text{ср.т.}} = \frac{2 \times 10 \times 30}{10 + 30} = 15 \text{ км/час}$$

$$t_{\text{дв}} = \frac{60 \times 1,5}{15} = 6$$

$$T_p = 5,1 + 0,8 + 6,4 + 0,9 = 13,2 \text{ мин}$$

$$N_a = \frac{13,2}{5,3} \approx 2 \text{ шт}$$

$$N_p = \frac{60}{13,2} \approx 4 \text{ шт}$$

Hitachi EX1200

$$t_n = 30 \times 5 = 150 \text{ сек} = 2,08 \text{ мин}$$

$$v_{\text{ср.т.}} = \frac{2 \times 10 \times 30}{10 + 30} = 15 \text{ км/час}$$

$$t_{\text{дв}} = \frac{60 \times 1,5}{15} = 6$$

$$T_p = 3,4 + 0,8 + 6,4 + 0,9 = 11,5 \text{ мин}$$

$$N_a = \frac{11,5}{3,4} \approx 3 \text{ шт}$$

$$N_p = \frac{60}{11,5} \approx 4 \text{ шт}$$

Сменная производительность автомобиля ($\text{м}^3/\text{см}$):

$$Q_{\text{см}} = \frac{q_a \times K_r \times N_p \times K_{pa}}{\rho_n} \times T_{\text{см}} \times K_{ia}$$

где K_r - коэффициент использования грузоподъёмности ($K_r = 0,95$).

K_{pa} - коэффициент разрыхления породы в кузове автосамосвала;

ρ_n - плотность породы в целике, $\text{т}/\text{м}^3$;

K_{ia} - коэффициент использования автосамосвала в течение смены (0,7-

0,8)

Hitachi ZX-870

$$Q_{\text{см}} = \frac{90,0 \times 0,95 \times 4 \times 0,8}{2,55} \times 12 \times 0,8 = 1030 \text{ м}^3/\text{см}$$

Hitachi EX1200

$$Q_{\text{см}} = \frac{90,0 \times 0,95 \times 4 \times 0,8}{2,55} \times 12 \times 0,8 = 1030 \text{ м}^3/\text{см}$$

Суточная производительность ($\text{м}^3/\text{сут}$):

$$Q_{\text{а.сут}} = Q_{\text{см}} \times n_{\text{см}}, \text{ м}^3/\text{см}$$

где $n_{\text{см}}$ - число смен в сутки.

Hitachi ZX-870

$$Q_{\text{а.сут}} = 1030 \times 2 = 2060 \text{ м}^3/\text{сут}$$

Hitachi EX1200

$$Q_{\text{а.сут}} = 1030 \times 2 = 2060 \text{ м}^3/\text{сут}$$

Годовая производительность ($\text{м}^3/\text{год}$):

$$Q_{\text{а.год}} = Q_{\text{а.сут}} \times n_{\text{год}}, \text{ м}^3/\text{год}$$

где $n_{\text{год}}$ - число дней работы в году.

Hitachi ZX-870

$$Q_{\text{а.год}} = 2060 \times 336 = 692\,160 \text{ м}^3/\text{год}$$

Hitachi EX1200

$$Q_{\text{а.год}} = 2060 \times 336 = 692\,160 \text{ м}^3/\text{год}$$

Количество автосамосвалов, необходимое для работы в комплексе с экскаватором определится как отношение годовой производительности экскаватора к годовой производительности автосамосвала:

Hitachi ZX-870

$$N_a = 1\,394\,803 / 692\,160 = 2 \text{ шт.}$$

Hitachi EX1200

$$N_a = 2\,237\,639 / 692\,160 = 3 \text{ шт.}$$

Объём взрываемого блока ($V_{\text{блока}}$) составляет $278\,560 \text{ м}^3$, тогда с учётом коэффициента разрыхления породы ($K_p = 1,38$) объём взорванной горной массы ($V_{\text{г.м.}}$) составит:

$$V_{\text{г.м.}} = 196560 \cdot 1,38 = 271252,8 \text{ м}^3$$

Тогда количество смен, за которое экскаватор отработает данный объём определится как отношение объёма взорванной горной массы к сменной производительности экскаватора:

$$N_{\text{смен}} = V_{\text{г.м.}} / \Pi_{\text{см.э}}$$

Hitachi ZX-870

$$N_{\text{смен}} = 271252,8 / 2075,6 = 131 \text{ смена}$$

Hitachi EX1200

$$N_a = 271252,8 / 3329,8 = 82 \text{ шт.}$$

В данной работе нами предлагается техническое перевооружение в виде замены вскрышного оборудования. Экономической оценкой эффективности технологического решения может являться уменьшение себестоимости 1 м³ вскрыши. Т.к. предлагаемый экскаватор имеет большую производительность, то количество экскаваторов уменьшится - принимается 4 экскаватора Hitachi EX1200. Расчеты ведутся на тот же объем вскрыши. Количество смен по вскрышным работам уменьшится, т.к. 4 экскаватора Hitachi EX1200 могут отрабатывать объем вскрыши за год на 22% больше чем принятый. Для работы с предлагаемыми экскаваторами будет достаточно того же количества самосвалов.

Себестоимость добычи с учетом вскрыши:

$$c_0 = \frac{C_{\text{полн}}}{A_0}$$

Где C_{полн} – полная себестоимость, тыс.руб.

A₀ – объем добычи, тыс.т.

Hitachi ZX-870

$$c_0 = 3505634 / 760 = 4612,6 \text{ руб/т}$$

Hitachi EX1200

$$c_0 = 3434421 / 760 = 4255,8 \text{ руб/т}$$

Себестоимость вскрышных работ рассчитывается по формуле:

$$c_v = \frac{c_0 \gamma_{\text{пор}}}{k_v \gamma_{\text{пор}} + 1}$$

Где γ_{пор} – плотность породы, т/м³

k_v – коэффициент вскрыши, м³/т

Hitachi ZX-870

$$c_v = \frac{4612,6 \cdot 2,55}{17,21 \cdot 2,55 + 1} = 262,1 \text{ руб/м}^3$$

Hitachi EX1200

$$c_v = \frac{4255,8 \cdot 2,55}{17,21 \cdot 2,55 + 1} = 241,8 \text{ руб/м}^3$$

Ниже представлена таблица 2, в которой собраны все основные изменения при внедрении предлагаемого варианта.

Таблица 2
Технико-экономические показатели

Наименование	Базовый вариант	Предлагаемый вариант
Модель экскаватора	Hitachi ZX-870	Hitachi EX1200
Вместимость ковша, м ³	4,5	7,0
Производительность экскаватора в смену, м ³ /смену	2467,1	5276,7
Кол-во ковшей при погрузке в автосамосвал	12	8
Кол-во смен на отработку взрываемого блока, смен	131	82
Кол-во экскаваторов, шт.	7	4
Кол-во машинистов экскаватора, чел.	35	20
Затраты на ГСМ, млн.руб.	155	113
Затраты на оплату труда, млн.руб.	88,4	68,2
Затраты на страховые взносы, млн.руб.	30,1	23,3
Себестоимость добычи угля, руб/т	4612,6	4255,8
Себестоимость 1 м ³ вскрыши, руб/м ³	262,1	241,8

Выводы

Согласно выполненным расчетам, себестоимость 1 м³ вскрыши в базовом варианте больше на 8% чем в предлагаемом, что говорит об эффективности технологического решения. Данный эффект достигается в основном за счет следующих параметров: увеличения производительности экскаватора; уменьшения необходимого количества машинистов экскаватора; снижения затрат на оплату труда, на ГСМ и на страховые взносы.

Литература

1. Цифровая модель процесса экскавации горных пород рабочим оборудованием карьерного экскаватора / А.П. Комиссаров, Ю.А. Лагунова, Р.Ш. Набиуллин, С.А. Хорошавин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – № 4. – С. 156-168. – DOI 10.25018/0236_1493_2022_4_0_156. – EDN BLPOYX.
2. Анализ методик расчета производительности карьерных гидравлических экскаваторов / О.И. Литвин, А.А. Хорешок, Д.М. Дубинкин [и др.] // Горная промышленность. – 2022. – № 5. – С. 112-120. – DOI 10.30686/1609-9192-2022-5-112-120. – EDN UQIXQR.
3. Стрельников, А.В. Опыт применения обратных гидравлических лопат на разрезах ОАО "УК "Кузбассразрезуголь" / А.В. Стрельников, М.А.

- Тюленев // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2011. – № 2(85). – С. 8-12. – EDN MNLZVO.
4. Опыт применения гидравлических экскаваторов в сложных горно-геологических и климатических условиях / А.М. Бураков, С.В. Панишев, Е.Л. Алькова, Д.В. Хосоев // Горная промышленность. – 2022. – № 2. – С. 90-96. – DOI 10.30686/1609-9192-2022-2-90-96. – EDN FENSLZ.
 5. Тюленев, М.А. Матричный метод идентификации схем забоев обратных гидравлических лопат / М.А. Тюленев, В.Г. Проноза, А.В. Стрельников // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – № S10. – С. 34-41. – EDN QITCOZ.
 6. Обоснование рациональной технологии и области применения на карьерах гидравлических экскаваторов типа обратная лопата / В.А. Хакулов, В.А. Шаповалов, В.Н. Игнатов [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2023. – № 8. – С. 112-127. – DOI 10.25018/0236_1493_2023_8_0_112. – EDN PBQDHM.
 7. Об определении параметров забойных блоков при ведении горных работ обратными гидравлическими лопатами / О.И. Литвин, Я.О. Литвин, М.А. Тюленев, С.О. Марков // Горная промышленность. – 2021. – № 6. – С. 76-81. – DOI 10.30686/1609-9192-2021-6-76-81. – EDN MBXAOF.
 8. Мартыянов, В.Л. Оценка сложности отработки карьерных полей угольных месторождений Кузбасса / В.Л. Мартыянов // Техника и технология горного дела. – 2018. – № 1(1). – С. 35-42. – DOI 10.26730/2618-7434-2018-1-35-41. – EDN XUFBJJ.
 9. Тюленев, М. А. Определение числа слоев при разработке породоугольных панелей обратными гидравлическими лопатами / М. А. Тюленев, В. Г. Проноза, А. В. Стрельников // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – № S7. – С. 112-118. – EDN QCLDCF.
 10. Тюленев, М. А. Разработка схем забоев для послойной проходки траншей и отработки заходок обратными гидравлическими лопатами / М. А. Тюленев, В. Г. Проноза, А. В. Стрельников // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – № S10. – С. 23-33. – EDN QITCOP.
 11. К определению рациональной области применения выемочно-погрузочного оборудования / А. А. Хорешок, О. И. Литвин, А. В. Кацубин [и др.] // Уголь. – 2023. – № 3(1165). – С. 91-95. – DOI 10.18796/0041-5790-2023-3-91-95. – EDN GBGWQO.
 12. Снижение потерь угля при работе карьерных межлопат / А. А. Хорешок, Д. М. Дубинкин, С. О. Марков [и др.] // Горная промышленность. – 2022. – № 6. – С. 88-94. – DOI 10.30686/1609-9192-2022-6-88-94. – EDN JOFQLY.
 13. Битюков, В. В. Предпосылки к созданию методики нормирования потерь угля при отработке пластов в зонах тектонических нарушений / В. В. Битюков, Е. А. Гарина // Россия молодая : Сборник материалов VII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с

международным участием, Кемерово, 21–24 апреля 2015 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 2015. – С. 9. – EDN UKUIVZ.

14. Selection of Excavating Equipment for the Outpacing Development of the Coal-bearing Zone / A. Katsubin, S. Markov, A. Khoreshok, M. Tyulenev // E3S Web of Conferences : 5, Kemerovo, 19–21 октября 2020 года. – Kemerovo, 2020. – P. 01027. – DOI 10.1051/e3sconf/202017401027. – EDN QSHLYV.
15. Mikhailov, V. The research of environmental-and-economic risks of the coal mining enterprise impact on water resources / V. Mikhailov, N. Kudrevatykh, T. Tyuleneva // E3S Web of Conferences : The conference proceedings Sustainable Development of Eurasian Mining Regions: electronic edition, Kemerovo, 25–27 ноября 2019 года. Vol. 134. – Kemerovo: EDP Sciences, 2019. – P. 01019. – DOI 10.1051/e3sconf/201913401019. – EDN EEKTYD.
16. Tyuleneva, T. Environmental Consequences of Coal Mine Elimination / T. Tyuleneva // Proceedings of the 9th China-Russia Symposium "Coal in the 21st Century: Mining, Intelligent Equipment and Environment Protection", Qingdao, 18–21 октября 2018 года. – Atlantis Press: Atlantis Press, 2018. – P. 352-356. – DOI 10.2991/coal-18.2018.65. – EDN ZZIFCK.
17. Синергетический подход к решению геоэкологических проблем угледобывающих и углеперерабатывающих субклластеров / А. А. Хорешок, О. И. Литвин, Д. М. Дубинкин [и др.] // Уголь. – 2022. – № 12(1161). – С. 82-87. – DOI 10.18796/0041-5790-2022-12-82-87. – EDN SDVDZV.
18. The features of three- and four-tier internal dumps capacity calculation with the additional capacity preparation in the dump tiers / T. Gvozdkova, E. Kuznetsov, A. Rudakova, S. Markov // E3s web of conferences, Kemerovo, Russian Federation, 24–26 апреля 2017 года. Vol. 15. – Kemerovo, Russian Federation: EDP Sciences, 2017. – P. 01008. – DOI 10.1051/e3sconf/20171501008. – EDN YMYQKD.
19. Об изменении эффективной производительности экскаваторов при использовании карьерных самосвалов с различной вместимостью кузова / А. А. Хорешок, Д. М. Дубинкин, С. О. Марков, М. А. Тюленев // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2021. – № 6(148). – С. 85-93. – DOI 10.26730/1999-4125-2021-6-85-93. – EDN IIWWML.
20. Evaluating the impact of excavator bucket capacity on the output of a haul truck in different variants of their positioning / V. V. Aksenov, D. M. Dubinkin, A. A. Khoreshok [et al.] // Journal of Physics: Conference Series : 3, Veliky Novgorod, 06–07 сентября 2021 года. Vol. 2052. – RUS: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 012001. – DOI 10.1088/1742-6596/2052/1/012001. – EDN YQHOME.