

РАЗРАБОТКА БЕЗУГОЛЬНЫХ ЗОН КАРЬЕРНЫХ ПОЛЕЙ ЭКСКАВАТОРАМИ БОЛЬШОЙ ЕДИНИЧНОЙ МОЩНОСТИ В КОМПЛЕКСЕ С АВТОСАМОСВАЛАМИ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ 220 Т

В. Ф. Колесников¹, Д. М. Дубинкин¹, С. О. Марков^{1✉}, Я. О. Литвин², Е. С. Баев³

¹Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева,
г. Кемерово, Российская Федерация

²Филиал АО «УК «Кузбассразрезуголь» «Моховский угольный разрез», Беловский район,
дер. Мохово, Российская Федерация

³АО «Распадская-Коксовая» филиал «Разрез Коксовый», г. Междуреченск, Российская Федерация

✉ markovso@kuzstu.ru

Аннотация: В Кузбассе безугольные зоны карьерных полей разрезов составляют около половины всего пространства, причем доля пород, требующих буровзрывной подготовки, составляет от 20 до 80 %. Опыт эксплуатации экскаваторов большой единичной мощности показывает, что их технические возможности реализуются всего на 60–70 % за счет увеличения продолжительности цикла в 1,3 раза, несоответствия емкости кузова автосамосвала вместимости ковша экскаватора и неритмичности движения автотранспорта, несоответствующего качества дробления пород. В данной статье выполнен анализ параметров и показателей отработки безугольных зон мощными экскаваторами в комплексе с автосамосвалами большой грузоподъемности и сделаны предварительные выводы о возможностях повышения производительности таких экскаваторно-автомобильных комплексов, приведены основные требования к технологии ведения вскрышных работ с применением экскаваторов большой единичной мощности и большегрузных автосамосвалов.

Ключевые слова: открытые горные работы, карьерные самосвалы, мехлопата, система разработки, безугольная зона, цикл экскаватора, вскрышные работы, технологическая схема

Благодарность, финансирование: Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по соглашению от 30.09.2022 г. № 075-15-2022-1198 с ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева» Комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи твердых полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения» (КНТП «Чистый уголь – зеленый Кузбасс») в рамках реализации мероприятия «Разработка и создание беспилотного карьерного самосвала челночного типа грузоподъемностью 220 тонн» в части выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

Для цитирования: Разработка безугольных зон карьерных полей экскаваторами большой единичной мощности в комплексе с автосамосвалами грузоподъемностью 220 т / В. Ф. Колесников, Д. М. Дубинкин, С. О. Марков [и др.]. *Маркшейдерия и недропользование*. 2024;(6):81-90. https://doi.org/10.56195/20793332_2024_6_81_90.

DEVELOPMENT OF COALLESS ZONES OF QUARRY FIELDS BY EXCAVATORS OF LARGE POWER UNIT CAPACITY IN COMPLEX WITH DUMP TRUCKS OF 220 TONS PAYLOAD CAPACITY

V. F. Kolesnikov¹, D. M. Dubinkin¹, S. O. Markov^{1✉}, Y. O. Litvin², E. S. Baev³

¹T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russian Federation

²Branch of JSC «UK Kuzbassrazrezugol» Mokhovskiy Open Pit Mine, Belovsky district,
Mokhovo settlement, Russian Federation

³Koksovy Open Pit branch of JSC Rapsadskaya-Koksovaya, Mezhdurechensk,
Russian Federation

✉ markovso@kuzstu.ru

Abstract: In Kuzbass coalless zones of quarry fields of open pit mines make up about half of the total space, and the share of rocks requiring drilling and blasting preparation is from 20 to 80 %. The experience of operation of excavators of large unit capacity shows that their technical capabilities are realized only by 60–70 % due to the increase of cycle duration by 1.3 times, mismatch of dump truck body capacity to the capacity of the excavator bucket and non-rhythmicity of truck traffic, inadequate quality of rock crushing. In the given article the analysis of parameters and indicators of coalless zones mining by powerful excavators in a complex with dump trucks of large capacity is executed and preliminary conclusions about possibilities of increase of productivity of such excavator-automobile complexes are made, the basic requirements to technology of conducting stripping works with application of excavators of large unit capacity and heavy-duty dump trucks are resulted.

Keywords: open pit mining, quarry dump trucks, rope shovel, mining system, coalless zone, excavator cycle, stripping works, technological scheme

Acknowledgement, funding: This work was done with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of Russian Federation under the agreement dated 30.09.2022 № 075-15-2022-1198 with FSBEI HE «T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University» Integrated scientific and technical program of the full innovation cycle «Development and implementation of a set of technologies in the areas of exploration and mining of solid minerals, industrial safety, bioremediation, creation of new products of deep processing of coal raw materials with a consistent reduction of the environmental impact and risks to human life» (CSTP «Clean Coal – Green Kuzbass») in the implementation of the event «Development and creation of unmanned shuttle-type dump truck of 220 tons carrying capacity» in terms of research and development works.

For citation: Kolesnikov V. F., Dubinkin D. M., Markov S. O. et al. Development of coalless zones of quarry fields by excavators of large power unit capacity in complex with dump trucks of 220 tons payload capacity. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2024;(6):81-90. (In Russ.). https://doi.org/10.56195/20793332_2024_6_81_90.

Введение

На месторождениях Кузбасса вскрышные породы безугольной зоны разрезов АО УК «Кузбассразрезуголь» представлены в основном песчаниками и в меньшей степени аргиллитами и алевролитами. Можно отметить, что все месторождения покрыты толщей четвертичных отложений, представленных следующими литотипами: глины, суглинки (преимущественно темно-бурого, желто-бурого, желтого и бурого цветов), супеси (преимущественно свет-

ло-бурого и желто-бурого цвета), лессовидные суглинки. Мощность этих отложений изменяется от 2–8 до 10–25 м, как исключение – до 40–45 м (Бачатский и Ерунаковский районы). Угольные месторождения Кузбасса, пригодные для открытой разработки, характеризуются большим разнообразием как горно-геологических условий, так и прочностных показателей горных пород.

Обобщенные физико-механические свойства вскрышных пород Кузбасса представлены в таблице 1.

Таблица 1 / Table 1

Обобщенная прочностная характеристика вскрышных пород безугольных зон на разрезах АО «УК «Кузбассразрезуголь» / Generalized strength characteristics of overburden rocks of coal-free zones at the open-pit mines of JSC CC Kuzbassrazrezuzogol

Условия испытания пород / Rock test conditions	Сопротивление на сжатие Rc, МПа / Compression strength Rc, MPa	Сопротивление на разрыв Rp, МПа / Tensile strength, Rp, MPa	Сопротивление на контактную прочность, Н/мм² / Contact resistance, N/mm²	Доля в общем объеме вскрышных пород, % / Part of total overburden volume, %
Песчаники / Sandstones				43
В монолите / In monolith	78,3–175,8	8,4–18,6	940–2110	
По направлениям, совпадающим с трещинами / Along the directions coinciding with cracks	7,83–17,58	0,84–1,86	94–211	
По трещинам и контактам / At cracks and contacts	2,83–5,25	0,25–0,56	28–63	
Под углом к трещинам и контактам / Angled to cracks and contacts	29,0–65,0	3,1–6,9	348–780	
Алевролитовые песчаники/ Siltstoned sandstones				11
В монолите / In monolith	50,83–131,7	6,5–13,6	61–158	
По направлениям, совпадающим с трещинами / Along the directions coinciding with cracks	5,08–13,17	0,65–1,36	6,1–15,8	
По трещинам и контактам / At cracks and contacts	1,52–4,0	0,195–0,41	1,82–4,8	
Под углом к трещинам и контактам / Angled to cracks and contacts	18,75–49,17	2,4–5,05	22,5–59,0	
Алевролиты / Siltstones				33
В монолите / In monolith	39,17–122,5	5,4–12,6	47–147	
По направлениям, совпадающим с трещинами / Along the directions coinciding with cracks	2,75–8,58	0,38–0,88	3,3–10,3	
По трещинам и контактам / At cracks and contacts	1,58–4,92	0,215–0,50	1,9–5,9	
Под углом к трещинам и контактам / Angled to cracks and contacts	9,42–29,17	1,3–3,02	11,3–35	
Аргиллиты / Mudstones				13
В монолите / In monolith	22,5–89,17	2,2–8,6	27–107	
По направлениям, совпадающим с трещинами / Along the directions coinciding with cracks	1,58–6,25	0,15–0,6	1,9–7,5	

Материал и методы исследования

На разрезах центрального Кузбасса (Уропское, Прокопьевско-Киселевское и Бачатское месторождения) вскрышные породы представлены литологическими разностями с крепостью, не превышающей 70–80 МПа. Крепость пород месторождений северного Кузбасса (Ленинский и Кемеровский районы) составляет в среднем 50–60 МПа.

Данные о свойствах пород свидетельствуют об их относительно небольшой крепости и слабой устойчивости к выветриванию. Основной причиной, обуславливающей различные прочностные свойства пород, является наличие трещин в массиве. Трещиноватость массива представлена как микроскопическими дефектами кристаллической решетки отдельных минералов, так и целых геологических структур. Интенсивность нарушения массива трещинами определяет характер его разрушения и прочностные свойства. Для сравнительно слабо нарушенных месторождений северного и южного Кузбасса характерен диагенетический тип трещин, которые в местах тектонических нарушений дополняются тектоническими трещинами. Во всех породах независимо от их литологического состава преобладают две системы вертикальных и одна система горизонтальных трещин по напластованию.

Классификация горных пород по блочности [1] представлена в таблице 2.

Вскрышные породы центрального Кузбасса имеют более интенсивно развитую диагенетическую трещиноватость, дополненную тектоническими трещинами. Исследованиями КузГТУ установлено, что с уменьшением трещиноватости увеличивается трудность разрушения пород. С увеличением глубины залегания пород характер трещиноватостей не меняется. Массив горных пород, разбитый системой трещин, представляет собой анизотропную среду и имеет различающиеся между собой характеристики прочности по направлениям, совпадающим с трещинами, напластованием и под углом к ним [2–4].

Как уже отмечалось выше, безугольные зоны карьерных полей складываются из вскрышных скальных осадочных

пород (аргиллиты, алевролиты и песчаники) (табл. 1) и покрывающих пород рыхлых отложений. Пространственная конфигурация безугольной зоны имеет вид неправильного треугольника, преимущественно вытянутого вдоль свиты угольных пластов и ограниченного торцами карьерного поля. Вопросы разработки безугольной зоны частично освещены в более ранних работах [5–9], выполненных в том числе с участием авторов. Следует отметить, что при разработке наклонной свиты угольных пластов безугольная зона преимущественно будет располагаться со стороны кровли свиты пластов – разрезы «Кедровский», «Калтанский», «Талдинский», а при разработке крутых угольных пластов таких зон будет две: со стороны кровли и почвы свиты – разрезы «Бачатский», «Краснобродский». Диапазон долевого участия безугольных зон в карьерном поле для наклонных залежей составляет 25–52 %, для крутых – 41–49 % (табл. 3). Таким образом, безугольная зона занимает до половины пространства карьерного поля, что еще раз говорит о важности исследуемого вопроса.

Таблица 3 / Table 3
Долевое участие безугольных зон в карьерном поле /
Share of coalless zones in the quarry field

Разрез (участок) / Open pit mine (site)	Угол залегания пластов, градус / Angle of bedding, degrees	Доля безугольных зон в карьерном поле / Part of the coalless zone in the quarry field
«Кедровский» (Основное поле) / Kedrovsky (Main field)	25–45	0,52
«Кедровский» (Хорошеборское поле) / Kedrovsky (Khorosheborka field)	25–45	0,49
«Бачатский» (Северный блок) / Bachatsky (North block)	50–55	0,41
«Бачатский» (Центральный блок) / Bachatsky (Central block)	50–86	0,38

Таблица 2 / Table 2
Классификация горных пород по блочности / Classification of rocks by block structure

Категория пород по блочности Rock category by block structure	Блочность. Петрографическая характеристика основных литотипов пород / Block structure. Petrographic characterization of the main rock lithotypes	Плотность, т/м³ / Density, ton/ m³	Временное сопротивление сжатию, Мпа / Compressive time strength, MPa	Диаметр средней естественной отдельности, м / Diameter of average natural separating, m
I	Мелкоблочные. Алевролиты, аргиллиты, углистые песчаники на глинистом цементе	2,3–2,45	<40	<0,8
II	Среднеблочные. Аргиллиты, алевролиты на глинистом, глинисто-серицитовом цементе. Переслаивание песчаника с алевролитом. Песчаники на глинистом, серицитовом, гидрослюдистом цементе. Углистые и выветрелые породы	2,4–2,5	40–60	0,8–1,2
III	Крупноблочные. Алевролиты на карбонатном и карбонатно-глинистом цементе. Переслаивание песчаника с алевролитом. Разнозернистые песчаники на глинистом цементе с примесью серицита, кремнезема, карбоната. Конгломераты и гравелиты	2,43–2,52	60–80	1,2–1,6
IV	Весьма крупноблочные. Алевролит на карбонатном цементе. Разнозернистые песчаники с повышенным содержанием в цементе кремнистого и карбонатного материала. Конгломераты и гравелиты	2,45–2,55	80–100	1,6–2
V	Исключительно крупноблочные. Алевролит карбонатный. Песчаники разнозернистые с высоким содержанием кремнистого и карбонатного материала. Конкреционные включения	2,5–2,6	>100	>2

Продолжение таблицы 3 / Continuation of table 3

Разрез (участок) / Open pit mine (site)	Угол залегания пластов, градус / Angle of bedding, degrees	Доля безугловых зон в карьерном поле / Part of the coalless zone in the quarry field
«Бачатский» (Южный блок) / Bachatsky (South block)	50–62	0,49
«Краснобродский» (Краснобродское поле) / Krasnobrodsky (Krasnobrodsky field)	40–60	0,47
«Краснобродский» (Новосергеевское поле) / Krasnobrodsky (Novosergeevskoe field)	40–60	0,52
«Краснобродский» (Вахрушевское поле) / Krasnobrodsky (Vakhrushevskoe field)	45–70	0,54
«Калтанский» (Калтанское поле) / Kaltansky (Kaltanskoe field)	18–25	0,55
«Калтанский» (Осинниковское поле) / Kaltansky (Osinnikovskoe field)	20–35	0,41
«Моховский» (Караганское поле) / Mokhovsky (Karakanskoe field)	11–12	0,35
«Талдинский» (Ерунаковское поле) / Taldinsky (Erunkovskoe field)	3–7	0,30
«Талдинский» (Талдинское поле) / Taldinsky (Taldinskoe field)	5–25	0,25

Результаты и их обсуждение

Практика работы разрезов АО «УК «Кузбассразрезуголь» показала, что длительное время основной парк выемочного оборудования составляли экскаваторы-мехлопаты с вместимостью ковша от 4,6 до 15 м³. При этом в последние десятилетия в парке оборудования появились экскаваторы со

вместимостью ковша более 20 м³ — как мехлопаты, так и гидравлические прямые и обратные лопаты: Р&Н-2800, Р&Н-4100, RH-200, R9850, PC-8000 и др. [10–13].

Техническая характеристика применяемых зарубежных экскаваторов большой единичной мощности (табл. 4) показывает, что диапазон рабочих параметров изменяется в пределах: высота черпания 15,3...17 м; радиус черпания 16,2...23,9 м; высота разгрузки 9,5...11,8 м; продолжительность экскавационного цикла при повороте на 90° — 26...32 с. Для таких экскаваторов оптимальными моделями автотранспорта будут автосамосвалы грузоподъемностью 220 и более тонн [14–16]. Кроме того, перспективным развитием может считаться создание и последующее использование в комплексе с этими экскаваторами беспилотных карьерных самосвалов.

В последнее время на разрезы Кузбасса стали поступать мощные экскаваторы отечественных производителей: мехлопаты с канатным или реечным механизмами напора ЭКГ-20К, ЭКГ-32Р, ЭКГ-35К, а также разработана перспективная модель ЭКГ-50. Поэтому можно предположить, что к экскаваторам большой единичной мощности будет относиться выемочное оборудование со вместимостью ковша, условно начинающейся с 20 м³. Но поскольку вместимость ковша самых крупных применяемых в Кузбассе мехлопат перевалила за 50 м³, было бы логичным поделить сверхмощные экскаваторы на три группы, представленные в таблице 4.

На рисунках 1–3 представлена визуализация процесса отработки вскрышных пород на разрезе «Кедровский» (экскаватор Р&Н-2800), а на рисунках 4–7 — на разрезе «Талдинский» (Р&Н-4100).

В таблицах 5 и 6 приведены результаты хронометражных наблюдений за работой мощных мехлопат с разделением экскаваторного цикла на составляющие. Хронометраж проводился на разрезах «Кедровский» и «Талдинский».

Таблица 4 / Table 4

Технические характеристики отечественных и зарубежных экскаваторов
большой единичной мощности с предлагаемым разделением на группы /
Technical characteristics of domestic and foreign excavators of large power unit capacity with the proposed division into groups

Наименование параметров / Parameters name	Размерные группы / Size groups						
	I		II			III	
	ЭКГ-20К EKG-20K	Р&Н-2300 XPB	ЭКГ-32Р EKG-32R	ЭКГ-35К EKG-35K	Р&Н-2800 XPB	ЭКГ-50 EKG-50	Р&Н-4100 XPB
Вместимость ковша, м ³ / Bucket capacity, m ³	20	22	32	35	30	55	50
Вместимость сменных ковшей, м ³ / Capacity of replaceable buckets, m ³	14–28	20–36	20–50		25–53	35–80	35–80
Наибольший радиус копания, м / Maximum digging radius, m	22,6	21,7	24		23,9	24	24
Радиус копания на уровне стояния, м / Digging radius at standing level, m	16	15,2	16		16,6	17	16
Наибольший радиус разгрузки, м / Maximum unloading radius, m	19,4	18,7	20,6		21	20	20
Наибольшая высота копания, м / Maximum digging height, m	17,3	15,4	17,3		16,2	17	16,4
Наибольшая высота разгрузки, м / Maximum unloading height, m	11,2	9,9	11,0	11,8	10	9,5	10,2
Наибольшее подъемное усилие, кН / Maximum lifting force, kN	1 700	1 600	2 350		2 100	2 940	2 600
Наибольшее напорное усилие, кН / Maximum pressure force, kN	750	700	980		880	1 000	950
Паспортная продолжительность рабочего цикла, с / Passport duration of working cycle, sec	27	29	30		32	32	32
Масса рабочая, т / Working weight, tons	700	790	950		1 030	1 400	1 400

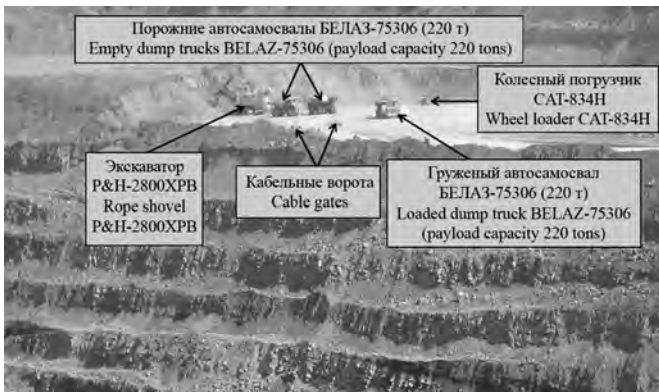


Рис. 1. Фрагмент общего вида горных работ основного поля разреза «Кедровский» (разработка безугольной зоны экскаватором Р&Н-2800ХРВ) / Fig. 1. Fragment of the general view of mining operations of the Main Field of the Kedrovsky open pit (development of the coalless zone by excavator P&H-2800XPB)

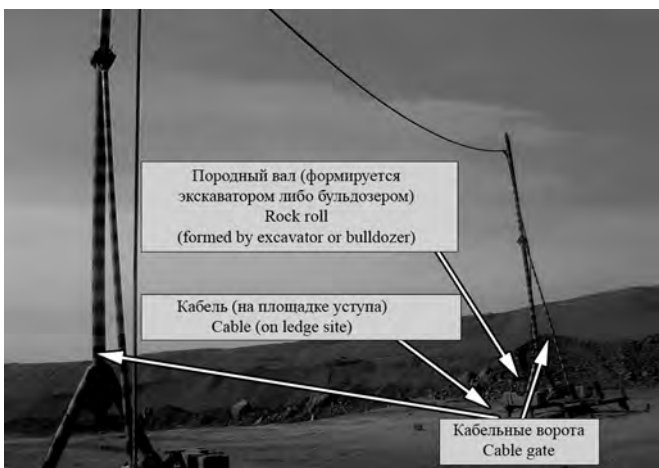


Рис. 2. Кабельные ворота, расположенные у экскаватора Р&Н-2800, для обеспечения подъезда автосамосвалов к мехлопате / Fig. 2. Cable gates located at the excavator P&H-2800 to provide access of dump trucks to the mechanical shovel



Рис. 3. Установка автосамосвалов «БелАЗ-75306» (220 т) под погрузку / Fig. 3. Positioning of dump trucks BelAZ-75306 (220 tons) for loading



Рис. 4. Общий вид расположения Р&Н-4100 в забое / Fig. 4. General view of P&H-4100 location in the face

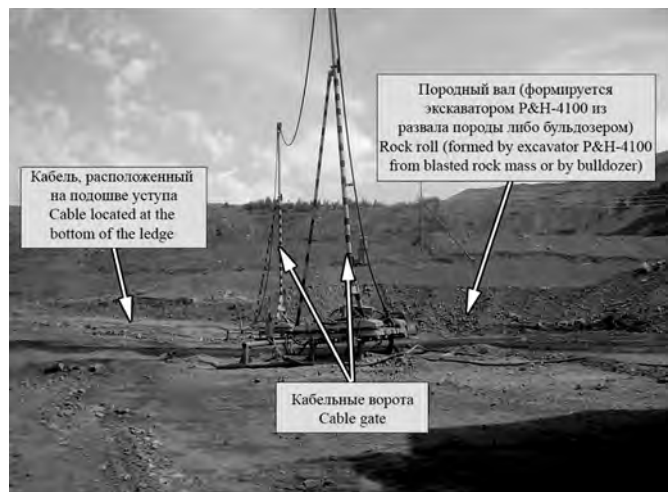


Рис. 5. Схема расположения кабельных ворот у экскаватора РН-4100 при разработке взорванных пород на разрезе «Талдинский» / Fig. 5. Layout of cable gates at the excavator P&H-4100 during the development of blasted rocks at Taldinsky open pit mine



Рис. 6. Положение экскаватора РН-4100 на момент окончания наполнения ковша / Fig. 6. Position of P&H-4100 excavator at the moment of bucket filling completion

Таблица 5 / Table 5

Показатели хронометражных наблюдений за работой экскаватора Р&Н-2800ХРВ (АО «УК «Кузбассразрезуголь», филиал «Кедровский угольный разрез»), с /

Indicators of timing observations for the work of excavator

P&H-2800XPB (Branch of JSC «Coal Company Kuzbassrazrezugol» Kedrovsky Open Pit Mine, sec

Операция / Operation	Замеры по хронометражным наблюдениям / Timing measurements											
Время цикла ($T_{ц}$) / Cycle time	35	30	31	28	32	35	33	34	32	32	33	34
Совмещенный поворот на черпание и опускание ковша ($t_{\text{черп поворот}}$) / Combined rotation for scooping and the bucket lowering	10 (90°–110°)	8 (90°–110°)	9 (90°–110°)	9 (90°–110°)	10 (90°–110°)	10 (90°–110°)	9 (90°–110°)	10 (90°–110°)	8 (90°–110°)	10 (90°–110°)	10 (90°–110°)	9 (90°–110°)
Время черпания ($t_{\text{черп}}$) / Scooping time	11	10	9	6	10	11	10	11	8	9	10	10
Совмещенный поворот на разгрузку и подъем ковша ($t_{\text{разгр поворот}}$) / Combined unloading and bucket lifting rotation	10 (90°–110°)	9 (90°–110°)	9 (90°–110°)	10 (90°–110°)	9 (90°–110°)	10 (90°–110°)	9 (90°–110°)	9 (90°–110°)	12 (90°–110°)	10 (90°–110°)	9 (90°–110°)	10 (90°–110°)
Разгрузка ковша ($t_{\text{раз}}$) / Bucket unloading	4	3	4	3	3	4	5	4	4	3	4	5
Обмен а/с с разворотом под погрузку / The truck exchange and maneuvers for the loading	36					27			34			33



Рис. 7. Процесс погрузки экскаватором РН-4100 взорванной породы в «БелАЗ-75306» (220 т) и одновременная зачистка призабойного пространства колесным бульдозером /

Fig. 7. Process of blasted rock loading by excavator P&H-4100 into BelAZ-75306 (220 tons) and simultaneous stripping of near-face space by wheeled bulldozer

Таблица 6 / Table 6

Показатели хронометражных наблюдений за работой экскаватора Р&Н-4100ХРВ (АО УК «Кузбассразрезуголь» филиал «Талдинский угольный разрез»), с /

Indicators of timing observations for the work of excavator

P&H-4100XPB (Branch of JSC «Coal Company Kuzbassrazrezugol» Taldinsky Open Pit Mine, sec

Операция / Operation	Замеры по хронометражным наблюдениям / Timing measurements															
Время цикла ($T_{ц}$) / Cycle time	41	41	39	45	43	47	43	39	39	46	39	39	42	41	41	

Продолжение таблицы 6 / Continuation of table 6

Операция / Operation	Замеры по хронометражным наблюдениям / Timing measurements															
Совмещенный поворот на черпание и опускание ковша ($t_{\text{черп поворот}}$) / Combined rotation for scooping and the bucket lowering	11	11	11	12	11	12	14	12	12	13	13	11	12	11	13	
Время черпания ($t_{\text{черп}}$) / Scooping time	14	14	13	14	12	14	12	12	12	15	11	14	12	13	11	
Совмещенный поворот на разгрузку и подъем ковша ($t_{\text{разгр поворот}}$) / Combined unloading and bucket lifting rotation	12	12	11	13	13	17	12	11	9	14	11	10	12	13	11	
Разгрузка ковша ($t_{\text{раз}}$) / Bucket unloading	4	4	4	6	7	4	5	4	6	4	4	4	6	4	6	
Обмен а/с с разворотом под погрузку / The truck exchange and maneuvers for the loading	54	74	63			44			108	65					50	

Далее приведены гистограммы распределения элементов времени цикла для вышеописанных экскаваторов (рис. 8, 9).

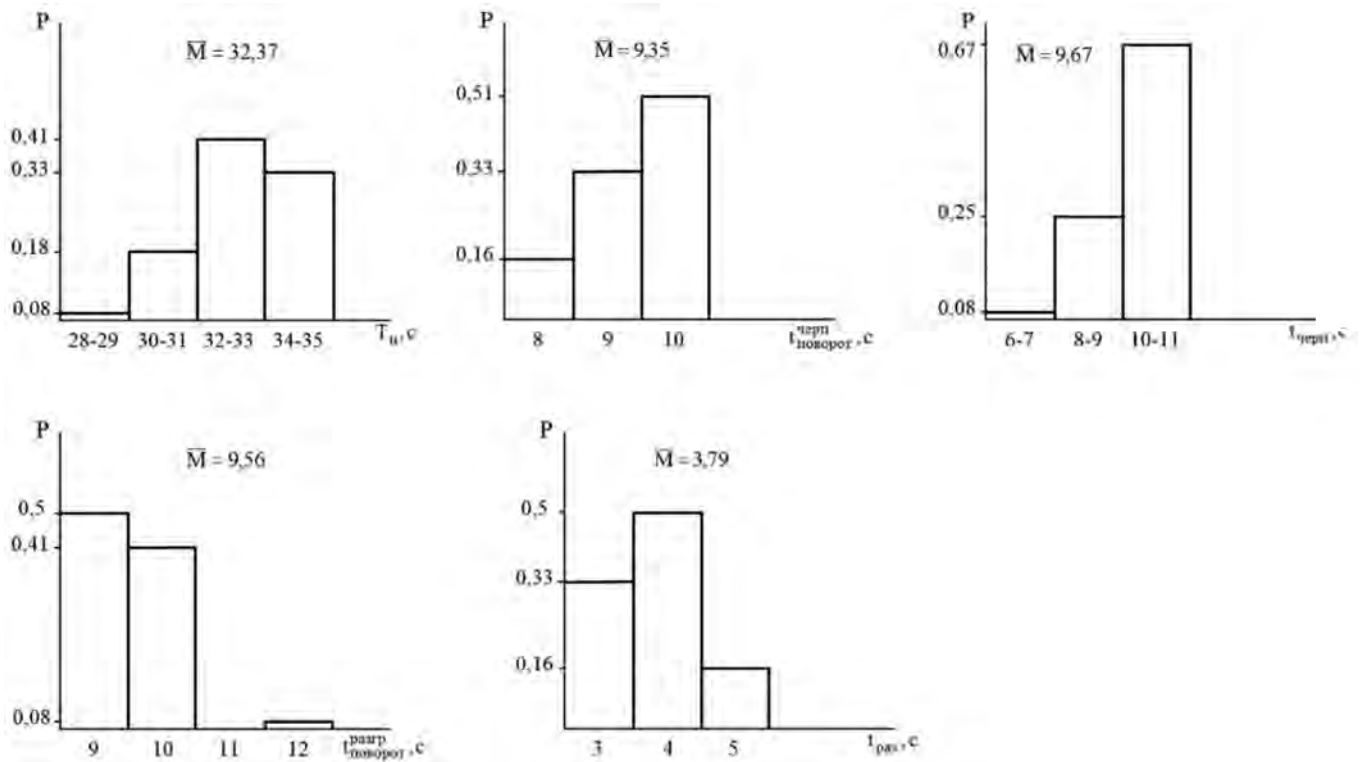


Рис. 8. Гистограммы распределения элементов времени цикла при разработке взорванных пород экскаватором P&H-2800XPB и погрузке в автосамосвалы «БелАЗ-75306» (грузоподъемность 220 т) (разрез «Кедровский») /
 Fig. 8. Histograms of cycle time elements distribution during blasted rock mining at Kedrovsky open pit by excavator P&H-2800XPB and loading into dump trucks BelAZ-75306 (payload capacity 220 t)

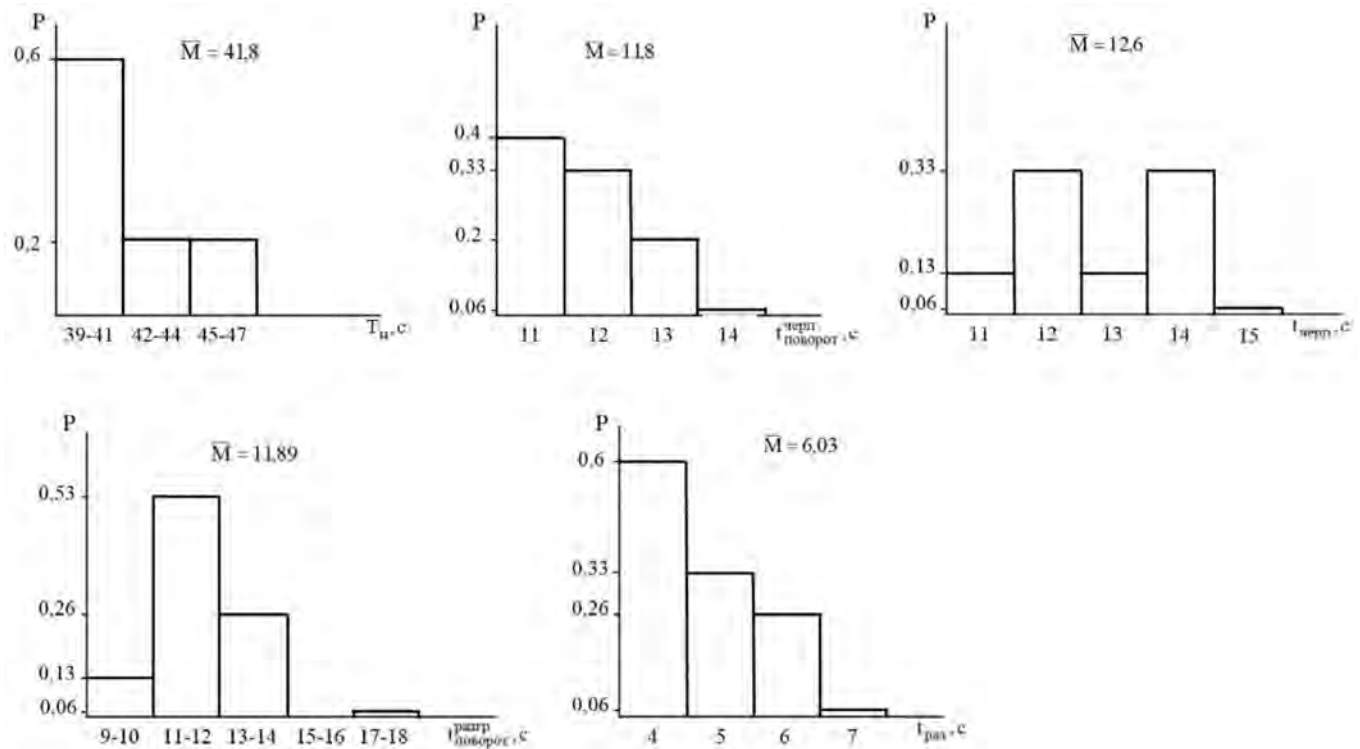


Рис. 9. Гистограммы распределения элементов времени цикла при разработке взорванных пород экскаватором P&H-4100XPB и погрузке в автосамосвалы «БелАЗ-75306» (грузоподъемность 220 т) (разрез «Талдинский») /
 Fig. 9. Histograms of cycle time elements distribution during blasted rock mining at Taldinsky open pit by excavator P&H-4100XPB and loading into dump trucks BelAZ-75306 (payload capacity 220 t)

Виды технологических вариантов отработки вскрышных уступов представлены на рисунке 10.



Рис. 10. Систематизация технологических схем ведения вскрышных работ в безугольной зоне /

Fig. 10. Systematization of technological schemes of overburden rock stripping in the coalless zone

Заключение

Экскаваторы большой единичной мощности характеризуются большой вместимостью ковша, как следствие — высокой производительностью и стоимостью. В связи с этим любые простои такого оборудования наносят ощутимый экономический ущерб предприятию (разрезу), которое применяет данные экскаваторы.

Отсюда вытекают следующие требования к технологии ведения вскрышных работ с применением мощных экскаваторов:

- обеспечение отработки вскрышного уступа с максимально возможной по технике безопасности высотой;
- сведение к минимуму холостых перемещений экскаватора в забое;
- создание условий для работы с максимальным наполнением ковша экскаватора при черпании;
- обеспечение оптимального качества дробления крепких пород буровзрывным способом;
- минимизация простоев (перерывов в работе) при погрузке в транспортные средства (автомобильный транспорт);
- сокращение времени, затрачиваемого на выполнение вспомогательных операций, передавая часть из них на вспомогательное горное оборудование;
- создание условий для минимизации времени на установку транспортных средств под погрузку;
- оптимизация траектории перемещения экскаватора в забое;
- оптимизация длины и объема взрывающего блока при его подготовке к выемке;
- оптимизация ширины экскаваторной заходки по целику и развалу пород;
- обеспечение компактности развала пород после взрывного рыхления;
- создание условий при переходе от угленасыщенной зоны карьерного поля к безугольной необходимо для формирования вскрышного уступа, суммированного из высот уступов в угленасыщенной зоне [17];
- технологические схемы ведения вскрышных работ должны обеспечивать их безопасность и экологичность [18];
- при отработке вскрышных уступов по мягким породам (наносов) допускается расположение экскаватора на поверхности этих пород в исключительных случаях, т.е. экскаватор должен располагаться на коренных (крепких) породах;
- при высоте уступа по мягким породам, превышающей максимальную высоту черпания экскаватора, необходимо превышать отработывать экскаваторами небольшой мощности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бирюков, А. В. Статистические модели в процессах горного производства / А. В. Бирюков, В. И. Кузнецов, А. С. Ташкинов. — Кемерово: Кузбассвуиздат, 1996. — 227 с.
2. Марков, С. О. Гранулометрический состав отвальных массивов разрезов Кузбасса / С. О. Марков, Е. В. Мурко, Ф. С. Непша // Горные науки и технологии. — 2021. — Т. 6, № 4. — С. 259–266. — DOI: 10.17073/2500-0632-2021-4-259-266.
3. Novinkov, A. Ensuring Seismic Safety of Underground Mines During Blasting Operations in Combined Surface-Underground Deposit Development / A. Novinkov, S. Protasov, P. Samusev // E3S Web of Conferences. — 2020. — P. 01016. — DOI: 10.1051/e3s-conf/202017401016.
4. On the need to consider the lithological composition of overburden rocks in the design of waste water treatment plants at open pit mines / E. Murko, Ju. Janočko, E. Makridin, M. Kapko // E3S Web of Conferences. — 2021. — Vol. 315. — P. 02013. — DOI: 10.1051/e3sconf/202131502013.
5. Ташкинов, А. С. Сравнительная оценка производительности карьерных экскаваторов при разработке взорванных пород / А. С. Ташкинов, А. А. Сысоев, И. А. Ташкинов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2009. — № 4 (74). — С. 17–20.
6. Баев, Е. С. Рациональная степень взрывного дробления пород для экскаваторов-мехлопат типа ЭКГ / Е. С. Баев // Россия молодая: сборник докладов III Всероссийской 56-й научно-практической конференции студентов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава университета. Кемерово, 11–15 апреля 2011 года. — Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 2011. — С. 39–40.
7. Селюков, А. В. Экспериментальные исследования работы экскаваторов большой единичной мощности в промышленных условиях / А. В. Селюков // Инновации в технологиях и образовании: сборник статей участников IX Международной научно-практической конференции. Белово, 17–18 марта 2017 года: Часть 1. — Белово: Изд-во ун-та Св. Кирилла и Св. Мефодия, 2017. — С. 164–168.
8. Жаббаров Т. З. Отдельные результаты наблюдений за работой экскаваторов большой единичной мощности / Т. З. Жа-

ббаров, В. С. Зими́на // Россия молодая: сборник материалов XIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Кемерово, 20–23 апреля 2021 года / отв. ред К. С. Костиков. — Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 2021. — С. 10605.1–10605.4.

9. Об определении параметров забойных блоков при ведении горных работ обратными гидравлическими лопатами / О. И. Литвин, Я. О. Литвин, М. А. Тюленев [и др.] // Горная промышленность. — 2021. — № 6. — С. 76–81. — DOI: 10.30686/1609-9192-2021-6-76-81.

10. Безкоровайный, П. Г. Определение рациональных параметров рабочего оборудования гидравлического экскаватора с напорным звеном / А. Г. Безкоровайный, В. С. Шестаков // Известия высших учебных заведений // Горный журнал. — 2023. — № 1. — С. 25–35.

11. Цифровая модель процесса экскавации горных пород рабочим оборудованием карьерного экскаватора / А. П. Комиссаров, Ю. А. Лагунова, Р. Ш. Набиуллин [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 4. — С. 156–168. — DOI: 10.25018/0236_1493_2022_4_0_156.

12. Определение области энергоэффективного положения рабочего оборудования и эффективного радиуса черпания гидравлических экскаваторов на открытых горных работах / О. И. Литвин, С. О. Марков, А. А. Хорешок [и др.] // Маркшейдерия и недропользование. — 2022. — № 4 (120). — С. 38–44. — DOI: 10.56195/20793332_2022_4_38.

13. Quantitative measures for assessment of the hydraulic excavator digging efficiency / D. Janosevic, R. Mitrev, B. Andjelkovic [et al.] // Journal of Zhejiang University: Science A. — 2012. — Vol. 13, № 12. — P. 926–942.

14. Rakhutin, M. G. Quality management and technical audit tools for increasing of efficiency mining equipment usage / M. G. Rakhutin, G. S. Rakhutin // Miner's week — 2015: Reports of the XXIII International scientific symposium. — Moscow, 2015.

15. Выбор нагрузочных режимов на начальных этапах проектирования несущих систем (рам) карьерных самосвалов / С. М. Рахаев, Р. Л. Газизуллин, А. Б. Карташов [и др.] // Техника и технология горного дела. — 2023. — № 4 (23). — С. 41–55. — DOI: 10.26730/2618-7434-2023-4-41-55.

16. Моделирование параметров забойных блоков в различных горно-геологических условиях при применении обратных гидравлических лопат и автосамосвалов грузоподъемностью 240 т / М. Н. Лапаев, В. А. Гоголин, Д. М. Дубинкин [и др.] // Техника и технология горного дела. — 2024. — № 2 (25). — С. 104–116. — DOI: 10.26730/2618-7434-2024-2-104-116.

17. Исследование влияния изменения высоты уступа на текущий коэффициент вскрыши при использовании автономных карьерных самосвалов грузоподъемностью 240 т / Д. М. Дубинкин, А. А. Хорешок, Ш. Я. Исмаилова [и др.] // Техника и технология горного дела. — 2023. — Т. 3, 22. — С. 71–81. DOI: 10.26730/2618-7434-2023-3-71-81.

18. Waste management systems in the context of sustainability / R. Kozel, J. Bělca, F. Kempa [et al.] // Acta Monstanistica Slovaca. — 2024. — Vol. 29, № 1. — P. 180–192. — DOI: 10.46544/AMS.v29i1.16.

REFERENCES

- Biryukov AV, Kuznetsov VI, Tashkinov AS. Statistical models in mining. Kemerovo, Kuzbassvuzizdat, 1996 (In Russ.).
- Markov SO, Murko EV, Nepsha FS. Grain size distribution of waste rock masses of Kuzbass coal strip mines. *Mining Science and Technology* (Russia). 2021;6(4):259-66 (In Russ.).
- Novinkov A, Protasov P. Ensuring Seismic Safety of Underground Mines During Blasting Operations in Combined Surface-Underground Deposit Development. *E3S Web of Conferences*. 2020;(174):01016. DOI: 10.1051/e3sconf/202017401016.
- Murko E, Ju, Makridin M, et al. On the need to consider the lithological composition of overburden rocks in the design of waste water treatment plants at open pit mines. *E3S Web of Conferences*. 2021;(315):02013. DOI: 10.1051/e3sconf/202131502013.
- Tashkinov AS, Sysoev AA, Tashkinov IA. The comparative estimation of shovel's productivity at extracting blasted materials. *Bulletin of Kuzbass State Technical University* 2009;4(74):17-20.
- Baev ES. Rational degree of rock blasting for ECG-type rope shovels. *Procedia of «Young Russia» conference*. Kemerovo, 2009 (In Russ.).
- Selyukov AV. Experimental research of large-unit rope shovel excavators in situ. *Procedia of «Innovations in technologies and education» conference*. Belovo, 2017 (In Russ.).
- Jabbarov TZ, Zimina VS. Some results of observations of large-unit rope shovels working. *Procedia of «Young Russia» conference*. Kemerovo, 2021 (In Russ.).
- Litvin OI, Litvin YaO, Tyulenev MA. On determining the parameters of face blocks during mining operations with backhoes. *Mining Industry*. 2021;(6):76-81. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-6-76-81 (In Russ.).
- Bezkorovainyi PG, Shestakov VS. Determining rational parameters for the impeller of a hydraulic excavator with a crowding mechanism. *Minerals and Mining Engineering*. 2023;(1):25-35. DOI: 10.21440/0536-1028-2023-1-25-35.
- Komissarov AP, Lagunova YuA, Nabiullin RSh, et al. Digital model of shovel work process. *MIAB*. 2022;(4):156-68. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_4_0_156 (In Russ.).
- Litvin OI, Markov SO, Khoreshok AA. Determination of the area of energy-efficient position of working equipment and effective digging radius of hydraulic excavators at open pit mining. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2022;4(120):38-44. DOI: 10.56195/20793332_2022_4_38 (In Russ.).
- Janosevic D, Mitrev R, Andjelkovic B, et al. Quantitative measures for assessment of the hydraulic excavator digging efficiency. *Journal of Zhejiang University: Science A*. 2012;13(12):926-42.
- Rakhutin MG, Rakhutin GS. Quality management and technical audit tools for increasing of efficiency mining equipment usage. *Miner's week — 2015: Reports of the XXIII International scientific symposium*. Moscow, 2015.
- Rakhaev SM, Gazizullin RL, Kartashov AB, et al. Selection of load conditions at the initial stages of load-bearing systems (frames) designing of mining dump trucks. *Journal of Mining and Geotechnical Engineering*. 2023;4(23):41-55. DOI: 10.26730/2618-7434-2023-4-41-55 (In Russ.).
- Lapaev MN, Gogolin VA, Dubinkin DM, et al. Modeling of face block parameters in different mining and geological conditions when using backhoes and dump trucks with 240 tons payload capacity. *Journal of Mining and Geotechnical Engineering*. 2024;2(25):104-16. DOI: 10.26730/2618-7434-2024-2-104-116 (In Russ.).
- Dubinkin DM, Markov SO, Khoreshok AA, et al. Study of the influence of the bench height change on the current stripping ratio when using autonomous quarry dump trucks with payload capacity of 240 tons. *Journal of Mining and Geotechnical Engineering*. 2023;(3):71-81. DOI: 10.26730/2618-7434-2023-3-71-81 (In Russ.).
- Kozel R, Bělca J, Kempa F, et al. Waste management systems in the context of sustainability. *Acta Monstanistica Slovaca*. 2024;29(1):180-92. DOI: 10.46544/AMS.v29i1.16.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Валерий Федорович Колесников –

доктор техн. наук, профессор кафедры открытых горных работ, Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева, 650000, г. Кемерово, Российская Федерация

Дмитрий Михайлович Дубинкин –

канд. техн. наук, доцент кафедры горных машин и комплексов, Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева, 650000, г. Кемерово, Российская Федерация

Сергей Олегович Марков –

канд. техн. наук, доцент кафедры открытых горных работ, Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева, 650000, г. Кемерово, Российская Федерация, e-mail: markovso@kuzstu.ru

Ярослав Олегович Литвин –

канд. техн. наук, директор, Филиал АО УК «Кузбассразрезуголь» «Моховский угольный разрез», 652661, Кемеровская область, Беловский район, дер. Мохово, Российская Федерация

Евгений Сергеевич Баев –

главный инженер, АО «Распадская-Коксовая» филиал «Разрез Коксовый», 652870, г. Междуреченск, Кемеровская область, Кузбасс, Российская Федерация

Критерии авторства / Contribution:

Авторы заявляют о равном вкладе каждого в работу над статьей / The authors participated equally in the writing and collection of the material, as well as its processing

Конфликт интересов / Conflict of interest:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 13.11.2024.

Поступила после рецензирования: 30.11.2024.

Принята к публикации: 07.12.2024.

Article info

Received: 13.11.2024.

Revised: 30.11.2024.

Accepted: 07.12.2024.

ABOUT THE AUTHORS

Valery F. Kolesnikov –

Dr. Sc. (Tech.), Professor, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 650000, Kemerovo, Russian Federation

Dmitry M. Dubinkin –

PhD (Tech.), Associate Professor, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 650000, Kemerovo, Russian Federation

Sergey O. Markov –

PhD (Tech.), Associate Professor, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 650000, Kemerovo, Russian Federation, e-mail: markovso@kuzstu.ru

Yaroslav O. Litvin –

PhD (Tech.), Director, Branch of JSC «UK Kuzbassrazrezugol» Mokhovsky Open Pit Mine, 652661, Mokhovo settlement, Belovsky district, Kemerovo region, Russian Federation

Eugeny S. Baev –

Chief Engineer, «Koksovy Open Pit» branch of JSC Raspidskaya-Koksovaya, 652870, Mezhdurechensk, Kemerovo region, Russian Federation