

УДК 622.271.3 (571.56)

**ИНТЕГРИРОВАННАЯ ГЕОТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ  
УГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ****Заровняев Б.Н., Ильин А.А., Шубин Г.В.***ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова»,  
Якутск, e-mail: mine\_academy@mail.ru*

В регионах, где углеводородное сырье не доступно в транспортном отношении, требуется развитие технологии добычи угля, расширение ее возможностей, снижение себестоимости с одновременным уменьшением потерь, при осложнении горно-геологических условий месторождений. В связи с этим создание интегрированной геотехнологии при разработке сложноструктурных месторождений весьма актуально. Повышение эффективности разработки сложного Эльгинского месторождения, состоящего из 13 угольных пластов, возможно в результате применения интегрированной геотехнологии с использованием транспортной системы на верхних горизонтах, бестранспортной системы на промежуточном горизонте и открыто-подземной технологии при отработке самого нижнего пласта угля. При этом верхние горизонты будут разрабатываться с применением карьерных экскаваторов в комплексе с автосамосвалами с вывозом пород вскрыши на внешние отвалы согласно проекту. Нижележащие пласты предлагается разрабатывать с применением шагающих экскаваторов с внутренним отвалообразованием с размещением пород вскрыши на кровле нижележащего пласта, разрабатываемого с применением комплекса глубокой разработки пласта (КГРП). Глубина извлечения пласта комплексом КГРП может достигать 300 м, управление кровлей предпочтительно закладкой выработанного пространства твердеющим материалом или намораживанием льдопородным материалом. В результате формируется фронт работы подземной геотехнологии с оставлением над кровлей пласта пород вскрыши над извлекаемым пластом, на который в последующем будут складированы породы вскрыши верхних пластов с формированием внутреннего отвала. На полученный внутренний отвал формируется транспортный внутренний отвал вышележащих промежуточных горизонтов. В результате применения такой интегрированной геотехнологии достигается значительное сокращение объемов вскрыши, уменьшается средний коэффициент вскрыши на 0,076 м<sup>3</sup>/т и расстояние транспортирования вскрыши промежуточного горизонта во внутренний отвал, что в целом повысит эффективность разработки месторождения.

**Ключевые слова:** угольные пласты, интегрированные геотехнологии, комплекс глубокой разработки пластов, внутреннее отвалообразование, бестранспортная система

**INTEGRATED GEOTECHNOLOGY FOR COAL DEPOSITS****Zarovnyaev B.N., Ilin A.A., Shubin G.V.***North-Eastern Federal University named M.K. Ammosov, Yakutsk, e-mail: mine\_academy@mail.ru*

In regions where hydrocarbon raw materials are not available in transport terms, as well as relative, the development of coal mining technology, the expansion of its capabilities, cost reduction with a simultaneous decrease in losses, with the complication of the mining and geological conditions of the deposits, is required. In this regard, the creation of an integrated geotechnology in the development of complex-structured deposits is very important. Improving the development efficiency of the complex Elga deposit, consisting of 13 coal seams, is possible as a result of the use of integrated geotechnology using a transport system on the upper horizons, a non-transport system on the intermediate horizon and open-pit technology when mining the lowest coal seam. At the same time, the upper horizons will be developed using mining excavators in combination with dump trucks with the removal of overburden rocks to external dumps according to the project. It is proposed to develop the underlying seams using walking excavators with internal dumping with the placement of overburden rocks on the top of the underlying seam, which is being developed using a deep seam development complex (KGRP). The depth of the formation extraction by the acid fracturing complex can reach 300 m, the control of the roof is preferable by filling the mined-out space with hardening material or freezing with ice-bearing material. As a result, a work front for underground geotechnology is formed, leaving overburden above the extractable layer above the top of the layer, on which, subsequently, the overburden of the upper layers will be stored with the formation of an internal dump. On the received inner dump, a transport inner dump of the overlying intermediate horizons is formed. As a result of the application of such integrated geotechnology, a significant reduction in stripping volumes is achieved, the average stripping ratio is reduced by 0.076 m<sup>3</sup> / t and the distance of transportation of the overburden of the intermediate horizon to the inner dump, which will generally increase the efficiency of field development.

**Keywords:** coal seams, integrated geotechnology, deep seam development complex, internal dumping, non-transport system

В регионах с суровыми природно-климатическими условиями энергообеспечение является важным аспектом в развитии производительных сил, обеспечении населения и экономики в целом. При этом углеводородное сырье не всегда доступно в транспортном отношении, а также отличается относительно дорогой доставкой по отношению

к углю. В связи с этим развитие технологии добычи угля, расширение ее возможностей, снижение себестоимости с одновременным уменьшением потерь при осложнении горно-геологических условий месторождений является актуальной проблемой.

Одним из наиболее перспективных месторождений на Северо-Востоке России

является Эльгинское каменноугольное месторождение, характеризующееся весьма сложными горно-геологическими и горнотехническими условиями эксплуатации и рядом специфических особенностей, таких как суровые климатические условия, наличие многолетнемерзлых пород, весьма пересеченный ландшафт поверхности с перепадами более 300 м, тектоническими нарушениями пластов, наличием многочисленных расщепляющихся пластов и прослоев пород различной мощности.

Эльгинское каменноугольное месторождение располагается в центральной части Токинского района, к западу от озера Б. Токо, вблизи границ Амурской области и Хабаровского края. Границы месторождения установлены с учетом естественных границ по элементам гидросети, геоморфологии и геолого-структурных особенностей площади, оно находится в Южно-Якутском регионе с запасами более 3,75 млрд т коксующихся и энергетических углей, из которых более 50 % пригодны для открытой добычи. Месторождение имеет в общем количестве 16 угольных пластов (выявлено 13 угольных пластов рабочей мощности и 3 отщепившиеся от них пачки –  $У5_{\text{в}}$ ,  $У5_{\text{н}}$ ,  $Н15_{\text{в}}$ ), которые можно разделить на две группы. К первой группе относятся верхние угольные пласты малой мощности, начиная с  $У19$ ,  $У18$ ,  $У17$ ,  $У14$ ,  $У13$ ,  $У12$ ,  $У8$ ,  $У6$ ,  $У5_{\text{в}}$ ,  $У5_{\text{н}}$ ,  $Н15_{\text{в}}$ , значение мощности большинства этих пластов находится в пределах 1,17-2,84 м. Ко второй группе относятся нижние угольные пласты большой мощности –  $У20$ ,  $У5$ ,  $У4$ ,  $Н16$ ,  $Н15$ , их мощность в основном составляет 7,49-9,81 м (пласт  $Н15$  имеет мощность 4,89 м). Эти пласты содержат около 75 % запасов всего месторождения. Предельная глубина отработки углей при открытом способе (почва пласта  $Н15$ ) составляет 520 м. Средние расстояния между основными пластами колеблются от 20-25 до 50-70 м [1].

Из них в отработке будет находиться 13 угольных пластов (16 – с учетом расщепления пластов  $Н15$  и  $У5$  на самостоятельные пачки) мощностью 56,8 м по сумме чистых угольных пачек. Мощность междупластьев (средняя) изменяется от 2 до 78,0 м, общая вскрышная толща достигает 450 м. При этом проектом принята одnobортовая продольно-углубочная система разработки с перемещением фронта вскрышных и добычных работ по падению угольных пластов и применением транспортных систем на верхних горизонтах и бестранспортной вскрыши на нижних пластах. При разработ-

ке месторождения главной проблемой будет постепенное увеличение коэффициента вскрыши, ограничивающее возможности открытых горных работ. Поэтому необходимо рассмотреть использование интегрированной геотехнологии, предусматривающей варианты транспортной системы на верхних горизонтах, бестранспортную систему до уровня пластов  $Н15$  и  $Н15_{\text{в}}$  с разработкой подземным способом этих пластов. Применение предложенной интегрированной геотехнологии с использованием комплекса глубокой разработки пластов (КГРП)  $Н15$  и  $Н15_{\text{в}}$  расширит возможности открытой разработки месторождения и повысит эффективность работ.

Для повышения эффективности разработки такого сложного месторождения необходимо применение комбинированного способа разработки с использованием транспортной и бестранспортной систем при открытой разработке пластов. При этом верхние горизонты будут разрабатываться с применением карьерных экскаваторов в комплексе с автосамосвалами с вывозом пород вскрыши на внешние отвалы согласно проекту. Нижележащие пласты  $Н15_{\text{в}}$  и  $Н16$  предлагается разрабатывать с применением шагающих экскаваторов с внутренним отвалообразованием с размещением пород вскрыши на кровле нижележащего пласта  $Н15$ , которые будут извлекаться с применением КГРП. Применению комплексов глубокой разработки пластов (КГРП) при разработке угольных месторождений посвящен ряд работ как в России, так и за рубежом [2-4]. При выборе оборудования наиболее важными являются мощность пласта, условия залегания угольного пласта, тектоническая характеристика пласта, физико-механические свойства вмещающих пород, ширина межкамерных целиков, состояние мерзлоты. Для условий Эльгинского месторождения наиболее подходящими являются комплексы КГРП и шнекобуровые машины, которые могут применяться для пологопадающих пластов с углом наклона до  $15^{\circ}$ .

Технология добычи угля комплексами КГРП, по существу, является разновидностью подземной камерно-столбовой системы разработки с предварительной подготовкой первоначального фронта работ путем вскрытия пласта разрезной траншеей. Таким образом, первоначально открытые горные работы обеспечивают доступ к угольным пластам рабочего органа КГРП подземным способом. При этом пулы

управления, силовые агрегаты, гидравлика и другие механизмы комплекса КГРП остаются на поверхности. Это позволяет исключить использование дорогостоящей обводненности пластов, их самовозгораемость и взрывоопасность угольной пыли [5; 6]. В работах определены основные параметры применения КГРП с учетом горно-геологических условий пластов.

В России КГРП при добыче угля наиболее широко применяется на разрезах Кузбасса, что связано со значительными потерями угля на борту карьеров [7; 8]. Суть новой технологии – выбуривание пластов с использованием комплексов глубокой разработки пластов (КГРП), известных на Западе как комплексы SHM (Superior High-wall Miners). Известны такие комплексы у фирм JOY, Addcar, SHM (США), Dieseco (Нидерланды), Salem ToolInc., Bry Det, CET, CSIRO (Австралия), Mining Technology [9-11]. Из крепи для управления горным давлением. Для обеспечения устойчивости выработок смежные камеры разделяют неизвлекаемыми барьерными целиками или твердеющей закладкой выработанного пространства.

Следует отметить, что в мировой и отечественной практике технология применения КГРП в зоне открытых горных работ отработана и налажена на достаточном уровне, определены оптимальные параметры и режим работы комплекса, а также установлены основные методы управления горным давлением. Использование комплекса КГРП влечет за собой изменение способов вскрытия их параметров по горизонтам, а также системы разработки месторождения в целом, вскрытия и подготовки участков открытых горных работ. В результате совмещения систем открытых и подземных горных работ достигается повышение его себестоимости и менее затратная рекультивация нарушенной поверхности.

При разработке нижних горизонтов месторождения с внутренним отвалообразованием в условиях многолетней мерзлоты очень важно знать температурный режим массива горных пород, от которого зависит крепость и устойчивость пород вскрыши. Район месторождения Эльгинский находится в Южно-Якутском регионе, в зоне островной мерзлоты, температурный режим которого представлен в работе [12]. С учетом температурного режима многолетнемерзлых горных пород разработан ряд технологий рекультивации нарушенной по-

верхности при разработке месторождения с внутренним отвалообразованием. Так, известна технология с внутренним отвалообразованием с формированием крупногабаритных блоков из вскрышных пород. Способ предусматривает формирование крупногабаритных блоков одним из известных способов, например буровзрывным, механическим, затем производят вскрышные работы с размещением пород вскрыши в виде крупногабаритных блоков (КГБ) в выработанное пространство. Технология также включает операции проходки первоначальной разрезной траншеи, формирование крупногабаритных блоков. Перемещение вскрышных пород из крупногабаритных блоков во внутренний отвал, извлечение продуктивного пласта и формирование внутреннего отвала. Таким образом, достигается одновременное внутреннее отвалообразование из крупногабаритных блоков.

Другим направлением рекультивации карьерного поля при внутреннем отвалообразовании является заполнение выработанного пространства льдопородным целиком [13]. Идея способа рекультивации в условиях криолитозоны заключается в том, что с целью значительного удешевления и интенсификации работ заполнение выработанного пространства производится льдопородным материалом, производимым на месте. Технология создания льдопородного материала заключается в дождевании воды во внутренний отвал в зимний период, с накрыванием далее теплоизолирующим слоем пород вскрыши, толщиной, обеспечивающей стабильность отрицательной температуры. Такие технологии рекультивации показали эффективность в условиях многолетней мерзлоты, и они вполне могут быть использованы при интегрированной геотехнологии.

Цель работы заключается в обосновании технологии открытой разработки угольных месторождений с применением комплекса КГРП.

#### *Формирование интегрированной геотехнологии*

Формирование интегрированной геотехнологии начинается с вскрытия месторождения полутраншеей 1 на восточном борту. При этом первоначально вскрываются пласты Н15, затем Н-15<sub>в</sub> и Н16, с формированием фронта горных работ. Также полутраншеей вскрывается пласт У4, при этом формируется фронт горных работ карьера в целом. При вскрытии пласта Н15 форми-

руется разрезная траншея для обеспечения фронта работ для комплекса глубокой разработки пласта (КГРП) 2, и после монтажа добычного оборудования начинается извлечение пласта Н15 в два слоя по стандартной технологической схеме. Глубина извлечения пласта может достигать 300 м, управление кровлей предпочтительно осуществлять закладкой выработанного пространства твердеющим материалом или намораживанием льдопородным материалом одним из известных способов [14]. В результате создается фронт работы для подземной геотехнологии с оставлением над кровлей пласта Н15 пород вскрыши между пластами Н15 и Н15<sub>в</sub>, на который в последующем будут складированы породы вскрыши между пластами Н15 и Н16, а также часть вскрыши над пластом Н16 (рис. 1). В результате породы вскрыши между пластами Н15 и Н15<sub>в</sub> в объеме 151,273 млн м<sup>3</sup> не экскавируются и представляют основу внутреннего отвала шагающего экскаватора.

Следующей технологической цепочкой интегрированной геотехнологии является извлечение пластов Н15<sub>в</sub> и Н16 с использованием карьерного экскаватора и перевалкой

шагающим экскаватором пород вскрыши между пластами Н15<sub>в</sub> и Н16 во внутренний отвал 3, на кровлю пласта Н15, извлекаемого КГРП. После извлечения пласта Н16 его кровля после предварительной взрывной подготовки также шагающим экскаватором переваливается во внутренний отвал 4, уже на сформированный внутренний отвал из междупластья Н15<sub>в</sub> и Н16. В результате формируется бестранспортная технология разработки месторождения. При этом образуется внутренний отвал, состоящий из кровли пласта Н15, извлеченного КГРП, размещенных на нем пород вскрыши между пластами Н15<sub>в</sub> и Н16, а также пород вскрыши над кровлей пласта Н16. Выше бестранспортной вскрыши пласта Н16 до пласта У4 и выше используется обычная транспортная система разработки. При этом вскрыша между пластами Н16 и У4 располагается во внутренний отвал 5, образованный шагающим экскаватором из пород вскрыши междупластий нижележащих пластов (рис. 2). В результате значительно сокращается расстояние транспортирования пород вскрыши, что, несомненно, повышает эффективность разработки месторождения.

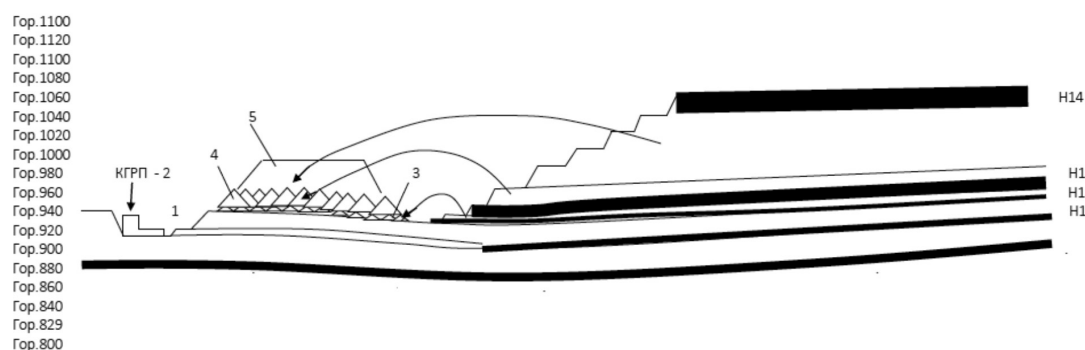


Рис. 1. Формирование начального фронта интегрированной геотехнологии

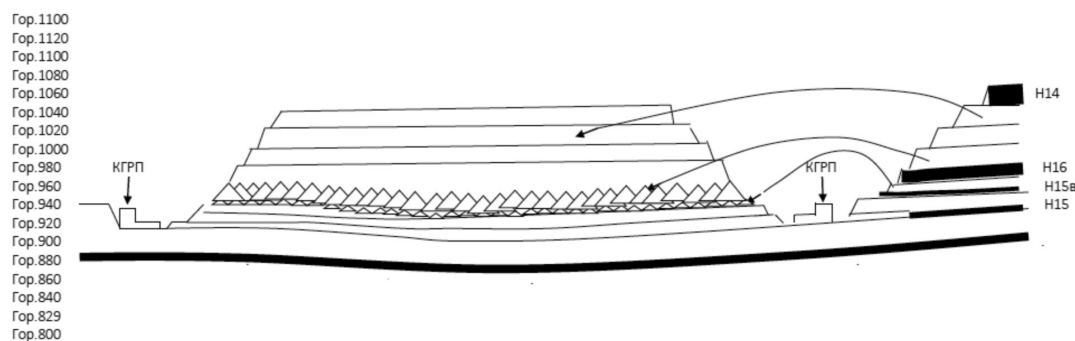


Рис. 2. Завершение отработки первого участка



Таким образом, одновременно будут работать 3 технологии разработки месторождения: по пласту Н15 открыто-подземная технология с использованием КГРП, по пластам Н15<sub>в</sub> и Н16 бестранспортная технология с внутренним отвалообразованием, выше пласта Н16 транспортная технология с транспортированием пород вскрыши во внутренний отвал, сформированный шагающим экскаватором. При этом должна выдерживаться четкая организация и очередность выполнения работ.

Расстояние между разрезными траншеями равно двойной глубине выемки КГРП, извлечение пласта Н15 осуществляется встречными забоями. В результате месторождение делится на отдельные участки шириной, равной двойной глубине выемки КГРП. В расчетном случае глубина выемки КГРП составляет 300 м, таким образом, ширина участка составит 600 м. Тогда через 600 м от первой разрезной траншеи, когда фронт работы карьера по пластам Н15<sub>в</sub> и Н16 также пройдут 600 м с кровли пласта Н15 проходят параллельно первой вторую разрезную траншею и одновременно создают встречный фронт работы для КГРП. При этом КГРП после завершения отработки встречного забоя первого участка начинает отработку первой заходки второго участка, одновременно создавая площадку для внутреннего отвалообразования второго участка. В таком порядке разрабатываются все последующие участки месторождения.

Преимущества такой интегрированной технологии заключаются в следующем:

- благодаря использованию КГРП вскрыша междупластья Н15 и Н15<sub>в</sub> не разрабатывается и не экскавируется, это позволяет сократить объем вскрыши на 151,273 млн м<sup>3</sup> по всему месторождению благодаря применению КГРП;

- обеспечивается возможность применения дешевой бестранспортной вскрыши для кровли пластов Н15<sub>в</sub> и Н16 в объеме 28 млн м<sup>3</sup> по всему месторождению;

- благодаря транспортному внутреннему отвалообразованию в выработанное пространство значительно сокращается расстояние транспортирования пород вскрыши между пластами Н16 и У4 (по сравнению с проектным решением). При этом благодаря применению КГРП коэффициент вскрыши может сократиться на 0,076 м<sup>3</sup>/т;

- интегрированная геотехнология позволяет вести одновременную техническую рекультивацию карьерного поля благодаря использованию транспортной системы раз-

работки с перемещением пород вскрыши во внутренние отвалы, с перекладыванием пород вскрыши нижних пластов во внутренний отвал на кровлю пласта, извлекаемого КГРП шагающими экскаваторами, и сохранением кровли нижнего пласта.

### Выводы

1. Эльгинское каменноугольное месторождение имеет весьма сложноструктурное строение, включающее 13 пластов и пропластков с мощностью от 1,3 до 15 м и расчлененных междупластьями мощностью от 3 до 45 м, что вызвало сложную организацию работ и систему разработки.

2. Для эффективной разработки сложноструктурного Эльгинского каменноугольного месторождения необходимо применение интегрированной геотехнологии, включающей открыто-подземную геотехнологию с применением КГРП на самом нижнем горизонте, бестранспортную систему разработки на нижних горизонтах и транспортную систему разработки с внутренним отвалообразованием на верхних горизонтах.

3. Применение интегрированной геотехнологии при разработке Эльгинского месторождения позволит сократить объемы вскрыши на 151,273 млн м<sup>3</sup>, сократит средний коэффициент вскрыши на 0,076 м<sup>3</sup>/т.

### Список литературы / References

1. Хосоев Д.В., Ермаков С.А. Оценка возможности разработки пластов Эльгинского каменноугольного месторождения безвзрывным способом // Геомеханические и геотехнологические проблемы эффективного освоения месторождений твердых полезных ископаемых Северных и Северо-Восточных регионов России: труды Всероссийской научно-практич. конфер., посвященной памяти Новопашина М.Д. (Якутск, 13–15 сентября 2011 г.). 2011. С. 189–193.

2. Khosoev D.V., Ermakov S.A. Evaluation of the possibility of development of layers of the Elginsky coal deposit by a non-explosive method // Geomekhanicheskiye i geotekhnologicheskiye problemy effektivnogo osvoyeniya mestorozhdeniy tverdykh poleznykh iskopayemykh Severnykh i Severo-Vostochnykh regionov Rossii: trudy Vserossiyskoy nauchno-praktich. konfer., posvyashchennoy pamyati Novopashina M.D. (Yakutsk, 13–15 sentyabrya 2011 g.). 2011. P. 189–193 (in Russian).

2. Демченко А.В., Деревяшкин И.В. Опыт работы комплекса глубокой разработки пластов на Элегесском угольном месторождении Республики Тува // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. С. 79–87.

- Demchenko A.V., Derevyashkin I.V. Experience of the complex of deep seam development at the Elegessky coal deposit of the Republic of Tuva // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2019. P. 79–87 (in Russian).

3. Sasaoka T., Karian T., Hamanaka A., Shimada H., Matsui K. Application of highwall mining system in weak geological condition. International journal of coal science and technology. 2016. No. 3 (1). P. 311–321.

4. Нецветаев А.Г., Григорян А.А., Пружина Д.И. Оборудование и технология для безлюдной добычи угля из бортов открытых разработок // Уголь. 2015. № 10 (1075). С. 36–40.

- Netsvetaev A.G., Grigoryan A.A., Pruzhina D.I. Equipment and technology for unmanned mining of coal from under open-cast mining // *Ugol*. 2015. № 10 (1075). P. 36–40 (in Russian).
5. Hikaru Shimadaa, Yanlong Chena, Akihiro Hamanaka, Takashi Sasaoka, Hideki Shimadaa and Kikuo Matsui. Application of Highwall Mining System to Recover Residual Coal in Endwalls. *International Symposium on Earth Science and Technology. Procedia Earth and Planetary Science*. 2013. Vol. 6. P. 311–318.
6. Walker S. Highwall miners keep the coal flowing. *World coal*. 2001. Vol. 10. № 12. P. 20–26.
7. Нецветаев А.Г., Репин Л.Н., Соколовский А.В., Юткин А.В. Технология глубокой разработки угольных пластов: анализ опыта внедрения на разрезе «Распадский» // *Уголь*. 2005. С. 9–10.
- Netsvetaev A.G., Repin L.N., Sokolovsky A.V., Yutkin A.V. Deep mining technology: analysis of the implementation experience at the Raspadskiy open-pit mine // *Ugol*. 2005. P. 9–10 (in Russian).
8. Шишков Р.И., Федорин В.А., Шахматов В.Я. Открыто-подземный способ вскрытия и подготовки пологих угольных месторождений // *Уголь*. 2020. № 10. С. 13–16. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-10-13-16.
- Shishkov R.I., Fedorin V.A., Shakhmatov V.Ya. Open-underground method of opening and preparation of shallow coal deposits // *Ugol*. 2020. № 10. P. 13–16. DOI: 10.18796 / 0041-5790-2020-10-13-16 (in Russian).
9. Fedorin V.A., Shakhmatov V.Ya., Anferov B.A., Kuznetsova L.V. Hybrid opencast-underground process to mine Kuzbass coal deposits. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 262. P. 012015. DOI: 10.1088/1755-1315/262/1/012015.
10. Matsui K., Sasaoka T., Shimada H., Ueda T., Kramadibrata S., Sulistianto B. Highwall Mining Systems at Surface Coal Mines in Indonesia, *Coal International*. 2008. Vol. 256. No. 3. P. 28–31.
11. Ben-Awuah E., Richter O., Elkington T., Pourrahimian Y. Strategic mining options optimization: Open pit mining, underground mining or both. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2016. Vol. 26. Is. 6. P. 1065–1071.
12. Zarovnyaev B., Shubin G., Sobakina M., Budikina M. Development of environmentally safe mining technologies taking into account thermomechanical conditions of the permafrost zone. *World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium – WMESS*, September, 03–07, 2018, Prague – Czech Republic. *IOP Conference Series-Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 221. 012118 P. DOI: 10.1088/1755-1315/221/1/012118.
13. Zarovnyaev B.N., Shubin G., Sobakina M.P. Justification of environmentally safe technology for the development of fields with an ice-breed internal dump. *19th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2019, Conference Proceedings Volume 19, Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining*. 2019. Is. 1.3. P. 363–369.
14. Ковлеков И.И. Способ открыто-подземной разработки пологозалегающих пластов // Патент 2715503 С1. Патентообладатель Северо-Восточный федеральный университет, по заявке № 2019130034, от 25.09.2019. МПК E21C 41/00. Бюлл. 2019. № 7.
- Kovlekov I.I. The method of open-pit mining of flat-lying seams Patent 2715503 S1. Patentobladatel' Severo-Vostochnyy federal'nyy universitet, po zayavke № 2019130034, ot 25.09.2019. MPK E21C 41/00. Byull. 2019. № 7 (in Russian).