

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ (ПОДЗЕМНАЯ, ОТКРЫТАЯ И СТРОИТЕЛЬНАЯ)

DOI: 10.26730/1999-4125-2019-5-84-91

УДК 622. 834

ВЕРТИКАЛЬНЫЕ И ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ СДВИЖЕНИЯ ПОДРАБАТЫВАЕМОЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ КОМПЛЕКСОМ КГРП

VERTICAL AND HORIZONTAL MOVEMENTS OF THE UNDERMINED EARTH SURFACE BY THE KGRP COMPLEX

Дегтярев Дмитрий Николаевич
зам. заведующего лабораторией ПГР, e-mail: degtyarev1708@yandex.ru
Dmitriy N. Degtyarev, deputy head of the laboratory underground mining

ООО «СИГИ» 653033, Россия, г.Прокопьевск, пр-кт Гагарина, д.11, 1
SIGI LLC, Prokopyevsk, pr-kt Gagarina, 11, 1, 653033, Russian Federation

Аннотация:

Одним из основных требований, предъявляемых к недропользователю согласно Закону Российской Федерации «О недрах», является полнота извлечения полезных ископаемых. Добыча угля на разрезах Кузбасса связана со значительными потерями прибортовых забалансовых запасов, сосредоточенных между предельной технической и лицензионной границами. Извлечение прибортовых запасов угля позволяет сократить потери полезного ископаемого, увеличить срок деятельности разреза и получить дополнительную прибыль. С целью обеспечения максимальной полноты извлечения запасов в установленных границах после доработки пласта до конечной границы открытой разработки предполагается ввести в работу комплекс глубокой разработки пластов (КГРП), который получил наибольшее применение на угольных разрезах Кузбасса. Несмотря на более чем десятилетний период его применения, геомеханика подрабатываемого массива и земной поверхности мало исследована. В основном нормативном документе, регламентирующим охрану зданий, сооружений, коммуникаций и природных объектов от вредного влияния горных работ при разработке угольных пластов, нет методики расчета ожидаемых сдвижений и деформаций подрабатываемой земной поверхности комплексом КГРП. На основании ранее проведенных исследований и полученных новых результатов систематических инструментальных наблюдений за сдвигениями земной поверхности, подрабатываемой комплексом КГРП, выявлены закономерности оседаний и горизонтальных сдвижений, установлены эмпирические зависимости, приведены методические положения установления функций распределения оседаний. Установлены угловые параметры мульды сдвижения, приведены формулы расчета ожидаемого максимального горизонтального сдвижения и размеров мульды.

Ключевые слова: Комплекс глубокой разработки пластов, подработка массива, инструментальные наблюдения, мульда сдвижений, анализ, закономерности, методические положения расчета.

Abstract:

One of the main requirements to the subsoil user according to The law of the Russian Federation "on subsoil" is the completeness of extraction of minerals.

Coal mining at Kuzbass opencasts is associated with significant losses of off-balance reserves concentrated between the marginal technical and licensed boundaries. Extraction of port coal reserves allows to reduce mineral losses, increase the life of the mine and get additional profit. In order to ensure maximum completeness of the extraction of reserves at the established boundaries after the completion of the formation to the final boundary of the open-pit mining, it is planned to put into operation a complex of deep development of formations (KGRP), which has received the greatest application in coal mines of Kuzbass. Despite the more than ten-year period of its application, the geomechanics of the undermined massif and the earth's surface have been little studied. The main regulatory document governing the protection of buildings, structures, communications and

natural objects from the harmful effects of mining during the development of coal seams does not have a methodology for calculating the expected displacements and deformations of the undermined earth surface by the complex KGRP. On the basis of earlier studies and new results of systematic instrumental observations of the displacements of the earth's surface undermined by the complex KGRP, regularities of subsidence and horizontal displacements are revealed, empirical relationships are established, and methodological provisions for establishing the distribution functions of subsidence are given. The angular parameters of the displacement trough are established, the formulas for calculating the expected maximum horizontal displacement and the size of the trough are mould.

Keywords: Deep development of complex layers, part of the array, instrumental observations, displacement trough, analysis, patterns, guidelines for calculating provisions.

Введение

Одним из основных требований, предъявляемых к недропользователю согласно Закону Российской Федерации «О недрах», является полнота извлечения полезных ископаемых. При разработке угольных месторождений открытым способом часть запасов является забалансовыми. К забалансовым (потенциально экономическим) относятся прежде всего запасы, разработка которых на момент оценки экономически не эффективна (убыточна) в условиях конкурентного рынка из-за низких технико-экономических показателей, но освоение которых становится экономически возможным при изменении цен на полезные ископаемые, появлении оптимальных рынков сбыта или новых технологий добычи. Процедура отнесения запасов к балансовым и забалансовым именуется оценкой балансовой принадлежности запасов и производится на основании специальных технико-экономических обоснований (ТЭО) кондиций для подсчета запасов, подтвержденных государственной экспертизой. Важной особенностью является и то, что забалансовые запасы подсчитываются только в том случае, если технико-экономическими расчетами установлена возможность их последующего

извлечения или целесообразность попутного извлечения, складирования или сохранения в недрах для использования в будущем [1].

Добыча угля на разрезах Кузбасса связана со значительными потерями прибортовых забалансовых запасов, сосредоточенных между предельной технической и лицензионной границами. Переход на рыночную систему планирования предприятий, обрабатывающих месторождения открытым способом, поставил их в жесткие условия обеспечения нормативной прибыли от добычи угля. Извлечение прибортовых запасов угля позволяет сократить потери полезного ископаемого, увеличить срок деятельности разреза и получить дополнительную прибыль.

Возможные варианты комбинированного способа разработки рассмотрены авторами в работе [2]. С целью обеспечения максимальной полноты извлечения запасов в установленных границах после доработки пласта до конечной границы открытой разработки предполагается ввести в работу комплекс глубокой разработки пластов. КГРП является полностью автономной, высокопроизводительной и экономичной угледобывающей системой, позволяющей осуществлять полностью

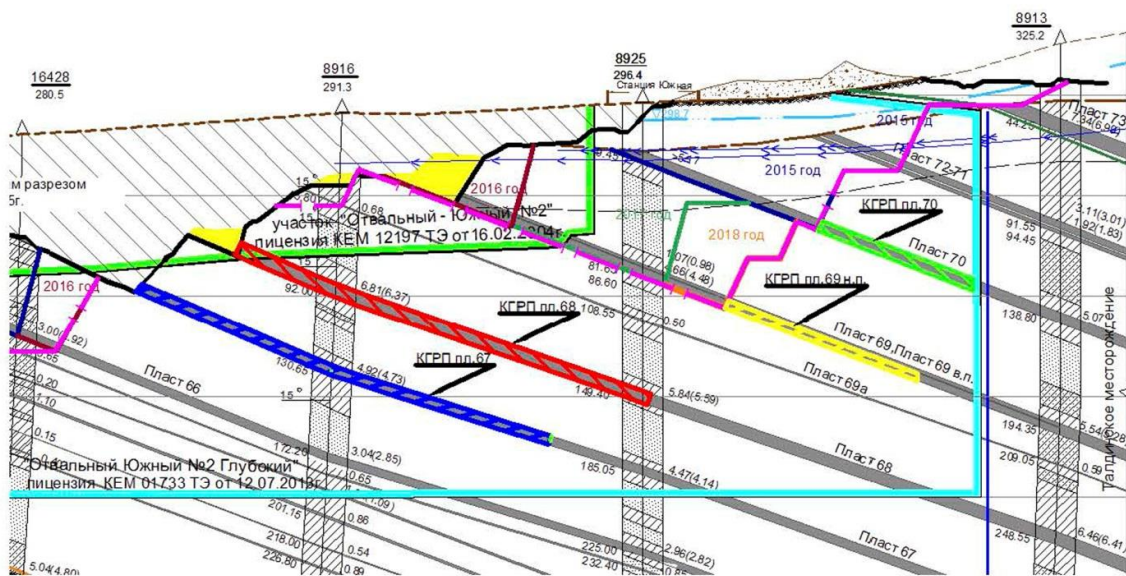


Рис. 1. Вертикальный разрез участка Талдинского месторождения по 10 разведочной линии
 Fig. 1. A vertical section of a section of the Taldinskoye field along 10 exploration lines

механизированную разработку угольных пластов [3,4]. При использовании КГРП не требуется присутствие людей в выработке. КГРП устанавливается на открытой площадке после окончания ведения ОГР на локальном участке (приведения контура отработки в конечные границы ОГР) по направлению падения угольного пласта режущим органом, по мере врезания которого в пласт осуществляется извлечение запасов.

Основная часть

На участке «Отвальный Южный №2 «Глубокий» планируется отработка свиты пластов Талдинского месторождения комплексом КГРП, запасы которых находятся между технической и лицензионной границами и являются забалансовыми (рис.1).

Угленосные отложения в пределах участка «Отвальный Южный №2 Глубокий» представлены грамотеинской свитой (P_{2gr}) ерунаковской подсерии (P_{2eg}) кольчугинской серии (P_{2kl}) верхней перми. Толща охватывает стратиграфический интервал от кровли пласта 72 до кровли пласта 60-59. Мощность вскрытой части свиты составляет до 250м. Свита содержит 12 пластов угля (72, 71, 70, 69, 68, 67, 66, 65, 64, 63, 62, 61). За счет расщепления пласта 69 (69в.п., 69+69в.п.) их количество возрастает до 14.

Литологический состав пород свиты представлен переслаиванием песчано-глинистых пород с мощными пластами.

По устойчивости, мощности и выдержанности строения пласты делятся на следующие группы:

- выдержанные – 72, 71, 70, 68, 67, 66;
- относительно выдержанные – 69, 69+69в.п.;
- невыдержанные – 69в.п., 69а, 65, 63, 62, 61.

Разделяющими прослоями в углях, как правило, являются углистые породы (алевролиты и аргиллиты). Количество прослоев породы в пласте угля от 1-2 до 6.

По физико-механическим свойствам и инженерно-геологическим особенностям в пределах участка выделяются 4 группы пород:

- рыхлые четвертичные отложения;
- пермские угленосные отложения, затронутые выветриванием;

- пермские угленосные отложения, не затронутые выветриванием;

- горные породы особого состава и состояния – «горельники».

В настоящее время обрабатываются прибортовые запасы по пласту 70 мощностью от 4 м до 5,7 м при средней 4,7 м, ложная кровля отсутствует, в непосредственной кровле залегает алевролит или песчаник с сопротивлением сжатию соответственно 44,8 МПа и 67,8 МПа, а также неустойчивый слой пород мощностью 1м. В почве пласта залегает алевролит с сопротивлением сжатию 44,8 МПа. Средний угол падения пласта 20°, глубина ведения работ – до 108 м.

Отработка пласта сопровождается систематическими визуальными и инструментальными наблюдениями, фотометрией и хронометражными измерениями [5]. Наблюдательная станция состоит из профильных линий грунтовых реперов L₁÷ L₅. Установлено, что подрабатываемый массив находится в устойчивом состоянии до некоторой критической площади подработки, которая к настоящему времени еще не определена. Обрушение массива происходит в течение одних суток почти на максимальную величину оседаний. Методика расчета сдвижений и деформаций подрабатываемой поверхности, приведенная в основном нормативном документе «Правила охраны ...» [6], к данной технологии выемки угля неприменяема. В данной статье приводятся некоторые закономерности сдвижения подрабатываемой поверхности комплексом КГРП, полученные при анализе инструментальных наблюдений.

На рис. 2а приведены вертикальные и горизонтальные сдвигения площадки второго уступа борта (профильная линия L₅) при отработке пласта 70 между 10 и 12 разведочными линиями. Мульда оседаний (1) со стороны не подработанного массива пород круче, чем со стороны не обрушившихся выемочных камер. Перпендикулярные к борту горизонтальные сдвигения (2) направлены в сторону борта и повторяют профиль мульды оседаний. В краевых областях полумульды горизонтальные сдвигения равны величинам оседаний, а в средней части мульды составляют около 50% от

Таблица 1. Литологический состав отложений

Литологические разности	Количество слоев	Суммарная мощность	% к общей мощности
Песчаники	3	55	27
Алевролиты	5	81	40
Аргиллиты	1	1,5	0,5
Переслаивание алевролитов с песчаниками	3	33	16
Уголь:			
Общее содержание	14	32,5	16,5
в том числе свыше 2,0 м	6	30,1	14,7
Итого	26	203	100

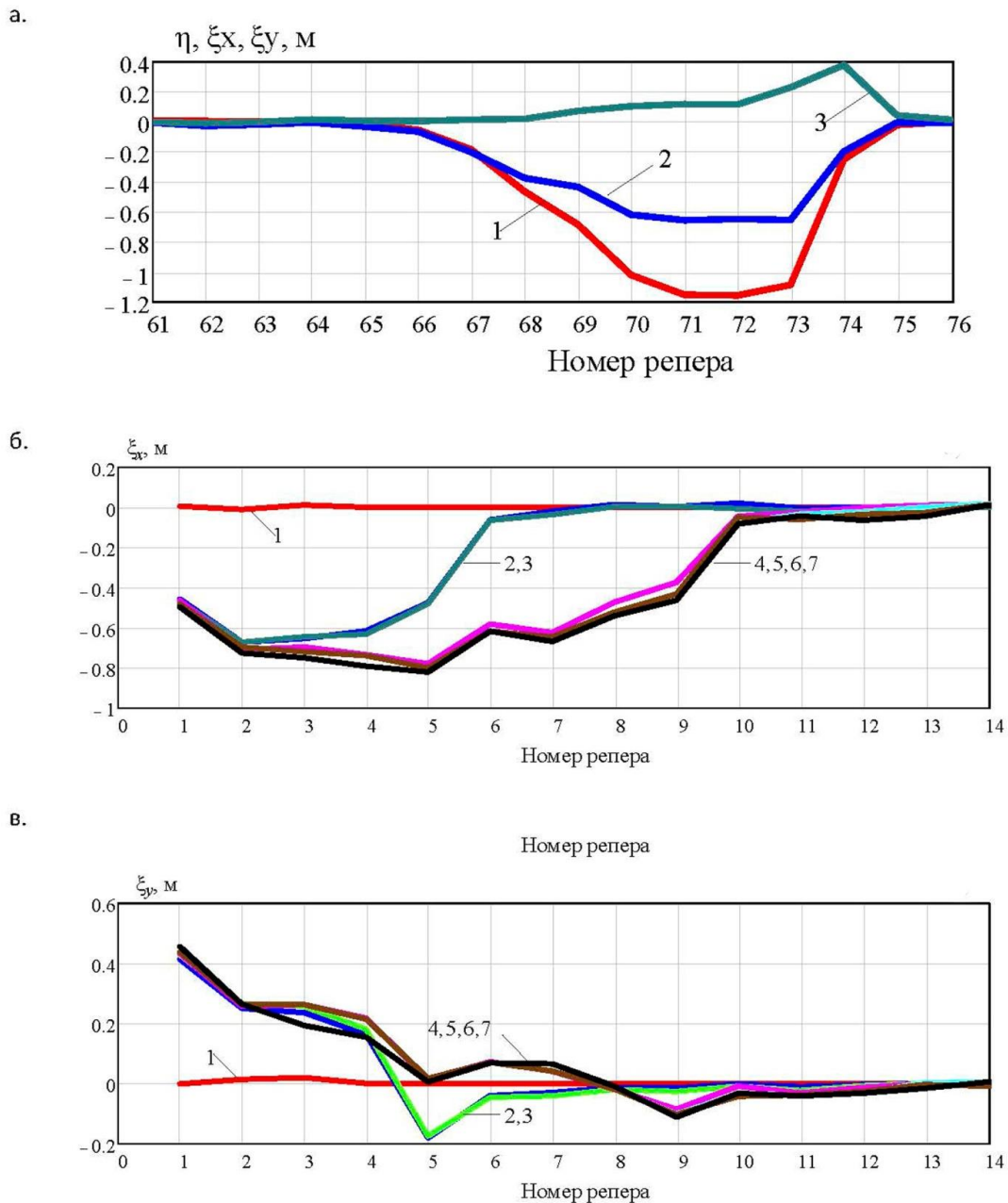


Рис. 2. Сдвигения подрабатываемой земной поверхности комплексом КГРП по пласту 70:
 а) вертикальные и горизонтальные: 1 – оседание поверхности η ; 2 – горизонтальные сдвигения, перпендикулярные борту разреза; 3 – горизонтальные сдвигения вдоль борта;
 б) горизонтальные сдвигения точек (реперов) в сторону борта между 11 и 13 разведывательными линиями;
 в) горизонтальные сдвигения точек (реперов) вдоль борта между 11 и 13 разведывательными линиями.

Fig. 2. The displacement of the undermined earth's surface by the fracturing complex in the reservoir 70:
 a) vertical and horizontal: 1 - subsidence of the surface η ; 2 - horizontal displacements perpendicular to the side of the section; 3 - horizontal movement along the side;
 b) the horizontal movement of points (benchmarks) in the direction of the side between 11 and 13 reconnaissance lines;
 c) horizontal displacements of points (frames) along the side between 11 and 13 reconnaissance lines.

максимального оседания. Горизонтальные сдвигения (3) вдоль борта имеют максимум в краевой части полумульды со стороны не подработанного

массива и уменьшаются в сторону не обрушившихся выемочных камер. Аналогичный процесс

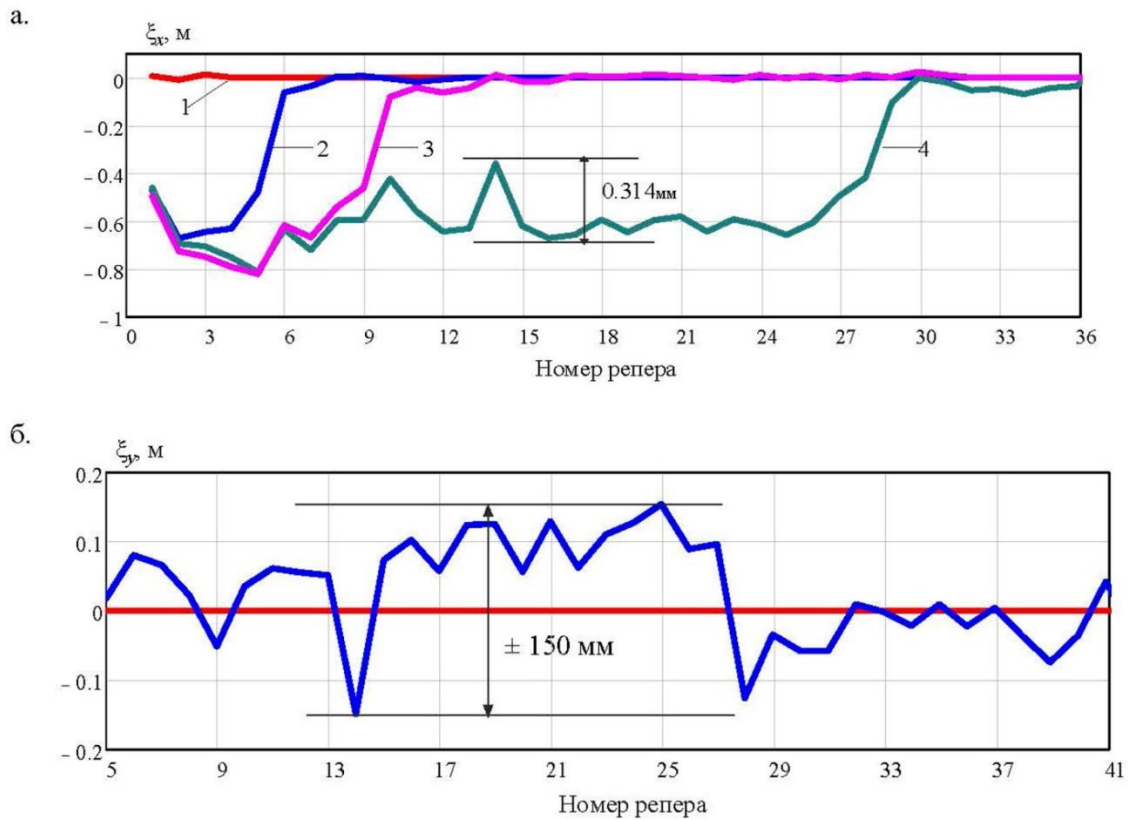


Рис. 3. Горизонтальные сдвигения:

а) в перпендикулярном направлении к борту: 1 - перед обрушением массива; 2, 3, 4 – при последовательных обрушениях массива;

б) площадки подрабатываемого уступа вдоль борта в «плоском дне» мульды сдвижения

Fig. 3. Horizontal movements:

a) in the perpendicular direction to the side: 1 - before the collapse of the array; 2, 3, 4 - with successive collapse of the array;

b) platforms of an undermined ledge along the side in the "flat bottom" of the shift trough

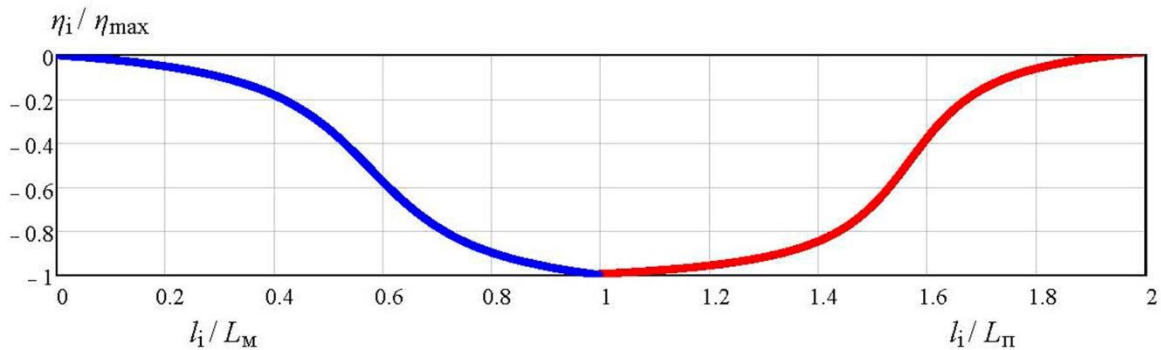


Рис. 4. Сглаженный профиль мульды сдвижения при отработке пласта 70 комплексом КГРП

Fig. 4. The smoothed profile of the trough of displacement during the development of the reservoir 70 complex of hydraulic fracturing

сдвижений наблюдается на других участках отработываемого пласта 70.

На рис. 2 (б, в) приведены результаты инструментальных наблюдений за сдвижением поверхности площадки первого уступа борта при отработке пласта 70 между 11 и 13 разведочными линиями. Здесь (1) – горизонтальные сдвигения, перпендикулярные борту - б) и направленные вдоль борта -

в), зафиксированные за 8 часов до начала первого обрушения подработанного массива. Величина этих смещений находится в пределах точности измерений системой GPS. Горизонтальные сдвигения (2, 3) получены непосредственно после первого и перед вторым обрушениями подработанного массива и характеризуют неполную подработку. Горизонтальные сдвигения (4÷7) характеризуют

полную подработку поверхности (состояние мульды сдвижения перед образованием «плоского дна»). После произошедших обрушений массива, вызвавших горизонтальные сдвигения поверхности, значительных изменений в их величине не происходит.

Величина горизонтальных сдвижений в направлении уступа при образовании «плоского дна» в мульде приведена на рис. 3а. На отдельных участках «плоского дна» колебания этих величин достигали 47% от их максимального значения. Колебания горизонтальных сдвижений вдоль борта не превышали ± 150 мм от нулевых значений (рис. 3б).

На основании ранее проведенных исследований [7-15] и полученных новых результатов инструментальных наблюдений установлена сглаженная мульда сдвижений земной поверхности при отработке пласта 70 комплексом КГРП, выраженная в относительных величинах (рис. 4).

Определены функции распределения оседаний (типовые кривые): S_m в полумульде L_m со стороны не подрабатываемого массива и S_n в полумульде L_n со стороны двигающегося фронта выемки камер, они аппроксимированы выражениями (1).

$$S_m = -0.397 \cdot \text{arccctg}(6.4 \cdot x_m - 3.704) + 1.142; x_m \in [0; 1]; \quad (1)$$

$$S_n = 0.376 \cdot \text{arccctg}(8.8 \cdot (x_n - 1) - 5.039) - 0.11; x_n \in [1; 2];$$

где $x_m = l_i / L_m$, $x_n = l_i / L_n$ – текущие значения нормированных длин полумульд.

Длины полумульд L_m и L_n определяются по установленным усредненным угловым параметрам мульды сдвижения согласно выражениям (2):

$$L_m = H_{CP} \cdot \text{ctg}\psi_m + (H_{CP} - h_n) \text{ctg}\delta_{0m} + h_n \text{ctg}\phi_0; \quad (2)$$

$$L_n = H_{CP} \cdot \text{ctg}\psi_n + (H_{CP} - h_n) \text{ctg}\delta_{0n} + h_n \text{ctg}\phi_0;$$

где H_{CP} – средняя глубина отработки пласта, м; h_n – мощность наносов, м; $\phi_0 = 45^\circ$, $\delta_{0m} = 66^\circ$, $\delta_{0n} = 60^\circ$ – граничные углы; $\delta_m = 75^\circ$, $\delta_n = 70^\circ$ – углы сдвижения; $\psi_m = 57^\circ$, $\psi_n = 46^\circ$ – углы полного сдвижения.

Аналогично оседаниям определены функции распределения горизонтальных сдвижений, перпендикулярных борту разреза $S_{\xi m}$ в полумульде L_m со стороны не подрабатываемого массива и $S_{\xi n}$ в полумульде L_n со стороны двигающегося фронта выемки камер, выраженные в относительных величинах (3):

$$S_{\xi m} = \frac{\xi_{mi}}{\xi_{max}}; S_{\xi n} = \frac{\xi_{ni}}{\xi_{max}}; \quad (3)$$

где ξ_{mi} , ξ_{ni} – текущие значения наблюдаемых горизонтальных сдвижений в полумульдах отдельных точек поверхности (реперов g_i) при k -том обрушении массива; ξ_{max} – максимальные горизонтальные сдвигения при k -том обрушении массива.

На основании анализа корреляционных полей исследуемых величин функции распределения

(типовые кривые горизонтальных сдвижений) аппроксимированы выражениями (4):

$$S_{\xi m} = 0.465 \cdot \text{arccctg}(4.046 \cdot x_1 - 2.588) - 1.28; x_1 \in [0; 1]; \quad (4)$$

$$S_{\xi n} = 0.35 \cdot \text{arccctg}(-17.329 \cdot (x_2 - 1) + 8.007) - 1.05; x_2 \in [1; 2];$$

где $x_1 = l_{mi} / L_m$, $x_2 = l_{ni} / L_n$ – текущие значения нормированных длин полумульд.

Максимальное горизонтальное сдвигение ξ_{max} , входящее в выражения (3), определяется по установленной эмпирической зависимости (5):

$$\xi_{\xi} = \frac{B_k}{B_k + B_{mкц}} \cos \alpha_{max}; \quad (5)$$

где: m_b – вынимаемая мощность пласта; α – угол падения пласта; B_k – ширина выемочной камеры; $B_{mкц}$ – ширина межкамерного целика.

Заключение

На основании выполненных исследований можно сделать основные выводы:

- из известных технологий отработки прибортовых запасов на угольных разрезах Кузбасса наибольшее применение получила технология с использованием комплекса КГРП. Несмотря на более чем десятилетний период его применения, геомеханика подрабатываемого массива и земной поверхности мало исследована. В основном нормативном документе [6], регламентирующем охранузданий, сооружений, коммуникаций и природных объектов от вредного влияния горных работ при разработке угольных пластов, нет методики расчета ожидаемых сдвижений и деформаций подрабатываемой земной поверхности комплексом КГРП. В этой связи актуальными являются любые научные исследования в данном направлении и особенно инструментальные наблюдения;

- оседание подрабатываемого комплексом массива начинается с некоторой критической площади подработки массива, для определения размеров которой требуются специальные инструментальные наблюдения и теоретические изыскания. Обрушение происходит быстро, в течение суток массив садится почти на полную величину оседаний. Дальнейшая «доусадка» массива в течение 4-5 месяцев не превышает 12% от окончательного максимального оседания. При этом величина горизонтальных сдвижений практически не изменяется;

- установленные эмпирические граничные углы, углы сдвижения и полных оседаний позволяют прогнозировать общую зону влияния и опасную зону сдвижений и деформаций при подработке горного массива комплексом КГРП;

- аналитические зависимости, установленные на основе инструментальных наблюдений, позволяют производить расчет ожидаемых оседаний и горизонтальных сдвижений в зоне влияния от выемки очистных камер и обоснованно разрабатывать меры защиты сооружений и коммуникаций, находящихся на подрабатываемой поверхности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Davydov S.Ya. Utilization of Alumina Calcining Furnace Dust Containing Nanoparticles / S.Ya. Davydov R.A. Apakashev V.N. Korukov // *Refractories and Industrial Ceramics*. – 2014. – Vol. 55, № 4. – P. 291-294.
2. Макаров В.Н. Теоретические основы повышения эффективности вентиляции в технологических процессах на промышленных предприятиях / В. Н. Макаров, С. Я. Давыдов // *Новые огнеупоры*. – 2015. – № 2. – С. 59-63.
3. Wu D., Yin K., Yin Q., Zhang X., Cheng J., Ge D., Zhang P. Reverse circulation drilling method based on a supersonic nozzle for dust control // *applied sciences (switzerland)*. – 2017. – Т. 7, № 1. – P. 5-20. DOI: 10.3390/APP7010005/.
4. Гордеев Ю.И. Влияние добавок, легирующих керамических наночастиц на структурные параметры и свойства твердых сплавов / Ю.И. Гордеев, А.К. Абкарян, Г.М. Зеер [и др.] // *Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева*. – 2013. – № 3. – С. 174-181.
5. Justification of environmental technologies and means for dust control of tailing dumps surfaces of hydro-metallurgical production and concentrating plants / V.I. Lyashenko, A. Gurin, F.F. Topolnii, N.A. Taran // *metallurgical and mining industry*. – 2017 – № 4 – P. 8-17.
6. Makarov V.N., Davydov S.Ya. Theoretical basis for increasing ventilation efficiency in technological processes at industrial enterprises // *Refractories and Industrial Ceramics*. – 2015. – Vol. 56, iss. 1. – P. 103–106. DOI: 10.1007/s11148–015–9791–7.
7. S.Ya. Davydov R.A. Apakashev V.N. Korukov/ Capturing Nanoparticles in Alumina Production. *Refractories and Industrial Ceramics*. – 2016. – Vol. 57, № 1. – P. 9-12.
8. Давыдов С.Я., Апакашев Р.А., Корюков В.Н. улавливание наноразмерной фракции частиц глиноземного производства. *новые огнеупоры*. 2016. №2. С. 12-15.
9. Novakovskiy N.S., Bautin S.P. Numerical simulation of shock-free strong compression of 1d gas layer // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2017 – Vol. 894, № 1 – P. 12067 DOI: 10.1088/1742-6596/894/1/012067.
10. N.I. Alymenko, A.A. Kamenskikh, A.V. Nikolaev, A.I. Petrov. Numerical modeling of heat and mass transfer during hot and cool air mixing in a supplyshaft in underground mine // *Eurasian mining*. 2016. № 2. P. 45-47.
11. Evaluation of gravitational force effect on balancing processes in liquid-type autobalancing devices. Pashkov E.N., Martyushev N.V., Masson I.A. *Advanced Materials Research*. 2014. Т. 1040. С. 642-645.
12. Веников В.А. Теория подобия и моделирования применительно к задачам электроэнергетики. Учебник для вузов. 4–е изд. – М.: Либроком, – 2014. – 439 с.
13. Фролов А.В., Телегин В.А., Сечкерев Ю.А. Основы гидрообеспыливания. Безопасность жизнедеятельности. – 2007. – № 10. – С. 1-24.
14. Фукс Н.А. Механика аэрозолей. -М.: Изд-во АН СССР, 1955. -352 с.
15. Макаров В.Н., Макаров Н.В., Потапов В.В., Горшкова Э.М. Перспективный способ повышения эффективности высоконапорного гидрообеспыливания. *Вестник ЗабГУ*. 2018. Т. 24 № 5. С. 13-20.
16. Макаров В.Н., Косарев Н.П., Макаров Н.В., Угольников А.В., Лифанов А.В. Эффективная локализация взрывов угольной пыли с использованием гидровихревой коагуляции. *Вестник пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело* № 2, Т. 18, 2018. С. 178-189.
17. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. Учебник для вузов. – 7–е изд., испр. – М.: Дрофа, 2003. – 840 с.

REFERENCES

1. Rogova T.B. Podschet zapasov ugol'ny`x mestorozhdenij [Calculation of reserves of coal deposits], Shaklein S.V., Yarkov V.O., Textbook, Kemerovo, 2010, pp.135.
2. Degtyarev D.N. Geotexnicheskie aspekty` dorabotki pribortovy`x zapasov na ugol`ny`x razrezax Kuzbassa [Geotechnical aspects of improvement of instrument reserves at coal mines of Kuzbass], Oхotnikov K.V., By`kadorov A.I., Pechenegov O.Yu., Perspektivny` innovacionnogo razvitiya ugol`ny`x regionov Rossii: Sb. trudov V Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii [Prospects of innovative development of coal regions of Russia: Proceedings of the V International scientific and practical conference], Prokopyevsk: publishing house of the branch Kuzbass state technical University in Prokopyevsk, 2016, pp. 134-140.
3. Neczvetaev A.G., Razvitie texnologii bezlyudnoj ugledoby`chi s primeneniem kompleksov KGRP [Development of technology of deserted coal mining with the use of CSRП complexes], Grigoryan A.A., Pruzhina D.I., *Mining industry* 2015 No. 4, pp. 87.
4. Rekomendacii po obespecheniyu geomexanicheskoy bezopasnosti pri razrabotke mestorozhdenij polezny`x iskopaemy`x kompleksom glubokoj razrabotki plastov (KGRP) [Recommendations for ensuring

geomechanical safety in the development of mineral deposits by the deep reservoir development complex (CDDL)], Kemerovo: UV VNIMI, 2005, pp. 29.

5. Instrukciya po nablyudeniyu za deformatsiyami bortov, otkosov ustupov i otvalov na kar`erax i razrabotka meropriyatij po obespecheniyu ix ustojchivosti [Instructions for monitoring deformations of boards, slopes of ledges and dumps in quarries and development of measures to ensure their stability]. Leningrad, VNIMI, 1971.

6. Pravila ohrany` sooruzhenij i prirodny`x ob`ektov ot vrednogo vliyaniya podzemny`x gorny`x razrabotok na ugol`ny`x mestorozhdeniyax [Rules of protection of constructions and natural objects from harmful influence of underground mining on coal deposits]. Saint-Petersburg, VNIMI, 1998. pp. 290.

7. K ocenke osedaniy zemnoj poverxnosti pri otrabotke pribortovy`x zapasov kompleksom KGRP [To the assessment of subsidence of the earth's surface during the development of instrument reserves by the KGRP complex], D.N. Degtyarev [i dr.], Fundamental`ny`e i prikladny`e problemy` v gornom dele: Materialy` vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii [Fundamental and applied problems in mining: Proceedings of the all-Russian scientific and practical conference]. Mezhdurechensk, 2016. pp. 124-127.

8. Application of highwall mining system in weak geological condition, Takashi Sasaoka, Tri Karian, Akihiro Hamanaka, Hideki Shimada, Kikuo Matsui, International Journal of Coal Science & Technology. 2016 (September). Vol. 3. Issue 3. pp. 311-321.

9. Classification of Stability of Highwall During Highwall Mining: A Statistical Adaptive Learning Approach, Chandar K. R. et al, Geotechnical and Geological Engineering. 2015. Vol. 33. No. 3. pp. 511-521.

10. Chandar K.R., Kumar B.G. Effect of width of gallery of highwall mining on stability of highwall: a numerical modelling approach, International Journal of Mining and Mineral Engineering. 2014. Vol. 5. No. 3. pp. 212-228.

11. Highwall mining stability, Shen B. et al., Taishan Academic Forum. Project on Mine Disaster Prevention and Control. — Atlantis Press, 2014. R. McCaffrey, J, Geophys. Res., 110, 07401 (2005)

12. Prakash A., Highwall mining in India. Part II. Subsidence management mechanism at mine level, John L.P., Pal R.P., Journal of Mines, Metals & Fuels. 2014. Vol. 62. No. 9-10. pp. 254-262.

13. Perry K.A., Influence of highwall mining progression on web and barrier pillar stability, Raffaldi M.J., Harris K.W., Mining Engineering. 2015. Vol. 67. No. 3. pp. 59-67.

14. Neczvetaev A.G. Geodinamika krovli plasta 67 Taldinskogo mestorozhdeniya pri otrabotke ego kompleksom KGRP [Geodynamics of the roof of layer 67 of the Taldinsky Deposit during its development by the KGRP complex]. Grigoryan A.A., Pruzhina D.I., Coal. 2014, No. 11, pp. 85-89.

15. A Review of Highwall Mining Experience and Practice, in Naj Aziz and Bob Kininmonth (eds.), Sungsoon Mo, Chengguo Zhang, Ismet Canbulat, Paul Hagan, Proceedings of the 16th Coal Operators' Conference, Mining Engineering, University of Wollongong, 10—12 February 2016, pp. 522-530.

Поступило в редакцию 30.08.2019

Received 30 August 2019