

А.И. Быкадоров, П.М. Ларичкин, С.В. Свирко

ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ОТРАБОТКИ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КОМБИНИРОВАННЫМ (ОТКРЫТО-ПОДЗЕМНЫМ) СПОСОБОМ

Рассмотрен научно-практический опыт Сибирского института геотехнических исследований в области решения геотехнических задач при разработке угольных месторождений Кузбасса комбинированным способом, позволяющим повысить полноту извлечения запасов угля в лицензионных границах. Предложены определение и классификация комбинированного способа добычи, позволяющая оценить изменения геомеханического, гидрологического, газодинамического состояния техногенного горного массива и земной поверхности при различных вариантах комбинированной разработки угольных месторождений в конкретных горно-геологических условиях. Даны обобщенные методические положения гидрометрии водоема и оценка его гидравлической связи с проектируемыми горными работами. Разработаны алгоритмы прогноза величин сдвижений и деформаций горного массива и земной поверхности при взаимном влиянии открытых и подземных горных работ с учетом геодинамических процессов. Обоснована необходимость применения нетрадиционных технологий для доработки запасов угля в лицензионных границах месторождения. Поднят вопрос о необходимости автоматизированного мониторинга деформаций на угольных месторождениях, разрабатываемых комбинированным способом, что позволит повысить промышленную и экологическую безопасность горных работ на угольных предприятиях.

Ключевые слова: добыча угля, Кузбасс, комбинированная разработка месторождений, геомеханические и гидрологические параметры, доработка труднодоступных запасов, выбуривание пластов, автоматизированный мониторинг сдвижений и деформаций.

Основными способами разработки угольных месторождений Кузбасса являются: открытый, подземный, комбинированный. Однако ряд авторов к числу основных причисляют повторную, совместную, открыто-подземную, а также геотехнологические способы добычи, которые по своей сути являются частными понятиями и к основным способам разработки не относятся. Одному и тому же понятию порой придается различный смысл, чему способствует отсутствие общепринятых определений этих способов разработки.

Сибирским институтом геотехнических исследований уделяется большое

внимание решению геотехнических задач в практике ведения горных работ на предприятиях Кузбасса комбинированным способом, который позволяет повысить полноту извлечения угольных запасов конкретного разрабатываемого месторождения в лицензионных границах. Поэтому нами произведена научная классификация комбинированного способа разработки угольных месторождений, которая предусматривает следующие действия:

- сформулировать цель (цели) классификации объектов, образующих исследуемое понятие;
- уточнить задачи и выявить существенное для решения данных задач

основание классификации. Ясно, что тогда научная классификация не может быть абсолютной, пригодной для решения любых задач. Она всегда относительна применительно к сущности поставленной задачи;

- произвести деление понятия, объем которого классифицируется, по выделенному существенному основанию.

Комбинированной разработкой будем называть отработку одного угольного месторождения открытым и подземным способами, когда независимо от пространственно-временного фактора требуется обязательный учет их взаимного влияния. Если различные предприятия (разрез, шахта) отрабатывают одно угольное месторождение, но не имеют между собой никаких геомеханических взаимовлияний и технологических связей (транспортных, вентиляционных, водоотливных и т.п.), то такую разработку справедливо считать раздельной и выбор вариантов схем отработки для каждого из предприятий должен производиться по общепринятым классификациям открытых и подземных горных работ. Приняв за цель классификации оценку изменения геомеханического, гидрологического, газодинамического состояния техногенного горного массива и земной поверхности при различных вариантах комбинированной разработки угольных месторождений в конкретных горно-геологических условиях были сформулированы следующие задачи:

- установление наличия нормативных методик учета взаимовлияния горных работ при вариантах комбинированного способа разработки;

- уточнение существующих и разработка новых

методических положений учета изменения геомеханического, гидрологического, газодинамического состояния техногенного горного массива и земной поверхности;

- разработка рекомендаций по безопасному ведению горных работ комбинированной системой разработки угольных месторождений Кузбасса для конкретных проектов.

В соответствии с поставленной целью и задачами нами предложена классификация вариантов комбинированного способа разработки угольных месторождений, приведенная на рис. 1.

Следует заметить, что несмотря на ранее проведенные исследования геомеханических процессов при комбинированной разработке угольных месторождений институтами ВНИМИ, ИГД им. А.А. Скочинского, ВНИИГидроуголь, КузНИУИ, МГТУ, СибГИУ и другими научно-исследовательскими институтами и учебными заведениями к настоящему времени не сформирована единая и комплексная методическая база для расчета геомеханических и гидрологических параметров



Рис. 1. Классификация комбинированного способа разработки угольных месторождений

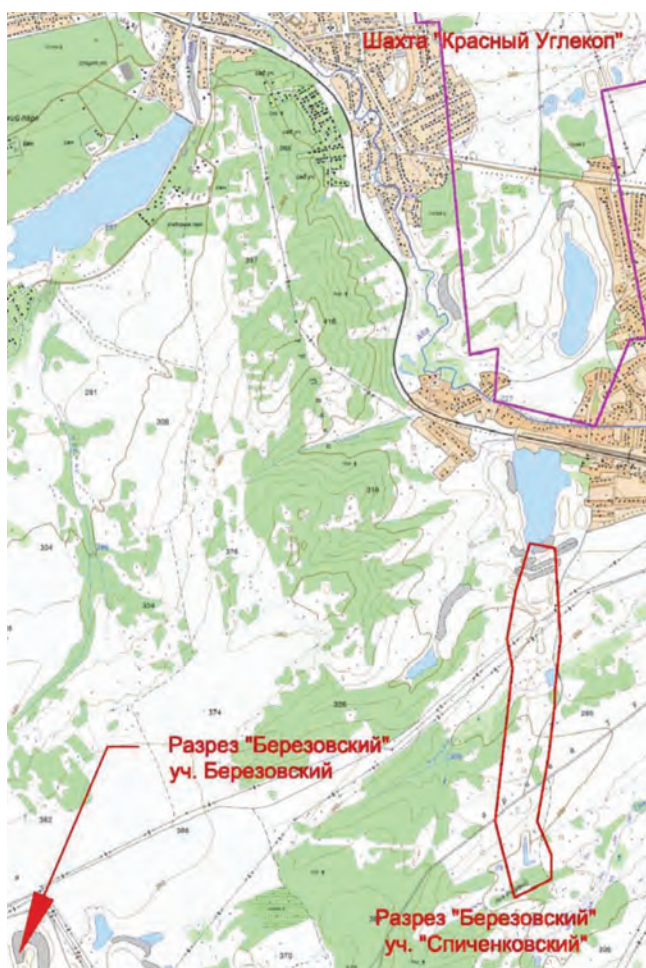


Рис. 2. Участок «Спиченковский», обзорный план. М 1:25000

открыто-подземной технологии, отсутствие которой не позволяет разработать необходимые нормативные документы для обеспечения эффективности и безопасности разработки угольных месторождений в широком диапазоне горно-геологических условий. Существующий нормативный документ РД 06-174-97 [1] не содержит методических положений по расчету рассматриваемых процессов.

При проектировании открыто-подземных и подземно-открытых вариантов комбинированного способа разработки угольного месторождения

Сибирским институтом геотехнических исследований уделяется особое внимание такому геотехническому аспекту, как влияние этих вариантов на гидрогеологическое состояние затопленных техногенных массивов. Наряду с известным понятием гидрометрии естественных водоемов (морей, рек, озер) и методов расчета их различных параметров введены понятия гидрометрии затопленных карьеров и гидрометрии затопленных шахт. Некоторые методические положения гидрометрии затопленных карьеров приведены в статье [2], которая написана по результатам разработки рекомендаций к проекту отработки участка «Спиченковский» в Кузбассе открытым способом.

Участок «Спиченковский» расположен на юго-востоке Прокопьевского района Кемеровской области (рис. 2). Город Прокопьевск расположен в 14 км от участка на северо-запад, город Новокузнецк в 18 км – на юго-восток. Севернее границы

участка на расстоянии более 600 м проходит железная дорога Новокузнецк-Артышта и расположена железнодорожная станция Спиченково. На севере и северо-востоке от участка за пределами горного отвода также расположена деревня Спиченково.

Длина участка по простиранию равна 2290 м, ширина вкрест простирания – 350 м. Площадь участка в лицензионных границах на дневной поверхности составляет 62,6 га.

Участок расположен на возвышенной равнине с перепадом высотных

отметок от +250 до +320 м с общим понижением рельефа на северо-восток. На юге участка протекает речка Ганина, в центральной части участок пересекает заболоченный лог «Бучило» с временным водотоком.

В границах выделенного участка ранее в 1950–61 гг. производилась отработка пластов подземным способом до гор.+190,0 м ликвидированной шахтой «Спиченковская», а выхода пластов позднее обрабатывались открытым способом шахтами «Красный Углекоп» и «Центральная». Шахтовой документации не сохранилось. Также отсутствует документация и по открытым горным работам. По имеющейся разрозненной информации неизвестной достоверности установлено, что они проводились до гор.+210,0 м и +172,0 м.

Вследствие ведения открытых работ рельеф поверхности участка существенно нарушен, остаточные карьерные выемки с течением времени – затоплены.

Наиболее крупная из затопленных карьерных выемок площадью 15,9 га и достоверно неустановленных глубине и объеме воды в ней расположена в северной части участка. Установлена отметка ее затопления, которая составляет +234,2 м.

Для выполнения гидрометрии водоема был проведен комплекс полевых исследований с выполнением промерных работ, в состав которых входили: измерение глубины, определение координат промерных вертикалей, а также наблюдения за уровнем воды. Проведение промерных работ производилось карт-плоттером GPSMap585 производства компании «Garmin» со встроенным высокочувствительным GPS-приемником и мощным двухчастотным трансдюсером, обеспечивающим измерение глубины водоема до 457 м и отрисовку контуров дна. Поверхность дна водоема определялась

дискретно, и для дальнейших оценок была представлена сеточной функцией, т.е. регулярным массивом значений Z -координат (высотных отметок) узловых точек, построенным по нерегулярному массиву (X, Y, Z) – координат хаотически расположенных исходных точек. Термин «нерегулярный массив координат» означает, что X, Y – координаты точек данных, полученных методом эхолокации, распределены по области карты неравномерно. Процедура построения сеточной функции представляет собой интерполяцию значений экспериментальных точек наблюдений на равномерно распределенные узлы в исследуемой области. В качестве способа построения сеточной функции выбрана триангуляция с линейной интерполяцией, которая является точным интерполяционным методом. Определение объема воды, заключенного между нижней отметкой затопленной «ямы» и произвольно заданным уровнем ниже отметки уреза воды, сводится к вычислению объема области, заключенной между двумя сеточными поверхностями, одна из которых определяет поверхность дна остаточной выемки открытых горных работ, а вторая является горизонтальной плоскостью.

В понятие гидрометрии затопленного карьера входит так же выявление наличия в дне водоема ранее пройденных горных выработок, геологоразведочных скважин (рис. 3) и оценка водопритока по ним в проектируемые горные выработки.

В результате исследований установлено, что ведение открытых работ ниже уровня воды в затопленной карьерной выемке без предварительной откачки воды из исследуемого водоема и опережающего водопонижения из горных выработок шахты «Спиченковская» является небезопасным – возможно аварийное увеличение водопритоков из затопленного массива

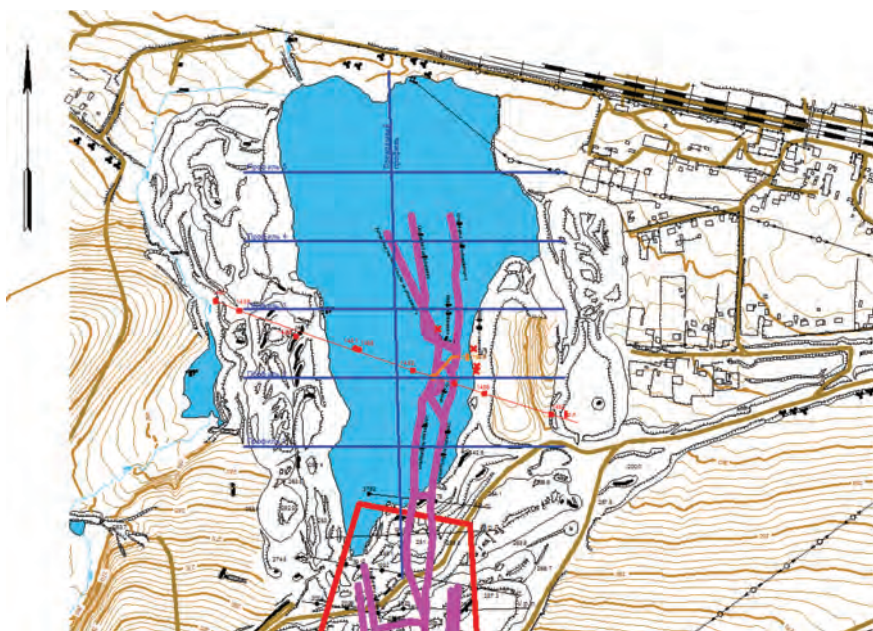


Рис. 3. Совмещенный план затопленного карьера и ранее проведенных горных выработок

и вскрывающих выработок (штреков, скатов, шурфов), тектонических нарушений, а также определены объемы требуемой откачки.

Аспекты гидрометрии затопленных шахт частично освещены в статье [3], написанной по материалам разработки рекомендаций по консервации шахты «Коксовая-2». Поле ООО «Шахта Коксовая-2» (ранее «Шахта Коксовая») расположено в северо-восточной части Прокопьевского месторождения каменных углей в пределах городской черты г. Прокопьевска. На северо-востоке граничит с горным отводом ликвидированной и затопленной до горизонта $\pm 0,0$ м шахтой «Ноградская», на юге – с ликвидированной и затопленной до горизонта $+15,0$ м шахтой «Центральная», на западе – с консервируемой шахтой им. Ворошилова. Уровни затопления на ликвидированных шахтах «Ноградская» и «Центральная» обосновывались условиями безопасной работы шахты «Коксовая» и поддерживались с помощью погружных насосов.

В августе 2013 г. вследствие превышения уровней затопления смежных шахт «Ноградская» и «Центральная» критических отметок, установленных по условию безопасности работы шахты «Коксовая-2», эксплуатация шахты была остановлена, спуск людей в шахту запрещен. Остановка водоотливов гор.-35,0 и гор.-135,0 м послужила началом затопления шахты «Коксовая-2».

На момент разработки рекомендаций выработки шахты «Коксовая-2» затопливались со скоростью $0,5 \div 0,6$ м/сутки, откачка воды на смежных шахтах «Ноградская» и «Центральная» не производилась, при этом скорости затопления шахт составляли: «Ноградская» – $0,18$ м/сутки; «Центральная» – $0,32$ м/сутки соответственно. На 20.01.2014 уровни затопления шахт составляли: шахта «Коксовая-2» – $-56,8$ м (абс.); «Ноградская» – $+20,2$ м (абс.); «Центральная» – $+73,5$ м (абс.).

Шахта «Коксовая» сдана в эксплуатацию в 1935 г. на горизонте

+215,0 м. За время эксплуатации отработаны и полностью погашены горизонты +215,0; +165,0; +65,0 и -35,0 м. Действующий до момента остановки горизонт -135,0 м сдан в эксплуатацию в 1986 г. Шахта отработывала 12 пластов, мощностью от 2 до 14 м. Падение пластов, преимущественно, крутое (60–70°), отдельные участки имеют крутонаклонное (40–50°) или очень крутое (70–80°) падение. Пласты вскрыты вертикальными стволами, на горизонтах – квершлагами. Применяемые системы разработки весьма разнообразны, шахта являлась полигоном для испытаний и внедрения всех применяемых систем разработки крутопадающих пластов системами с обрушением пород кровли и разными видами закладки: сухой, гидравлической, твердеющей.

По материалам затопления шахты «Коксовая-2» решен частный вопрос гидрометрии затопленных шахт: оценка объема затопления непосредственно для условий отработки угольных пластов с закладкой выработанного пространства (условия шахты «Коксовая-2»), который в настоящее время практически не изучен (диапазон значений коэффициента пустотности, основные и дополнительные влияющие на пустотность факторы). Исследованиями института СИГИ установлено, что для условий шахты «Коксовая-2» объем затопления может быть определен через коэффициент учета закладки K_3 , для которого установлены методические положения расчета. Объем затопления $V_{\text{ЗАТ}(i)}$ и время t_i в интервале произвольных отметок для условий шахты «Коксовая-2» определяется по формулам:

$$V_{\text{ЗАТ}(i)} = K_3 \cdot V_{\text{УД}(i)} \cdot \Delta h; \quad t_i = \frac{V_{\text{ЗАТ}(i)}}{Q_{\text{СР}}};$$

где: $V_{\text{УД}(i)}$ – удельный объем горной массы на 1 м глубины в интервале отметок с учетом закладки, м³/м; Δh –

разность отметок, м; $Q_{\text{СР}}$ – среднегодовой водоприток, м³/сутки.

На основе анализа горно-геологического, геомеханического, гидрогеологического, геогазодинамического состояния техногенного массива шахтного поля «Коксовая-2» и с учетом вышеизложенного институтом СИГИ рекомендован комбинированный способ консервации – затопление выработок до гор.+75÷+85 м с поддержанием уровня с помощью погружных насосов (основного и резервного), смонтированных во вспомогательном клетевом стволе № 1, и определены параметры затопления.

Комбинированный способ разработки сопровождается развитием сложных геомеханических процессов, обусловленных взаимным влиянием открытых и подземных работ. Наибольшая степень взаимного влияния и технологической взаимосвязи происходит при одновременном ведении открытых и подземных работ, совмещенных в одной вертикальной плоскости.

При проектировании, строительстве и эксплуатации горнодобывающих предприятий с комбинированной разработкой месторождения должны учитываться следующие основные факторы, определяющие специфические условия и представляющие опасность при ведении горных работ: изменение физико – механических свойств массива горных пород при эксплуатации месторождения, процессы сдвижения и деформации горных пород в зоне влияния подземной разработки с образованием зон сдвижения земной поверхности, трещин, воронок и провалов; склонность месторождения и массива горных пород или их части к горным ударам; нарушенность массива горных пород подземными выработками, наличие пустот отработанных камер и блоков в контуре карьера; неблагоприятное воздействие массовых взрывов в карьере и подзем-

ной горной выработке (сейсмическое воздействие на перераспределение напряжений в массиве горных пород, возможности загазованности горных выработок ядовитыми продуктами массовых взрывов, выброса горной массы в карьер при ведении подземных взрывов и т.д.); наличие аэродинамических связей между открытыми и подземными горными работами; возникновение пожаров при совмещенной разработке месторождений полезных ископаемых, склонных к самовозгоранию; внезапные прорывы воды в горные выработки карьеров и шахт; влияние климатических условий района на отработку запасов в зоне карьера.

Недостаточная изученность геомеханических процессов, происходящих в горном массиве при взаимном влиянии открытых и подземных выработок затрудняет прогноз параметров комбинированной технологии. В данном направлении институтом СИГИ на основе методических положений действующих в настоящее время нормативных документов («Прави-

ла охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях» [4], «Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах» [5] и другие) разработан ряд алгоритмов [6–7] прогноза величин сдвижений и деформаций горного массива и земной поверхности при взаимном влиянии открытых и подземных горных работ с учетом геодинамических процессов, исследованных А.С. Ягуновым [8].

Разработанные алгоритмы используются в качестве составных элементов автоматизированного рабочего места (АРМ) экспертов-геомехаников Сибирского института геотехнических исследований при разработке практических научно-технических задач безопасного ведения горных работ, что обеспечивает обоснованность и оперативность принятия проектных решений. Так, например, при одновременной разработке геологического участка Талдинские 1–2 Талдинского месторождения разрезом «Заречный» и шахтой



Рис. 4. Совмещенный план горных работ разреза «Заречный» и шахты «Талдинская Западная»

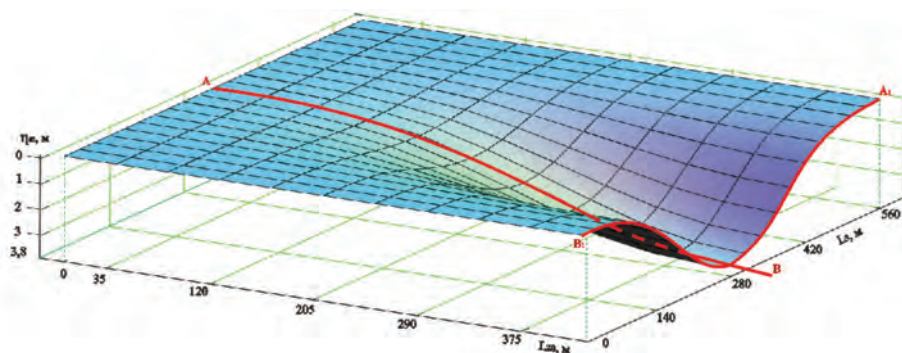


Рис. 5. Общий вид полумульды сдвижений поверхности отвала разреза «Заречный» в районе промплощадки при полной отработке лавы 6908

«Талдинская Западная» горные работы совмещены в вертикальной плоскости. Разрез «Заречный» формирует внутренний отвал, на поверхности которого проектируется размещение промплощадки для складирования и отгрузки добытого угля (рис. 4).

Расчеты показали, что проектируемая промплощадка на поверхности отвала разреза «Заречный» будет полностью находиться в зоне влияния горных работ лавы 6908 шахты «Талдинская Западная» при ее отработке

до установленных границ. На поверхности отвала появится мульда сдвижений (рис. 5) с изолиниями равных оседаний, приведенными на рис. 6.

Расчеты других видов деформаций поверхности отвала разреза «Заречный» (наклонов, кривизны, горизонтальных сдвижений и горизонтальных деформаций) при отработке лавы 6908 до проектных границ показали, что эксплуатация промплощадки на этой поверхности во время проведения горных работ в лаве и в период

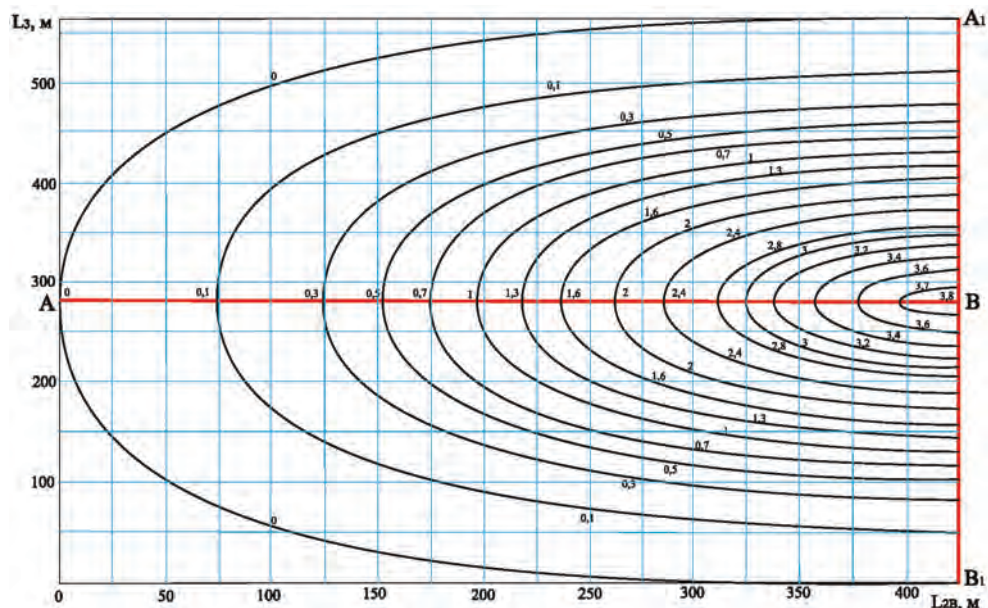
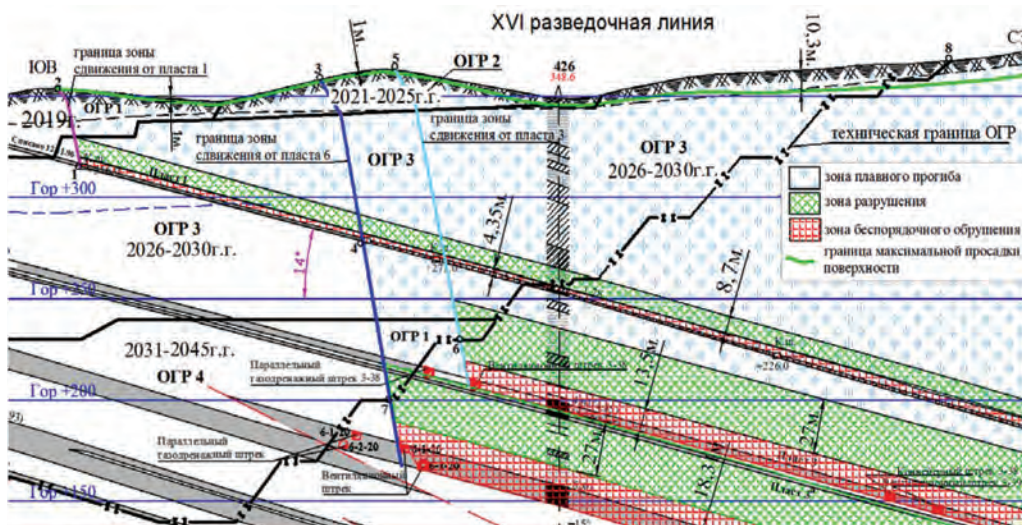


Рис. 6. Изолинии равных оседаний в полумульде сдвижений в районе промплощадки



опасных сдвижений после окончания горных работ в лаве недопустима.

При одновременной разработке участка «Алардинский-Восточный-1» Алардинского каменноугольного мес-

торождения разрезом «Калтанский» и шахтой «Алардинская» горные работы имеют смешанное совмещение (в горизонтальном и вертикальном направлениях). Рассчитаны зоны влия-

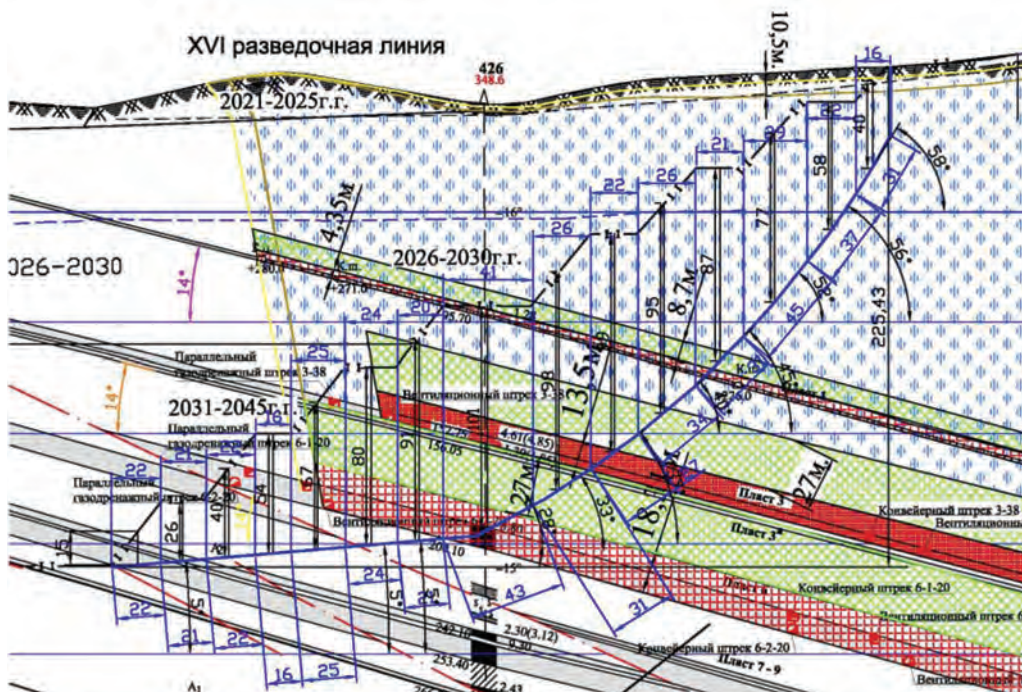


Рис. 8. Схема расчета устойчивости борта по профилю XVI разведочной линии



Рис. 9. Совмещение границ зоны сдвижения от подземных работ по второму слою пласта 6 шахтой «Алардинская» и календарного плана ОГР разреза «Калтанский» по пласту 3

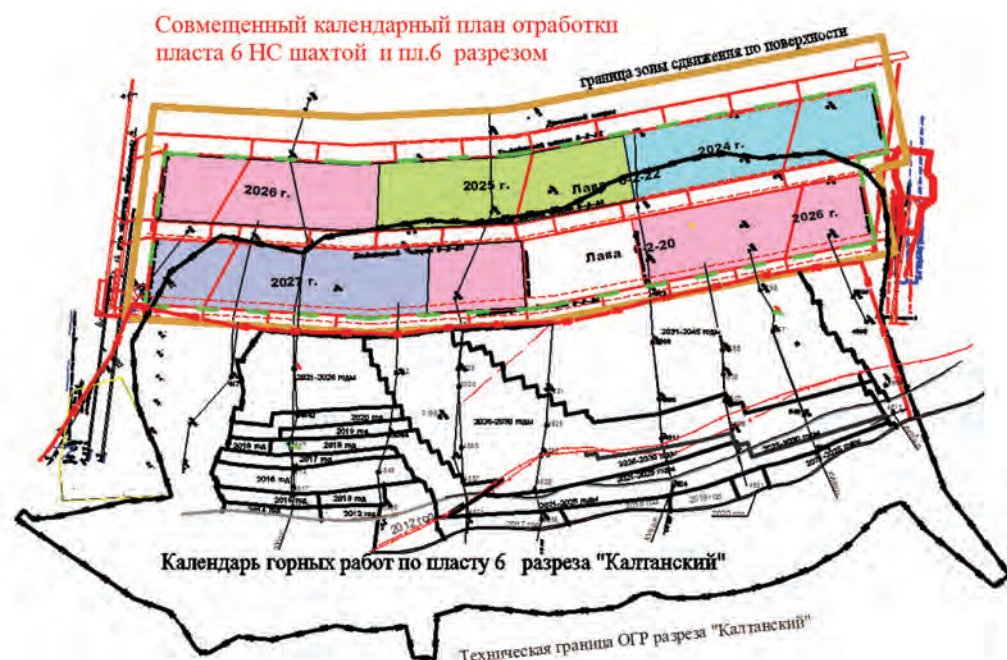


Рис. 10. Совмещение границ зоны сдвижения от подземных работ по второму слою пласта 6 шахтой «Алардинская» и календарного плана ОГР разреза «Калтанский» по пласту 6

ния подземной отработки пластов 3 и 6 шахты «Алардинская» на открытые горные работы разреза «Калтанский» (рис. 7).

В зонах влияния будут изменены физико-механические свойства горных пород. В этих зонах рассчитаны рациональные параметры бортов разреза «Калтанский» (рис. 8).

В зоне взаимного влияния в вертикальном направлении при одновременной отработке пластов 3 и 6 разработаны календарные планы безопасного ведения горных работ шахтой «Алардинская» и разрезом «Калтанский» (рис. 9–10).

В Кузбассе существует большое количество запасов угля, которое практически невозможно отработать в рамках одной технологии: выхода пластов под наносы на шахтах, запасы угля в приконтурной зоне на разрезах. В этом направлении заслуживает внимание опыт доработки угольных месторождений после ведения открытых

горных работ с помощью комплексов глубокой разработки пластов (КГРП) на базе оборудования, изготовляемого американской фирмой SUPERIOR HIGHWALL MINERS (рис. 11). Выбуривание пласта производится с выработанного участка разреза камерами длиной до 300 м на ширину рабочего органа. Между камерами вынутаго угля оставляются целики. Выемка производится без присутствия людей в забое. За работой рабочего органа ведется наблюдение при помощи датчиков и видеокамер, установленных на рабочем органе.

Впервые данная технология была внедрена в Кузбассе на разрезе «Распадский» в марте 2004 г. [9, 10]. Планируемая производственная мощность разреза по добыче КГРП должна была составить от 4120 т/сут. (пласт 3–3а, $m = 2,53$ м) до 5340 т/сут. (пласт 6–6а, $m = 4,45$ м). За два года работы разреза КГРП так и не был выведен на проектную мощность. Так среднесуточная



Рис. 11. Общий вид комплекса КГРП и схема выемки угля

производительность комплекса составила 2,9 тыс. т, а максимально достигнутое значение составило 4350 т/сут.

Как отмечают авторы [9, 10] причин этому несколько:

1. Недостаточная скорость подготовки фронта работ, что приводило и приводит к значительным простоям комплексов.

2. При подсчете запасов на разрезе «Распадском» добыча планировалась из максимальной технологически возможной глубины прохождения камер КГРП без учета горно-геологических факторов; как показала практика, результаты расчетов оказались сильно завышены. Сложные горно-геологические условия, выходящие за рамки возможностей КГРП, приводит к существенному снижению производительности данной технологии. Характерные для поля шахты «Распадская» расслаивания пород и слабая кровля, не раз приводили к завалам исполнительного органа КГРП, который приходилось извлекать из выработок с помощью проходчиков. Эти операции занимали по три месяца и обошлись достаточно дорого.

3. Проблемой являлось использование только токов моторов режущего органа для определения и различия угля и породы (в случаях присутствия мягкой породы). Операторам необходимы дополнительные приборы (видео, с источниками пассивного гамма излучения или иные технологии) для более точного определения положения режущего органа под землей.

4. Проблемы эксплуатации КГРП в зимнее время при температурах ниже 30 °С.

Авторами [9, 10] отмечается, что в условиях Распадского месторождения практически невозможно превысить максимально достигнутых длин выемочных камер (100–130 м) во время работы КГРП на разрезе «Распадский». Применение КГРП в условиях

Томь–Усинского геолого-экономического района в качестве основной технологии при новом строительстве горных предприятий скорее всего окажется экономически нецелесообразным.

Вместе с тем авторы утверждают, что при соответствующей организации производства и создании необходимой инфраструктуры технология выбуривания угля из под бортов после открытых горных работ найдет распространение в России и позволит решить следующие задачи:

- отработка угля, находящегося за границей открытых горных работ;
- извлечение пластов, непригодных по мощности для открытых горных работ;
- отработка целиков шахт по выходам пластов на поверхность;
- понижение коэффициента вскрыши открытых горных работ, особенно актуально на развивающихся предприятиях;
- поддержание мощности действующего предприятия;
- снижение нарушенности земель в месте ведения горных работ, улучшение экологической ситуации.

Сибирским институтом геотехнических исследований выполнена научно-техническая работа «Определение возможности и параметров отработки запасов угля подземным способом на участке «Отвальный Южный № 1» ООО «Разрез Южный» в зоне влияния открытых горных работ, участка отработки КГРП и породного отвала «Южный» Талдинского угольного разреза».

Участок «Отвальный Южный № 1» расположен на водоразделе рек Еланый Нарык и Черновой Нарык. Абсолютные отметки рельефа колеблются от +240–260 м в долинах водотоков до +340–350 м на водоразделах (рис. 12). Пониженные места часто заболочены с повышенной влажностью четвертичных отложений, кото-



Рис. 12. Обзорная карта участка Талдинского месторождения (1:200000)

рые в процессе ведения горных работ могут подвергаться оползневым явлениям. Ландшафт на участке «Отвальный Южный № 1» нарушен горными работами ООО «Открытчик», прилегающие площади частично заняты технологическими дорогами и гидротвалом разреза «Талдинский». В непосредственной близости от участка недр (в радиусе 1–5 км) располагаются угледобывающие предприятия Ерунаковского геолого-экономического района Кузбасса, разрабатывающие угольные месторождения по самостоя-

тельным лицензиям: «Разрез «Талдинский» ОАО «УК «Кузбассразрезуголь», ЗАО «Разрез «Перспективный», участок «Шахта «Тагарышская», ООО Разрез «Талдинский Западный», участок «Дорожный», участок «Талдинский-Западный-2», ООО «Шахта «Кыргайская».

Участок «Отвальный Южный № 1» по проекту предполагает к отработке запасы свиты пластов 66, 67, 68 и 69 Талдинского месторождения открытым способом на глубину до 70 м от поверхности. Условия залегания пластов определяют возможность открытой разработки их как наклонными, так и горизонтальными слоями. В технических границах разреза Участка «Отвальный Южный № 1» подсчитанные запасы угольных пачек по пластам 69–66 категории А+В+С составляют 11 791 тыс. т. Подсчитанные запасы угольных пачек вне технических границ разреза, но в пределах горного отвода по пластам 69–66 категории А+В+С составляют 8870 тыс. т.

Доработку запасов угля в границах лицензии вне технических границ участка открытых горных работ «Отвальный Южный № 1» предусматривается отработать комплексом глубокой разработки пластов (КГРП). Горно-геологические условия доработки запасов угля пластов 66, 67, 68 и 69 на участке «Отвальный Южный № 1» в целом соответствуют технологическим требованиям «Рекомендаций...» [11] по применению для их отработки комплекса КГРП. Институтом СИГИ уточнены и дополнены некоторые ме-

тодические положения этих «Рекомендаций...» при выборе технологических схем и расчете их рациональных параметров при доработке прибортовых запасов угля комплексом КГРП. Выбор рациональных параметров проводился по критерию минимума потерь запасов угля при главном ограничивающем факторе – обеспечение безопасности ведения горных работ.

Фактором, осложняющим безопасную отработку прибортовых запасов угля, будет являться расположение некоторых участков пластов в зоне выветривания пород. Глубина залегания выветрелых горных пород зависит от условий обводненности и меняется в зависимости от рельефа, составляя на пониженных участках 20–30 м, до 50–60 м на водоразделах. Средние показатели прочности выветрелых пород в сравнении с аналогичными показателями пород вне зоны выветривания снижаются в 2–2,5 раза при одновременном увеличении пористости, влажности и водопоглощения.

Физико-механические свойства налегающего массива пород вне зоны выветривания, изменяющиеся по падению и простиранию пласта по неизвестным закономерностям и зависящие от множества геологических факторов и параметров сформированного борта разреза, также сильно влияют на устойчивость выработок при выбуривании комплексом КГРП. В этой связи желательно иметь данные инструментальных наблюдений и натурных исследований физико-механических свойств подрабатываемого горного массива, которых на момент проектирования не существует. Во всех прогнозных расчетах принимаются усредненные показатели. Результаты получаются также усредненными. Поэтому в нормативных документах по промышленной безопасности предусматривается проведение инструментальных наблюдений по соответствующим

методикам [12, 13] уже в процессе ведения горных работ.

Инструкциями [12, 13] регламентируется закладка специальных наблюдательных станций из одной или нескольких профильных линий с последующим проведением периодических инструментальных маркшейдерских наблюдений. Инструментальные наблюдения сводятся к большому количеству традиционных измерений, проводимых маркшейдерскими службами угледобывающих предприятий. К классическим (традиционным) инструментальным измерениям следует отнести: геометрическое и тригонометрическое нивелирование разных классов, использование теодолитов, светодальномеров, измерительных рулеток, а позже – электронных тахеометров.

Математическая обработка данных инструментальных наблюдений построена на использовании классического представления о деформационной сети, то есть каркасная сеть закреплена между опорными пунктами, незатронутыми деформационным процессом, а пункты наблюдаемого объекта полностью лежат внутри этой сети (рис. 13).

Существующая в настоящее время нормативно-методическая база по деформационному мониторингу объектов в процессе эксплуатации в своем большинстве устарела, не учитывает достижений в области геодезического и контрольно-измерительного приборостроения и наличия современных информационных технологий.

На сегодняшний день задачи мониторинга природных и техногенных объектов с позиций оценки деформаций, т.е. в конечном итоге – с позиций безопасности, являются весьма сложными, так как требуют максимальной точности измерений, непрерывности и автоматизации процесса наблюдений, максимальной надежности датчиков и



Рис. 13. Классическая концепция деформационной сети с неподвижными опорными и подвижными контрольными точками

наличия чрезвычайно гибких инструментов обработки и анализа данных. При этом использование традиционных способов наблюдений не представляется возможным в силу сложности осуществления непрерывных наблюдений, невозможности работы в труднодоступных и опасных условиях, наличия фактора человеческой ошибки и т.д.

Сибирским институтом геотехнических исследований рассмотрена возможность и техническое исполнение автоматизированного мониторинга за деформациями на горных предприятиях, разрабатывающих угольные месторождения комбинированным способом [14]. В автоматизированном деформационном мониторинге должны быть

заинтересованы как минимум три стороны: проектирующие организации, строительные предприятия и эксплуатационная служба объекта (заказчик). Поэтому система мониторинга должна быть предусмотрена на стадии составления проекта на строительство объекта по разработке полезного ископаемого. При этом будут предусмотрены поставки и установка соответствующего оборудования и программного обеспечения, запланировано выделение необходимых финансовых средств, определена специальная служба или группа лиц, осуществляющих деформационный мониторинг.

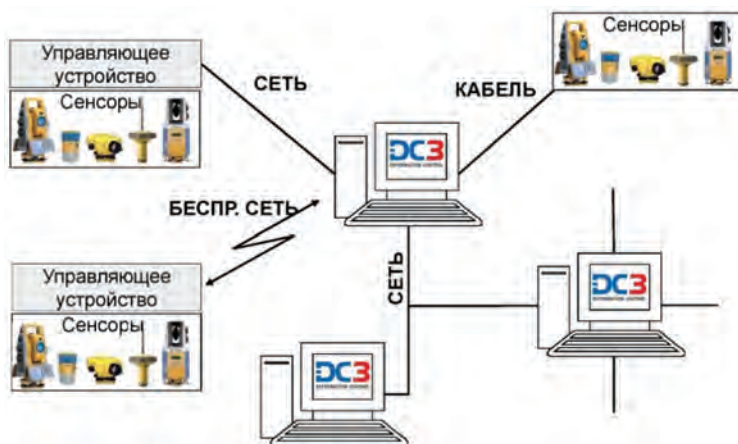


Рис. 14. Структура системы деформационного мониторинга DC3

На сегодняшний день ведущими производителями маркшейдерского и геодезического оборудования и специализированного программного обеспечения предлагаются законченные решения в виде собственных систем мониторинга деформаций, имеющих масштабируемую и настраиваемую архитектуру и предназначенных для решения самых разнообразных задач.

Для мониторинга деформаций природных и техногенных объектов в режиме реального времени компанией Торсон предлагается система мониторинга DC3 (рис. 14).

Система мониторинга DC3 позиционируется производителем как масштабируемая мультисенсорная система, в которой уникальное программное обеспечение с одноименным названием и комплекс измерительного оборудования работают совместно в единой системе: от передачи данных с их последующим анализом, графической визуализацией и выдачей предупреждения.

Другой системой аналогичного назначения является автоматизированная система GeoMoS производства компании Leica, предназначенная для высокоточного пространственного мониторинга деформаций природных и инженерных объектов, а также визуализации и анализа результатов наблюдений. Для измерений в системе могут быть использованы электронные тахеометры, GPS, цифровые нивелиры, лазерные дальнометры, инклинометры, датчики наклона, метеодатчики и другое оборудование.

GOCA – система непрерывного наблюдения за деформациями, основанная на спутниковых и наземных инструментальных наблюдениях. Данный программный комплекс используется для геодинимического мониторинга сооружений и природных процессов. К компонентам системы GOCA относятся:

- GNSS/LPS/LS – оборудование и аппаратные средства для коммуникации;
- программное обеспечение для управления аппаратными средствами;
- программное обеспечение GOCA для анализа деформаций.

Вышеуказанные системы, с помощью встроенных инструментариев анализа и интерпретации результатов наблюдений за деформациями, используются для мониторинга: зон влияния природных факторов (оползни, вулканы, сейсмоактивные зоны и т.д.); зон влияния антропогенных факторов (дамбы, плотины, открытые карьеры, различные здания и инженерные сооружения и т.д.). Основным эффектом автоматизированного деформационного мониторинга является повышение промышленной и экологической безопасности ведения горных работ на угольных предприятиях, предотвращение катастроф, аварий и несчастных случаев. Данные автоматизированного деформационного мониторинга за несколько лет создадут научную базу инструментальных наблюдений за развитием геодинамических процессов при разработке полезных ископаемых, что позволит обновить нормативно-методическую базу безопасного ведения горных работ.

На наш взгляд Ростехнадзор Кузбасса – как гарант промышленной и экологической безопасности разработки полезных ископаемых, может инициировать появление государственной программы по созданию и внедрению единой системы автоматизированного деформационного мониторинга на предприятиях недропользователей. Институт СИГИ готов принять участие в данной программе как на стадии обоснования выбора системы автоматизированного деформационного мониторинга для конкретных условий применения, так и на стадии сопровождения мониторинга на отдельных предприятиях Кузбасса.

1. РД 06-174-97 Инструкция по безопасному ведению горных работ при комбинированной (совмещенной) разработке рудных и нерудных месторождений полезных ископаемых. Утверждена постановлением Госгортехнадзора России 30.12.97 N 57.
2. Свирко С.В., Зотов Е.В., Тимаков Д.Е., Пономарев Е.Ю. Опыт гидрометрии затопленных карьерных выемок // Уголь Кузбасса. – 2013. – № 4(030), июль-август. – С. 94–95.
3. Быкадоров А.И., Емельянов А.Е., Свирко С.В., Фоменко В.Р., Шеглов Е.С. Геотехнические аспекты консервации шахты «Коксовая-2» / Перспективы инновационного развития угольных регионов России. Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции. – Прокопьевск: изд-во филиала КузГТУ в г. Прокопьевске, 2014. – С. 221–223.
4. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. – СПб.: ВНИМИ, 1998. – 288 с.
5. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах. – СПб.: ВНИМИ, 1998. – 207 с.
6. Алгоритм расчета ожидаемых сдвижений и деформаций подрабатываемого горного массива в условиях Кузбасса. – Прокопьевск: ООО СИГИ, 2014. – 51 с.
7. Зоны влияния подземных разработок на земной поверхности в горно-геологических условиях Кузбасса – Прокопьевск: ООО СИГИ, 2014. – 39 с.
8. Ягунов А.С. Динамика деформаций в подрабатываемом горном массиве. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2010. – 239 с.
9. Невзетаев А.Г., Репин Л.Н., Соколовский А.В., Юткин А.В. Технология глубокой разработки угольных пластов. Анализ опыта внедрения на разрезе «Распадский» // Уголь. – 2005. – № 2. – С. 9–10.
10. Мельников С.П. Анализ производственного опыта реализации комбинированной технологии отработки угольных пластов в условиях ЗАО «Разрез Распадский» / Нетрадиционные и интенсивные технологии разработки месторождений полезных ископаемых: труды XI Международной конференции / Под общей ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк: СибГИУ, 2007. – С. 4–6.
11. Рекомендации по обеспечению геомеханической безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых комплексом глубокой разработки пластов (КГРП). – Кемерово: УФ ВНИМИ, 2005. – 29 с.
12. Инструкция по наблюдениям за сдвижением горных пород, земной поверхности и подрабатываемыми сооружениями на угольных и сланцевых месторождениях. – М.: Недра, 1989. – 96 с.
13. Инструкция по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. – Л.: ВНИМИ, 1971. – 261 с.
14. Быкадоров А.И., Свирко С.В., Зотов Е.В. Автоматизированный мониторинг за деформациями на угольных разрезах Кузбасса / Перспективы инновационного развития угольных регионов России. Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции. – Прокопьевск: изд-во филиала КузГТУ в г. Прокопьевске, 2014. – С. 456–458. **ПИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Быкадоров Алексей Иванович – кандидат технических наук, генеральный директор, e-mail: aibyadorov@mail.ru,
 Ларичкин Петр Михайлович – кандидат технических наук, заведующий отделом анализа и методической подготовки, e-mail: larichkin.petr@yandex.ru
 Свирко Сергей Владимирович – заместитель заведующего отделом анализа и методической подготовки, e-mail: svirko@ngs.ru,
 ООО «Сибирский институт геотехнических исследований» (ООО «СИГИ»).

UDC 622. 27

GEOTECHNICAL ASPECTS OF DESIGN AND MINING COAL DEPOSITS WITH COMBINED (OPENCAST AND UNDERGROUND) METHOD

Bykadorov A.I.¹, Candidate of Technical Sciences, General Director, e-mail: aibyadorov@mail.ru,
 Larichkin P.M.¹, Candidate of Technical Sciences,
 Head of Department of Analysis and Methodological Training, e-mail: larichkin.petr@yandex.ru,
 Svirko S.V.¹, Deputy Head of Department of Analysis and Methodological Training, e-mail: svirko@ngs.ru,
¹ Siberian Institute for Geotechnologies.

Scientific and practical experience of Siberian Institute of Geotechnical Investigations in the field of geotechnical problem solving in mining coal deposits of Kuzbass with combined method, heighten the fullness of extracting coal resources in licensed borders have been considered. Combined mining is supported with the development of complex geomechanical processes which happen in a rock massif. It makes difficult to predict combined technological characteristics. The definition and classification of combined mining are suggested. It lets evaluate the changings of geomechanical and hydrological, gasodynamical condition of anthropogenic rock massif and earth's surface in different variations of combined mining of coal deposits in particular mining and geological conditions. The generalized methodical data of reservoir hydrometry are given and also the evaluation of its hydrolic connection with mining design. The algorithms of magnitude displacement forecast and rock massif and earth's surface deformation are developed. Mutual influence of opencast and underground mining with a glance of geomechanical processes are taken into consideration. Using of these algorithms in problem solving of sale mining provides reasonableness and operability of design decision making. The necessity of nontraditional technological application for additional work of coal reserves in licensed deposit borders are established. The question of automation monitoring at coal deposits is raised. They are developing combined method which let higher industrial and ecological safety at coal mining enterprise.

Key words: coal extracting, Kuzbass, combined mining of a deposit, geomechanical and hydrological characteristics, additional work in hard to get to reserves, drilling out of lagers, automated monitoring of displacement and deformations.

REFERENCES

1. *Instruktsiya po bezopasnomu vedeniyu gornyykh rabot pri kombinirovannoi (sovmeshchennoi) razrabotke rudnykh i nerudnykh mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh. Utverzhdena postanovleniem Gosgortekhnadzora Rossii 30.12.97 no 57* (Regulatory Document 06-174-97. Guidelines on safe combination mining at metal and nonmetal mineral deposits. Approved by the Federal Environmental, Industrial and Nuclear Supervision Service of Russia, resolution no. 57 dated December 30, 1997).
2. Svirko S.V., Zotov E.V., Timakov D.E., Ponomarev E.Ju. *Ugol' Kuzbassa*. 2013, no 4(030), July–August, pp. 94–95.
3. Bykadorov A.I., Emel'janov A.E., Svirko S.V., Fomenko V.R., Shheglov E.S. *Perspektivy innovatsionnogo razvitiya ugo'lynykh regionov Rossii. Sbornik trudov IV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* (Proceedings of IV International Conference on Prospects for Innovative Development of Coal Regions in Russia), Prokop'evsk, izd-vo filiala KuzGTU v g. Prokop'evske, 2014, pp. 221–223.
4. *Pravila okhrany sooruzhenii i prirodnnykh ob'ektov ot vrednogo vliyaniya podzemnykh gornnykh razbotok na ugo'lynykh mestorozhdeniyakh* (Guidance on conservation of structures and nature from adverse influence of underground coal mining), Saint-Petersburg, VNIMI, 1998, 288 p.
5. *Pravila obespecheniya ustoichivosti otkosov na ugo'lynykh razrezakh* (Practice of slope stabilization in open pit coal mines), Saint-Petersburg, VNIMI, 1998, 207 p.
6. *Algoritm rascheta ozhidaemykh sdvizhenii i deformatsii podrabatyvaemogo gornogo massiva v usloviyakh Kuzbassa* (Algorithm for expectable subsidence and deformation of undermined rock mass in Kuzbass), Prokop'evsk: OOO SIGI, 2014, 51 p.
7. *Zony vliyaniya podzemnykh razbotok na zemnoi poverkhnosti v gorno-geologicheskikh usloviyakh Kuzbassa* (Underground mining influence zones on the ground surface in mining-and-geological conditions of Kuzbass), Prokop'evsk: OOO SIGI, 2014, 39 p.
8. Yagunov A.S. *Dinamika deformatsii v podrabatyvaemom gornom massive* (Deformation dynamics in undermined rock mass), Kemerovo, Kuzbassvuzizdat, 2010, 239 p.
9. Netsvetaev A.G., Repin L.N., Sokolovskii A.V., Yutkin A.V. *Ugol'*. 2005, no 2, pp. 9–10.
10. Mel'nikov S.P. *Netraditsionnye i intensivnye tekhnologii razrabotki mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh: trudy Khl Mezhdunarodnoi konferentsii*. Pod red. V.N. Fryanova (Proceedings of XI International Conference on Unconventional and Intensive Mineral Mining Technologies, Fryanov V.N. (Ed.)), Novokuznetsk, SibGIU, 2007, pp. 4–6.
11. *Rekomendatsii po obespecheniyu geomekhanicheskoi bezopasnosti pri razrabotke mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh kompleksom glubokoi razrabotki plastov (KGRP)* (Guidelines on geomechanical safety of mineral extraction with Highwall Miners), Kemerovo, UF VNIMI, 2005, 29 p.
12. *Instruktsiya po nablyudeniya za sdvizheniem gornnykh porod, zemnoi poverkhnosti i podrabatyvaemykh sooruzheniyami na ugo'lynykh i slantsevykh mestorozhdeniyakh* (Guidance on monitoring movement of rocks, ground surface and undermined structures at coal and shale deposits), Moscow, 1989, 96 p.
13. *Instruktsiya po nablyudeniya za deformatsiyami bortov, otkosov ustupov i otvalov na kar'erakh i razrabotke meropriyatii po obespecheniyu ikh ustoichivosti* (Guidance on monitoring deformation of walls, benches and dumps in open pit mines, and their stabilization activity), Leningrad, VNIMI, 1971, 261 p.
14. Bykadorov A.I., Svirko S.V., Zotov E.V. *Perspektivy innovatsionnogo razvitiya ugo'lynykh regionov Rossii. Sbornik trudov IV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* (Proceedings of IV International Conference on Prospects for Innovative Development of Coal Regions in Russia), Prokop'evsk: izd-vo filiala KuzGTU v g. Prokop'evske, 2014, pp. 456–458.