

DOI: 10.25558/VOSTNII.2022.98.49.003

УДК 622.831

© Ю.М. Игнатов, С. И. Калинин, Г.Н. Роут, А.А. Гагарин, 2022

Ю.М. ИГНАТОВ

канд. техн. наук, доцент
КузГТУ, г. Кемерово
e-mail: mnoc@mail.ru



С.И. КАЛИНИН

д-р техн. наук
КузГТУ, г. Кемерово
e-mail: niutk@yandex.ru



Г.Н. РОУТ

канд. техн. наук, доцент
КузГТУ, г. Кемерово
e-mail: routgn@kuzstu.ru



А.А. ГАГАРИН

главный маркшейдер
АО «СУЭК-Кузбасс», г. Ленинск-Кузнецкий
e-mail: gagarinaa@suek.ru



АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ КРОВЛИ ПЛАСТА ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДИКИ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ПРОГНОЗА ВЫЕМОЧНОГО УЧАСТКА

В статье приводятся результаты исследований авторов по разработке методов цифрового моделирования для совершенствования методики горно-геологического прогноза выемочного участка. Приведен метод цифрового описания выбранных показателей с использованием современных геоинформационных систем (ГИС) и рассмотрен перечень показателей, входящих в базу данных. Определяются расчетные формулы для оценки напряженно-деформированного состояния горного массива, оценки устойчивости кровли пласта, приведены результаты реше-

ния задачи по выделению на площади пласта аномальных зон по геологическим условиям.

Предложено создание цифровой картографической основы горно-геологического прогноза выемочного участка выполнять путем преобразования цифрового маркшейдерского плана горных выработок (ЦМП). Показан выбранный аналитический аппарат по вычислению показателей с цифровым описанием геополей, выполнены расчеты для фактических случаев. Результаты визуализированы на ЦМП с использованием программы Майнфрэйм, которая представляет собой информационную технологию инженерного обеспечения горных работ, позволяющую исключить дублирование информации и создать условия для повышения промышленной безопасности и эффективности проектных решений.

Ключевые слова: ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ, УСТОЙЧИВОСТЬ КРОВЛИ, НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ.

Введение. Технология создания и ведения цифровой графической документации основана на использовании компьютерных моделей месторождения и векторизации сети горных выработок. Нормативные документы поддержки цифрового картографирования в России разрабатываются по линии Роскартографии [1]. Такие ГОСТы, являющиеся базовыми при создании цифровых карт и геоинформационных проектов, применимы и для горных предприятий. Для горнодобывающих предприятий при составлении и ведении маркшейдерских планов горных работ требуется постоянное прогнозирование геологических условий и актуализация данных о напряженно-деформированном состоянии горного массива, поэтому состав и содержание горной графической документации регламентируется Ростехнадзором [2, 3], и эти требования также необходимо учитывать при создании цифровой горной документации.

На горнодобывающих предприятиях ЦМП горных выработок создается, пополняется и используется в электронном виде и распечатывается для создания бумажных копий. Анализ ЦМП показывает, что более 70 % выемочных участков так или иначе пересекают зоны повышенного горного давления (зоны ПГД) в процессе отработки подготовленных запасов. Такие зоны формируются от краевых частей разрабатываемых угольных пластов, а также от целиков, оставляемых на смежных пластах, и их отражение в ЦМП является важным.

На основе ЦМП согласно существующей нормативно-технической документации [3] создается документ «Горно-геологический прогноз выемочного участка». Он составляет-

ся для обеспечения технологической службы шахты надёжными данными, необходимыми при проектировании горных работ, выборе горного оборудования, организации безопасной, устойчивой и высокопроизводительной работы очистных забоев, а также при планировании противоаварийных мероприятий.

В статье приводятся результаты по компьютерной обработке маркшейдерских цифровых планов горных выработок для горно-геологического прогноза выемочного участка с использованием ГИС (MicroMine, Surpac, MapInfo, Майнфрэйм) [4]. Рассмотрим решение данных задач с выполнением расчетов для фактических случаев, результаты визуализируем на ЦМП на примере отработки свиты пластов шахты им. Рубана.

ПОСТРОЕНИЕ ВЕКТОРНОГО СЛОЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ВЫЕМОЧНОГО УЧАСТКА

План горных выработок пласта «Надбайкаимский» Красноярского участка создан маркшейдерской службой шахты им. Рубана. По материалам геологического отчета о разведке месторождения, изучения материалов геолого-маркшейдерской службы шахты производится оценка горно-геологических и горнотехнических условий отработки запасов выемочного столба для пяти проектируемых лав с 12-12 до 12-04. Для создания горно-геологического прогноза выемочного участка лавы 12-12 создается картографическая основа, выделяется фрагмент (часть ЦМП) векторного слоя горных выработок путем конвертирования данных из AutoCAD в ГИС (рис. 1).

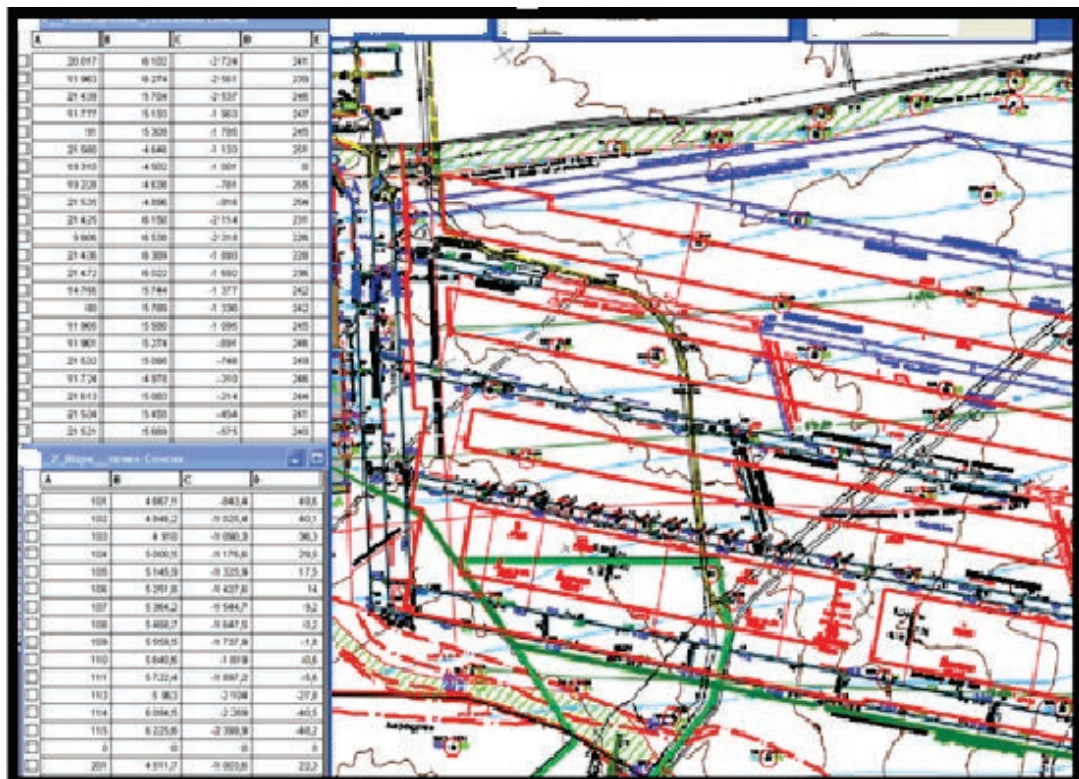


Рис. 1. Копия фрагмента цифрового плана горных выработок и часть базы данных по пласту «Надбайкаимский»

На фрагменте ЦМП отражена информация, регламентируемая в документе [3] (все горные выработки выемочного столба, прилегающие отработанные площади с указанием номера лавы), и другие данные, входящие в базу данных и рассмотренные далее.

СОЗДАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ С ЦИФРОВЫМ ОПИСАНИЕМ ГОРНОГО МАССИВА

Массивы горных пород отличаются особенностями залегания и степенью нарушения (трещиноватостью и блочностью) слагающих горных пород, минералогическим составом, текстурой и пористостью, наличием газообразных включений и количественно оцениваются показателями данных свойств.

По данным горных работ шахты им. Рубана, пласт «Надбайкаимский» имеет среднюю мощность от 2,37 м до 2,5 м. Непосредственная кровля по составу является непостоянной

и мощность ее изменяется от 2,7 м до 10,7 м. Она сложена алевритом от мелкозернистого до крупнозернистого. В толще алевритов залегают прослойки аргиллита мощностью от 6,0 до 8,4 м. Для пласта является характерным наличие повсеместно «ложной» кровли мощностью от 0,12 до 0,68 м. Породы «ложной» и непосредственной кровли имеют повышенную трещиноватость, обусловленную естественной трещиноватостью и влиянием подработки нижележащим пластом «Байкаимский». Вследствие этого, общая мощность неустойчивых пород в пределах активной кровли составляет 0,5–2,5 м.

Основная кровля пласта «Надбайкаимский» сложена мелкозернистым песчаником и крупнозернистым алевритом. Мощность основной кровли изменяется от 9,65 м до 36,7 м. Физико-механические характеристики пород кровли пласта «Надбайкаимский» приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики вмещающих пород пласта «Надбайкаимский»

Литотипы пород	Характеристика пород			
	Крепость, f	$\sigma_{ск}$ (МПа)	σ_p (МПа)	γ , (т/м ³)
Алевролит мелкозернистый	1–2	10–20	1,5–2	2,4
Алевролит среднезернистый	2–3,5	20–35	2–3,5	2,5
Алевролит крупнозернистый	2,2–6	22–60	2,5–6	2,5
Алевролит углистый	2–3,5	20–30	2–3	2,5
Песчаник мелкозернистый	4–7	40–70	4–7	2,6
Песчаник крупнозернистый	6–7	60–80	6–10	2,5
Уголь	0,9–1,2	9–12	0,8–1	1,29
Непосредственная кровля	2–3,5	20–35	2–3,5	2,5
Основная кровля	6–7	60–70	6–8	2,6
Аргиллит в виде прослоев	1,5–2,5	15–25	1,4–2	2,55

$\sigma_{ск}$ — сопротивление сжатию; σ_p — сопротивление растяжению; γ — объёмный вес.

Информация в базы данных (БД) помещается в виде связанных таблиц, которые экспортированы в известные форматы данных Microsoft Excel, dBASE, Paradox и другие, в том числе и форматы ГИС. В левой части рис. 1 приведены фрагменты БД (сведения из разведочных скважин и данных маркшейдерских съемок).

База данных с цифровым описанием геополей выемочного участка по пласту «Надбайкаимский» создана с применением программы Майнфрэйм (российская программа для автоматизированного планирования, проектирования и сопровождения горных работ). Базовым типом объектов для изображения геополей является ячейка (регулярная ячейка) — 2-мерный объект, элемент разбиения поверхности линиями регулярной сетки из блочной модели пласта. Схемы генерации координатно-привязанных данных по дискретным точкам скважин в непрерывные поля геологических характеристик реализованы в Майнфрэйм при создании блочной модели.

При цифровом описании геополей горного массива значения показателя из точки замера с помощью интерполирования передаются в узлы квадратной сетки и хранятся в виде матриц, образуя модели GRID. Для пространственной интерполяции данных использованы программные средства Майнфрэйм, реализующие алгоритмы, основанные на геостатистических методах.

Для объединения нескольких моделей GRID по разным показателям им присваивается общая точка привязки и одинаковый размер ячеек. При слиянии моделей первая модель служит основой для реструктурирования второй и последующих моделей, результирующая модель содержит отдельные модели в виде блоков.

Производится расчет характеристик для формирования таблицы «объект – свойства» по выбранным факторам: угол падения и мощность пласта, состав и свойства непосредственной кровли, гипсометрия пласта, места вывалов пород непосредственной кровли, абсолютные отметки почвы горных выработок, точки пересечения пласта разведочными и техническими скважинами; границы опасных зон и другие, см. [3]. Значения показателей отражают геометрию пласта, строение толщи горных пород, минеральный состав, и часть из них изображена на ЦМП, а часть хранится в табличном виде.

Таким образом, БД с цифровым описанием геополей содержит столбцы — каталог исходных показателей и строки — численное значение выбранных показателей для каждой отдельной ячейки. В ГИС встроена программная связь между ячейками геополей и их изображениями на ЦМП. На рис. 2 созданный слой сетки ячеек совмещен с цифровым планом по пласту «Надбайкаимский».

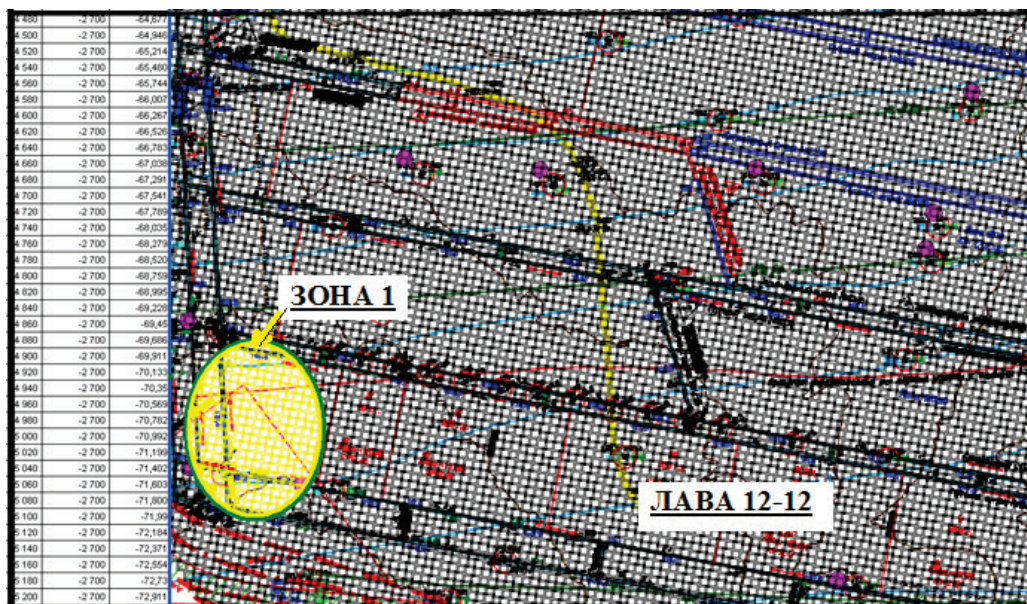


Рис. 2. Результаты визуализации на ЦМП пласта «Надбайкаимский» сетки ячеек и опасной зоны

На рис. 2 в левой части показан фрагмент матрицы высотных отметок кровли пласта. Первый столбец — это абсциссы для каждой ячейки, второй столбец — это ординаты, значения которых меняются через 20 м, и третий столбец — высотные отметки, вычисленные аналитически методом крекинга для каждой координированной ячейки.

Составленный перечень показателей горно-геологических условий пополняется в зависимости от решаемых задач. При описании горно-геологических условий используются и комплексные показатели, утвержденные отраслевой инструкцией [3] (показатели устойчивости, управляемости, обрушаемости кровель).

ГЕОАНАЛИЗ СВОЙСТВ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

Для геоанализа свойств пород кровли пласта «Надбайкаимский» используем термины инструкции по геологическим работам [3]. «Интегральное свойство кровли — это управляемость кровли — способность обеспечения бесперебойной работы очистного забоя, которая зависит от устойчивости и нагрузочных свойств». «Нагрузочные свойства пород кровли характеризуются величиной внешней активной нагрузки, которая должна быть уравновешена крепями. Нагрузочные свойства обуславливаются обрушаемо-

стью совокупности слоев пород, слагающих кровлю до высоты (5–10), кратной вынимаемой мощности».

Нагрузочные свойства пород кровли определяются в пределах мощности активной кровли. Активная кровля пласта определяется как шесть вынимаемых мощностей пласта. При вынимаемой мощности пласта «Надбайкаимский», равной 2,4 м, активная кровля пласта составляет 14,4 м. Следует ожидать, что высота обрушения непосредственно в очистном забое будет составлять не менее 14,4 м.

Активная кровля пласта слагается из пород ложной кровли, непосредственной кровли и основной кровли. При этом породы ложной и непосредственной кровли определяют устойчивость активной кровли, породы основной кровли определяют нагрузочные свойства активной кровли (тяжесть обрушения кровли).

При ведении очистных работ в панели 2 по пласту «Надбайкаимский» было установлено, что ложная кровля представлена углистым аргиллитом, непосредственная кровля — мелким и крупнозернистым алевролитом. Непосредственную кровлю относим к классу неустойчивых — тип 3.

Нагрузочные свойства пород (тяжесть породы) определяют требуемый тип крепи ме-

ханизированного комплекса, силовые и геометрические параметры механизированной крепи. Оценка нагрузочных свойств основной кровли производится с использованием нормативно-методических документов [3–5, 6].

Основным критерием оценки кровли по нагрузочным свойствам является кратность:

$$K_n = \frac{h_{л.о.}}{m_b},$$

где $h_{л.о.}$ — мощность легкообрушаемых слоёв активной кровли, м; m_b — вынимаемая мощности пласта, м.

В данном случае мощность легкообрушаемых слоёв активной кровли равна 6 м, тогда кратность составит 2,44 м. При кратности менее (3–4) кровля по нагрузочным свойствам проявляется, как «тяжёлая», склонная к зависаниям, крупноблочным обрушениям. Шифр кровли по управляемости принимается согласно единой классификации ВНИМИ [5] — (3.3.3), кровля трудноуправляемая, неустойчивая, тяжёлая.

Это осредненная характеристика для всего выемочного участка, но инструкция по геологическим работам требует, чтобы границы типов кровли уточнялись по всему выемочному столбу участка. Обрушаемость активной кровли количественно оценивается шагами обрушения при первичной и вторичной осадке.

Поэтому целесообразно окончательно управляемость активной кровли пласта устанавливать по обрушаемости пород непосредственной и основной кровли с привлечением методов компьютерного прогнозирования.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СВОЙСТВ И СОСТОЯНИЯ ГОРНОГО МАССИВА В ВЫЕМОЧНОМ СТОЛБЕ

Для прогнозирования свойств и состояния горного массива в выемочном столбе производится оценка обрушаемости активной кровли и расчет напряженно-деформированного состояния массива горных пород [6, 7].

Приводим расчет производных значений устойчивости кровли пласта «Надбайкаимский» с помощью вычисления шагов обру-

шения при первичной и вторичной осадке. Расчёт шагов обрушения кровли для рассматриваемого слоя мощностью ($h_{сл.}$), производится по рекомендациям проф. В.Д. Слесарева [8]. Значения ($\sigma_p, \gamma_{сл.}$) — принимаем согласно табл. 1. Пролёт кровли при первичных осадках по формуле (2-ой предельный пролет):

$$L_{пер.}^0 = 2,44 \cdot \sqrt{\frac{\sigma_p \cdot h_{сл.}}{\gamma_{сл.} \cdot K_n}}, \quad (1)$$

где K_n — коэффициент, учитывающий «пригруз» давления от вышележащих пород на рассматриваемый слой, принимается 2–3.

Пролёт обрушения кровли при вторичных осадках от вышележащих пород определяется с новыми коэффициентами по формуле:

$$L_2 = \sqrt{\frac{\sigma_p \cdot h_{сл.}}{6 \cdot \gamma_{сл.} \cdot K_n}}. \quad (2)$$

Непосредственная кровля сложена алевритом от мелкозернистого до крупнозернистого, трещиноватого мощностью от 2,7 м до 10,7 м, сопротивление сжатию 20–35 МПа. Мощность «ложной» кровли с нижними слабоустойчивыми слоями непосредственной кровли изменяется от 0,5 м до 2,5 м.

Мощность основной кровли изменяется от 9,65 м до 36,7 м, сопротивление сжатию пород изменяется от 35 МПа до 60 МПа. В ожидаемой схеме мощность беспорядочного обрушения пород кровли будет составлять 4,8 м.

$$h_{60} = \frac{m_b}{K_p - 1},$$

где K_p — коэффициент, принимается равным 1,5.

«Ложная» кровля и часть нижних слоёв непосредственной кровли общей мощностью 2,5 м попадают в зону беспорядочного обрушения. Следовательно, непосредственная кровля будет обрушаться с разделением на два слоя: первый слой мощностью 4,8 м, второй слой мощностью 5,9 м. Есть вероятность, что при беспорядочном обрушении непосредственная кровля может обрушаться на всю мощность вместе с «ложной» кровлей мощностью 10,7 м.

Основная кровля пласта сложена мелкозернистым песчаником, крупнозернистым алевролитом и их переслаиванием. В зависимости от степени подбучивания пород основной кровли обрушение их может происходить с расслоением на разные слои. Предположительно мощность слоёв может составлять 9,65 м и 15 м.

Исходя из предполагаемой схемы обрушения пород активной кровли, производится расчёт шагов обрушения кровли при первичных и вторичных осадках. Объёмный вес принимается 2,5 (т/м³). Результаты расчётов шагов обрушения кровли приведены в табл. 2.

Таблица 2

Шаги обрушения непосредственной и основной кровли

Мощность слоя, (м)	Шаги обрушения непосредственной кровли, (м)		Шаги обрушения основной кровли, (м)	
	Первичная осадка	Вторичная осадка	Первичная осадка	Вторичная осадка
4,8	36,4	6,2		
5,9	40,2	6,9		
10,7	54	9,2		
9,65			73	12,4
15			91	15,5

При механизированной крепи поддерживающе-оградительного типа непосредственная кровля при вторичных осадках будет обрушаться без зависаний, а при обрушении мощностью 10,7 м будут незначительные зависания 4–5 м.

Основная кровля по нагрузочным свойствам оценивается как тяжёлая, по типу тяжести относится к группе 3А, по подтипу — к группе 3А₄. Ожидаемые шаги обрушения рассчитываются для слоёв пород мощностью 9,65 м и 15 м. Соппротивление пород сжатию и растяжению в расчётах принято из таблицы 1. В таблице 2 приведены расчетные шаги осадки для двух возможных слоев основной кровли. Обрушение пород основной кровли будет происходить с зависанием за крепью, причем зависания при первичных осадках могут достигать до 60–65 м и до 84–86 м.

Для оценки прогнозируемого напряженно-деформированного состояния массива горных пород производится выбор аналитического аппарата по расчету деформационных процессов при очистных работах. Пласт «Надбайкаимский» входит в состав свиты пластов, надработан пластом «Полысаевский-II», а затем подработан пластом «Бай-

каимский». Сравнение безопасных глубин подработки и надработки с мощностями междупластья показала, что опережающая подработка и надработка пласта «Надбайкаимский» является возможной.

Оценка деформации пород кровли пласта «Надбайкаимский» в зоне влияния подработки производится по рекомендациям [9]. Для описания процесса и определения параметров деформации рассчитаны зависимости вертикальных и горизонтальных смещений пород при их удалении от поверхности подрабатываемого пласта.

Проведёнными расчетами подтверждено, что деформации пород при их подработке уменьшаются с удалением от поверхности пласта, подчиняясь экспоненциальному закону. С удалением от поверхности подрабатываемого пласта, горизонтальные деформации затухают быстрее вертикальных. Деформации более прочных пород происходят интенсивнее. Для описания процесса деформации пород при их подработке предложены экспериментальные зависимости для вертикальных и горизонтальных деформаций. Оседание подрабатываемого угленородного массива определяется согласно [9]:

$$\eta_{(c,y)} = m_b \cdot e^{-ky}, \quad (3)$$

где m_b — вынимаемая мощность подрабатывающего пласта, м; K — коэффициент, зависящий от физико-механических свойств пород подрабатываемого массива, принимается 0,022; y — расстояние рассматриваемого слоя пород от поверхности подрабатывающего пласта, м.

Вертикальные деформации пород (ε_b) при их подработке определяются по формуле:

$$\varepsilon_b = K_1 \cdot m_b \cdot e^{-ky}. \quad (4)$$

Горизонтальные деформации (ε_r) подрабатываемых пород на удалении от подрабатывающего пласта — (y) определяются по формуле:

$$\varepsilon_r = \frac{\eta_{(y)}^2}{y^2 \cdot (ctg\Psi_3 - ctg\delta)^2}. \quad (5)$$

Горизонтальные и вертикальные деформации пород по характеру могут быть как сжимающими, так и растягивающими. Рассчитанные по формулам (3), (4), (5) деформации пород в зоне подработки сравниваются с допустимыми деформациями пород. Допустимые деформации зависят от физико-механических характеристик вмещающих пород и определяются по следующим формулам.

$$[\varepsilon_{сж}] = \frac{[\sigma_{сж}] \cdot \xi}{E_{д(сж)}}, \quad (6)$$

где $[\varepsilon_{сж}]$ — деформации пород при сжатии; $[\sigma_{сж}]$ — допустимое сопротивление пород при сжатии, МПа; $E_{д(сж)}$ — модуль деформации пород при сжатии, принимается, т/м²; ξ — коэффициент, учитывающий значения модуля упругости пород, принимается равным 1,5.

Деформации пород при растяжении определяются по формуле:

$$[\varepsilon_p] = \frac{[\sigma_p] \cdot \xi}{E_{д(p)}}. \quad (7)$$

где $[\sigma_p]$ — допустимое сопротивление пород на растяжение, МПа; $E_{д(p)}$ — модуль деформации пород при растяжении, т/м².

В результаты расчетов допустимые деформации пород для кровли пласта составили при сжатии 12 мм/м, а деформации пород при растяжении — 1,8 мм/м.

Из расчетов видно, что на расстоянии 40 м от подрабатывающего пласта горизонтальные деформации затухают полностью. Вертикальные деформации с удалением от поверхности подрабатывающего пласта плавно уменьшаются, и в рассматриваемом случае на удалении от пласта 60–65 м их значение менее допуска, влияние ослабленное, но они распространяются на всю высоту междупластья.

Исследованиями установлено, что при подработке породных массивов пластами мощностью 2–5 м деформации пород распространяются на высоту до 70–80 м. Установлено, что величина вертикальных деформаций зависит от мощности подрабатывающего пласта, скорости подработки, физико-механических характеристик подрабатываемых пород.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНОГО МАССИВА

Для оценки напряженно-деформированного состояния горного массива в выемочном столбе производится расчет обрушаемости активной кровли с учетом подработки. С учетом расчетных величин вертикальных деформаций кровли пласта от надработки и подработки, шаги обрушения (см. табл. 2) будут меньше расчётных в 1,5 раза. При первичных осадках для обрушаемого слоя мощностью 9,65 м шаг обрушения составит 50 м, для обрушаемого слоя мощностью 15 м шаг обрушения — 60 м. При вторичных осадках для обрушаемого слоя мощностью 9,65 м шаг обрушения — 8,5 м, а для обрушаемого слоя мощностью 15 м шаг обрушения — 10,3 м.

С использованием прикладного модуля устанавливаются координаты матрицы и импортируются в приложение, затем создается слой покрытия, содержащий указанные ячейки, в которые размещаются интерполированные значения показателя. Далее координаты этих ячеек экспортируются из приложения вместе с информацией о значениях выбран-

ного показателя в каждой ячейке на цифровой план горных выработок, открывается рядом в табличном виде (рис. 2). На основе БД с присоединенными графическими объектами в виде плана горных выработок и сетки ячеек геологических показателей созданы прогнозные планы геологических условий, где площадной объект (зона 1) повышенного напряженно-деформированного состояния горного массива выделен графическими средствами (рис. 2).

Полученные прогнозные показатели горно-геологических условий и напряженно-деформированного состояния горного массива отражают хорошие условия для эффективной работы по добыче угля. Основные опасности массива горных пород проявляются, когда деформированные участки пласта из-за геодинамических процессов накладываются на особенности распределения напряженно-деформированного состояния массива при геотехнологических процессах [11, 12].

Участок проявления опасной геомеханической ситуации выделен на ЦМП в виде зоны № 1 (рис. 2). В данной зоне совпали максимумы зон опорного давления от очистного забоя с зонами остаточного давления от краевых частей пласта и целиков угля, оставляемых на надрабатывающем и подрабатывающем пластах. Компьютерное моделирование деформированности массива под воздействием природной геодинамической составляющей показало также на эту зону. Необходимо исследовать этот участок с использованием геофизических методов изучения зон ПГД [13, 14].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гагарин А.А., Игнатов Ю.М., Роут Г.Н., Латагуз М.М. Анализ маркшейдерских цифровых планов для последующего включения их в геоинформационную систему // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2017. № 1. С. 45–52.
2. ГОСТ 2.852-75. Горная графическая документация. Изображение элементов горных объектов (введ. 01.01.1980; переизд. 01.06.2002). М.: ВНИИНМАШ, 1980. 15 с.
3. Инструкция по геологическим работам на угольных месторождениях Российской Федерации. СПб, 1993. 147 с.
4. Лукичѳв С.В., Наговицын О.В., Морозова А.В. Моделирование рудных и пластовых месторождений в системе Mineframe // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2004. № 5. С. 296–301.
5. Инструкция по выбору способа и параметров разупрочнения кровли на выемочных участках. Л.: ВНИМИ, 1991. 102 с.
6. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных

ВЫВОДЫ

1. Для описания процесса деформации пород при их подработке предложены экспериментальные зависимости и выполнены расчеты: оседание пород — формула (3), вертикальные и горизонтальные деформации — формулы (4), (5) сравниваются с допустимыми деформациями — формулы (6), (7).

2. Величины расчетных деформаций кровли пласта «Надбайкаимский» показывают, что предварительная надработка и подработка пласта не вызовет опасных ситуаций по проявлению горного давления при отработке 5 лав с 12-12 до 12-04, исключая участок в окрестности монтажной камеры лавы 12-12.

3. Из расчетов видно, что монтажные камеры по пласту «Надбайкаимский» попадают в зону влияния краевой части охранного целика у уклона пласта «Байкаимский», вследствие чего будет проявляться повышенное горное давление в монтажных камерах. Данный геомеханический фактор необходимо учитывать при определении параметров крепления камер.

4. Выполненные работы позволят усовершенствовать методику мониторинга геомеханической ситуации, и ее можно будет использовать для принятия решений по выбору машин и механизмов, соответствующих условиям ведения горных работ, и решений по проектированию и раскройке шахтного поля и т. д.

горных разработок на угольных месторождениях. СПб: ВНИМИ, 1998. 291 с.

7. Рекомендации по повышению эффективности применения мехкомплексов на пластах со слабыми почвами, склонных к отжиму угля и вывалообразованию кровли. Прокопьевск, 1990. 33 с.

8. Механика горных пород и устойчивость выработок шахт Кузбасса. Кемерово, 1973. 348 с.

9. Калинин С.И., Лютенко А.Ф., Егоров П.В., Дьяконов С.Г. Управление горным давлением при разработке пологих пластов с труднообрушаемой кровлей на шахтах Кузбасса. Кемерово, 1991. 248 с.

10. Игнатов Ю.М., Гагарин А.А., Роут Г.Н., Игнатов М.Ю. Опыт использования цифровой графической документации для решения инженерных задач с использованием геоинформационных технологий // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2020. № 4. С. 56–67.

11. Зыков В.С. Внезапные выбросы угля и газа и другие газодинамические явления в шахтах. Кемерово: ООО «Фирма ПОЛИГРАФ», 2010. 334 с.

12. Зыков В.С. Техногенная геодинамика. Учебное пособие. Кемерово: КузГТУ, 2006. 266 с.

13. Ignatov Yu., Tailakov O., Saltymakov E., Gorodilov D. Development of an electrical exploration data post processor // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 315. No. 03027.

14. Batugin A., Kolikov K., Ivannikov A., Ignatov Yu., Krasnoshtanov D. Transformation of the geodynamic hazard manifestation forms in mining areas // 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConferenceSGEM 2019. 2019. Vol. 19. P. 717–724.

DOI: [10.25558/VOSTNII.2022.98.49.003](https://doi.org/10.25558/VOSTNII.2022.98.49.003)

UDC 622.1:744:004.92

© Yu.M. Ignatov, S.I. Kalinin, G.N. Rout, A.A. Gagarin, 2022

Yu.M. IGNATOV

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor
T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo
e-mail: mnoc@mail.ru

S.I. KALININ

Doctor of Engineering Sciences,
T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo
e-mail: niutk@yandex.ru

G.N. ROUT

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor
T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo
e-mail: rgn23.12.47@gmail.com

A.A. GAGARIN

Chief Surveyor
SUEK, Leninsk-Kuznetsk
e-mail: gagarinaa@suek.ru

ANALYSIS OF RESULTS OF EVALUATION OF RESERVOIR TOP STABILITY FOR IMPROVEMENT OF MINING AND GEOLOGICAL FORECAST OF EXCAVATION AREA

The article presents the results of the authors' research on the development of digital modeling

methods to improve the method of mining and geological forecasting of the excavation site. The method of digital description of selected indicators using modern geoinformation systems (GIS) is given and the list of indicators included in the database is considered. Calculation formulas for assessing the stress-strain state of the massif, assessing the stability of the top of the formation are determined, the results of solving the problem of identifying anomalous zones in the formation area according to geological conditions are given.

It is proposed to create a digital cartographic basis for a mining and geological forecast of a mining site by converting a digital surveying plan of mine workings. The selected analytical apparatus for calculating indicators with a digital description of geofields (GDG) is shown, calculations for actual cases are performed. The results were visualized on the GDG using the Mainfram program, which is an information technology for mining engineering that eliminates duplication of information and creates conditions for improving industrial safety and efficiency of design solutions.

Keywords: FORECASTING OF MINING AND GEOLOGICAL CONDITIONS, STABILITY OF ROOF, STRESSED-DEFORMED STATE.

REFERENCES

1. Gagarin A.A., Ignatov Yu.M., Routh G.N., Lataguz M.M. Analysis of digital surveying plans for their subsequent inclusion in the geoinformation system // Bulletin of the Kuzbass State Technical University [Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta]. 2017. No. 1. P. 45–52. [In Russ.].
2. GOST 2.852-75. Mining graphic documentation. Image of elements of mountain objects (introduced 01.01.1980; reprinted 01.06.2002). M., 1980. 15 p. [In Russ.].
3. Instructions for geological work on coal deposits of the Russian Federation. St. Petersburg, 1993. 147 p. [In Russ.].
4. Lukichev S.V., Nagovitsyn O.V., Morozova A.V. Modeling of ore and reservoir deposits in the Mainframe system // Mining information and analytical bulletin. 2004. No. 5. P. 296–301. [In Russ.].
5. Instructions for choosing the method and parameters of softening the roof on the excavation sites. L., 1991. 102 p. [In Russ.].
6. Rules for the protection of structures and natural objects from the harmful effects of underground mining in coal deposits. St. Petersburg, 1998. 291 p. [In Russ.].
7. Recommendations for improving the efficiency of the use of mechanical complexes on layers with weak soils prone to coal extraction and roof fallout. Prokopyevsk, 1990. 33 p. [In Russ.].
8. Mechanics of rocks and stability of mine workings in Kuzbass. Kemerovo, 1973. 348 p. [In Russ.].
9. Kalinin S.I., Lyutenko A.F., Egorov P.V., Dyakonov S.G. Management of rock pressure in the development of shallow layers with a hard-to-break roof in the mines of Kuzbass. Kemerovo, 1991. 248 p. [In Russ.].
10. Ignatov Yu.M., Gagarin A.A., Routh G.N., Ignatov M.Yu. Experience of using digital graphic documentation for solving engineering problems using geoinformation technologies // Bulletin of the Scientific Center of VostNII on Industrial and Environmental Safety [Vestnik Nauchnogo centra VostNII po promyshlennoj i ekologicheskoj bezopasnosti]. 2020. No. 4. P. 56–67. [In Russ.].
11. Zykov V.S. Sudden emissions of coal and gas and other gas-dynamic phenomena in mines. Kemerovo, 2010. 334 s. [In Russ.].
12. Zykov V.S. Technogenic geodynamics. Study guide. Kemerovo: KuzSTU, 2006. 266 p.
13. Ignatov Yu., Tailakov O., Saltymakov E., Gorodilov D. Development of an electrical exploration data post processor // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 315. No. 03027.
14. Batugin A., Kolikov K., Ivannikov A., Ignatov Yu., Krasnoshtanov D. Transformation of the geodynamic hazard manifestation forms in mining areas // 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConferenceSGEM 2019. 2019. Vol. 19. P. 717–724.