



В. В. НАЗИМКО,
доктор техн. наук
(ДонНТУ)



Н. А. КОЛЕСНИК,
канд. техн. наук
(ДонНТУ)

Стохастические основы маркшейдерского обеспечения безопасного ведения горных работ*

держание необходимого уровня безопасности, и регулируется сводом инструкций и отраслевых нормативных документов [1–6].

При разработке свит угольных пластов в зонах повышенного горного давления (ПГД) от целиков и краевых частей соседних пластов отмечена повышенная опасность возникновения горных ударов и внезапных выбросов угля, породы и газа, а также существенное снижение устойчивости пород кровли в лавах, т. е. повышение вероятности обрушения пород в рабочее пространство очистных забоев.

При проектировании защищенные зоны, а также зоны повышенного горного давления графически строят на разрезах вкрест и по простирацию пластов, опасных по внезапным выбросам или горным ударам, практически по одним и тем же расчетно-графическим схемам [1]. Границы защищенных зон на выбросо- и удароопасных пластах отличаются только на разрезах по простирацию и падению (восстанию) при движущемся очистном забое. Границы зон ПГД строят графическим способом на вертикальных разрезах, перпендикулярных к границам целиков или краевым частям пласта, учитывая взаимное расположение линии очистного забоя данного пласта с целиками или краевыми частями соседних влияющих пластов.

Маркшейдер должен отвечать за адекватное реагирование горняков, ведущих горные работы при подходе к зоне, опасной по проявлениям горного давления, например внезапным выбросам угля и газа [1]. Так, при приближении к границе опасной зоны на 20 м маркшейдер обязан уведомить руководство участка, ведущего горные работы, о необходимости текущего контроля опасных проявлений горного давления, а после приближения на 10 м потребовать выполнение специальных мер по их предотвращению. Поэтапный характер мероприятий косвенно свидетельствует о признании случайной природы опасных проявлений горного давления. При этом положение границы существующими нормативными документами рассматривается как детерминированное, однако оно не может быть определено точно из-за фундаментальной стохастической природы физико-механических свойств горных пород и напряженно-деформированного состояния массива [7].

Во время ведения горных работ вблизи старых погашенных затопленных выработок требуется строго выполнять требования Правил безопасности и инструкций по определению границ, опасных по прорыву воды зон, барьерных и предохранительных целиков для предотвращения внезапных прорывов воды в действующие горные выработки [3]. При этом границы опасных зон определяют в зависимости от степени достоверности расположения старых выработок [3].

Стабильное развитие горнодобывающей промышленности обеспечивает сырьевую и энергетическую независимость государства. Вместе с тем увеличение глубины разработки и усложнение горнотехнических и геологических условий добычи полезного ископаемого приводят к усилению негативных предпосылок для безопасного ведения горных работ. В связи с этим возрастает количество опасных зон, в пределах которых при ведении горных работ требуются специальные меры, гарантирующие безопасность. Маркшейдерское обеспечение безопасного ведения горных работ (МОБВГР) – один из ключевых элементов системы, которая предусматривает прогноз, мониторинг опасных зон, контроль эффективности мероприятий, направленных на под-

* В порядке обсуждения.

Если контур затопленных выработок недостоверный, вместо барьерного целика строят границу безопасного ведения горных работ, которую устанавливают от контура затопленных выработок на расстоянии, равном сумме двух слагаемых, – расчетной ширины барьерного целика и возможной погрешности изображенного на плане контура водного объекта. Возможную погрешность определяют в каждом конкретном случае с помощью анализа данных, характеризующих положение контура затопленных выработок. Несмотря на признание вероятностной природы процесса фильтрации подземных напорных вод через барьерный целик, нормативные документы оперируют только необходимой шириной барьерного целика. Однако при этом степень ее достоверности остается неопределенной. Подразумевают, что она обеспечивает гарантию защиты от внезапного прорыва подземных вод, хотя это принципиально неверно с точки зрения теории вероятности.

При всех практически разумных размерах барьерного целика вероятность прорыва будет ненулевой, а риск прорыва останется. К тому же анализ выводов и заключений, на основании которых построены методики вычисления опасных границ, свидетельствует о том, что погрешность определения контура водного объекта устанавливают в интервале не более одного среднеквадратического отклонения, т. е. надежность такого прогноза не превышает 68 %. Следовательно, необходимо указать доверительный интервал опасных зон и управлять им так, чтобы критическая ширина целика удовлетворяла заданному уровню риска.

Определить опасные зоны, исходя из потери устойчивости подготовительных выработок, еще сложнее [8]. Кроме стохастичности физико-механических свойств пород и стохастичности параметров горного давления добавляется стохастичность поведения крепи, разброс сопротивления которой достигает 50 % и более. Публикации по результатам экспериментальных наблюдений отпора рамных крепей свидетельствуют о значительном случайном разбросе значений отпора как по периметру любой рамы, так и от рамы к раме [9].

Совместное влияние естественного случайного разброса прочностных свойств вмещающих пород, уровня горного давления и отпора рамных крепей можно адекватно учесть только на основе стохастической модели [10].

Вариации отпора механизированных крепей еще больше, чем рамных. Так, разброс значений от-

пора от секции к секции достигает 70 %, а на отдельной секции крепи отпор может меняться в 2 раза и более по мере подвигания очистного забоя [11]. Указанная вариативность отпора механизированных крепей порождает необходимость разработки новых стохастических подходов к методике определения устойчивости непосредственной кровли действующего очистного забоя [12].

Одна из главных проблем на сегодня – механизм взаимодействия подрабатываемой толщи коренных пород и наносов со зданиями, сооружениями и природными объектами, расположенными на земной поверхности. Сложность при решении данного вопроса вызвана необратимостью деформаций, имеющих стохастическую природу, и их естественным разбросом. Отраслевые инструкции для расчета оседаний и деформаций земной поверхности используют эмпирические подходы [6]. При этом вначале определяют наиболее вероятные размеры оседаний и деформаций, а затем их умножают на так называемый коэффициент перегрузки, который учитывает неопределенность процесса сдвижений и обеспечивает определенный запас прочности подрабатываемых сооружений. Однако введение коэффициента перегрузки не повышает достоверность прогноза, поскольку не указывает значение доверительного интервала разброса и закона его распределения.

В работе [13] отмечено, что известные методы расчета и построения зон повышенного горного давления не дают численного прогноза напряжений при многократной подработке и надработке угольных пластов. Ранее установлено [13], что между зонами повышенного горного давления и региональной разгрузки образуются переходные зоны, в которых рост одного компонента напряжений сопровождается уменьшением другого компонента напряжений. Однако автор [13] не обосновал параметры, которые влияют на размер переходной зоны, и не исследовал закономерности ее формирования.

В нормативном документе [14] указывается на существование естественного разброса фактических сдвижений и деформаций земной поверхности на участках мульды сдвижения. Вначале по описанной методике в районе объекта выбирают три точки зоны и определяют расчетные сдвижения и деформации в этих точках. Положение точек 1–3 находят исходя из ошибок положения зоны сдвижения на местности ΔL , но не менее 10 м [14, с. 119]. Для объекта принимают наибольшие расчетные



Рис. 1. Структурная схема системы управления МОБВГР.

значения сдвижений и деформаций, получаемые в одной из выбранных трех точек.

Таким образом, методика, описанная в Правилах [14], учитывает неопределенность не только значения, но и знака деформаций в любой точке мульды сдвижений. Однако, несмотря на правильный подход, в ней существенно сужаются пределы возможных вариаций оседаний и деформаций земной поверхности и не приводятся значения вероятности этих вариаций. Случайная вариация в методике учитывается через использование детерминированной кривой оседаний или деформаций, а не действительным законом вариации. Так, на участке мульды, где расчетный показатель оседаний или деформаций не меняется, вариация отсутствует, в то время, когда объективно она есть всегда и в любой части мульды. В итоге приводится одно конкретное значение оседания или деформаций (т. е.

подразумевается, что она «наиболее вероятная», хотя это не доказано).

Анализируя действующие нормативные документы [1–6, 14], можно сделать вывод, что параметры опасных зон (по разному спектру опасностей – внезапные выбросы, прорывы воды, самовозгорание, горные удары и т. д.) определяются как детерминированные без учета их стохастической природы. В связи с этим необходимо развитие нового научного направления, основанного на стохастическом подходе к определению границ опасных зон [7, 15], которое пока не приобрело системного характера.

Рассмотрим *системный подход к маркшейдерскому обоснованию границ опасных зон*. Именно на основе системного подхода к МОБВГР в дальнейшем можно объединить методики и инструкции, которые необходимо модифицировать с учетом сто-

Характеристики	Подход	
	детерминированный	стохастический
Состояние ситуации	Четкая бинарность: опасно/неопасно	Неопределенность по степени опасности в зависимости от заданного уровня риска
Границы опасных зон	Четкие и однозначно определенные	Вместо четких границ – доверительный интервал в зависимости от заданной степени допустимого риска. Наличие переходных зон между границей опасной зоны и практически безопасной. Учитывается соотношение движущего фактора (причины) опасности и факторов, усиливающих или ослабляющих степень опасности. Задание распределения степени опасности в переходной области при переходе от достоверно опасной зоны к неопасной
Теоретические основы выбора мероприятий по снижению или устранению опасности	Четкая бинарность мероприятий (мероприятия применяются или горные работы ведут без них)	Применяется принцип градации мероприятий при переходе от границы полностью опасной зоны к границе, где опасность практически отсутствует

хастической природы опасных явлений, сопровождающих подземную разработку месторождений.

Главная идея предлагаемого авторами статьи *стохастического подхода* к управлению МОБГВР – введение понятия «*допустимый риск*», который можно позволить в опасных ситуациях. Следует признать, что абсолютно устранить риск возникновения опасной ситуации практически невозможно (таблица). Более того, чем меньше уровень риска, тем больше стоимость специальных мероприятий, причем темпы увеличения стоимости непропорционально возрастают с уменьшением уровня риска [16]. В результате возникают катастрофы, когда все параметры разработки были выдержаны, а тем не менее, погибают люди, что усиливает актуальность указанного направления исследований.

Новый подход принципиально отличается от традиционной трактовки, использовавшейся для теоретического обоснования моделей и методов предотвращения опасных явлений при подземной разработке месторождений. Так, при детерминированном подходе использована, а в методах определения опасности заложена четкая модель, которая предусматривает только два состояния: опасность есть или ее нет (см. таблицу). Именно такой подход автоматически определяет однозначное положение границ опасных зон, которые прогнозируются с помощью стандартных методик, т. е. указанные методики основаны на том, что, например, в определенной точке пространства высоковольтная опора при подработке земной поверхности перекосятся и ее наклон будет недопустимо большим, а через 5 см от указанной точки наклон не превысит опас-

ное значение. Аналогично в определенной точке пространства опасность газодинамического явления (ГДЯ) абсолютно достоверная, поэтому следует использовать полный набор противовыбросных мероприятий, а в полуметре от этой точки горные работы можно вести без применения каких-либо мер, потому что опасность ГДЯ полностью исчезает. Такое грубое упрощение ситуации о скачкообразном переходе в пространстве от опасного состояния к неопасному очевидно. Однако отраслевые документы основаны именно на таком упрощении.

Введение понятия «*риск*» принципиально изменяет подход как к определению местоположения границ опасных зон, так и к выбору и обоснованию спектра мероприятий по устранению или предотвращению опасных явлений. Вместо четкой границы опасной зоны следует указать доверительный интервал в зависимости от заданной степени допустимого риска. При этом, чем меньше уровень допустимого риска, тем шире доверительный интервал. Как следствие возникает переходная зона между границей опасной зоны и практически безопасной. Далее в пределах переходной зоны степень опасности будет обязательно варьировать: от максимума у границы достоверно опасной зоны до пренебрежимо малого значения на границе, где опасность практически исчезает.

Для вычисления степени опасности авторы предлагают использовать соотношение движущего фактора (причины) опасности и факторов, усиливающих или ослабляющих степень опасности. Например, при вычислении показателя опасности

подработки здания или сооружения учитывают как стохастическую природу деформации земной поверхности, так и случайную вариацию прочностных свойств фундамента подрабатываемого здания [15]. Именно благодаря этому возникают возможности для определения *распределения степени опасности* в переходной зоне при переходе от достоверно опасной зоны к неопасной.

В новом подходе применяется принцип градации мероприятий при переходе от границы полностью опасной зоны к границе, где опасность практически отсутствует. Допустим, у границы достоверно опасной зоны подработки используют не только усиление стен здания с помощью каркасной стяжки, но и упрочнение его фундамента путем нагнетания вяжущих растворов. По мере удаления от границы достоверно опасной зоны плотность или интенсивность мероприятий постепенно уменьшается (например, уменьшают глубину, на которую нагнетают вяжущие), а у границы практически безопасной зоны ограничиваются оформлением компенсационных швов в критических точках фундамента. Таким образом, с одной стороны, достигается экономия ресурсов для выполнения мероприятий, а с другой – увеличивается надежность и эффективность применения указанных мероприятий за счет рационального распределения ресурсов в пределах переходной зоны.

Важно, что управление системой МОБВГР нельзя реализовать, ограничившись только технической стороной проблемы. Борьба с опасностями может быть эффективной только на основе проектно-ориентированного подхода [17]. Структура такой системы показана на рис. 1*. Прежде всего, система управления МОБВГР должна базироваться на законодательной основе. Для этого необходимо через законодательный орган страны ввести понятие «допустимый риск» при определении опасностей в разных видах жизнедеятельности и для начала – в процессе ведения подземных горных работ.

Правила безопасности основаны на детерминированном подходе и требуют однозначного ответа: опасно вести горные работы в конкретной точке подземного пространства или нет. Вместе с тем именно в горном деле уже накоплен достаточный опыт для применения стохастического подхода к определению опасностей горных работ [7, 15], что в случае внедрения в практику приведет к радикальной переделке Правил безопасности и отрас-

левых инструкций. Так, все основные параметры опасных зон должны зависеть от уровня допустимого риска, выбор которого не только техническая проблема, но прежде всего и социальная задача. Например, размер барьерного целика должен быть функцией допустимого риска, параметров, определяющих причины и условия прорыва подземных вод из затопленных вышерасположенных горных выработок, а также степени недоверности координат границ ранее выработанного пространства.

В областях высоких технологий аналогичный подход достаточно привычен. Например, при строительстве атомной станции в зоне потенциальной сейсмической опасности задают априорную максимальную магнитуду подземного толчка и в зависимости от ее значения проектируют прочность сооружений и надежность оборудования станций. Однако с пренебрежимо малой вероятностью сила толчка может превысить заданный порог и станция разрушится (пример японской атомной станции Фукусима, разрушенной из-за цунами, возможную силу которого недооценили или считали практически невероятной). Напомним, что стоимость строительства такого объекта катастрофически возрастает с уменьшением допустимого уровня риска, поэтому возникает серьезная экономическая и социальная дилемма при выборе допустимого уровня. Решение принимают с привлечением не только технологов, но и экономистов, а также политиков.

Техническая часть системы управления МОБВГР должна базироваться на современной геоинформационной системе, которая опирается на базу знаний, состоящую из реляционных баз данных и моделей. Основные базы данных, обеспечивающие безопасность ведения горных работ, должны содержать геологическую информацию о строении месторождения, геодинамике участка земной коры, структуре и нарушенности, качестве полезного ископаемого, физических свойствах вмещающих горных пород, их деформационных и прочностных параметрах, гидрогеологии месторождения, его газоносности и других важных компонентах характеристик.

Важно, чтобы базы данных и карты, построенные на их основе, имели достаточную стохастическую информацию о естественном разбросе показателей. Например, важнейший параметр – распределение прочности пород, которое, как показали исследования, согласуется с логнормальным зако-

* В разработке системы приняла участие канд. техн. наук Л. Н. Захарова (Донецкий государственный университет управления).

ном и имеет весьма большой разброс [7]: коэффициент вариации прочности пород на одноосное сжатие в образце изменяется в пределах 25–40 %, а при переходе к массиву с учетом дефектов и масштабного эффекта в целом часто увеличивается в 1,5–3 раза. Таким образом, при переходе от образца к массиву свойства образца необходимо корректировать с учетом масштабного эффекта, который может существенно изменяться в зависимости от параметров трещиноватости массива [7, 18].

В этих целях использовали современные достаточно надежно установленные зависимости между свойствами в образце и свойствами в массиве. Для определения модуля деформации применяются следующие формулы:

$$E_{\perp} = E_1 / \left[1 + \sum_1^k \eta_i (1 - \sin^4 \Theta) \right];$$

$$E_{\parallel} = E_1 / \left[1 + \sum_1^k \eta_i (1 - \cos^4 \Theta) \right],$$

где $E_1 = 1...10$ ГПа – модуль деформации анизотропной среды;
 Θ – угол падения трещин пласта, ...°;
 $\eta = \delta / (\xi h)$;
 δ – толщина раскрытия трещин, мм;
 $\xi = 3 \cdot 10^{-4}$ – безразмерная площадь скальных контактов;
 h – расстояние между трещинами, см.

На рис. 2 показана гистограмма разброса модуля деформации для вмещающих пород, полученная по данным в результате подстановки параметров трещиноватости в указанные формулы. Видно, что гистограмма согласуется с экспоненциальным распределением.

Проанализировав гистограмму, можно сделать вывод, что для вмещающих пород разброс модуля деформации в плоскости, перпендикулярной к напластованию, составляет 0,1–8,5 ГПа, среднеквадратическое отклонение – 2,3 ГПа, а коэффициент вариации – 90 %. Для плоскости, параллельной напластованию, разброс модуля деформации имеет диапазон 0,5–9,8 ГПа. В данном случае среднеквадратическое отклонение принимает значение 2,9 ГПа, а коэффициент вариации – 105 % [18]. Такой разброс гораздо больше общепринятого (30 %), применяемого в технических расчетах при резервировании запаса прочности расчетных параметров, что свидетельствует о важности и актуальности учета естественного разброса механических показателей массива горных пород.

Стохастические параметры всех данных принципиально важны. Нельзя проектировать горные

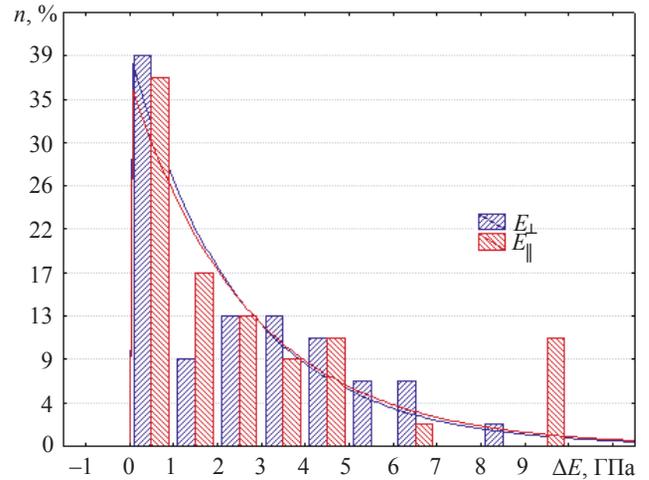


Рис. 2. Гистограмма разброса модуля деформации ΔE для кровли выработки: n – количество измерений.

работы и тем более определять местоположение границ опасных зон, используя одно (среднее) значение прочности, газоносности, проницаемости, теплопроводности, выбросоопасности. Это большой риск, который может привести к катастрофе. Одна из последних катастроф с массовой гибелью людей – взрыв газовоздушной смеси на шахте «Распадская» (Россия) в 2010 г.

Без достоверных баз данных с подробной информацией о естественном разбросе природных показателей месторождения невозможно создать адекватные стохастические модели, с помощью которых и устанавливают границы и геометрические

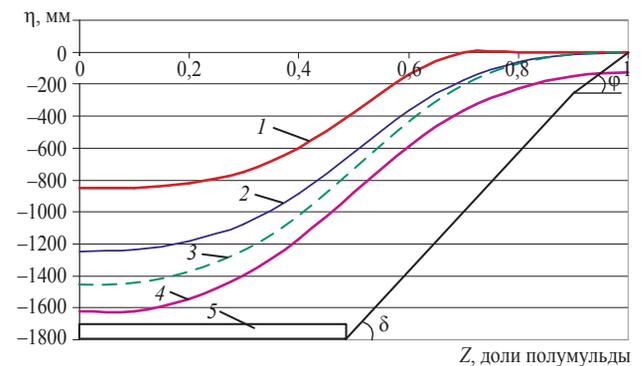


Рис. 3. Зависимость оседаний, рассчитанных по предлагаемой (кривые 1 и 4) [15] и действующей (кривые 2 и 3) [6] методикам: 1 – верхний доверительный интервал; 2 – оседания ожидаемые η , мм; 3 – оседания расчетные η_p , мм; 4 – нижний доверительный интервал; 5 – половина выработанного пространства; δ и φ – углы сдвига в коренных породах и в наносах; Z – расстояние вдоль мульды.

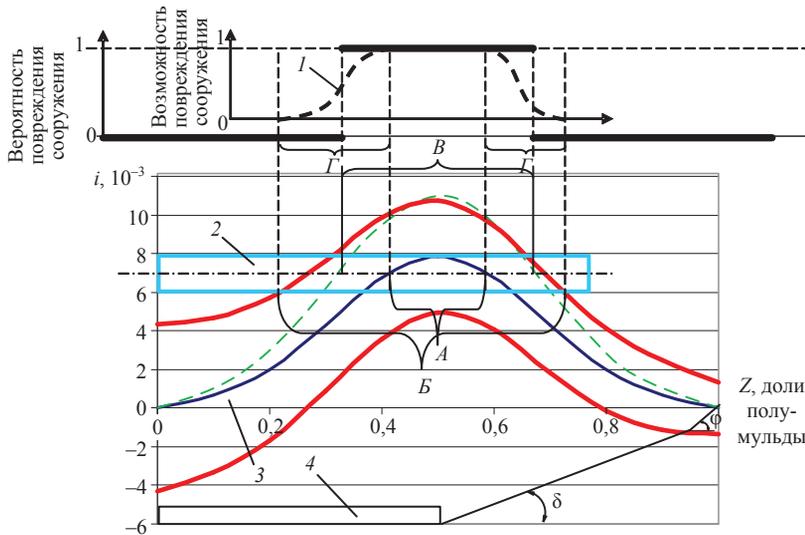


Рис. 4. Общая схема для определения границ доверительного интервала опасных деформаций: — ожидаемые наклоны i , 10^{-3} ; - - - расчетные наклоны i_p , 10^{-3} ; — — — верхний и нижний доверительный интервалы; 1 – линия перехода от полностью опасной зоны к практически неопасной; 2 – доверительный интервал допустимых предельных деформаций; 3 – возможные деформации; 4 – половина выработанного пространства; δ и φ – углы сдвижения в коренных породах и в наносах; Z – расстояние вдоль мульды.

параметры опасных зон. В качестве примера приведем опыт определения опасных зон при обработке земной поверхности с учетом стохастической природы процессов разрушения массива горных пород и прочности материала фундаментов сооружений.

По результатам исследований авторы статьи [15] показали, что распределение любых показателей

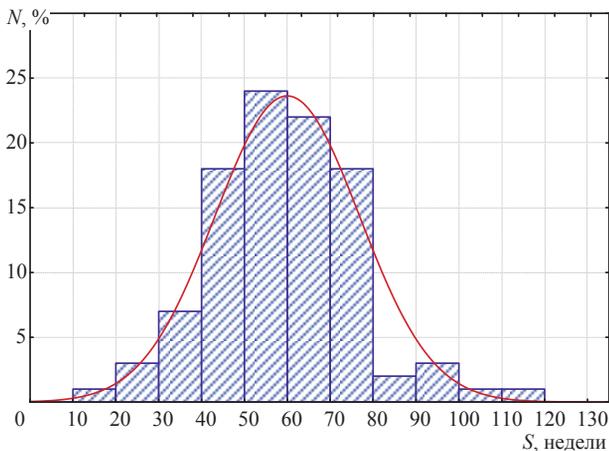


Рис. 5. Гистограмма сроков отработки 6-й южной лавы центральной панели блока № 8: N – частота реализации срока; S – срок выполнения работы.

деформации земной поверхности в пределах мульды сдвижений относительно ожидаемых значений, определенных по методике Правил [6], не противоречит нормальному закону: разброс оседаний и деформаций в центре мульды сдвижения максимальный, а на границах мульды разброс показателей деформаций не уменьшается до нуля (рис. 3). Поправка оседаний в обе стороны относительно ожидаемых значений максимальна в центральной части мульды сдвижения и равна 549 мм. На границе мульды эта поправка уменьшается до 124 мм, или 23 % максимального значения. То же самое наблюдается для наклонов и кривизны. В результате положение точки перехода показателя сдвижения или деформаций через нулевое значение располагается в диапазоне, имеющем определенный доверительный интервал.

Как было отмечено, вариации допустимых деформаций зданий и сооружений обусловлены неопределенностью процесса сдвижений и естественной вариацией механических свойств объектов, которые сооружены на подрабатываемом участке. В таком случае авторы статьи [15] предлагают сопоставлять возможные деформации земной поверхности с учетом их естественного разброса (в виде криволинейной полосы 3) с прямоугольной полосой 2 доверительного интервала допустимых предельных деформаций здания или сооружения (рис. 4), а затем на их пересечении или частичном наложении определять вероятность разрушения сооружения.

Так, вероятность разрушения на интервале A максимальна и равна 1, т. е. в пределах этого интервала сооружение будет наверняка повреждено. Интервал B ограничивает опасную зону, в пределах которой может быть повреждено сооружение. При этом за пределами интервала A вероятность начинает уменьшаться с единицы и падает до минимума на границах зоны B . Таким образом, переход Γ от полностью опасной зоны к практически неопасной имеет конечную длину и происходит плавно, как это показано кривой 1 на рис. 4. Возможность повреждения R в пределах переходных интервалов определяется по эмпирической формуле

$$R = -2,2x^3 + 3,2x^2,$$

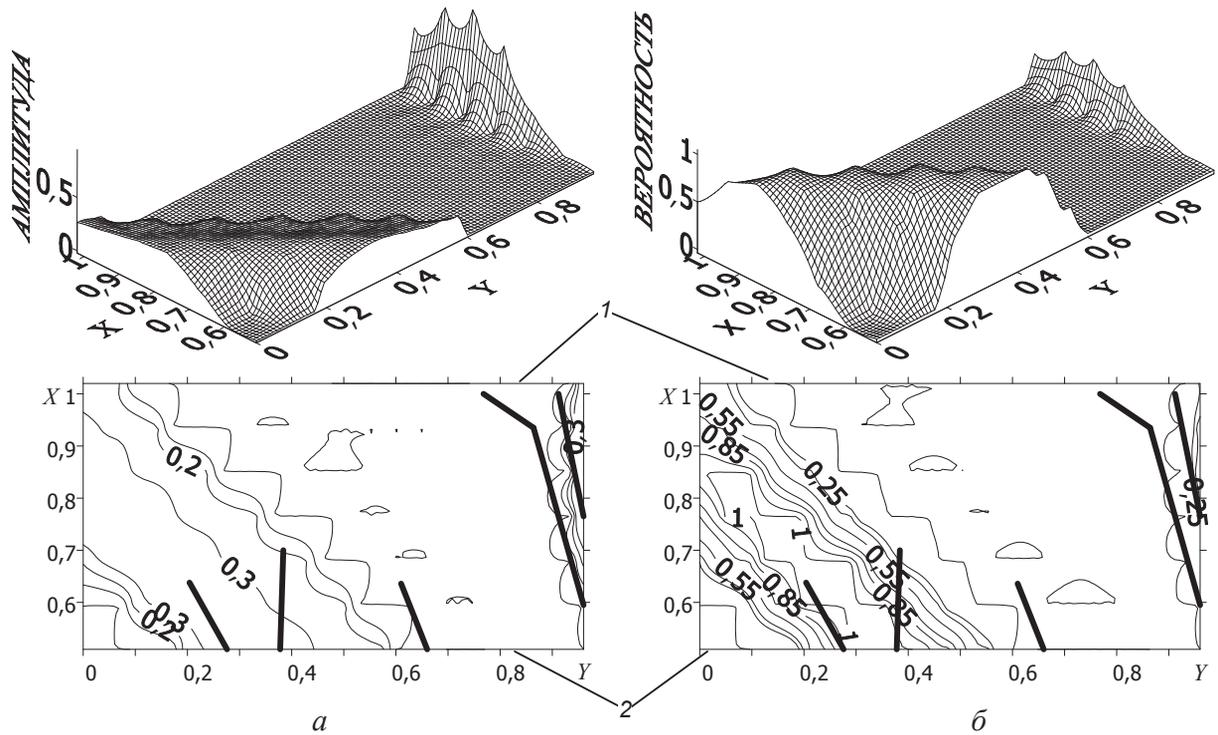


Рис. 6. Контурные и поверхностные карты амплитуд (а) и вероятности (б) спрогнозированных нарушений: — — действительное положение нарушений; 1 – 3-я бортовая выработка; 2 – 3-я сборная выработка [21].

где x – безразмерное расстояние вдоль переходных зон, начиная от границ практического отсутствия повреждения подрабатываемого объекта (вся длина переходной зоны условно принимается за единицу).

Объем мероприятий по усилению конструкции сооружения или предотвращению возможных повреждений определяем пропорционально рассчитанной возможности повреждения.

Существующая методика [6], основанная на детерминированном определении деформаций земной поверхности, дает границы повреждения здания на интервале B , причем вероятность разрушения согласно существующим нормативным документам внутри интервала B равна единице, а за его пределами – нулю (см. рис. 4). Однако практика показывает, что такой резкий перепад вероятности поврежденности нереален.

Сравнение традиционной и новой методик оценки возможности повреждения подрабатываемого сооружения показывает, что на-

дежность новой методики [15] существенно выше по сравнению с надежностью существующей [6].

В процессе определения границ опасных зон важно знать не только текущее, но и прогнозное положение границ горных работ. Последнее для очистных и подготовительных забоев регламентируется календарным планом развития горных работ, который, как правило, составляют на текущий год и пятилетку (реже на более длительную пер-

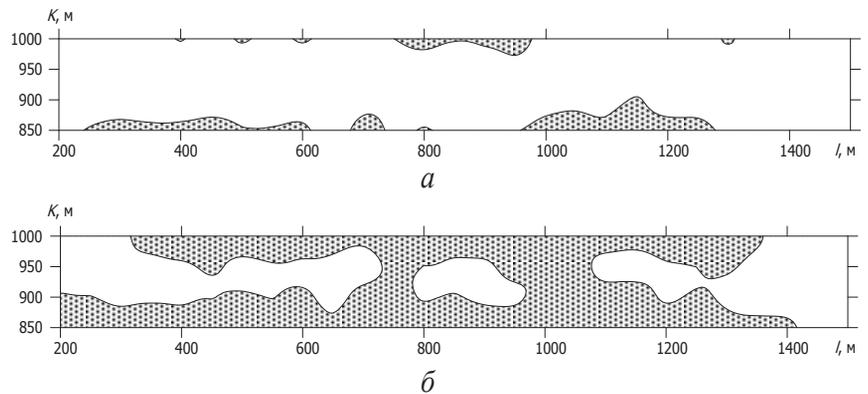


Рис. 7. Прогнозные контуры зон наиболее вероятного обрушения непосредственной кровли очистного забоя при уровне риска 0,1 (а) и 0,05 (б): K – координаты лавы; l – расстояние вдоль выемочного столба.

спективу, поскольку достоверность прогноза резко падает). Для выполнения прогноза положения границ горных работ разработана специальная стохастическая сетевая модель [17, 19].

Гистограмма сроков отработки лавы при составлении программы развития горных работ на современной угольной шахте показана на рис. 5. Видно, что наиболее вероятный срок отработки составляет 60 недель, хотя отработка лавы может быть задержана в случае проявления рисков горного производства более чем в 2 раза. Этот прогноз намного достовернее детерминированного, который дает одно определенное значение из спектра возможных, приведенных на гистограмме (см. рис. 5), и не дает представления о возможных рамках вероятного интервала, а также распределения вероятности прогноза. Именно поэтому программы развития горных работ на угольных шахтах как правило не выполняются, а задержки сроков отработки запасов составляют 30–40 %. Это существенно снижает рентабельность производства и экономические показатели предприятий.

Изменим существующий подход к составлению горно-геометрических карт [20]. Любая карта, отражающая горную геометрию месторождения, должна иметь не только информацию о пространственном положении и распределении параметров месторождения, но и степень достоверности этих распределений. В качестве примера рассмотрим прогноз малоамплитудной нарушенности участка угольного месторождения [21]. На рис. 6 приведены карты амплитуд и вероятности спрогнозированных с помощью искусственных нейронных сетей малоамплитудных нарушений. Показано, что достоверность прогноза нарушений максимальна на том участке, где амплитуда нарушений наибольшая и превышает 0,85. Однако она существенно падает в области, где амплитуда нарушений уменьшается либо они отсутствуют. В данном случае это не имеет существенного значения с точки зрения обеспечения безопасного ведения горных работ, поскольку наиболее опасные зоны связаны с теми участками, где амплитуда нарушений максимальна. Тем не менее в общем случае вероятность или достоверность результатов прогноза имеет важное значение.

Прогнозные контуры зоны обрушения неустойчивой непосредственной кровли в движущемся очистном забое изображены на рис. 7 [12]. Прогноз выполнен для двух уровней риска: 0,1 (рис. 7, а) и 0,05 (рис. 7, б). Уменьшение допустимого уровня

риска всего на 5 % (с 0,1 до 0,05) увеличивает площадь возможных обрушений примерно в 5 раз. Это означает, что для предотвращения возможных обрушений кровли при пониженном уровне риска следует расходовать в 5 раз больше средств на мероприятия по укреплению непосредственной кровли. Практика показывает, что в высоконагруженных очистных забоях (добыча 3–5 тыс. т угля в сутки) такой подход экономически оправдан, поскольку увеличение стоимости специальных мероприятий пренебрежимо мало по сравнению с дополнительной прибылью, которая получена благодаря сохранению высоких темпов добычи.

Стоимость модернизации баз данных с учетом стохастической природы естественных показателей месторождений, а также самих стохастических моделей весьма высока. Именно поэтому система управления МОБВГР должна базироваться на современных методах коммуникации и прежде всего компьютерных сетях и облачных технологиях [22].

Технологии распределенных вычислений позволят радикально минимизировать стоимость приобретения и эксплуатации стохастических моделей. Достаточно приобрести по одной из наиболее важных и продвинутых моделей и использовать их в пределах государства через средства распределенных вычислений [22]. В частности, для геомеханических и термодинамических расчетов достаточно приобрести две-три современные модели, стоимость которых не превысит 50–70 тыс. евро. Можно рекомендовать в качестве таких моделей использовать пакеты фирм ITASCA, SolidWorks, PALISADE и др. Однако оптимальный выбор программных пакетов возможен только на основе проектно-ориентированного подхода, который гарантирует надежность всех цепей процесса, начиная от планирования, тендеров, контрактов, закупок, инсталляции и эксплуатационного сопровождения. Это особенно важно в условиях коррупции и дефицита финансовых ресурсов, а также в связи с тем, что эксплуатация указанных средств будет легальной, что имеет большое значение в условиях интеграции в ЕС и требований к соблюдению авторских прав и лицензированию программных продуктов.

Выводы. Для надежного маркшейдерского обеспечения безопасного ведения горных работ, сохранения энергетической и сырьевой независимости Украины необходимо создать проектно-ориентированную систему управления маркшейдерским обеспечением. Эту задачу можно решить только на основе законодательного введения понятия «допу-

стимый риск» ведения горных работ, изменения детерминированного подхода в нормативных документах и инструкциях на концепцию, учитывающую стохастическую природу процессов горного производства, а также применения современных геоинформационных систем и коммуникаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля, породы и газа.* – М.: Минуглепром СССР, 1989. – 192 с.
2. *Эндогенные пожары на угольных шахтах западного Донбасса предупреждение и тушение: Инструкция.* – Донецк, НИИГД, 1998. – 56 с.
3. *Инструкция по безопасному ведению горных работ у затопленных выработок.* – Л.: ВНИМИ, 1984. – 66 с.
4. *Подземные объекты в горных выработках криолитозоны Якутии: ТСН 31-323-2002.* – Якутск, 2002. – 48 с.
5. *Инструкция по безопасному ведению горных работ на шахтах, разрабатывающих пласты, склонные к горным ударам.* – Л.: ВНИМИ, 1988. – 86 с.
6. *Правила підробки будівель, споруд і природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом: ГСТУ 101.00159226.001-2003.* – Введ. 01.01.2004. – К., 2004. – 128 с.
7. *Шашенко А. Н. Методы теории вероятностей в геомеханике / А. Н. Шашенко, Н. С. Сургай, Л. Я. Парчевский.* – К.: Техника, 1994. – 216 с.
8. *Охрана капитальных выработок от влияния очистных работ / [Ю. М. Басинский, В. Ф. Водянов, В. М. Кулешов и др.].* – К.: Техніка, 1983. – 140 с.
9. *Заславский Ю. З. Расчеты параметров крепи выработок глубоких шахт / Ю. З. Заславский, А. Н. Зорин, И. Л. Черняк.* – К.: Техніка, 1972. – 156 с.
10. *Назимко В. В. Расчет смещений на контуре подготовительных выработок с учетом разброса прочностных свойств вмещающих пород / В. В. Назимко, В. П. Сажнев, В. С. Захаров, В. Б. Грядущий // Проблемы горного давления.* – Донецк: ДонНТУ, 2001. – № 6. – С. 156–163.
11. *Кузнецов С. Т. Исследования закономерностей разрушения и взаимодействия пород с крепями очистных выработок на пологих угольных пластах / С. Т. Кузнецов // Труды ВНИМИ.* – Л.: ВНИМИ, 1970. – № 76. – С. 106–107.
12. *Назимко В. В. Стохастический подход к прогнозу зон обрушений кровли в очистных забоях / В. В. Назимко, И. Е. Иванов, А. Н. Красько // Проблемы горного давления.* – 2002. – № 7. – С. 151–165.
13. *Грищенков Н. Н. Система геомеханического прогноза напряженно-деформированного состояния горного массива при отработке свит угольных пластов: дис. на соискание степени доктора техн. наук: 05.15.11. / Н. Н. Грищенков.* – Днепропетровск, 2004. – 394 с.
14. *Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях.* – СПб., 1998. – 203 с.
15. *Гордиенко М. Э. Развитие методики расчета деформаций подрабатываемых зданий и сооружений с учетом неопределенности / [М. Э. Гордиенко, В. В. Музалевский, Н. А. Колесник и др.] // Форум горняков-2014. Труды международ. конф. – Днепропетровск: НГУ, 2014. – Т. 2. – С. 221–230.*
16. *Cox Jr. L. A. What's Wrong with Risk Matrices? / L. A. Cox Jr. // Risk Analysis 28.* – 2008. – № 2. – P. 497–512.
17. *Назимко В. В. Оперативне управління проектом в умовах параметричної і структурної невизначеності: визначення поняття і його часових параметрів / В. В. Назимко // Наук. праці Національного ун-ту кораблебудування.* – Миколаїв: НУК, 2014. – С. 77–82.
18. *Бугаева Н. А. Обоснование методики учета стохастической неопределенности при переходе от свойств образца к свойствам массива / Н. А. Бугаева // Проблеми гірського тиску.* – Донецьк: ДонНТУ, 2011. – Вип. 19. – С. 71–87.
19. *Захарова Л. Н. Исследование чувствительности программы развития горных работ и ее рисков в условиях угольной шахты / Л. Н. Захарова, В. В. Назимко // Радіоелектронні і комп'ютерні системи.* – Харків: Харківський аерокосмічний ун-т, 2012. – № 1 (53). – С. 157–164.
20. *Мирний В. В. Проекції, які застосовуються в геометрії надр і маркшейдерській справі / В. В. Мирний.* – Донецьк: ДПІ, 1993. – 220 с.
21. *Назимко В. В. Прогноз мелкоамплитудных разрывных нарушений угольных пластов с помощью нейронных сетей и генетических алгоритмов / В. В. Назимко, А. В. Мерзликин, В. С. Захаров // Геотехнологии на рубеже XXI века.* – Донецк: ДонНТУ, 2001. – Т. II. – С. 30–32.
22. *Монахов Д. Облачные технологии. Теория и практика / Д. Монахов, Н. Монахов, Г. Прончев, Д. Кузьменков.* – М.: МАКСПресс Москва: МГУ, 2013. – 128 с.