

Методология прогнозирования потенциально опасных зон и геомеханических процессов при горных работах



Б.В. Лаптев,
д-р техн. наук, ст. науч.
сотрудник

ЗАО НТЦ ПБ

Обосновано решение, в едином методологическом ключе, проблем выявления зон с различной прочностью пород в пределах шахтных полей, их газонасыщенности, которые в совокупности формируют потенциально опасные зоны по возможным динамическим проявлениям горного давления, а также их влияние на параметры сдвижения подрабатываемых горных массивов.

The decision is substantiated, in a single methodological key, related to the problems of identification of zones with rocks different strength within the mine fields, their gas content, which in total form potentially hazardous zones based on possible dynamic manifestation of mining pressure, as well as their effect on the parameters of displacement of the undermined rock massifs.

Ключевые слова: прочность и газонасыщенность пород, потенциально опасные зоны, динамические явления, скорость сдвижения подрабатываемых пород, методы обработки данных с использованием математистики.

При геомеханических расчетах параметров систем разработки, горных выработок, их устойчивости, процессов сдвижения подрабатываемой земной поверхности и при разработке профилактических мероприятий в случае отработки пород, опасных по геодинамическим явлениям, в основном принимаются средние значения механических свойств пород по площади отдельного шахтного поля. Расчет параметров по средним значениям приводит в ряде случаев к ошибочным решениям, что в последующем вызывает неудовлетворительное состояние подземных сооружений, ускоренные процессы сдвижения подрабатываемых пород, динамические явления или неоправданно большие потери полезного ископаемого в недрах.

Данный момент связан с тем, что в шахтных полях, иногда значительных размеров, встречаются различного рода геологические отклонения (нарушения): видимые и легко регистрируемые дизъюнктивные в виде сбросов, надвигов, сдвигов и визуально трудно регистрируемые пликативные, вызванные вторичными метаморфическими процессами, приводящими к изменению состава пород и их механических свойств. Для оперативного контроля за прочностными и деформационными свойствами обрабатываемых и вмещающих пластов необходимы систематический отбор образцов пород и их последующее испытание.

Цель инженерно-геологических исследований — разделение геологической среды на части (геологические тела), однородные по некоторому признаку (возраст, генезис, свойства и т.д.), и характеристика этих свойств. Обработка результатов инженерно-геологического обоснования на основе модели слу-

чайной величины предполагает предварительную проверку однородности поля геологического параметра и в случае его неоднородности разделение поля на квазиоднородные области.

Число точек опробования и их размещение в пространстве исследуемого участка должно учитывать характер пространственной изменчивости механических параметров пород, в частности анизотропность мер их рассеяния в главных направлениях. Характеристикой анизотропности мер рассеяния параметров служит модуль анизотропности G , определяемый отношением средних квадратических отклонений в главных направлениях. Системой опробования (СО) называется упорядоченное в пространственном отношении конечное множество точек опробований.

В зависимости от размерности пространства опробуемого участка СО будет представлять собой линию (одномерная), сетку (двухмерная) или пространственную решетку (трехмерная). По характеру структуры (пространственному распределению точек опробования) СО делят на нерегулярные и регулярные. Нерегулярными считаются СО, в которых расстояния между точками опробования не выдержаны. Трехмерная СО предусматривает отбор проб по площади и по стратиграфии с каждого из обрабатываемых пластов и вмещающих их пород, двухмерная — по площади каждого из пластов.

Число точек опробования должно отвечать условию оптимальности — быть минимальным и в то же время достаточным для решения поставленных задач [1]. Численные значения определяемых показателей прочности и деформируемости пород должны удовлетворять требованиям метрологии, которые

установлены в документе МИ 1317—86. Согласно этим требованиям для каждого параметра устанавливают его среднее значение и интервал доверительных отклонений (погрешность) с указанием уровня надежности (доверительной вероятности) этого интервала. Доверительный интервал представляет собой погрешность в определении среднего значения параметра и зависит от задаваемой надежности и числа испытаний (опробований).

Однородность выборок находят по вероятности, которую определяют коэффициентом Стьюдента и степенями свободы и затем сравнивают с табличными значениями. Выборки считаются однородными при высоких значениях вероятностей — выше табличных [2]. На основании этого для каждого шахтного поля устанавливают шаг опробования. Например, для шахтных полей Верхнекамского месторождения калийных солей максимальный шаг опробования составляет 400 м.

Газоносность пород в совокупности с их прочностными и деформационными свойствами часто служит фактором, определяющим технологию и параметры горных работ, особенно при отработке пород, склонных к газодинамическим явлениям.

Газоносность пород — природный фактор, связанный с комплексом других факторов, знание зависимостей между которыми может служить основой при прогнозировании насыщенных или бедных газом зон. Прогноз газонасыщенных зон подразделяется на два уровня — региональный и локальный, каждый из которых отличается степенью разведанности исследуемых площадей. Региональный прогноз проводится по данным геолого-разведочных скважин, пробуренных с поверхности, локальный — по результатам перспективной и эксплуатационной разведок. Отсутствие критериев по выявлению газонасыщенных зон приводит к необходимости по отдельным случаям газовыделений относить тот или иной пласт в целом по всей площади к газоносным.

Региональный прогноз осуществляется по данным анализа зафиксированных случаев интенсивных газовыделений, происходивших в процессе бурения скважин детальной разведки. Для более точной оценки распределения газа по площади промышленных пластов необходимо принимать для анализа также сведения по замерам состава рудничной атмосферы (локальный прогноз). За критерий отнесения пород к участкам с повышенным содержанием газа должны приниматься случаи превышения ПДК. По планам отбора бороздовых проб определяется комплекс геологических параметров — мощность пластов, их геохимический состав, прочностные свойства. Точки геологического отбора бороздовых проб и точки интенсивных газовыделений должны быть в плане совместимыми.

Как правило, деление площадей с газом и без него (на группы) чаще всего невозможно по отдель-

но взятому геологическому параметру, но оно надежно реализуется в многомерном (многофакторном) признаковом пространстве. Разделение на группы (классификация) целесообразнее проводить с помощью дискриминантного анализа из математистики. Такой анализ можно провести на ПЭВМ по специальной программе, например «Статграф», которая позволяет определять уравнение дискриминантной функции, центры групп и «расстояние» между ними, производить оценку правильной вероятности классификации каждой из групп, вычислять критерии значимости разделения данных на группы и меру линейной зависимости между функцией и набором переменных параметров (горно-геологические и горнотехнические), определять критериальное значение дискриминантного числа для газонасыщенных и неgasовых зон. Мера зависимости оценивается по множественному коэффициенту корреляции. За критерий значимости разделения выборок может быть принят χ -квадрат [2].

Например, на Верхнекамском калийном месторождении для дискриминантного анализа было принято до восьми основных параметров (мощность пластов, глубина их залегания от поверхности, содержание в породах хлористых калия, магния и нерастворимого в воде остатка, брома, воды, сульфатов), которые постоянно регистрируются геологическими службами и имеют нормальный или близкий к нему закон распределения по площади. На основании многочисленных вариантов расчетов получены дискриминантные функции, позволяющие на 70–80 % правильно классифицировать группы с газом и более чем на 80 % — без газа, т.е. можно утверждать, что газонасыщенные зоны будут оценены правильно. Коэффициент множественной корреляции, равный 0,6–0,8, свидетельствует о линейной зависимости полученной функции от выбранных геологических параметров, а χ -квадрат, превосходящий табличное значение, — о значимом разделении выборок.

Имея установленные дискриминантные уравнения, а также критериальные значения дискриминантных чисел для каждой зоны (насыщенная или ненасыщенная газом) в интересующей точке шахтного поля (месторождения, участка), по данным детальной разведки при региональном прогнозе или эксплуатационной (перспективной) при локальном прогнозе определяют ряд геологических параметров, входящих в уравнение. При прогнозе, подставляя значения полученных геологических параметров из каждой точки опробования в уравнение, определяют дискриминантное число, которое затем сравнивают с критериальным, и делают заключение об отнесении данной точки к той или иной зоне газонасыщения [3].

Точки опробования наносят на планы горных работ шахтного поля (месторождения) с указанием дискриминантного числа и оконтуривают зоны по

известным правилам построения изолиний в геологии в соответствии с критериальными значениями этих чисел.

Региональный метод прогноза зон, опасных по динамическим явлениям, формирующимся от совместного воздействия газа, прочностных свойств пород и их напряженного состояния, также может быть основан на многомерном дискриминантном анализе геологических показателей. Решающие правила для проведения такого прогноза могут быть получены путем реализации процедуры многомерного дискриминантного анализа. Для этого предварительно составляют банк данных по геологическим параметрам в местах, где были зарегистрированы динамические явления, а затем проводят дискриминантный анализ с последующим получением решающего уравнения.

Суть метода прогноза заключается в идентификации геологических условий в конкретно заданной точке шахтного поля и сравнении с геологическими условиями в местах возникновения динамических явлений [4].

Процедура прогноза зон, опасных по динамическим явлениям, заключается в подстановке значений геологических показателей в перспективной конкретной точке наблюдения в решающие правила и определении значения дискриминантной функции. На основании рассчитанных значений дискриминантной функции точку наблюдений относят к потенциально опасной или неопасной зоне. В случае, если подстановочное значение дискриминантной функции положительное, точку наблюдений относят к опасной зоне, а если отрицательное — к неопасной. Точками наблюдений могут служить поверхностные скважины детальной разведки, подземного бурения и бороздовые пробы.

Численные значения решающего правила F_p заносят на карту с заданными координатами. Путем интерполяции между точками с полученными значениями решающего правила находят его нулевое значение, служащее границей зон.

Для Верхнекамского месторождения калийных солей, опасного по газодинамическим явлениям, решающее правило, например для пласта АБ, имеет вид

$$F_p = -0,472X_1 + 0,062X_2 + 0,55X_3 + 0,0005X_4 + 31,2X_5 - 0,06X_6 - 0,13X_7 - 3,4 > 0, \quad (1)$$

где X_1 — мощность пласта, м; $X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7$ — содержание (%) в породах соответственно хлористого калия, хлористого магния, хлористого натрия, брома, сернокислого кальция, нерастворимого в воде остатка.

Процедура прогноза заключается в подстановке численных значений показателей X_1-X_7 в указанное выражение и получении рассчитанного значения дискриминантного числа. На основании подстанов-

ки численных значений в решающие правила были составлены прогнозные карты по всем шести отработываемым на месторождении шахтным полям.

Ряд исследователей (С.Г. Авершин, И.М. Петухов, Г.Л. Фисенко) отмечали влияние параметров сдвига подрабатываемых пород на удароопасность угольных пластов. Автором была установлена взаимосвязь между скоростью оседания земной поверхности и потенциальной выбросоопасностью калийно-магниевого пород на Верхнекамском месторождении [5].

Суть метода исследований заключалась в следующем. Для анализа были приняты данные о сдвиге земной поверхности по 16 профильным линиям со всех отработываемых шахтных полей. Всего в банк данных включено 52 наблюдения за скоростью сдвига земной поверхности над отработанными опасными и неопасными по газодинамическим явлениям зонами.

Данные обрабатывали с помощью множественной линейной регрессии, дискриминантного и дисперсионного анализов. Вычисляли уравнения регрессии, оценки достоверности, воспроизводимости, значимости разделения и тесноты связи результатов наблюдений, а также строили регрессионные зависимости скоростей оседаний от ряда геологических параметров как в опасных, так и в неопасных зонах. В целях корректного доказательства разницы в скоростях оседаний над разными зонами и для возможности их сопоставительного анализа оценена значимость разделения скоростей оседаний подработанной поверхности на указанных участках.

Значимость различий оценивали с помощью дискриминантного анализа по критерию Фишера. Предварительно определили, что все выборки скоростей оседаний подчиняются нормальному закону распределения в обеих зонах. Скорости значительно разделяются — расчетный коэффициент Фишера (отношение дисперсий) всегда больше табличного при 10%-ном уровне значимости. Все факторы, влияющие на процесс сдвига, разделили на две группы: управляемые (горнотехнические) и неуправляемые (горно-геологические).

Функциональная зависимость скорости оседаний подрабатываемых пород от рассматриваемых параметров получена в виде линейного регрессионного полинома:

$$V = ax_1 + bx_2 + cx_3 + \dots + kx_{14} + n, \quad (2)$$

где a, b, c, k — параметры аппроксимации; x_1, \dots, x_{14} — горнотехнические и горно-геологические факторы (степень извлечения полезного ископаемого из недр, степень нагружения целиков, вынимаемая мощность пластов, глубина их залегания и т. д.); n — константа.

Получено, что функциональные зависимости скоростей оседаний земной поверхности в опасных и неопасных зонах информативны и значимы: ко-

эффицент парной корреляции между теоретическим и фактическим распределениями составляет 0,99, а коэффициент Фишера больше табличного. Дисперсионный анализ уравнений регрессии позволил также количественно оценить степень влияния на скорость оседаний каждого из принятых к рассмотрению факторов.

Для разделения на два класса многомерного признакового пространства геологических параметров в подрабатываемой толще в опасных и неопасных зонах был применен также дискриминантный анализ. Вероятность правильной классификации по обучающей выборке составила 100 %. Значимость разделения выборок из обеих зон оценивали по критерию Пирсона. За меру линейной связи между функцией и геологическими параметрами взят множественный коэффициент корреляции, равный 0,81, что указывает на высокую связь между ними.

Проверка адекватности полученных зависимостей проводится для условий, которые не были включены в обучающую (экзаменационную) выборку. Например, для Верхнекамского месторождения в экзаменационную выборку были включены участки с потенциально высокими ожидаемыми скоростями оседаний подработанных пород на ряде участков шахтных полей. Согласно прогнозным расчетам на выбранных участках необходимо было ожидать максимальные скорости оседаний подра-

ботанной земной поверхности до 3300 мм/год, что впоследствии полностью подтвердилось (затопление рудников БКРУ № 1 и БКРУ № 3 из-за прорыва подработанной водозащитной толщи началось с этих участков).

Таким образом, в предлагаемом едином методологическом ключе можно решить ряд проблем надежного выявления зон с различной прочностью пород в пределах площадей отрабатываемых шахтных полей, разной газоносностью, которые в совокупности формируют потенциально опасные зоны по возможным динамическим проявлениям горного давления, а также их влияние на параметры процесса сдвижения подрабатываемых горных массивов.

Список литературы

1. ГОСТ 21153.0—75. Породы горные. Отбор проб и общие требования к методам физических испытаний. — М.: Изд-во стандартов, 1982. — 3 с.
2. Афифи А.А., Эйзен С.П. Статистический анализ. Подход с использованием ЭВМ. — М.: Мир, 1982. — 488 с.
3. Методическое руководство по ведению горных работ на рудниках ОАО «Сильвинит». — Новосибирск: Наука, 2011. — С. 176—179.
4. Лантев Б.В. Предотвращение газодинамических явлений на калийных рудниках. — М.: Недра, 1994. — 137 с.
5. Лантев Б.В. О скорости оседания подрабатываемых пород// Безопасность труда в промышленности. — 2010. — № 8.— С. 48—51.

laptevbv@mail.ru

УДК 536.46

© А.О. Жданова, Г.В. Кузнецов, П.А. Стрижак, 2014

Роль дисперсности воды, сбрасываемой авиацией в зону горения лесных массивов¹



А.О. Жданова,
аспирант



Г.В. Кузнецов,
д-р физ.-мат.
наук, проф.



П.А. Стрижак,
д-р физ.-мат.
наук, проф.

Национальный исследовательский Томский
политехнический университет

Ключевые слова: пожары, тушение, вода, распыление, теплота парообразования.

Выполнен численный анализ полноты испарения воды в зоне пламени при различной дисперсности жидкости. Рассмотрены монолитные водяные структуры, а также возможные «разрывы» в массивах тушащей жидкости (характеризуют дисперсность), заполненные водяными парами и продуктами сгорания. Обоснована целесообразность предварительного распыления воды для увеличения доли испарившейся жидкости в области пламени и усиления эффекта подавления температуры в пламенной зоне горения за счет эндотермических фазовых превращений.

Numerical analysis was performed concerning the completeness of water evaporation in the flame zone at different dispersion of liquid. The Article reviews monolithic water structures, as well as possible «ruptures» in the massifs of the extinguishing liquid (characterize dispersion) filled in with water vapor and combustion products. Practicability is substantiated related to preliminary dispersion of water for increase of evaporated liquid proportion in the flame area and the enhancement of temperature suppression effect in the flame combustion zone by endothermic phase transitions.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 14-08-00057).