

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД ВБЛИЗИ ВЫРАБОТОК

В работе рассматриваются некоторые аспекты деформирования породного массива вокруг горных выработок.

Проводимая в Кыргызской Республике социально-экономическая политика поддержки предприятий горнодобывающей промышленности предполагает обеспечение возрастающей потребности народного хозяйства в минеральном сырье. В этих условиях возрастают требования к совершенствованию технологии и техники разработки месторождений полезных ископаемых. Массив горных пород в силу особенностей его формирования и строения представляет собой сложный объект для исследований. Напряженное состояние отдельных участков обусловлено различием прочностных, деформационных и иных свойств литологически разных пород, слагающих массив, разнообразием форм и размеров блоков, залежей, пластов и их взаимного расположения.

Наличие в массиве тектонически напряженных зон, возникающих на участках, прилегающих к краям развивающихся разломов различного ранга, а также *напряженных* зон и зон разгрузки, обязанных своим происхождением подвижкам в массиве по неровным поверхностям контактов блоков, тектонических нарушений, слабых прослоек, макроструктурной нарушенности, то можно сделать вывод, что массив горных пород в условиях естественного состояния характеризуется дискретным распределением напряжений. Это, прежде всего, относится к массиву горных пород, располагающемуся вблизи земной поверхности. С ростом же глубины дискретность распределения напряжений в горном массиве постепенно снижается. Это касается и неравномерности в распределении напряжений, вызванной влиянием тектонических нарушений и их пространственного положения. В результате на больших глубинах затрудняется возможность реконструкции направления, а тем более значений главных напряжений по элементам залегания разломов и нарушений. В этом нет особой необходимости, поскольку напряженное состояние в массиве с возрастанием глубины все более и более приближается к гидростатическому. Вместе с тем, местные концентрации напряжений и частичной разгрузки от них, вызванные подвижками в темной коре по неровным поверхностям разломов, могут сохраняться, а, следовательно, на фоне общего гидростатического напряженного состояния могут существовать зоны повышенных и пониженных напряжений. В зонах разгрузки напряженное состояние будет отличаться от гидростатического.

Реальный массив горных пород характеризуется наличием поверхностей, называемых контактными поверхностями или контактами, на которых смещения могут испытывать разрыв. Совокупность таких поверхностей ограничивает структурные элементы массива - блоки, слои, характер взаимодействия которых решающим образом сказывается на проявлениях горного давления. Зачастую массив горных пород имеет ярко выраженное слоистое строение. При существенных различиях в типах слагающих пород слои могут быть отчетливо выделены геологическими исследованиями. При этом, если механические свойства отдельных слоев резко различаются, массив оказывается неоднородным. В некоторых случаях на стадиях геологической разведки трудно выделить границы слоев (например, в однотипных породах или одной породе, но имеющей ослабленные контакты вдоль слоистости). Массив в пределах такой группы слоев может считаться однородным, но необходимо учитывать наличие ослабленных контактов.

То обстоятельство, что сцепление на контактах гораздо меньше (на один-два порядка), чем прочность материалов слоев, весьма существенно. Именно поэтому в областях разгрузки горные породы зачастую легко расслаиваются, сдвигаются по контактам и обнаруживают заметное разрыхление на контактах. Слабое сцепление между слоями в решающей степени определяет характер их деформирования вокруг выработок. Особенно рельефно упомянутые процессы расслоения, сдвига, разуплотнения происходят в породах кровли, где направление силы тяжести совпадает с направлением возможного движения слоев.

Горные породы всегда трещиноваты. Наряду с микротрещинами имеются различные визуальные системы трещин, пересекающих с определенной регулярностью слои и другие элементы массива. Линейные масштабы трещин существенно влияют на свойства массива. Так, микротрещины и трещины с размерами, значительно меньшими характерных геометрических размеров в той или иной конкретной горнотехнической ситуации, учитываются реологическими зависимостями, получаемыми при механических испытаниях образцов в лаборатории или призм достаточных размеров в шахтных условиях. С другой стороны, трещины большой протяженности и поверхности разрывов геологических нарушений выделяются в качестве контактных поверхностей при решении задач. Трещины и контакты с размерами, промежуточными между указанными крайними случаями, либо выделяются как контактные поверхности (при наличии необходимой информации о их конфигурации и условиях взаимодействия), либо учитываются эмпирически введением поправки в решение в виде коэффициента структурного ослабления. Трещиноватость приводит к низкой прочности горных пород при растяжении. В естественном состоянии большинство трещин, как правило, закрыто, поскольку массив находится под действием трехосного сжатия. Однако при ведении горных работ они получают возможность раскрываться в области разгрузки от горного давления. Их раскрытие сказывается на закономерностях смещений горных пород и движения газа в выработки.

История формирования массива в геологические эпохи отражается на особенностях его рельефа, структуры, свойств и осложняет формулировку задач о нахождении напряжений нетронутого горными работами состояния. Эти напряжения играют очень важную роль во всех процессах, сопровождающих добычу полезных ископаемых, поскольку они определяют уровень нагрузок, с которыми приходится иметь дело. Трудность в определении напряжения нетронутого массива заключается еще и в следующем. Массив горных пород не имеет и не может иметь естественного состояния, от которого традиционно ведется отсчет смещений, - он нагружался в процессе формирования. Поэтому в общем случае бессмысленно говорить о смещениях нетронутого состояния, т.к. отсутствует состояние, относительно которого можно вести отсчет. Из сказанного следует, что реальное поле напряжений нетронутого массива в принципе не может быть определено чисто аналитическими средствами. Но и на экспериментальном пути возникают существенные затруднения - невозможно измерить напряжение в массиве, сохранив его состояние нетронутым. Выход из затруднения отыскивают путем сочетания экспериментальных методов с данными о механических свойствах пород, о местах измерений и аналитических расчетов на основе этой информации с некоторыми дополнительными допущениями.

Как известно, уравнения равновесия, несмотря на их недостаточность для нахождения всех компонентов напряжений в каждой точке рассматриваемой области, дают все же возможность интегрально оценивать напряженное состояние. Так, в случае горизонтальной земной поверхности можно утверждать, что в среднем вертикальные напряжения $\sigma_{\gamma H}$ равны весу столба пород единичного сечения $\sigma_{\gamma H} = -\gamma H$, где γ - средний удельный вес пород, H - глубина от поверхности. Другие компоненты напряжений можно определить по методу А.Н. Динника. Приняв целый ряд

допущений об истории формирования массива и его свойствам в ходе этого процесса, получаем следующие соотношения для горизонтальных напряжений: $\sigma_{yh} = \lambda_x \sigma_{yh}$, $\sigma_{yh} = \lambda_z \sigma_{yh}$ где λ_x , λ_z - коэффициенты бокового отпора соответственно по оси OX и OZ.

В процессе отработки месторождения на естественное поле напряжений, существовавшее в горном массиве, накладывается поле напряжений, возникающее под влиянием горных работ. Часть массива горных пород, в пределах которого происходят деформации, сдвиги и обрушение, вызванные перераспределением напряжений в результате ведения очистных работ, называется *областью влияния* выработки. В пределах области влияния очистной выработки выделяются следующие зоны: беспорядочного обрушения; полных сдвигов; опорного давления; разгрузки; защищенная зона, зона предельно-напряженного состояния. Важно знать, как меняются свойства горного массива в процессе проведения горных выработок. В зонах беспорядочного обрушения, а также в краевых зонах интенсивного изгиба слоев горных пород методы теории упругости при решении большинства горнотехнических задач не могут применяться. В остальной части массива, включая зоны разгрузки и опорного давления, применение этих методов вполне допустимо. Проведение выработок вызывает сдвиги и обрушение подработанного массива горных пород. Анализ экспериментальных данных свидетельствует о том, что формирование нагрузок на почве очистной выработки происходит за счет расслоения, отслоения, раскрытия поперечных трещин, смятия пластических шарниров и других сложных процессов в ближайших к выработке слоях. Однако эти процессы при мощности отработываемого пласта, превышающей некоторое критическое значение, практически перестают зависеть от мощности пласта. Поэтому важное значение имеет правильный выбор граничных условий и модели среды в соответствии с целью расчета.

Некоторые исследователи в качестве граничных условий для очистных выработок задают смещения кровли пласта, полученные из натурных наблюдений. Вначале фиксируют положение точек в массиве пород до проведения выработки, а затем сравнивают их с положением после проведения выработки. Подобные эксперименты невозможно провести на всех месторождениях и для множества ситуаций взаимного расположения очистных выработок. Кроме того, смещения пород кровли и почвы определяются нелинейными процессами; не поддаются строгому аналитическому описанию. Поэтому использование взаимных смещений пород кровли и почвы в качестве граничных условий в задачах теории упругости представляется затруднительным.

Иначе обстоит дело при задании обобщенных данных о нагрузках, возникающих при взаимодействии кровли и почвы в качестве граничных условий на почве очистной выработки. При этом фиксируется только состояние пород после сдвига и полностью исключается из рассмотрения сложный путь, по которому это состояние было достигнуто. Нагрузки на почве выработки, полученные экспериментально, довольно стабильны. Так, например, наиболее важные для практики нормальные к напластованию напряжения близки к фактическим вблизи от земной поверхности и вблизи от выработки. На земной поверхности они равны нулю, а у выработки определяются найденными экспериментально значениями на границе почвы и кровли.

Когда очистные выработки расположены так, что их проекции на разрезе вкрест простирания не перекрывают одна другую, можно считать, что наличие других выработок практически не сказывается на эпюре давления подработанных пород на почве каждой выработки, по существу – случай изолированной очистной выработки. Если выработки в свите пластов расположены одна под другой и проекции их пересекаются, кроме того, если на одном из отработываемых пластов оставлен целик, то при задании граничных условий необходимо эти

обстоятельства учитывать. Рассмотрим влияние целика на простом примере (рис. 1). Максимальная нагрузка, приходящаяся на целик, определяется весом столба пород, ограниченного углами давлений φ_i (фигура ABCDEFG на рис.1). Область влияния целика строится по углам δ_i , ($i=1,2,3,4$). Целик оказывает воздействие на нижележащую выработку в пределах зоны своего влияния на промежутке RQ (обозначим величину этого промежутка через q), на котором сказывается воздействие целика. Чтобы не усложнять вычислений, будем считать, что пригрузка от целика распределяется на промежутке RQ равномерно. Тогда величина Δp определяется простым выражением: $\Delta p = -\gamma S/q$. Следует отметить, что при расчетах для конкретных шахтных условий в области ABCDEFG могут встретиться мощные слои крепких пород, которые, прогибаясь, будут удерживать вышележащую толпу. Нагрузка на целик в этом случае может оказаться значительно меньше, чем $\Delta p = -\gamma S/q$.

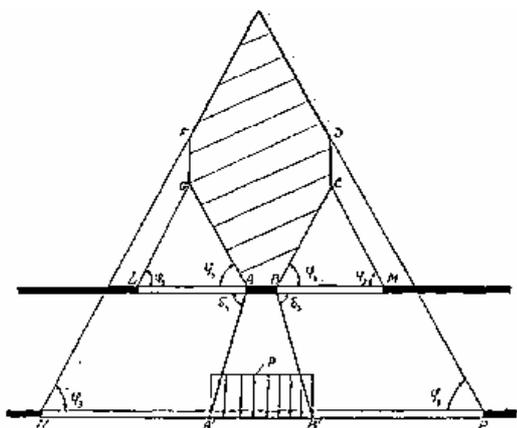


Рис. 1.

Для определения нагрузок, возникающих на границах взаимодействия кровли и почвы от веса подработанных пород в более сложных случаях расположения системы выработок на смежных пластах свиты, разработана специальная методика, суть которой заключается в следующем. Граничные условия на выработке, расположенной в зоне влияния целика, строятся следующим образом. Сначала проводится расчет без учета этой выработки и определяются напряжения, которые возникают на месте ее расположения от влияния всех остальных выработок. Затем проверяется, в каких областях вычисленные на первом этапе напряжения превосходят по абсолютному значению исходные граничные условия на почве рассматриваемой выработки. Вне этих областей напряжения остаются неизменными, а в них принимаются равными тем, которые вычислены ранее. Таким образом, для выработки любой сложной формы в плане опоры нормальных нагрузок, действующих вдоль контакта кровли и почвы, могут быть рассчитаны по формулам, выведенным на основе экспериментальных данных.

Литература:

1. Абдылдаев Э.К. Напряженно-деформированное состояние массива горных пород вблизи выработок. - Фрунзе: Илим, 1990.
2. Абдылдаев Э.К. Численный метод конечных элементов. - Алматы: Эверо, 2009.