

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ НАБРЫЗБЕТОННОЙ КРЕПИ КАК ТОНКОСТЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ

Горные выработки обычно подкрепляются дискретно расположенными либо сплошными обделками. Обделки часто выполняются из набрызгбетона и представляют собой оболочечные конструкции различных конфигураций. При проектировании обделок возникает необходимость оценки их прочности. Традиционный подход к задаче оценки прочности заключается в следующем. С течением времени в системе «обделка – вмещающий массив» создается определенное напряженно-деформированное состояние (НДС). Интенсивность его вырастает с увеличением срока эксплуатации выработки. До тех пор пока напряжения в обделке не превышают некоторых величин, характеризующих механические свойства материала, прочность конструкции считается обеспеченной. В некоторый момент напряжения в обделке могут достичь предела прочности бетона. Предполагается, что тогда и наблюдается разрушение. Такой подход оправдан, если рассматриваются мощные бетонные (железобетонные) обделки, толщина стенок которых соизмерима с общими габаритами выработки. Если же толщина обделки значительно меньше габаритов выработки возможен другой механизм разрушения. Суть его излагается ниже.

Процесс нарастания напряжений в обделке в ходе эксплуатации выработки связан с реологическими свойствами горных пород. Во времени это процесс является медленным. Также медленно растут и деформации. В некоторый момент времени состояние обделки может показаться неустойчивым. Это значит, что появляется возможность бифуркации, т.е. перехода к другим, отличным от исходной формам равновесия. В этот момент в обделке может наблюдаться лавинообразное нарастание деформаций изгиба, многократно превышающих по величине докритические деформации, т.е. те, которые накопились в обделке до потери устойчивости. Причем, если докритические деформации нарастали медленно в течение многих месяцев (или лет) то деформации в момент потери устойчивости нарастают за доли секунд.

Крепи-обделки, как правило, состоят из элементов плоской, цилиндрической и сферической формы (или близких к ним форм). Для пластин, цилиндрических и сферических оболочек характерен процесс потери устойчи-

вости, при котором имеет место линейное достижение критического напряжения, а затем его изменение идет по параболическому закону.

По оси абсцисс отлагают обобщенный параметр деформации, по оси ординат — параметр напряжений. До достижения значения $\sigma_{кр}$ процесс деформирования идет плавно и медленно (почти линейно).

По достижении $\sigma_{кр}$ процесс деформирования становится неустойчивым, скачкообразно изменяются деформации. Оболочка из до критической формы, соответствующей значению параметра $\varepsilon_{докр}$, переходит в закритическую форму, соответствующую значению параметра $\varepsilon_{закр}$. Закритические деформации значительно больше докритических. Процесс смены форм равновесия сопровождается резким изменением напряжений, причем изменяется не только качественный показатель напряжений, но и картина их распределения по поверхности оболочки. Появляются зоны, в которых напряжения падают по сравнению с докритическими, а также зоны, в которых напряжения многократно возрастают.

В процессе закритического деформирования еще до достижения за критических равновесных форм в некоторых зонах обделки напряжения могут оказаться выше предельных и будет наблюдаться локальное разрушение конструкции. Поэтому закритические формы равновесия могут и не быть достигнуты. Локальное разрушение с ростом деформаций может трансформироваться в глобальное, которое закончится полной потерей несущей способности.

Отметим важное обстоятельство. Потеря устойчивости может происходить при таком напряженно-деформированном состоянии, которое с точки зрения традиционного подхода не является критическим. Бифуркация происходит почти мгновенно. Связанное с ней перераспределение напряжений и являющееся следствием локальное разрушение также происходит мгновенно. Наблюдать процесс закритического деформирования визуально невозможно в виду непредсказуемости момента его наступления и быстротечности. Поэтому всегда в выработках наблюдаются только последствия процесса, а не его развитие.

Итак, возможны два механизма исчерпания несущей способности. Первый — достижение предельных значений напряжений в процессе плавного нарастания интенсивности НДС. Второй — потеря устойчивости при напря-

жениях, меньших предельных, сопровождающаяся бифуркационным переходом к смежным формам равновесия.

И в первом и во втором механизмах конечный результат, наблюдаемый визуально, - это разрушение обделки. Но причины совершенно разные.

Важность использования критерия устойчивости при проектировании крепей связана с тем обстоятельством, что потеря устойчивости может (как указывалось выше) наблюдаться при относительно низком уровне напряжений. Обычный прочностной расчет в таком случае приведет к завышению прочностных характеристик конструкции.

Набрызгбетонные крепи, как правило, с помощью анкеров прикрепляются к окружающему массиву. Устойчивость обделки от этого несомненно значительно повышается. При выборе мест расположения анкеров руководствуются обычно технологическими соображениями.

Использование критерия устойчивости при проектировании крепи может внести коррективы в решение этой задачи. Дело в том, что при потере устойчивости свободная оболочка покрывается вмятинами, на ней образуются места, которые значительно отклоняются от до критического состояния, но есть и места, которые практически не перемещаются. Если анкерные штанги располагать на гребнях предполагаемых при бифуркации волн формоизменения, то это существенно повысит устойчивость крепи. Если же анкер попадет в то место, которое при выпучивании мало вовлечено в процесс деформирования то эффект от такого анкера будет невелик. Таким образом, возникает задача оптимального проектирования анкерной системы при создании набрызг-бетонной крепи.

Процесс формоизменения конструкции в свете изложенного выше подхода описывается уравнениями теории устойчивости деформируемых систем. Потеря устойчивости конструкции может быть исследована на основе упрощенных моделей, применяемых избирательно к условно выделенным элементам крепи. Так, например, для камер большого сечения характерно наличие сводовой части. Набрызгбетонное покрытие этого элемента крепи может рассматриваться как цилиндрическая оболочка, равномерно нагруженная внешним давлением. Соответственно стены камеры могут рассматриваться как плоские элементы и к ним может быть применена теория изгиба пластин.

Практическое использование изложенных выше предпосылок представляется осуществить следующим образом. Определяется (с доступной степенью точности) напряженно-деформированное состояние обделки с учетом нескольких факторов (глубина залегания, тектоника, если возможно – время). Оценивается прочность обделки на основе традиционного подхода путем сравнения действующих напряжений с предельно допустимыми. Затем крепь условно расчленяется на составные элементы (плоские, сферические, цилиндрические). Если известно общее НДС, то, естественно, известны и усилия в элементах. Оценивается устойчивость элементов. Если обнаруживается, что в каких-то элементах критические значения параметров нагрузок оказываются меньше предельно допустимых с точки зрения прочности, то становится естественным вывод о необходимости оценки несущей способности элемента по критерию устойчивости, а не по критерию прочности.

Далее следует обратиться к формам потери устойчивости опасного элемента. Форма волнообразования показывает, где и в каком количестве располагаются участки с наиболее интенсивными перемещениями. Именно в этих местах следует располагать анкерные крепления, которые ликвидируют опасность потери устойчивости.

УДК 622.363

Виноградов В.В.

ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ НЕДР

Добыча полезных ископаемых в Украине характеризуется резким снижением их качества, сокращением количества легкодоступных месторождений, увеличением интенсивности проявления сил, оказывающих негативное воздействие на человека, технику и окружающую среду, что ведет к росту затрат и падению конкурентной способности сырья и, как следствие, постепенному разрушению минерально-сырьевой базы Украины. В обеспечении возможности преодоления такой тенденции и создания надежных, безопасных и эффективных технических средств и технологий освоения недр ведущая роль в системе горных наук принадлежит геомеханике – науке о закономерностях проявлений природных и техногенных сил в массиве горных пород, основной задачей которой является оценка, прогноз, контроль и управление интенсивностью таких проявлений.