УДК 622.012: 69.035

Н.С.БУЛЫЧЕВ
Тульский государственный университет

ПРОБЛЕМЫ РАСЧЕТА КРЕПИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК И ОБДЕЛОК ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Рассмотрены проблемы расчета крепи горных выработок и обделок подземных сооружений, связанные с применением признанных в настоящее время положений теории (механики) подземных сооружений к конкретным объектам подземного строительства. Согласно принципу взаимодействия крепи (обделок) с массивом горных пород напряженное состояние подземных конструкций зависит от характеристик начального поля напряжений в массиве, а также от деформационных характеристик пород материала конструкций. Особую и существенную роль играет влияние технологии подземного строительства, позволяющее управлять напряженным состоянием крепи. Правильность и достоверность расчета зависит также и от применяемых методов расчета.

Problems of underground structures design taking into account application of the underground structures design principles to the particular underground objects are discussed. According to the principles of interaction between underground structure and rock mass the underground structure stress state depends from both intact rock mass stress state characteristics and deformation characteristics of the rock mass and structure material. At the same time influence of underground construction technology plays an important role in the structure stress state. The fact is that the technology allows to control of the structure stress state. The validity and plausibility of the underground structures analysis are sufficiently depends from the computational method.

С точки зрения расчета на прочность инженерные конструкции подземных сооружений, контактирующие с массивом горных пород, занимают особое место и не имеют аналогов среди строительных и других конструкций. Методы и выполнение расчетов подземных конструкций по своей сложности не сопоставимы ни с какими другими инженерными конструкциями.

Для этих конструкций не существует нагрузок. Нормальные и касательные напряжения, возникающие на контакте конструкции с массивом горных пород, условно можно считать нагрузками. Они не могут быть заранее определены, так как являются результатом взаимодействия конструкции с массивом пород и зависят от многих факторов: формы сечения сооружения (горной выработки), конструкции и деформационных характеристик материала крепи. Самое главное заключается в том, что напряженное состояние конструкции существенно зависит от технологии проходки выработки и возведения крепи, т.е. нагрузки на крепь формируются самой крепью и технологией ее возведения. Указанные нагрузки (контактные напряжения) не задаются в виде исходных данных, как это принято для всех других инженерных конструкций, а определяются в процессе расчета крепи, причем их можно и не выводить на печать, так как главным результатом расчета являются напряжения в самой конструкции.

Таким образом, нагрузками и напряженным состоянием крепи можно управлять, применяя различные конструкции крепи и технологии их возведения. Как показывают расчеты и опыт строительства подземных сооружений, с точки зрения обычных строительных конструкций, это управление носит зачастую парадоксальный характер. Например, увеличение толщины конструкции может играть отрицательную роль, а податливость, напротив, является положительным качеством, присущим только подземным (горным) конструкциям.

Расчет конструкций подземных сооружений чрезвычайно сложен как по их

СПГГИ (ТУ)
ГЛАВНАЯ
БИБЛИОТЕКА

постановке, так и по применяемым методам. Это связано с тем, что крепь подземных сооружений испытывает действительные нагрузки и воздействия (собственный вес пород, тектонические напряжения, сейсмические воздействия, вес здания над тоннелем, воздействие проходки параллельной выработки и др.), но воспринимает их вместе с окружающим массивом пород, составляя с ним единую деформируемую систему «крепь – массив». Элементы этой системы в процессе нагружения испытывают контактное взаимодействие друг с другом. Здесь, как правило, не применимы обычные методы строительной механики. Наиболее надежными являются аналитические методы расчета, основанные на строгих аналитических решениях соответствующих контактных задач теории упругости.

Однако подземное и шахтное строительство диктует очень сложные в математическом отношении задачи механики. Это контактные задачи для бесконечных и полубесконечных, как правило, многосвязных областей. Напомним, что первое решение задачи об упругой полуплоскости, ослабленной подкрепленным круглым отверстием (тоннель мелкого заложения), получено в 1955 г. И.Г.Арамановичем, а первое решение задачи для упругой плоскости, ослабленной подкрепленным отверстием произвольной формы (выработка произвольного сечения) Н.Н.Фотиевой в 1969 г. В настоящее время разработан и успешно применяется на практике достаточно широкий арсенал методов расчета подземных сооружений: расчет на сейсмические воздействия землетрясений, расчет комплекса параллельных тоннелей, в том числе мелкого заложения, подверженных действию веса зданий и транспортных средств и др. В настоящее время решения ограничиваются плоскими задачами, и многие требуемые практикой задачи и методы расчета пока еще невозможны. Кроме того, в данной области в России специалистов недостаточно, и за рубежом автор не встречал ни специалистов, ни публикаций в данной области.

Решение данной проблемы возможно с помощью численного моделирования. Широкое распространение получил метод конечных элементов. Среди пользователей компьютерных программ распространено убеждение в безусловной правильности получаемых результатов. Автору приходилось слышать такое мнение: «Зачем решать сложные аналитические задачи, когда есть компьютерные программы, которые могут все, в том числе – сложные пространственные задачи с пересечениями выработок, сложным раскрытием их сечений, что не под силу аналитическим методам». Действительно, численное моделирование – очень эффективный инструмент, но пользоваться им следует с большой осторожностью. Во-первых, как в России, так и за рубежом существуют компьютерные программы явно неудовлетворительного качества. Компьютерные программы, применяемые при проектировании подземных сооружений, следует тестировать на соответствие строгим решениям задач теории упругости. Во-вторых, при решении задач расчета подземных сооружений даже при пользовании программами высокого качества возникают трудности, связанные с ограничением области применения и ее закреплением. В результате, если три опытных пользователя одной и той же (хорошей) программы выполняют расчет одного и того же подземного сооружения, то, скорее всего, мы получим три разных результата, которые не соответствуют ни аналитическому решению, ни друг другу.

Важную роль играют исходные данные, требуемые для расчета, среди которых большое значение имеет информация о начальном поле напряжений (значение и направление главных напряжений) в массиве пород. Если для гравитационного поля напряжений еще можно выйти из положения, то в тектонически активных районах требуемых данных либо нет, либо они крайне приблизительны. Другая важная информация – деформационные характеристики пород в массиве, в месте залегания, с учетом масштабного фактора. Как правило, она также отсутствует.

В связи с исходными данными для расчета крепи уместно вернуться к технологии проходки выработки и возведения крепи. Дело в том, что технология проходки может изменить начальное поле напряжений и свойства окружающих выработку пород, что следует обязательно учесть при расчете крепи. Таковы, например, специальные способы проходки: замораживания пород, бурения стволов, тампонажа и цементации пород и др. Заметим, что при проходке стволов способом замораживания пород и образования ледопородного цилиндра в массиве, вследствие объемных деформаций при фазовом переходе воды в лед, образуется поле высоких горизонтальных и вертикальных напряжений, которые определяют нагружение крепи и должны рассматриваться как начальные при расчете крепи.

Свое начальное поле напряжений в массиве формируют и такие способы, как возведение замкнутых в плане сооружений способом «стена в грунте», проходка тоннелей с применением монолитно-прессованной обделки и др.

Особое место, с точки зрения расчета крепи, занимает совмещенный способ проходки стволов с применением монолитной бетонной крепи. Особенность этого способа проходки, требующая обязательного учета при расчете крепи, заключается в нагружении крепи на ранней стадии твердения бетона в момент отрыва и спуска опалубки при первом подвигании забоя ствола. Проблема расчета крепи ствола заключается в отслеживании формирования напряженного состояния крепи при каждом шаге подвигания забоя в процессе твердения бетона, набора прочности и соответствующего повышения модуля деформации. Очевидно, что достаточных исходных данных для такого расчета-исследования крепи мы сегодня не имеем. Отметим, что в 1982 г. произошла крупная авария при проходке ствола на глубине 760 м на хромитовом месторождении в Казахстане. Причиной аварии послужила недостаточная прочность бетона на ранней стадии твердения.

В течение 30 лет аналитические методы расчета получили развитие и широкое применение при проектировании и строительстве в СССР стволов шахт, тоннелей различного назначения и других подземных сооружений. Эти методы являются приоритетными для России. Несмотря на достигнутые сегодня успехи, расчет крепи не терпит шаблона, он требует творческого анализа ситуации, интуиции и принятия нестандартных решений, т.е. остается в значительной степени искусством.

Работа поддержана грантом НШ-1013.2003.5 Президента РФ по поддержке ведущих научных школ РФ.