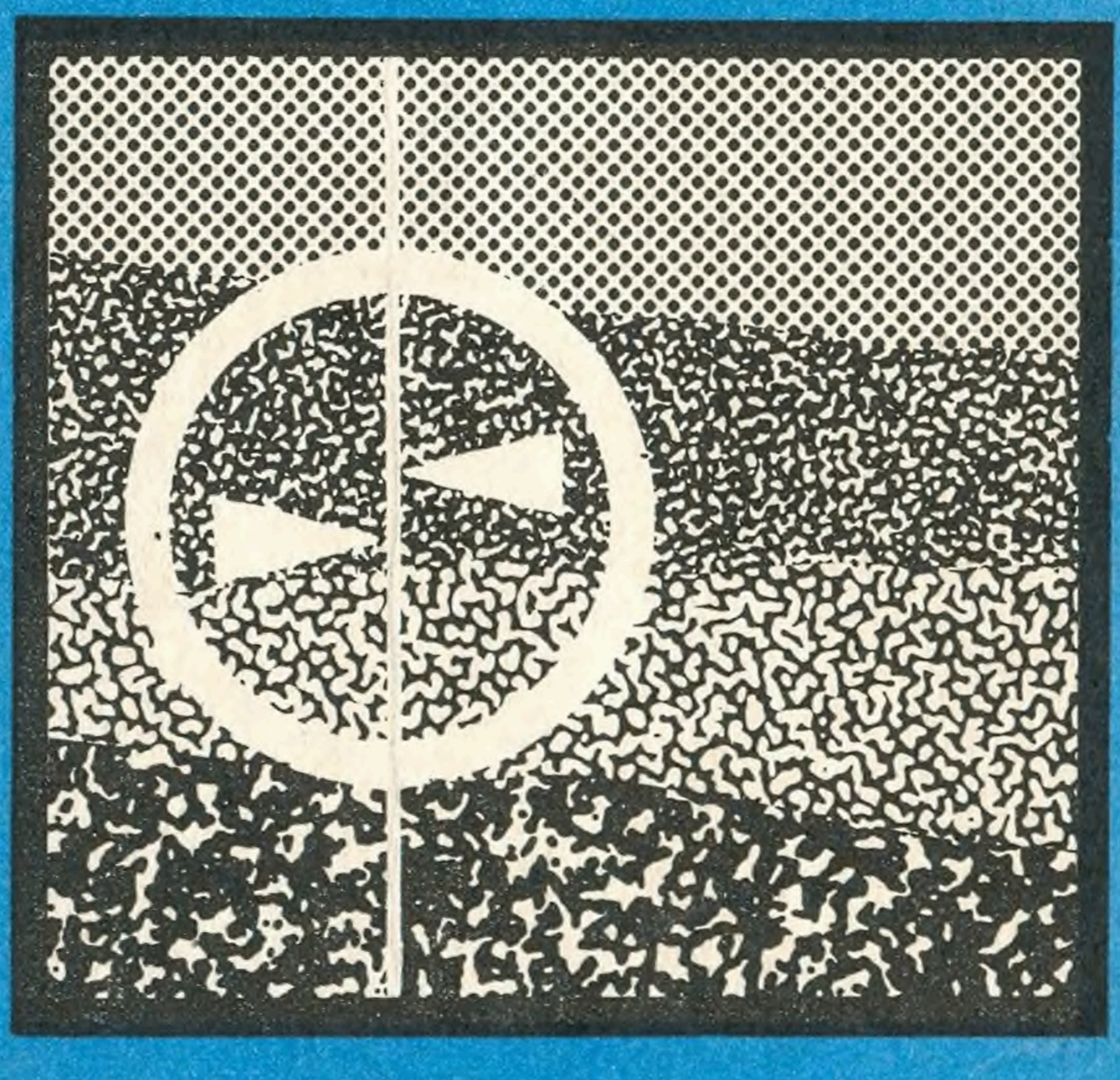
РУКОВОДСТВО ПО ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИМ ИЗЫСКАНИЯМ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОДЗЕМНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ



·энергия·

gost.e-ecolog.ru

Министерство энергетики и электрификации СССР

Главниипроект

Всесоюзный ордена Ленина проектно-изыскательский
и научно-исследовательский институт Гидропроект
имени С.Я. Жука

РУКОВОДСТВО ПО ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИМ ИЗЫСКАНИЯМ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОДЗЕМНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

П-655-77
Гидропроект



Москва "Энергия" 1978

УДК 550. 8:627.8.035.4

В руководстве даны основные сведения, необходимые для организации и выполнения инженерно-геологических изысканий для подземных гидротехнических сооружений. В разделе 1 дается описание методов изучения геологического строения, гидрогеологических условий, физико-механических свойств пород, физико-геологических явлений, температурных условий и газоносности пород. В разделе 2 описываются изыскания, которые надо проводить на различных этапах и стадиях проектирования гидротехнических сооружений.

Руководство рассчитано на инженеров и техников, работающих в области изысканий для гидротехнического строительства.

Р $\frac{30211-184}{051(01)-78}$ без объявл.

© Всесоюзный ордена Ленина проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт Гидропроект им. С.Я. Жука, 1978.

ВВЕДЕНИЕ

Проектирование гидротехнических сооружений в горных областях связано с решением сложных вопросов подземного строительства. Перспективными планами развития гидроэнергетики предусматривается строительство гидроэлектростанций с крупными туннелями и подземными камерами для машинных залов. Это ставит перед инженерами-геологами ответственные задачи по обоснованию проектов этих сооружений, решение которых требует совершенствования методов изысканий и исследований.

Первая инструкция по производству инженерно-геологических изысканий для гидротехнических туннелей (И-33-53) была составлена в 1953 г., когда опыт изысканий и объемы работ по строительству этих сооружений были еще сравнительно невелики. Краткое изложение принципов программирования инженерно-геологических изысканий для подземных сооружений содержится в инструкциях и руководствах по определению состава и объема изысканий для гидротехнического строительства, вышедших в 1962 (И-34-61) и 1974 гг. (П-651-74).

В настоящее время назрела необходимость обобщения накопившегося опыта и выпуска более подробного руководства, отвечающего современным требованиям проектирования и строительства подземных гидротехнических сооружений.

Настоящее руководство составлено на основе опыта инженерно-геологических изысканий и исследований Армгидропроекта, Тбилгидропроекта, Средазгидропроекта и других отделений, занимающихся проектированием подземных сооружений, а также отделов скальных оснований и геофизических изысканий и исследований Гидропроекта. Оно рассчитано на инженеров-геологов и предназначено помочь им на разных этапах и стадиях проектирования уяснить задачи, выбрать методы, установить состав и объемы необходимых

изысканий и исследований для различных подземных гидротехнических сооружений.

Руководство должно способствовать повышению качества материалов инженерно-геологических изысканий при одновременном сокращении их сроков, объемов и стоимости. Это может быть достигнуто на основе соблюдения следующих методических принципов программирования изысканий: своевременное получение обоснованного технического задания на изыскания от проектировщиков; дифференцированный подход к составу и объему изысканий в зависимости от значимости сооружения и возможностей изучить условия его строительства; применение наиболее прогрессивных методов изысканий и исследований.

Предлагаемое руководство не ставит своей целью подробно осветить все вопросы методики инженерно-геологических изысканий и исследований для подземного гидротехнического строительства, так как многие из них являются узкоспециализированными и для их проведения имеются подробные рудоводства и инструкции. Перечень справочной и методической литературы приведен в конце книги.

Раздел первый

ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ И ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1. Задачи изысканий

В практике гидротехнического строительства возводятся разнообразные по конструкции и назначению подземные сооружения: деривационные и отводящие туннели гидроэлектростанций, туннели напорных водоводов, камеры для машинных залов и трансформаторных подстанций ГЭС и ГАЭС, туннели ирригационного и другого водохозяйственного назначения, строительные и транспортные туннели, строительные шахты и пр. (рис. 1).

По глубине заложения от дневной поверхности подземные сооружения могут различаться следующим образом: мелкого заложения – до 200, средней глубины заложения – от 200 до 500, глубокого заложения – более 500 м.

По протяженности различают туннели: короткие – до 1, средней длины – от 1 до 5 и длинные – более 5 км.

По условиям работы туннели могут быть напорными и безнапорными.

Проектирование и строительство подземных гидротехнических сооружений требуют тщательного изучения и анализа конкретных инженерно-геологических условий для обоснования принимаемых проектных решений: выбора трасс туннелей и водоводов, а также участков расположения машинных залов; выбора типов и конструкций крепления; определения способов ведения строительных работ. Эти задачи в зависимости от этапов и стадий проектирования (схема комплексного использования водотока, технико-экономическое обоснование, технический проект, рабочие чертежи), а так-

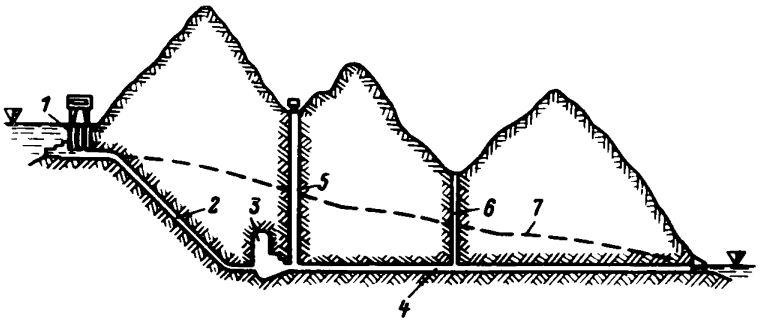


Рис. 1. Схема деривационной гидроэлектростанции с подземным машинным залом в начале деривации.
1 – головной узел; 2 – напорный туннель турбинного водовода; 3 – подземная камера машинного зала; 4 – безнапорный отводящий туннель; 5 – аэрационная шахта; 6 – строительная шахта; 7 – проекция естественного русла реки.

же типов, размеров, глубины заложения и условий работы сооружений решаются с различной детальностью. На методику, состав и объемы инженерно-геологических изысканий влияют также сложность геологического строения и гидрогеологических условий, доступность местности и ее обнаженность.

Особенности инженерно-геологических изысканий для строительства подземных гидротехнических сооружений определяются тем, что эти сооружения закладываются на значительной глубине. Поэтому изыскания и исследования не всегда могут обеспечить достаточно полную и точную информацию о строении и свойствах горных пород в пределах всего интересующего проектировщиков горного массива. Полнота и точность сведений об инженерно-геологических условиях строительства подземных сооружений зависят также от сложности геологического строения и правильного выбора и комплексирования методов изысканий и исследований. При проведении изысканий следует учитывать, что горные породы в подземных сооружениях могут служить одновременно основаниями, средой и материалами, используемыми в конструктивных элементах (своды, стены, опорные целики, колонны и т.п.).

Основными природными факторами, определяющими инженерно-геологические условия возведения и эксплуатации подземных гидротехнических сооружений, являются следующие:

1) геологическое строение района – состав, литологические и текстурные особенности, распространение, мощность и условия залегания коренных горных пород, мощность и состав покровных отложений;

2) тектоника района – наличие складчатых и разрывных тектонических структур, зон ослабления пород, характер и ориентировка преобладающих систем трещин;

3) гидрогеологические условия, наличие водоносных горизонтов, их распространение, водообильность, водопроницаемость горных пород, распределение напоров подземных вод, химический состав и агрессивность подземных вод;

4) физико-механические свойства горных пород в массиве с учетом их литологических и текстурных особенностей, трещиноватости, влажности, водостойкости, определяющие способы производства строительных работ, типы и конструкции временного и постоянного крепления;

5) физико-геологические и инженерно-геологические процессы, влияющие на строительство и эксплуатацию подземных сооружений, сейсмоактивность и возможность проявления современных тектонических подвижек блоков пород;

6) геотермические условия, определяющие условия строительства и эксплуатации подземных сооружений глубокого заложения, а в зоне многолетней мерзлоты – на небольших глубинах;

7) газоносность горных пород – наличие и возможности поступления в подземные горные выработки взрывоопасных и вредных для здоровья людей и сохранности техники природных газов.

1.2. Изучение геологического строения района

1.2.1. Задачи изучения геологического строения

Геологическое строение является главнейшим фактором, определяющим условия строительства и эксплуатации подземных сооружений, поэтому тщательное его изучение является первейшей задачей инженерно-геологических изысканий на всех стадиях.

По сложности геологического строения и обнаженности районы проектирования подземных гидротехнических сооружений подразделяются на три категории:

I – районы распространения преимущественно крепких скальных осадочных или интрузивных пород с относительно простой стратиграфией и тектоникой, ясно выраженными и хорошо прослеживаемыми контактами, хорошей обнаженностью и отсутствием физико-геологических процессов, отрицательно влияющих на работу сооружения;

II – районы распространения различных по составу и крепости скальных и полускальных осадочных, интрузивных и вулканогенных пород с несложной стратиграфией и тектоникой, но со слабо выраженными, нечеткими контактами, наличием отдельных разрывных тектонических нарушений, с недостаточной обнаженностью и отдельными проявлениями физико-геологических процессов;

III – районы распространения различных по составу, крепости и устойчивости скальных, полускальных, глинистых и рыхлых пород со сложной стратиграфией, сложными фациальными взаимопереходами и не выдержанными по простиранию слоями пород, с разнообразной и трудно картируемой тектоникой, наличием крупных разрывных тектонических нарушений, сложной гидрогеологией, плохой обнаженностью и интенсивным развитием физико-геологических процессов, влияющих на оценку инженерно-геологических условий.

При изучении геологического строения района строительства подземных гидротехнических сооружений на всех этапах и стадиях проектирования обязательному изучению и освещению подлежат следующие основные геологические вопросы:

а) петрографический состав, литологические и текстурные особенности горных пород, их сохранность;

б) распространение, мощности и формы залегания основных стратиграфо-литологических комплексов и отдельных разновидностей пород;

в) наличие, характер и ориентировка складчатых и разрывных тектонических структур, зон нарушения (ослабления) пород, преобладающих систем трещин;

г) проявление современной тектоники и сейсмичности.

Знание петрографического состава, литологических, текстурных особенностей, трещиноватости и сохранности пород

позволяет правильно оценить их прочностные свойства, разрабатываемость и устойчивость в подземных выработках.

Представление о распространении, мощности и условиях залегания слоев горных пород, особенно неустойчивых, необходимо для выбора трасс и мест расположения туннелей, водоводов, камер для машинных залов ГЭС и ГАЭС и оценки инженерно-геологических условий отдельных участков строительства.

Выявление форм, характера и ориентировки основных складчатых и разрывных тектонических структур, зон нарушения и ослабления пород, преобладающих систем трещин и т.п. дает возможность определить места повышенного смятия и напряженного состояния пород, участки возможного проявления повышенного горного давления, характер и величины возможных вывалов пород, прогнозировать водопритоки и пр.

Прогноз возможных проявлений современной тектоники и сейсмичности особо важное значение имеет в случаях проектирования туннелей большой протяженности, пересекающих различные в геоструктурном отношении горные хребты, региональные глубинные разломы и пр.

Изучение геологического строения, как правило, начинается со сбора и анализа имеющихся литературных, фондовых и архивных геологических материалов, составления предварительных геологических карт и разрезов. Дальнейшее натурное изучение геологического строения в зависимости от стадии проектирования и наличия материалов предыдущих исследований может быть ограничено инженерно-геологическим обследованием местности или сопровождаться инженерно-геологическими съемками соответствующих масштабов, закладкой специальных горных выработок и буровых скважин, электроразведкой, магниторазведкой, сейсморазведкой и пр.

1.2.2. Инженерно-геологические съемки

На предварительных стадиях проектирования [схема использования реки, первый этап технико-экономического обоснования (ТЭО)] для выбора и предварительной оценки отдельных вариантов компоновки сооружений осуществляют инженерно-геологическое обследование местности, в про-

цессе которого уточняют имеющиеся геологические материалы и дополняют представления о трещиноватости пород, интенсивности физико-геологических процессов и пр. При отсутствии геологических карт на этом этапе выполняют мелкомасштабные съемки.

При изысканиях для составления ТЭО и технического проекта всегда выполняются съемки, масштабы которых выбираются в зависимости от стадии проектирования, типа, размеров, капитальности и условий работы проектируемого сооружения, сложности геологического строения и доступности местности.

По трассам туннелей масштабы инженерно-геологических съемок могут изменяться от 1:50 000 до 1:5000. Наиболее мелкие масштабы съемок принимаются на ранних этапах проектирования (схемы, первый этап ТЭО) для туннелей с несложными инженерно-геологическими условиями при глубоком их заложении и большой протяженности. Для туннелей глубокого заложения, находящихся в сложных геологических условиях, могут проводиться съемки среднего масштаба. Наиболее крупные масштабы съемок принимаются на стадии технического проекта для крупный туннелей, проходимых в сложных инженерно-геологических условиях и при относительно небольшой их протяженности.

На участках расположения подземных камер машинных залов ГЭС и ГАЭС, по портальным участкам туннелей и т.п. масштабы инженерно-геологических съемок следует принимать не мельче 1:5000 - 1:10 000.

При определении ширины полосы инженерно-геологической съемки по трассе гидротехнического туннеля следует исходить из того положения, что она должна охватывать все рассматриваемые проектом варианты трассы и освещать геологическое строение на необходимую глубину. Поэтому желательно, чтобы в контуры съемки вошли обнажения всех комплексов пород, в которых должен пройти туннель. В связи с этим контуры съемки на отдельных участках могут быть расширены, а в случаях пологого залегания пород и слабой изрезанности территории, когда обнажения пород находятся на значительном расстоянии от мест расположения

сооружений, для их изучения необходимо делать специальные маршруты.

Основные съемочные маршруты следует прокладывать по возможности вкрест простиранию пород, обращая особое внимание на изучение комплексов и отдельных разновидностей слабых пород, контактов и зон тектонических нарушений.

Для получения объективных и обоснованных характеристик по составу и свойствам пород в ходе съемки следует систематически отбирать образцы для лабораторного определения состава и физико-механических свойств пород.

Среди складчатых структур следует тщательно выделять осевые части антиклиналей и синклиналей, зоны малой складчатости, смятия пород и т.п. Для всех элементов складок должна быть дана ориентировка их в пространстве и основные размеры.

Разрывные тектонические нарушения рекомендуется различать по мощности (ширине) и протяженности приразломных зон дробления, трещиноватости и осложняющей складчатости с учетом их подразделения на порядки. Изучение разломов и сопровождающих их зон милонитизации, дробления и трещиноватости следует проводить с особой тщательностью, так как при пересечении их туннелем обычно возникают большие осложнения: нарушается устойчивость кровли и стенок выработки, увеличивается приток подземных вод и т.п. На участках разломов сильно снижаются показатели деформируемости пород в массиве, что имеет важное значение при проектировании напорных туннелей. При изучении разлома необходимо прежде всего установить его порядок, которым определяется масштаб сопровождающих его нарушений. Затем должен быть определен кинематический тип разлома (сброс, надвиг, взброс и т.п.), установлены направления и амплитуда смещения, охарактеризованы зоны милонитизации, дробления и трещиноватости. Кроме того, изучаются соотношения данного тектонического нарушения с другими структурными элементами, а также явления, сопровождающие тектоническое нарушение: трещины оперения, приразрывная сланцеватость, изгиб слоев у поверхности сместителя и пр.

Все эти данные используются при оценке инженерно-геологических условий трассы туннеля.

1.2.3. Изучение трещиноватости пород

Для оценки характера и степени трещиноватости горных пород необходимо определять основные генетические типы трещин, их густоту (частоту), ширину (раскрытие), протяженность, элементы залегания плоскостей трещин (азимут и угол падения), шероховатость стенок, состав и свойства заполнителя. Количественную оценку степени трещиноватости пород следует производить по модулю трещиноватости или по их блочности в массиве.

Модуль трещиноватости характеризует количество трещин, развитых на протяжении 1 м рассматриваемого разреза горного массива. По модулю трещиноватости горные породы рекомендуется подразделять на четыре группы (табл. 1).

Таблица 1

Группа пород	Модуль трещиноватости	Среднее расстояние между трещинами, м
Слаботрещиноватые.....	1,5	0,65
Среднетрещиноватые.....	1,5 – 5	0,20 – 0,65
Сильнотрещиноватые.....	5 –30	0,03 – 0,20
Весьма сильнотрещиноватые (раздробленные)....	30	0,03

Модуль трещиноватости обычно определяют как для исследуемых обнаженных поверхностей пород, так и для каждой из основных систем трещин. Применительно к последним он определяется вкрест простиранию к плоскостям трещин и в таком виде используется для решения общегеологических задач, а также в практике проектирования гидротехнических сооружений. Этот показатель служит при решении вопросов механизма образования трещин, их возраста, связи с основными складчатыми и разрывными структурами, а также дает возможность судить об анизотропии инженерно-геологических свойств пород (прочность, деформируемость, водо- и газопроницаемость и пр.).

Модуль трещиноватости горных пород используется в расчетах бетонных и железобетонных обделок туннелей и водоводов на трещиностойкость и трещинообразование. В таких случаях его следует определять в поперечном сечении и в продольном разрезе подземной выработки.

Удобным для количественной оценки общей трещиноватости пород является также показатель их блочности. Он дает представление о размерах блоков, на которые рассекается массив скальных пород различными трещинами.

Для оценки трещиноватости используются также результаты опытных нагнетаний и наливов воды в буровые скважины. По удельному водопоглощению q (л/мин) горные породы могут подразделяться следующим образом:

Очень слаботрещиноватые	$< 0{,}01$
Слаботрещиноватые	$0{,}01 - 0{,}1$
Среднетрещиноватые	$0{,}1 - 1$
Сильнотрещиноватые	> 1

Однако этот показатель является косвенным и может быть использован только при наличии других качественных и количественных характеристик трещиноватости.

При бурении разведочных скважин о степени трещиноватости пород судят по выходу керна. В особых случаях для этой цели используют также геофизические методы (ультразвуковой, электрический, гамма-гамма-каротаж) и фотобуроскопическую документацию.

Весьма важное значение при изучении общей трещиноватости горных пород имеют сведения об элементах залегания основных систем трещин. Собранные в процессе полевых исследований данные о простирании и углах падения трещин подвергаются графической обработке, что позволяет систематизировать и наглядно показать закономерность их ориентировки. Чаще всего для этого используют круговые диаграммы, диаграммы-розы и карты трещиноватости. Характерный пример круговой диаграммы трещиноватости, составленной применительно к практике проектирования гидротехнических туннелей, приведен на рис. 2. Эта форма графической обработки позволяет наглядно представить ориентировку основных систем трещин и выбрать место расположения и компоновку проектируемых подземных

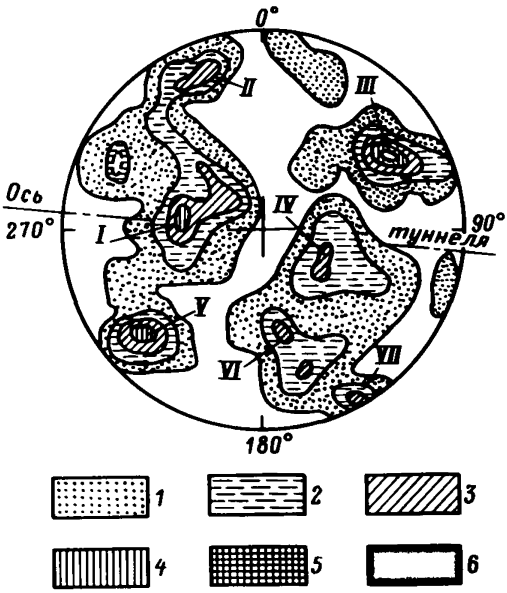


Рис. 2. Круговая диаграмма трещиноватости горных пород. Процентное содержание трещин: 1 – до 2%; 2 – до 5%; 3 – до 10%; 4 – до 15%; 5 – до 20%; 6 – до 30%; I–VII – системы трещиноватости.

сооружений по отношению к наиболее неблагоприятным системам трещин, которые могут способствовать образованию вывалов пород.

Неблагоприятными для устойчивости пород обычно являются системы трещин с субпараллельным простиранием по отношению к стенкам подземных выработок, имеющие крутые (от 40 до 80°) углы падения, глинистый заполнитель, зеркала скольжения и т.п. В этих случаях независимо от состава и крепости пород в своде и стенках выработок неизбежны переборы и вывалы. При этом высота куполов вывалов над сводом обычно определяется направлениями сходящихся плоскостей трещин. Типичные схемы неблагоприятного сочетания основных систем трещин и их влияния на устойчивость пород в горизонтальных выработках приведены на рис. 3 и 4. В выработках, проходимых в слоистых скальных породах с ярко выраженной пластовой отдельностью, вывалообразование пород происходит в основном со стороны нависающих пластов (рис. 5). Опыт показывает, что объемы вывалов меньше зависят от крепости пород, чем от степени их трещиноватости, характера напластования,

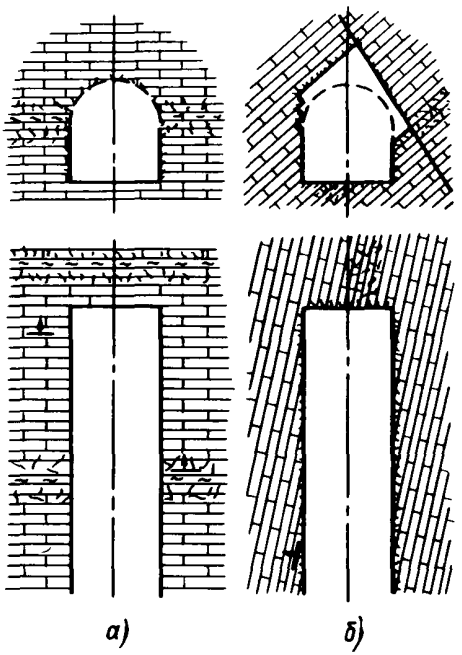


Рис. 3. Характерные случаи пересечения пластов и трещин в горных массивах при проходке туннелей. а – благоприятные (под прямым углом); б – неблагоприятные (под острым углом).

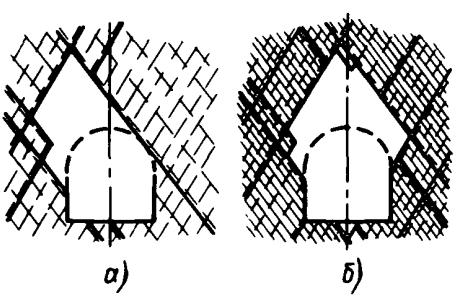


Рис. 4. Примеры неблагоприятного сочетания основных систем трещин и их влияния на образование вывалов при проходке туннелей.
а – асимметричные вывалы пород при наличии глинистого заполнителя трещин по одной из систем трещин; б – симметричные вывалы при наличии глинистого заполнителя по двум системам трещин.

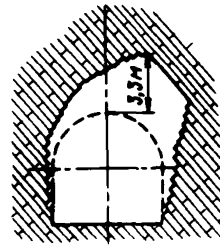


Рис. 5. Характерные вывалы в туннелях, проходимых в слоистых скальных породах (известняках и т.п.) с ярко выраженной трещиноватостью напластования.

угла падения, мощности пластов, обводненности, наличия слабых прослоев, глинистого заполнителя по трещинам и т.п. Этими же факторами обычно определяется и асимметрия очертаний вывалов.

Некоторые примеры крупных вывалов, связанных с зонами тектонического дробления, смятия и обводненности пород при проходке туннелей, приведены на рис. 6. Следует, однако, иметь в виду, что большая часть таких вывалов помимо инженерно-геологических факторов бывает обусловлена несоблюдением соответствующих технических условий проходки выработок: нарушениями технологии разработки, неоправданно большими зарядами взрывчатых веществ, отставанием или недостаточной прочностью крепления и т.п. При проходке туннелей на глубинах до 30-40 м и неправильном ведении буровзрывных работ вывалы иногда захватывают породы до дневной поверхности.

При проектировании и строительстве туннелей, как правило, более благоприятными представляются случаи, когда туннели проходят вкрест или под углами более 45° по отношению к простиранию пластов и основных тектонических нарушений. В этих случаях обычно наблюдается более частое чередование различных инженерно-геологических условий, но при встрече неблагоприятных участков пласты пересекаются по кратчайшему расстоянию.

При прохождении туннелей по простиранию или под острыми углами к направлению простирания пород и основных тектонических нарушений чаще всего возникают неблагоприятные условия. При выборе трассы в этих условиях сле-

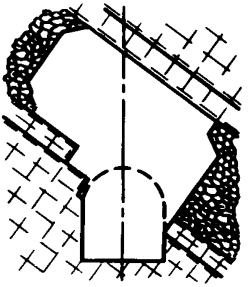


Рис. 6. Крупный вывал породы, связанный с зоной тектонического дробления.

дует обращать особое внимание на то, чтобы туннель не прошел по наиболее слабым пластам или не совпал бы с зоной крупного тектонического нарушения.

1.2.4. Разведочные работы

Разведочные выработки имеют большое значение для освещения инженерно-геологических условий строительства подземных сооружений, так как с их помощью уточняется геологическое строение, устанавливаются водопроницаемость и водоносность пород, а также геотермические условия и газоносность. С этими целями по трассам туннелей и на участках расположения подземных камер проходят глубокие буровые скважины, а на участках неглубокого заложения сооружений – горные выработки. Применение разведочных работ, особенно горных выработок, ограничено трудностями доступности горной местности и большой глубиной заложения сооружений. Поэтому к назначению их необходимо подходить весьма обоснованно, с учетом условий выполнения работ.

Для обоснования схемы использования разведочные выработки закладываются лишь в виде исключения, в случае необходимости выяснения особо важных вопросов. В ТЭО выработки в минимальном количестве закладываются по всем вариантам расположения подземных сооружений для оценки, сравнения и выбора оптимального из них. На стадии технического проекта разведочные выработки закладываются

в необходимом количестве по выбранному варианту компоновки подземных сооружений. В отдельных случаях для выяснения некоторых нерешенных вопросов разведочные выработки проходят и на стадии рабочих чертежей.

Основную часть разведочных выработок закладывают на наиболее важных и сложных в инженерно-геологическом отношении участках. К их числу относятся: портальные участки туннелей на склонах с широким развитием мощных поверхностных отложений; участки развития слабых и недостаточно устойчивых горных пород; контакты и зоны тектонических нарушений; участки развития оползней, карста, пород с повышенной водоносностью; участки неглубокого заложения туннелей, прохождения их под современными и погребенными эрозионными понижениями рельефа.

Горные разведочные выработки (шурфы, шахты, смотровые скважины, штольни) дают наиболее полную и объективную информацию о геологическом строении, однако применение их ограничено большой стоимостью горных работ, которая резко возрастает с увеличением глубины выработки. Поэтому их обычно закладывают только на порталах туннелей и в местах заложения различных подземных камер для вскрытия отдельных контактов и зон ослабления пород, залегающих на относительно небольшой глубине. На стадии технического проекта и рабочих чертежей горные выработки могут закладываться также для выполнения специальных опытных исследований.

Для разведки трасс туннелей и участков других подземных сооружений глубокого заложения проходят буровые скважины. Разведочные скважины, закладываемые на трассе выбранного варианта туннеля, как правило, должны достигать отметки его подошвы. Максимальная глубина скважин при этом не должна превышать 300 м, так как более глубокое бурение связано с необходимостью использования тяжелого бурового оборудования, затруднениями в получении керна, сложностью выполнения на больших глубинах опытных исследований и пр. Бурение скважин, не достигающих отметки заложения туннеля, а также глубиной более 300 м должно обосновываться особыми геологическими условиями или проектно-техническими соображениями.

По трассам туннелей такие скважины могут закладываться при необходимости подсечения важных контактов и зон,

водоносных слоев и пр. Глубокие скважины проходят по осям проектируемых строительных шахт и камер подземных зданий ГЭС, ГАЭС, а также во всех случаях, когда есть основания опасаться встретить неблагоприятные гидрогеологические и геотермические условия.

Частоту заложения буровых скважин и общий их метраж на каждой стадии проектирования выбирают в зависимости от назначения и глубины заложения подземных сооружений, сложности геологического строения, обнаженности и доступности местности. На завершающей стадии изысканий на портальных участках трасс туннелей скважины могут закладываться как по оси, так и на поперечниках.

Геофизические методы изучения геологического строения обычно применяют для обоснования ТЭО и технического проекта. С помощью этих методов могут быть получены хорошие результаты при выявлении контактов и зон распространения пород, резко отличающихся по физическим свойствам. Наиболее успешно эти методы используются на трассах туннелей и на участках других подземных сооружений малой и средней глубины заложения. По трассам туннелей и других сооружений глубокого заложения, а также при сильной изрезанности местности поверхностные методы геофизической разведки, как правило, имеют ограниченное применение и часто не дают желаемых результатов. В этих случаях находят применение главным образом различные скважинные методы геофизики (ультразвуковой, электрический, термокаротаж скважин и т.п.), которые дают возможность определить некоторые относительные характеристики физико-механических свойств пород (степень сохранности, деформационные свойства и др.), а также геотермические условия.

1.3. Изучение гидрогеологических условий

1.3.1. Задачи изучения гидрогеологических условий

Гидрогеологические наблюдения и исследования, выполняемые при инженерно-геологических изысканиях на различных стадиях и этапах проектирования подземных гидротехнических сооружений, должны дать материал, необходимый для характеристики общих гидрогеологических условий

и установления параметров отдельных водоносных горизонтов, которые используются при проектировании на стадии технического проекта.

Основными вопросами, которые должны быть освещены при характеристике гидрогеологических условий, являются следующие:

1) стратиграфическое положение, литологический состав, условия залегания водовмещающих пород и основных водоупоров;

2) гидравлические типы основных водоносных горизонтов, их распространение и мощность;

3) условия питания, циркуляции и дренирования водоносных горизонтов, положение уровней и режим подземных вод;

4) водопроницаемость и водообильность пород;

5) химизм и агрессивность подземных вод.

Большая часть перечисленных вопросов решается в комплексе с другими вопросами инженерно-геологических изысканий в ходе выполнения инженерно-геологических съемок, разведочных работ по трассам и участкам расположения основных сооружений. Для более подробного изучения гидрогеологических вопросов могут выполняться гидрогеологическая съемка, бурение гидрогеологических скважин, опытно-фильтрационные работы и некоторые специальные исследования: изучение направления и действительных скоростей движения подземного потока, выявление карстовых полостей, путей движения сосредоточенных подземных потоков и пр.

По трассам напорных деривационных туннелей и на участках других подземных сооружений с водонепроницаемой облицовкой, подвергающейся воздействию больших естественных гидростатических напоров, на ранних стадиях изысканий должны быть установлены уровни подземных вод. На стадии технического проекта для изучения режима подземных вод должны быть организованы стационарные гидрогеологические наблюдения в скважинах, горных выработках и на источниках, которые впоследствии должны быть продолжены в период строительства, а в случае необходимости и в период эксплуатации сооружений. Данные о химизме подземных и поверхностных (проходящих по туннелю) вод

должны отражать все возможные его изменения по характерным сезонам года.

Изучение гидрогеологических условий на каждой стадии (этапе) проектирования должно давать достаточный материал для прогноза возможных притоков вод в подземные выработки, определения гидростатических напоров подземных вод, действующих на обделку сооружений, и оценки агрессивности вод по отношению к бетону.

1.3.2. Прогноз притока воды в подземные выемки

Прогноз возможных притоков вод в подземные выемки – одна из сложнейших задач гидрогеологических исследований. Эта сложность обусловлена трудностью учета всего многообразия и непостоянства отдельных факторов, определяющих гидрогеологические условия, особенно при наличии трещинных и карстовых вод, в районах с несколькими взаимодействующими водоносными горизонтами и при наличии связи подземных вод с поверхностными. Наибольшую трудность представляет прогноз притоков трещинно-напорных вод, приуроченных к зонам тектонических нарушений и карстовых вод. С этими водами при проходке подземных выработок часто бывают связаны большие притоки воды, а иногда и внезапные прорывы вод, дебит которых в начальный период может достигать нескольких сотен литров в секунду, но затем он обычно уменьшается.

В зависимости от конкретных гидрогеологических условий и наличия соответствующих исходных данных для определения ожидаемого притока подземных вод в горные выработки пользуются следующими основными методами: аналитическим, гидрогеологических аналогий, водного баланса и моделирования.

Аналитический метод наиболее часто используют в практике прогнозов притока воды в гидротехнические подземные выемки. При этом в большинстве случаев используют наиболее простые расчетные формулы и уравнения, учитывающие, однако, основные гидрогеологические параметры, запасы вод, форму и глубину заложения выемки. Основой для расчета притока воды в подземные выемки служат данные о водопроницаемости и водообильности пород.

Для изучения водопроницаемости и водообильности пород во всех основных разведочных выработках, пройденных в тех слоях, из которых ожидается приток в подземную выемку, выполняют опытные откачки, наливы и нагнетания воды. Нагнетания обычно проводят на отметках заложения сооружений для испытаний как водоносных пород, так и залегающих в зоне аэрации. Нагнетания производят с целью прогноза водопритоков или возможной фильтрации воды из деривационных туннелей и оценки поглощений материала при укрепительной цементации, создании противофильтрационных завес и пр. При этом практически водоупорными следует считать породы, характеризующиеся удельными водопоглощениями менее 0,01 л/мин.

Опытные откачки, наливы и нагнетания, а также обработку результатов по ним следует производить в соответствии с действующими инструкциями и методическими указаниями.

Для определения притока воды в шахтные стволы и системы выработок применяют формулы Дюпюи, в которых радиус скважины r заменяют радиусом шахтного ствола или приведенным радиусом r_0, соответствующим площади системы выработок ("большого кольца") и определяемым по формуле

$$r_0 = \sqrt{\frac{F}{\pi}}, \qquad (1)$$

где F – площадь проектируемой системы выработок.

Ожидаемый приток воды ($м^3$/сут) в таких случаях может быть определен по формулам:

для грунтовых вод (рис. 7)

$$Q = \frac{1{,}36\,K(2H-S)S}{\lg R - \lg r_0}; \qquad (2)$$

для напорных вод (рис. 8)

$$Q = \frac{2{,}73\,KMS}{\lg R - \lg r_0}, \qquad (3)$$

где K – коэффициент фильтрации водоносных пород, м/сут; H – мощность водоносного слоя грунтовых вод или высота пьезометрического уровня напорных вод, измеряемая

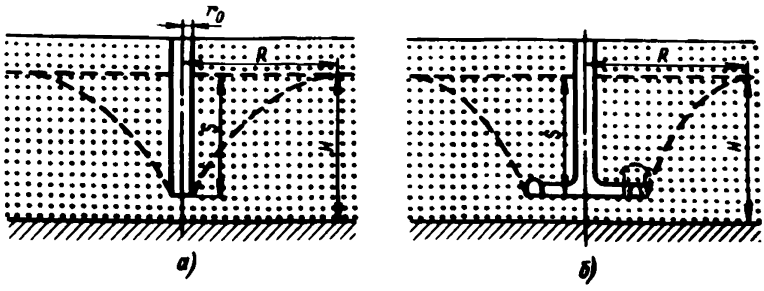


Рис. 7. Схема притока безнапорных вод.
а – к шахтному стволу; б – к системе выработок.

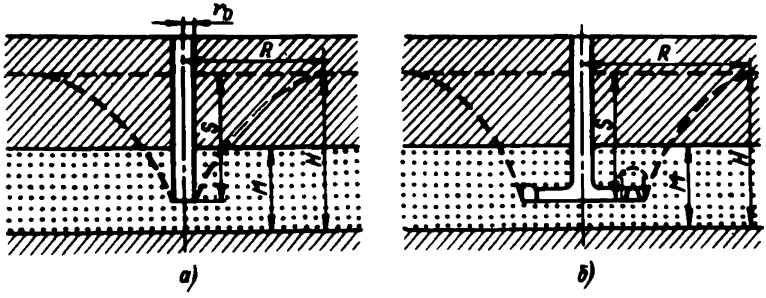


Рис. 8. Схема притока напорных вод.
а – к шахтному стволу; б – к системе выработок.

от подошвы водоносного слоя, м; S – среднее по контуру системы выработок понижение уровня грунтовых или пьезометрического уровня напорных вод, м; M – мощность водоносного слоя напорных вод, м; R – радиус влияния, м; r_0 – радиус шахтного ствола или приведенный радиус системы выработок, м.

При сложном строении грунтовых и напорных водоносных горизонтов с различной водопроницаемостью отдельных слоев в расчетах водопритоков следует принимать средневзвешенное значение коэффициента фильтрации, определяемое по формуле

$$K = \frac{K_1 m_1 + K_2 m_2 + \ldots + K_n m_n}{m_1 + m_2 + \ldots + m_n}, \qquad (4)$$

где $K_1, K_2, \ldots, K_n$ – коэффициенты фильтрации слоев, линз, пачек водоносного горизонта; m_1, m_2, m_n – мощности слоев, линз, пачек.

При наличии нескольких разобщенных напорных водоносных горизонтов водопритоки определяют по каждому из них отдельно. Однако следует учитывать, что шахтные стволы обычно вскрывают все водоносные горизонты, а горизонтальные и наклонные выработки – только часть водоносной толщи. В связи с этим нередко приходится делать отдельные расчеты водопритоков по шахтным стволам и по системам горизонтальных и наклонных выработок, используя в зависимости от конкретных расчетных условий различные расчетные схемы.

Водопритоки в горизонтальные и наклонные подземные выемки зависят от того, как эти сооружения заложены по отношению к водоносным горизонтам или отдельным контурам питания. Поэтому в каждом конкретном случае для определения притока необходимо выбирать соответствующую гидродинамическую схему расчета.

Приток безнапорных вод к "совершенной" горизонтальной выработке, заложенной на водоупоре, при поступлении воды с двух сторон (рис. 9, а) может быть определен на основе формулы Дюпюи

$$Q = \frac{K(H^2 - h^2)B}{R}, \qquad (5)$$

где K – средний коэффициент фильтрации водоносных пород, м/сут; H – средняя мощность водоносного горизонта, м; h – высота выклинивания кривой депрессии в стенке выработки, м; B – длина выработки, м; R – ширина полосы влияния, м.

Для поступления воды с одной стороны выработки, например в условиях потока грунтовых вод, приток определяется по той же формуле с уменьшением его вдвое:

$$Q = \frac{K(H^2 - h^2)B}{2R}. \qquad (6)$$

При расположении выработки вблизи поверхностного водоема или реки (рис. 9, б) приток воды со стороны последних

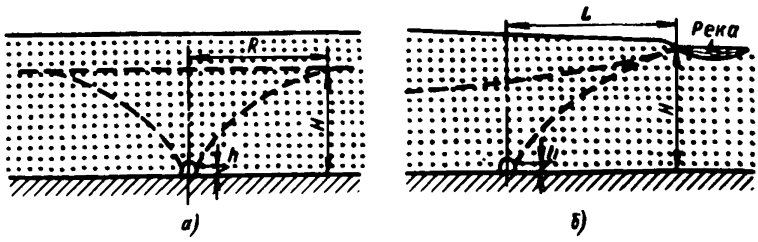


Рис. 9. Схемы притока безнапорных вод к "совершенной" горизонтальной выработке.
а – двусторонний приток; б – односторонний приток со стороны водоема.

определяется по формуле

$$Q = \frac{K(H^2 - h^2)B}{2L}, \qquad (7)$$

где L – расстояние от оси выработки до водоема или реки.

Приток безнапорных вод к "несовершенной" горизонтальной выработке при глубоком залегании водоупора (рис. 10) может быть определен по формуле Костякова

$$Q = \frac{2KH_1B\alpha}{\ln R - \ln r}, \qquad (8)$$

где $\alpha = \pi/2 + H_1/R$; H_1 – статический напор воды над центром выработки, м; r – радиус (или приведенный радиус) выработки, м. Остальные обозначения те же, что и в формуле (5).

Приток напорных вод к "совершенной" горизонтальной выработке (рис. 11) определяется по формуле

$$Q = \frac{K(2HM - M^2 - h^2)B}{R}, \qquad (9)$$

где M – мощность напорного водоносного горизонта, м. Остальные обозначения те же, что и в формуле (5).

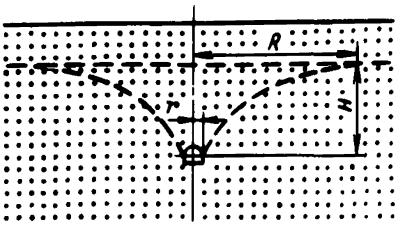


Рис. 10. Схема притока безнапорных вод к "несовершенной" горизонтальной выработке при глубоком залегании водоупора.

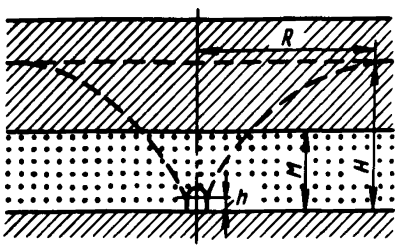


Рис. 11. Схема притока напорных вод к "совершенной" горизонтальной выработке.

При одностороннем притоке воды в выработку расходы, определенные по формулам (8) и (9), следует уменьшить вдвое.

Следует сказать, что водопритоки в горизонтальные подземные выработки, определяемые аналитическими методами по вышеприведенным формулам, оказываются близкими к фактическим лишь в случаях с относительно однородными пористыми водоносными породами и при неглубоком заложении выработок. В остальных случаях прогнозируемые этими методами водопритоки чаще оказываются завышенными.

При большой мощности водоносного горизонта и глубоком заложении горизонтальной выработки кривая депрессии уровня подземных вод, особенно в слабоводопроницаемых породах, не опускается до стенок выработки, а лишь образует над ней некоторое понижение (рис. 12). Вода в выработку поступает по всему периметру обнаженной ее поверхности, но дренируется (осушается) при этом только некоторая часть водоносного горизонта. Задача определения притока в указанном случае не имеет удовлетворительного

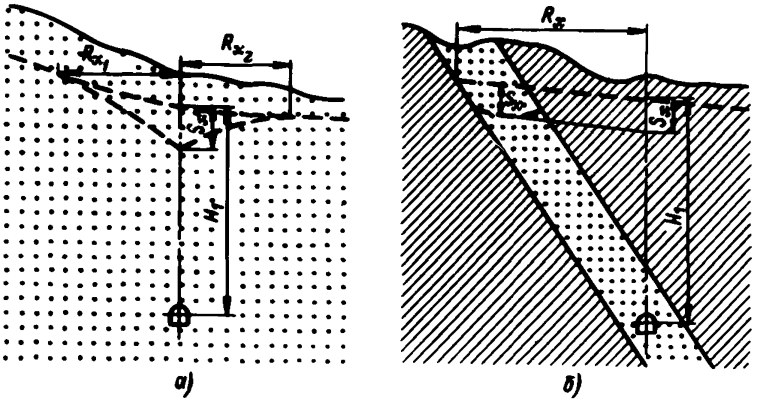


Рис. 12. Схема притока вод к "несовершенной" горизонтальной выработке глубокого заложения.
а – безнапорные воды; б – напорные воды.

аналитического решения. Вместе с тем очевидно, что если горизонтальная подземная выработка не в состоянии дренировать всю вышележащую толщу пород над ее сводом, то, следовательно, водоприток в нее определяется фильтрационной способностью ее обнаженной поверхности. Приток воды ($м^3$/сут) к такой выработке независимо от характера водоносного горизонта (безнапорного или напорного) приближенно может быть определен на основе закона и формулы Дарси для линейной фильтрации

$$Q = KFI, \qquad (10)$$

где K – коэффициент фильтрации пород, м/сут; F – площадь обнаженной поверхности водоносных пород по периметру выработки, $м^2$; I – напорный градиент, который при незатопленной выработке может приниматься равным единице.

Эта формула в основном используется для прогноза водопритока в туннели глубокого заложения, где водоносными являются слабоводопроницаемые трещиноватые или пористо-трещиноватые скальные и полускальные породы.

Более правильно вышеуказанная задача может быть решена с помощью пространственной модели ЭГДА, которая,

однако, также не всегда точно может отобразить и учесть все факторы гидрогеологических условий.

Для определения радиуса влияния чаще всего используется эмпирическая формула Кусакина

$$R = 2S\sqrt{KH}. \qquad (11)$$

Применительно к водозаборам большой площади (системам выработок и т.п.) эта формула используется в следующем виде:

$$R = 2S\sqrt{KH} + r_0. \qquad (12)$$

Для напорных вод используется формула Зихардта:

$$R = 10S\sqrt{K}. \qquad (13)$$

Однако эта формула часто дает заниженное значение радиуса влияния.

Для "совершенных" горизонтальных водозаборов используется также формула Лембке

$$R = \sqrt{\frac{3HKt}{\xi}}, \qquad (14)$$

где t – время (продолжительность) водоотлива, сут; ξ – водоотдача пород в долях единицы. Остальные обозначения те же, что и в формулах (3), (5) и др.

Метод определения водопритока по гидрогеологическим аналогиям, основанный на изучении фактических данных по водоотливу из ранее построенных выработок в сходных гидрогеологических условиях, является приближенным и может быть использован в основном на предпроектных стадиях или в случаях, когда водопритоки представляются явно незначительными.

Определение водопритока по водному балансу может быть использовано лишь в случаях неглубокого заложения подземных выработок, при наличии местного питания, невозможности использования других методов или для получения сравнительных данных с целью проверки результатов, полученных на основе аналитических расчетов.

Способы различного моделирования гидрогеологических условий для определения водопритока в подземные выработки применяются сравнительно редко и главным образом в тех случаях, когда объект исследования, являясь сложным в гидрогеологическом отношении, заслуживает особого внимания, а расчеты по другим методам не дают удовлетворительных результатов. Наиболее распространенным в практике исследований для гидротехнического строительства является метод моделирования, основанный на электрогидродинамических аналогиях (ЭГДА), который позволяет решать как плоские, так и пространственные задачи. Расчеты водопритоков с помощью моделирования обычно выполняются специализированными подразделениями научно-исследовательских институтов и специальных лабораторий.

1.3.3. Прогноз распределения напоров и оценка агрессивности воды

Прогноз распределения напоров подземных вод вдоль трасс туннелей, водоводов и других подземных сооружений является обязательной частью обоснования проектов этих сооружений на всех стадиях проектирования.

Для безнапорных подземных сооружений знание положения уровней и напоров подземных вод имеет важное значение при определении возможных водопритоков, мощности водоотливных средств и пропускной способности дренажных устройств. Знание положения уровня и напоров подземных вод необходимо также для оценки возможного развития некоторых инженерно-геологических процессов, связанных с разгрузкой подземных вод (суффозионного выноса частиц, вымыва заполнителя трещин, прорыва подземных вод в выработку, деформаций пород под напором воды, гравитационного уплотнения и осадок пород в пределах воронки депрессии и т.п.)

При проектировании напорных туннелей, водоводов и других сооружений, обделка которых чаще устраивается водонепроницаемой, важное значение имеет также учет возможных гидростатических напоров подземных вод, действующих на конструкцию обделки.

Прогноз распределения напоров подземных вод, действующих на обделку подземных сооружений, производится на

основе инженерно-геологических разрезов, на которые должны быть нанесены уровни подземных вод и показатели водопроницаемости пород, полученные при проходке разведочных выработок и гидрогеологических исследованиях. При этом должно учитываться также дренирующее влияние как поверхностной эрозионной сети, так и самих подземных выработок, а в зоне влияния подпора воды в водохранилище – возможное повышение уровня.

Для напорных туннелей и водоводов глубокого заложения, предусматривающих частичный дренаж подземных вод (*шпуровой, заобделочный* и т.п.), прогноз распределения напоров, действующих на обделку, достаточно правильно может быть сделан только с помощью исследований на пространственной модели ЭГДА. В необходимых случаях такие исследования обычно выполняются на стадии рабочих чертежей.

Оценка агрессивности подземных и поверхностных вод производится по данным о химизме этих вод на основе инструкции "Признаки и нормы агрессивности воды – среды для железобетонных и бетонных конструкций" (СН 249-63).

При проектировании напорных подземных сооружений предъявляются более высокие требования к данным о химизме и к оценке агрессивности вод, причем следует учитывать все возможные изменения этих показателей по характерным сезонам года. Известно, например, что выщелачивающая агрессивность вод горных рек, пропускаемых по туннелям, и некоторых подземных вод резко возрастает в паводковый период, а сульфатная агрессивность подземных вод может возрастать зимой.

Наблюдаются также случаи повышения агрессивности подземных вод, поступающих в подземную выемку в результате подтока вод из различных водоносных горизонтов, дренируемых выемкой, и смешения вод различного химического состава.

1.4. Изучение физико-механических свойств пород

1.4. 1. Общая инженерно-геологическая характеристика различных видов пород

В практике изысканий и исследований для подземных гидротехнических сооружений чаще всего приходится иметь

дело со скальными и полускальными породами и реже – с крупнообломочными, песчаными и глинистыми. Каждый из указанных видов пород характеризуется свойственными ему особенностями и физико-механическими свойствами, для выявления которых используются различные методы исследований.

К скальным относятся породы с пределом прочности на сжатие в водонасыщенном состоянии более 20 МПа, с водостойкими жесткими связями между зернами. Это различные изверженные, метаморфические и наиболее прочные осадочные породы – известняки, песчаники и т.п., которые по характеру связей между зернами подразделяются на спаянные (кристаллические) и сцементированные. Прочность последних зависит от состава зерен и цемента. Наиболее прочными являются кремнистый и кварцевый цементы, менее прочным – известковистый цемент.

Физико-механические свойства скальных пород зависят от их минералогического состава и структурно-текстурных особенностей (степени раскристаллизованности, размеров и формы зерен, состава и типа цемента, микрослоистости и микротрещиноватости, вторичных изменений и пр.). Важной особенностью скальных пород является их трещиноватость, вследствие чего свойства этих пород в образце и в массиве могут резко отличаться. Поэтому петрографические исследования и полевое изучение трещиноватости скальных пород являются основой правильного определения их физико-механических и строительных свойств (прочности, разрабатываемости, буримости, устойчивости, проницаемости, деформируемости и пр.).

К полускальным относятся многие сцементированные породы, но с ослабленными или способными к резкому ослаблению при водонасыщении связями между зернами, а также растворимые породы. Предел прочности этих пород на сжатие в воздушно-сухом состоянии колеблется от 1 до 20 МПа и уменьшается при водонасыщении. К полускальным породам также принято относить и выветрелые, наиболее трещиноватые и измененные разности изверженных и метаморфических пород (дресвяные, гидротермально измененные, каолинизированные), некоторые пирокластические (туфы, туффиты) и многие осадочные породы: песчаники, конгломераты, брекчии на глинистом, глинисто-извест-

ковом, гипсовом цементе, аргиллиты и алевролиты, глинистые сланцы, мергели, мел, силициты, каменная соль, гипс и др.

Физико-механические свойства полускальных пород, так же как и скальных, существенно зависят от их петрографического состава, состава и типа цемента, структурных и текстурных особенностей. Важными факторами, определяющими физико-механические свойства и поведение этих пород как среды для подземных сооружений, являются их трещиноватость и водоносность.

Проходка подземных выработок в полускальных породах часто бывает связана с проявлением значительного горного давления, набуханием, пучением, деформациями крепления, обделки и т.п. Для предотвращения развития указанных явлений нередко приходится прибегать к особым способам проходки и осуществлению ряда специальных мероприятий (усиленное крепление, незамедлительное выполнение работ по обделке и заобделочной инъекции, недопущение увлажнения, выветривания пород и пр.).

К группе нескальных пород относятся сыпучие и связные породы, различные по составу и генезису. По физико-механическим свойствам они подразделяются на крупнообломочные, песчаные и глинистые породы. Проходка горных выработок в нескальных породах обычно бывает связана с проявлениями значительного горного давления и ряда других инженерно-геологических процессов. С крупнообломочными и песчаными породами часто связаны крупные вывалы, а в случае их водоносности – значительные притоки подземных вод, нередко сопровождающиеся суффозионным выносом мелких частиц с нарастающим обрушением грунтов и плывунными явлениями. Проходка подземных выработок в таких грунтах часто бывает возможна лишь с применением специальных методов: водопонижения, замораживания, опережающего химического закрепления, с использованием щитового способа проходки и пр.

Для глинистых пород часто характерны деформации, связанные с их пластическим течением под воздействием естественных гравитационных напряжений в горных массивах, а также набуханием. В выработках глубокого заложения, как правило, наблюдается выпирание (пучение) этих пород на незакрепленных участках подошвы или стен. Максимальную

способность к набуханию имеют высокодисперсные бентонитовые и некоторые другие глины с твердой природной консистенцией. Давление набухания в них иногда достигает 1–1,2 МПа и более. Это нередко является причиной разрушения крепи (обделки) и сужения проектного сечения выработок, что очень осложняет строительство и эксплуатацию подземных сооружений.

1.4.2. Состав и объем исследований пород

Для получения классификационных характеристик и расчетных показателей физико-механических свойств горных пород как среды подземных гидротехнических сооружений выполняются их лабораторные и полевые исследования, примерный состав которых приведен в табл. 2.

Лабораторные и полевые исследования должны выполняться для всех выделяемых по геолого-петрографическим и генетическим признакам основных элементов (слоев, линз, магматических тел и т.п.) инженерно-геологического разреза. При этом особое внимание должно быть обращено на так называемые "слабые" элементы разреза (прослои, зоны и пр.), которые нередко, несмотря на их относительно небольшие размеры, играют решающую роль при оценке устойчивости пород и выборе конструкции обделки подземных сооружений. Особенно тщательно должны выбираться места для проведения полевых исследований физико-механических свойств горных пород.

При всех лабораторных и полевых испытаниях механических свойств горных пород следует учитывать анизотропность их строения (слоистость, наличие глинистых и других слабых прослоев, направление преобладающих систем трещин).

Лабораторные исследования физико-механических свойств пород в основном выполняются в соответствии с действующими ГОСТ и общепринятыми инструктивными указаниями. Отличительная особенность испытаний некоторых механических свойств заключается лишь в том, что эти испытания, как правило, выполняются с водонасыщением (замачивание) пород и при более высоких нагрузках. При анизотропном строении пород их опробование должно быть строго ориентированным по отношению к пло-

скостям напластования, рассланцевания и т.п. или к плоскостям главных систем трещин.

Таблица 2

Характеристики	Виды пород			
	Скальные	Полускальные	Крупнообломочные и песчаные	Глинистые
Петрографический состав	+	+	+	+
Гранулометрический состав	–	–	+	+
Плотность минеральной части	+	+	+	+
Плотность	+	+	+	+
Естественная влажность	–	+	+	+
Показатели пластичности	–	–	–	+
Предел прочности на сжатие	+	+	–	–
Трещиноватость	+	+	–	–
Показатели сопротивления сдвигу	+	+	+	+
Угол естественного откоса	–	–	+	–
Модуль деформации	+	+	+	+
Коэффициент отпора	+	+	+	+
Коэффициент Пуассона	+	+	+	+
Водопоглощение	+	+	–	–
Набухание	–	+	–	+
Размокаемость	–	+	–	+
Просадочность	–	–	–	+
Содержание водорастворимых солей	–	+	+	+
Коэффициент фильтрации	+	+	+	+

Показатели сопротивления пород сдвигу обычно определяются для наиболее слабых их разностей, способных оказывать боковое давление на обделку (крепь) горных выработок. Исследования проводятся в приборах методом сдвига плиток по трещинам напластования или по искусственно

подготовленным поверхностям. При оценке устойчивости пород в стенках горных выработок принято считать, что, если угол падения пластов меньше угла трения породы о породу в плоскости наслоения, пласты будут находиться в устойчивом состоянии и сил бокового горного давления возникать не будет. Если же угол падения пластов больше указанного угла трения, скольжение пластов или блоков породы становится вполне возможным, а при обводнении – неизбежным. Это следует учитывать также как фактор, проявления которого можно ожидать и в процессе эксплуатации подземного сооружения.

В особо ответственных случаях (при значительной высоте стен подземных выработок, наличии плоскостей ослабления) определения показателей сопротивления пород сдвигу следует выполнять по индивидуальной методике как в лабораторных условиях, так и в натуре.

Расчетные значения показателей сопротивления пород сдвигу следует принимать в соответствии с расчетными показателями физического состояния их в массиве по средне-минимальной огибающей поля рассеяния частных значений.

Набухание горных пород, как правило, определяют на образцах в лаборатории по обычной методике, но иногда эти свойства определяют и непосредственно в горных выработках, чаще всего в комплексе с изучением горного давления.

Полевые опытные исследования деформационных свойств, опыты по изучению горного давления и пучения пород выполняют специализированные подразделения научно-исследовательских или крупных проектно-изыскательских организаций. Эти исследования являются наиболее сложными в организационном отношении и проводятся большей частью на стадии рабочих чертежей непосредственно в строительных выемках или специальных камерах.

В зависимости от стадии проектирования, размеров и значения каждого инженерно-геологического элемента для проектируемого сооружения количество лабораторных и стандартных полевых определений физико-механических свойств пород может изменяться в пределах от 3 до 30. Количество полевых определений деформационных свойств для наиболее характерных разностей пород обычно не превышает 5. Для изучения горного давления и пучения пород чаще всего выполняют единичные опыты.

1.4.3. Методы определения показателей крепости горных пород

Наиболее специфичными для подземного гидротехнического строительства являются следующие показатели физико-механических свойств пород: крепость, деформационные свойства, горное давление, пучение пород в строительных выемках.

Коэффициент крепости горных пород $f_{кр}$, предложенный в 1926 г. М.М.Протодьяконовым, применяется для сравнительной характеристики горных пород и оценки их по следующим показателям: сопротивляемость бурению, отбойке и взрыванию, устойчивость при обнажении и давление на крепь.

По теории, разработанной этим ученым, допускается, что все породы, в том числе скальные и полускальные, в которых обычно имеется много трещин, можно условно рассматривать как сыпучие тела с увеличенным коэффициентом трения, учитывающим также и силы сцепления. Этот увеличенный коэффициент трения было предложено называть кажущимся коэффициентом трения, или коэффициентом крепости пород. М.М.Протодьяконовым была предложена классификация горных пород по коэффициенту крепости, которая используется в горном деле (табл. 3).

Основным критерием для определения коэффициентов крепости скальных и твердых полускальных пород служит отношение

$$f_{кр} = \frac{R_{сж}}{100}, \qquad (15)$$

где $R_{сж}$ – предел прочности породы на сжатие.

М.М.Протодьяконов считал, что коэффициент крепости может быть неодинаковым в отношении буримости, отбойки, устойчивости, горного давления, и рекомендовал в отдельных случаях относиться к его определению с большой осторожностью.

В настоящее время в практике гидротехнического строительства принято различать два коэффициента крепости пород – в отношении разрабатываемости и в отношении устойчивости и горного давления. При применении коэффициента крепости во втором случае следует иметь в виду, что

он не полностью характеризует физико-механические свойства пород в массиве. Поэтому использование его в формуле для определения коэффициента отпора и других показателей является условным и требует введения эмпирических поправочных множителей. Единой основой для определения коэффициентов крепости в обоих указанных отношениях является временное сопротивление образцов горных пород при одноосном сжатии.

Таблица 3

Степень крепости пород	Породы	Коэффициент крепости пород $f_{кр}$
В высшей степени крепкие	Наиболее крепкие, плотные и вязкие кварциты и базальты, исключительные по крепости другие породы	20
Очень крепкие	Очень крепкие граниты, кварцевый порфир, кремнистый сланец, менее крепкие, чем указанные выше, кварциты, самые крепкие известняки и песчаники	15
Крепкие	Гранит (плотный) и гранитовые породы, очень крепкие песчаники и известняки, кварцевые рудные жилы, крепкий конгломерат, очень крепкие железные руды	10
	Известняки (крепкие), некрепкий гранит, крепкие песчаники, крепкий мрамор, доломит, колчеданы	8
Довольно крепкие	Обыкновенный песчаник, железные руды	6
	Песчанистые сланцы, сланцеватые песчаники	5
Средние	Крепкий глинистый сланец, некрепкий песчаник и известняк, мягкий конгломерат	4
	Разнообразные сланцы (некрепкие), плотный мергель	3

Продолжение табл. 3

Степень крепости пород	Породы	Коэффициент крепости пород $f_{кр}$
Довольно мягкие	Мягкий сланец, мягкий известняк, мел, каменная соль, гипс, мерзлый грунт, антрацит, обыкновенный мергель, разрушенный песчаник, сцементированная галька и хрящ, каменистый грунт	2
	Щебенистый грунт, разрушенный сланец, слежавшаяся галька и щебень, крепкий каменный уголь ($f_{кр} \approx 1,4 \div 1,8$), отвердевшая глина	1,5
Мягкие	Глина (плотная), средний каменный уголь ($f_{кр} \approx 1,0 \div 1,4$), крепкий нанос, глинистый грунт	1,0
	Легкая песчанистая глина, лёсс, гравий, мягкий уголь ($f_{кр} = 0,6 \div 1,0$)	0,8
Землистые	Растительная земля, горф, легкий суглинок, сырой песок	0,6
Сыпучие	Песок, осыпи, мелкий гравий, насыпанная земля, добытый уголь	0,5
Плывучие	Плывуны, болотный грунт, разжиженный лёсс и другие разжиженные грунты ($f_{кр} \approx 0,1 \div 0,3$)	0,3

Для определения временного сопротивления сжатию пород в настоящее время широко применяется ряд методов, позволяющих производить массовые испытания образцов, практически всех разновидностей скальных и полускальных пород. Эти методы основаны главным образом на принципе раскалывания и допускают испытание пород сжатием на образцах правильной, неправильной и полуправильной формы.

Исследованиями установлено, что между пределами прочности для образцов неправильной формы $R_{сж.н}$ и правильной (цилиндрической или кубической) формы $R_{сж}$ су-

ществует следующая зависимость:

$$R_{сж.н} \approx 0{,}19\, R_{сж}. \qquad (16)$$

Для пород с сильно выраженной сланцеватостью важно знать их прочностные свойства вдоль и поперек слоистости. При их изучении можно использовать методы испытаний на растяжение, скалывание и изгиб применительно к отдельным плиткам породы, имея в виду соотношения:

$$R_{раст} \approx 3 \div 5\%\, R_{сж};$$

$$R_{скал} \approx 6 \div 8\%\, R_{сж};$$

$$R_{изг} \approx 7 \div 15\%\, R_{сж}.$$

Для пород, ослабленных выветриванием, со слабым цементом, для брекчий, конгломератов и т.п. при испытаниях важно соблюдать масштабный фактор. Испытываемые образцы этих пород должны иметь бóльшие размеры по сравнению с образцами однородных пород. Например, для обломочных разностей пород представительность образца обеспечивается при условии, что

$$d_{обр} \approx 6{,}7\, d_{зер},$$

где $d_{обр}$ – средний диаметр образца, мм; $d_{зер}$ – средний диаметр зерен (обломков), мм.

При изучении прочностных свойств пород по керну буровых скважин и использовании для определения коэффициента крепости известного отношения $f_{кр} = 0{,}01\, R_{сж}$ следует учитывать тот факт, что образцы для лабораторных испытаний чаще всего отбирают из наиболее сохранных пород, а менее сохранные участки их исследуют или по единичным образцам, или вообще не исследуют.

Для нахождения обобщающих показателей прочности выделяемых геологических элементов (слоев, зон, участков пород и пр.) необходимо пользоваться уравнениями:

$$R_{сж} = \frac{R_{сж1}\, l_1 + R_{сж2}\, l_2 + \ldots + R_{сжn}\, l_n}{l_1 + l_2 + \ldots + l_n}; \qquad (17)$$

$$f_{кр} = \frac{f_1 l_1 + f_2 l_2 + \ldots + f_n l_n}{l_1 + l_2 + \ldots + l_n}, \qquad (18)$$

где $R_{сж}$ – средневзвешенное значение предела прочности породы при одноосном сжатии; $R_{сж1}, R_{сж2}, \ldots, R_{сжn}$ – пределы прочности пород при одноосном сжатии на соответствующих исследованных участках; $f_{кр}$ – средневзвешенное значение коэффициента крепости; $f_1, f_2, \ldots, f_n$ – коэффициенты крепости соответствующих исследованных участков пород; $l_1, l_2, \ldots, l_n$ – длины соответствующих исследованных участков пород по буровым скважинам.

В многослойной толще пород осреднение следует делать по мощности отдельных слоев.

При выборе расчетных показателей коэффициентов крепости пород необходимо учитывать также их трещиноватость, направление преобладающей трещиноватости, наличие глинистого заполнителя или глинистых прослоев, глин или брекчий трения, зеркал скольжения по трещинам и т.п. Эти факторы в зависимости от их значимости для оценки разрабатываемости, устойчивости пород или проявления горного давления должны учитываться введением в известное отношение М.М. Протодьяконова (15) соответствующего поправочного коэффициента

$$f_{кр} = \nu \frac{R_{сж}}{100}, \qquad (19)$$

где ν – поправочный коэффициент, значение которого для скальных пород в зависимости от степени их трещиноватости может быть установлено по табл. 4.

Таблица 4

Степень трещиноватости пород	Поправочный коэффициент ν	
	для разработки	для обделки
Слаботрещиноватые.	0,9–1,0	0, 8– 0,9
Среднетрещиноватые. . . .	0,7–0,9	0,6–0,8
Сильнотрещиноватые	0,5–0,7	0,3–0,6
Весьма сильнотрещиноватые	0,3–0,5	0,1–0,3

Максимальные значения поправочного коэффициента следует принимать при хорошей изученности прочностных свойств и относительно слабой трещиноватости пород, минимальные – при недостаточной и неравномерной изученности прочностных свойств, наличии глинистого заполнителя, зеркал скольжения по трещинам, обводненности пород и т.п.

Расчетные значения коэффициентов крепости в отношении устойчивости и горного давления для деривационных туннелей, водоводов, напорных камер и других подземных сооружений, заполняемых водой, следует определять с учетом водонасыщения пород (через $R_{сж}$ в водонасыщенном состоянии).

При неблагоприятном сочетании главных направлений систем трещин и наличии в них глинистого заполнителя коэффициенты крепости пород в отношении их устойчивости и горного давления иногда практически могут оцениваться по заполнителю. В ходе строительства подземных сооружений это обычно практикуется в тех случаях, когда приходится иметь дело с крупными вывалами пород и асимметричным давлением пород на крепь. При этом нередко коэффициенты крепости приближенно определяются также на основе теории М.М.Протодьяконова о горном давлении из отношения

$$f_{кр} \approx \frac{L}{2H}, \qquad (20)$$

где L – пролет выработки, м; H – высота купола вывала над проектным очертанием свода выработки, м.

Для мягких полускальных, глинистых, рыхлых крупнообломочных и песчаных пород расчетные значения коэффициентов крепости допускается определять по табл. 3 или на основе формул:

для связных пород

$$f_{кр} = \frac{tg\varphi\sigma + c}{\sigma}; \qquad (21)$$

для рыхлых (сыпучих) пород

$$f_{кр} = tg\varphi, \qquad (22)$$

где $tg\varphi$ – коэффициент внутреннего трения; φ – угол

внутреннего трения; σ – нормальное напряжение, при котором определяется сопротивление сдвигу; c – сцепление.

Большую помощь в изучении показателей крепости пород могут оказать также ультразвуковые испытания образцов и ультразвуковой каротаж скважин (шпуров). Для этого в лабораторных условиях на образцах устанавливается корреляционная связь между $R_{сж}$ и скоростью распространения упругих волн, а затем проводится массовый ультразвуковой каротаж скважин или шпуров. Хорошая постановка этих исследований может дать обобщенные показатели $R_{сж}$ и $f_{кр}$ пород в массиве, а также позволяет выделить участки пород с различной степенью трещиноватости, сохранности и т.п.

1.4.4. Методы определения деформационных свойств горных пород

Деформационные свойства горных пород в практике проектирования подземных гидротехнических сооружений оцениваются значениями модуля деформации E, коэффициента отпора K_0 и коэффициента поперечной деформации (коэффициент Пуассона) μ, определяемыми на основе полевых и лабораторных исследований.

Среди полевых методов исследований деформационных свойств пород наиболее распространенными являются:

1) методы нагружения поверхности цилиндрических (горизонтальных или вертикальных) выработок диаметром до 2,5 м равномерно распределенной нагрузкой;

2) методы нагружения стенок (или кровли и подошвы) прямоугольных выработок штампами площадью до 1–2 $м^2$;

3) геофизические методы, основанные на измерении скоростей распространения волн упругих колебаний, возбуждаемых при сейсмических и ультразвуковых воздействиях на породы;

4) методы испытаний пород в стенках буровых скважин с помощью прессиометров или щелевых домкратов.

Наиболее надежные результаты дают два первых метода, но из-за их трудоемкости и громоздкости аппаратуры испытания пород этими методами обычно проводятся в огра-

ниченных масштабах на завершающих стадиях проектирования. Эти испытания могут проводиться как в специальных выработках (опытных камерах), так и непосредственно в строящихся туннелях.

Геофизические методы обычно дают результаты, которые могут быть использованы для проектных расчетов только после сопоставления их с результатами испытаний по одному из первых двух методов, для чего на характерных участках выработок выполняются совмещенные исследования пород. После установления корреляционной зависимости между динамическими и статическими модулями деформации геофизические методы могут быть использованы для массовых испытаний горных пород.

В ходе строительства напорных туннелей и водоводов на характерных участках следует проводить сплошное сейсмопрофилирование по подошве и стенкам выработок, а при проведении укрепительной цементации или силикатизации пород следует выполнять сейсмоакустические испытания до и после укрепительных мероприятий.

Прессиометрические методы, так же как и геофизические, могут быть использованы для массовых испытаний пород. Достоинством этих методов является невысокая стоимость исследований и возможность быстрого определения характеристик деформационных свойств пород. Недостатком прессиометрических испытаний является невысокая точность результатов по сравнению с данными, получаемыми другими методами, а также возможность их выполнять только после проходки подземной выемки. Более достоверные результаты прессиометрических испытаний получаются при совмещении их с сейсмоакустическими исследованиями в тех же скважинах.

Натурные исследования деформационных свойств пород для основных подземных гидротехнических сооружений рекомендуется проводить с учетом возможного насыщения пород водой, анизотропии, ползучести во времени, а также возможных укрепительных мероприятий. В последнем случае породы испытываются до и после проведения мероприятий. При этом опытные выработки необходимо ориентировать таким образом, чтобы направление нагрузок, передаваемых на их стенки, соответствовало направлению внутреннего давления воды в сооружении.

В условиях многолетней мерзлоты деформационные характеристики следует определять для мерзлого и талого состояния пород.

На предварительных стадиях проектирования значения показателей деформационных свойств пород допускается определять *по обоснованным аналогам*. Ориентировочные значения коэффициентов отпора для некоторых типичных разностей пород, полученные методом нагружения цилиндрических поверхностей подземных выработок равномерно распределенной нагрузкой, приводятся в табл. 5.

Таблица 5

Наименование пород	Коэффициент отпора K_o, МПа	Коэффициент крепости $f_{кр}$ по Протодьяконову
Пролювиально-аллювиальные крупнообломочные отложения	5	1,5
Рыхлая брекчия с пемзовым песком, андезитобазальты выветрелые, вулканические выбросы и шлаки . .	3,5–5	1,4–2,4
Глины плотные	6–10	1–1,5
Вулканические выбросы сцементированные, серицитовые сланцы, сильновыветрелые скальные породы	10	1,2–2,2
Рыхлые вулканические выбросы и шлаки, обсидиановые брекчии с пемзовым песком и т.п.	3,5–4	0,8–1
Вулканические шлаки и брекчии литоидной пемзы слабосцементированные, слабые туфы и т.п.	10–12	1,5–2,5
Глинистые и песчанистые сланцы, серицитовые сланцы, слабые песчаники, чередующиеся со сланцами, и т.п.	13–22	2,8–4,5
Песчаники среднезернистые, переслаивающиеся алевролиты и песчаники	33–57	6–10

Наименование пород	Коэффициент отпора K_o, МПа	Коэффициент крепости $f_{кр}$ по Протодьяконову
Песчаники и туфопесчаники крепкие	56–80	8–12
Аспидные и метаморфизованные глинистые сланцы слаботрещиноватые	80–110	10–18
То же затронутые выветриванием	30–40	6–8
Известняки и песчаники на известковом цементе плотные, слаботрещиноватые	100–150	12–15
То же трещиноватые	50	6–8
Порфириты андезитовые и диабазовые, крепкие мелкообломочные туфобрекчии и т.п.	90	12–18
То же сильнотрещиноватые	20–25	4–6
Туфобрекчии крупнообломочные, туфы андезитопироксеновые, валунные конгломераты и брекчии .	40–56	8–10
То же сильноразрушенные	12–13	–
Андезитобазальты трещиноватые	25–45	4–12
То же сильнотрещиноватые . . .	13–15	2,1–2,2
То же с глыбовой отдельностью выветрелые (разборные)	6–9	1,4–2,4
Кварциты и метаморфические сланцы трещиноватые	150	15
Кварцевые песчаники и кварциты с прослоями кристаллических сланцев	380	23
Кварциты плотные	600	25
Граниты, гнейсы биотитовые и т.п. плотные, слаботрещиноватые	210–220	17–18
То же трещиноватые	100	12–15
Фиббиогнейсы, парагнейсы и т.п.	65–100	10,5–12,5

Для напорных туннелей круглой формы, проходимых в однородных изотропных породах, зависимость между основными показателями деформационных свойств определяется формулой

$$K_0 = \frac{E}{100\,(1+\mu)}. \qquad (23)$$

Значения коэффициентов отпора K_0 для трещиноватых горных пород на предварительных стадиях проектирования, согласно "Указаниям по проектированию гидротехнических туннелей" (СН 238–73) допускается определять также через коэффициент крепости $f_{кр}$ по графику, приведенному на рис 13. Для пород с коэффициентом крепости 10 и менее, отличающихся слабой трещиноватостью, значения K_0 полученные по указанному графику, рекомендуется увеличивать на 30%.

Если же коэффициент крепости определен с учетом трещиноватости пород (для обделки туннеля), то значения могут быть определены по эмпирической формуле К.Л.Тер-Микаеляна

$$K_0 = \frac{1000 f_{кр}}{26 - f_{кр}}. \qquad (24)$$

Для пород с коэффициентом крепости 6 и менее ориентировочные значения K_0 могут определяться также по формуле Словинского

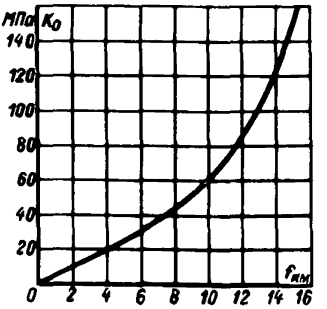
$$K_0 = 50\alpha f, \qquad (25)$$

где α – коэффициент, учитывающий степень трещиноватости пород и принимаемый равным 0,8; 1,0 и 1,2 соответственно для пород значительной, средней и малой трещиноватости.

Лабораторные методы определения коэффициента отпора пород на образцах имеют теоретическое значение и используются только для получения сравнительных характеристик их в образце и в массиве.

Коэффициент поперечной деформации (коэффициент Пуассона) μ допускается определять по данным лабораторных испытаний горных пород на образцах или по обоснованным аналогам. Известно, что коэффициент

Рис. 13. График зависимости коэффициента отпора K_0 от коэффициента крепости породы $f_{кр}$



Пуассона также в большой степени зависит от трещиноватости, водонасыщенности пород и некоторых других факторов, но абсолютные его значения изменяются в небольших пределах, а методы его полевого определения пока не разработаны.

Лабораторными исследованиями установлено, что у таких главнейших породообразующих минералов, как кварц, гематит и пирит, он изменяется от 0,08 до 0,16, а у полевых шпатов, слюды и других силикатов – от 0,21 до 0,29. Исключительно низкое значение коэффициента Пуассона характерно для кварца (0,08), что обусловлено каркасным строением его кристаллической решетки.

В табл. 6 приведены коэффициенты Пуассона для некоторых типичных разностей пород.

Таблица 6

Наименование пород	Коэффициент Пуассона μ
Гранитоиды	0,18–0,24
Кварциты, кварцевые песчаники	0,09–0,14
Порфириты кислого и среднего состава	0,20
То же метаморфизованные	0,22
Игнимбриты кварцевых порфиров . . .	0,18
Туфогенные песчаники	0,18
Туфы кислого состава метаморфизованные	0,14
Кварцито-песчаники	0,10

Продолжение табл. 6

Наименование пород	Коэффициент Пуассона μ
Известняки органогенно-обломочные . .	0,27
Мраморизованные известняки	0,30–0,32
Известняки-ракушечники	0,17–0,23
Пески сухие	0,10–0,25
Пески водонасыщенные	0,44–0,49
Супеси	0,30
Суглинки	0,35
Глины	0,42

Исследованиями установлено также, что при длительном действии напряжений и больших пластических деформациях коэффициент поперечной деформации приближается к 0,5.

1.4.5. Методы определения горного давления и пучения горных пород

Горное давление. Значение горного давления обычно определяют проектировщики на основе исходных расчетных данных о коэффициенте крепости, сопротивлении сдвигу и плотности пород в массиве с учетом размеров, глубины заложения и условий работы проектируемого подземного сооружения. При этом требования к точности определения горного давления в основном зависят от капитальности проектируемого сооружения.

Для напорных туннелей, подземных участков турбинных водоводов и камер машинных залов гидроэлектростанций, безнапорных туннелей и других подземных сооружений значение горного давления на обделку и крепь согласно СН 238-73 должно определяться натурными исследованиями на характерных по инженерно-геологическим условиям участках.

Для выработок глубокого заложения (500 м и более) горное давление должно определяться специальными методами, учитывающими пластическое состояние пород, естественные напряжения в массиве, стреляние пород и другие специфические явления.

Для всех остальных подземных гидротехнических сооружений и во всех случаях на предварительных стадиях проектирования горное давление в горизонтальных выработках допускается определять расчетами с учетом сводообразования на основе теории М.М.Протодьяконова. Значение горного давления при этом принимается равным массе породы в объеме, ограниченном сводом давления (рис. 14).

Для пород с коэффициентом крепости более 4, в которых может проявляться только вертикальное горное давление, высота свода давления определяется из отношения

$$h = \frac{l}{2f_{кр}}, \qquad (26)$$

где l – пролет выработки в свету.

В слабых полускальных (с коэффициентом крепости менее 4), мягких и рыхлых породах, в которых возможно образование плоскостей обрушения, пролет свода давления L принимается увеличенным и определяется по формуле

$$L = l + 2b\,tg\left(45° - \frac{\varphi}{2}\right), \qquad (27)$$

где b – высота выработки в свету.

Высота свода давления при этом определяется из отношения

$$H = \frac{L}{2f_{кр}}. \qquad (28)$$

Нормативные значения вертикального и горизонтального горного давления принимаются равномерно распределенными по пролету и высоте выработки. В случае, когда расстояние от кровли выработки до дневной поверхности меньше двух высот свода давления, горное давление принимается равным массе всей толщи пород над ней. В породах с коэффициентом крепости более 4 горизонтальное горное давление, как правило, не учитывается.

Для подземных выработок большого поперечного сечения (более 100 м^2), проходимых в скальных породах, теоретический расчет горного давления не имеет строго определенного решения, поскольку с увеличением периметра выработки значительно возрастает роль местных структурно-геологических факторов и связанных с этим местных пере-

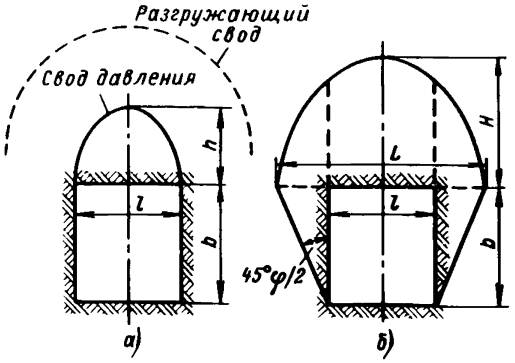


Рис. 14. Схема проявления горного давления по М.М.Протодьяконову.
а – в крепких породах; б – в слабых и мягких породах.

мещений породы, отдельных вывалов, выходов подземных вод и других явлений. Результаты расчетов давления по теории М.М.Протодьяконова в таких случаях часто не совпадают с полученными на практике, поэтому для гидротехнических туннелей применение формул М.М. Протодьяконова обычно ограничивается пролетами до 6 м и породами с коэффициентом крепости до 10. Во всех остальных случаях давление скальных пород на крепь выработок большого сечения определяют приближенно, исходя из следующих предпосылок:

1) давление на крепь оказывают отдельные вывалы породы, возникающие вследствие структурно-геологических особенностей горного массива (вывалы происходят по трещинам различных генетических типов);

2) давление на крепь оказывают породы над выработкой, ослабленные в результате образования трещин, вызванных перераспределением и концентрацией напряжений после раскрытия выработки, а также вследствие взрывных работ (давление от массы пород нарушенной зоны, отслаивающейся от сохранной части горного массива).

В первом случае размеры вывалов прогнозируют по структурно-геологическим признакам – чаще всего по линиям сходящихся плоскостей основных систем трещин. При этом следует иметь в виду, что вывалы могут происходить не

только в процессе проходки выработки, но и при эксплуатации сооружения. Причинами таких запоздалых вывалов являются разуплотнение, постепенный размыв материала, заполняющего трещины, сейсмические воздействия, вибрация и пр.

Во втором случае определяют глубину зоны нарушенных пород. Для ее определения успешно используют сейсмоакустические методы, бурение скважин с последующим опробованием их опытными нагнетаниями и др. Для приближенной оценки глубины зоны нарушенных пород рекомендуется пользоваться следующей обобщенной формулой

$$h_н = K_н l, \qquad (29)$$

где $h_н$ – глубина (мощность) нарушенной зоны; $K_н$ – коэффициент, принимаемый по табл. 7.

Таблица 7

Коэффициент крепости пород $f_{кр}$	Коэффициент $K_н$ при степени трещиноватости пород		
	слабой	средней	сильной
4	0,2	0,3	0,4
5–9	0,1	0,2	0,3
10 и более	0,05	0,1	0,15

Для выработок, проходящих в породах с коэффициентом крепости 2–4, значение коэффициента $K_н$ в зависимости от глубины заложения выработок следует умножать на поправочный коэффициент (табл. 8).

Таблица 8

Глубина заложения выработки, м	Поправочный коэффициент
До 100	1,0
100–250	1,3
250–500	1,5

Горное давление в вертикальных выработках чаще всего определяют по методу Цимбаревича для каждого пласта породы отдельно на основе уравнения

$$p_n = \gamma_n \left(\frac{\gamma_1}{\gamma_n} h_1 + \frac{\gamma_2}{\gamma_n} h_2 + \ldots + \frac{\gamma_{n-1}}{\gamma_n} h_n \right) tg \frac{90^\circ - \varphi_n}{2}, \qquad (30)$$

где p_n – давление на единицу площади крепи вертикальной горной выработки на уровне почвы n –го пласта;

$\gamma_1, \gamma_2, \ldots, \gamma_n$ – плотности пород пластов сверху вниз;

$h_1, h_2, \ldots, h_n$ – мощности пластов сверху вниз;

$\varphi_1, \varphi_2, \ldots, \varphi_n$ – углы внутреннего трения пород пластов.

В наклонных выработках по характеру проявления горное давление занимает промежуточное положение между давлением в горизонтальных и вертикальных выработках. В зависимости от угла наклона выработок горное давление в них приближенно определяют по методам, разработанным для горизонтальных или вертикальных выработок, с учетом разложения основных сил на их составляющие.

Горное давление обычно увеличивается постепенно в течение некоторого промежутка времени, продолжительность которого зависит от инженерно-геологических условий и способов разработки, типов и быстроты возведения временного и постоянного крепления, размеров выработки и пр. В первый период после раскрытия выработки горное давление нарастает более интенсивно, чем в последующий период, в течение которого происходит замедленное его проявление или наступает стабилизация. Наиболее быстро нарастает и стабилизируется горное давление в рыхлых сыпучих грунтах и в некоторых хрупких полускальных породах. В пластичных глинах, слабых мергелях, аргиллитах, алевролитах, глинистых сланцах период от проявления до стабилизации горного давления может изменяться от нескольких недель до нескольких месяцев (иногда до года). Наиболее неблагоприятными породами для подземного строительства являются плывуны, в которых горное давление зависит от мощности их слоя и наличия над ними слоя прочных пород, способного воспринять нагрузку от вышележащей толщи. Обычно проходка подземных выработок в плывунах осуществляется с замораживанием или химическим закреплением.

Пучение пород. Практикой горного дела установлено, что проходка подземных выработок во всех горных породах сопровождается происходящей во времени деформацией этих пород, которая выражается различной интенсивностью смещений точек образовавшихся поверхностей. В прочных породах интенсивность смещений на контуре выработок обычно невелика и затухает в относительно короткие промежутки времени, после чего наступает практически полная стабилизация всех перемещений.

В слабых породах, особенно в глинах, смещения могут быть очень большими, причем интенсивность смещений иногда не затухает во времени. Давления на крепь, соответствующие состоянию устойчивого равновесия, при этом имеют бо́льшие значения, чем в прочных породах. Пока указанные смещения и давления вдоль всего контура выработки являются величинами одного порядка, обычно принято говорить о горном давлении. Когда же при определенных условиях интенсивность смещений поверхности на некоторой части контура выработки становится во много раз больше, чем на остальной его части, этот процесс принято называть пучением горных пород.

Пучение чаще всего наблюдается со стороны незакрепленной подошвы (рис. 15) или незакрепленных боков выработки, так как наиболее интенсивные смещения пород, проявляющиеся в сводовой части выработки, воспринимаются крепью и их обычно рассматривают как повышенное горное давление.

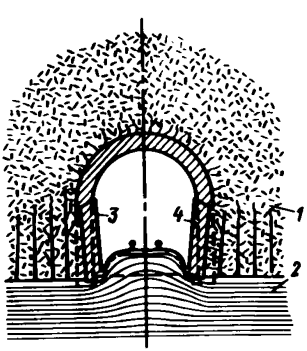


Рис. 15. Схема проявления пучения горных пород в туннеле. 1 – жесткие скальные породы (туфы, туфобрекчии); 2 – слабые породы (глины) пучащего слоя; 3 – деформированная бетонная обделка; 4 – первоначальный контур обделки.

Единого мнения о причинах развития пучения нет. Одни исследователи считают, что пучение есть результат выдавливания в полость выработки пород, перешедших в пластическое состояние, другие рассматривают этот процесс как объемное расширение (набухание) пород. Практика показывает, что при больших глубинах заложения выработок, когда естественные гравитационные напряжения в массиве велики, пучение чаще всего проявляется за счет пластического течения пород, а способность их к объемному расширению играет второстепенную роль, тогда как на малых глубинах обычно наблюдается обратная зависимость.

Наблюдения в подземных выработках показали, что интенсивность и абсолютное значение пучения горных пород часто бывают связаны с большим числом инженерно-геологических и производственных факторов, главнейшими из которых являются следующие:

1) литологические особенности и прочностные свойства пород. Установлено, что пучение обычно наблюдается в горных выработках, пройденных по породам со значительным содержанием глинистых компонентов (глины, глинистые и песчано-глинистые сланцы, слабые мергели, алевролиты, аргиллиты, некоторые разности туффитов, туфоалевролитов, милонитов и т.п.) и характеризующихся относительно низкими прочностными показателями (предел прочности при одноосном сжатии до 25 МПа);

2) обводненность горных выработок. Влияние воды и влажности на процесс пучения проявляется двояко: во-первых, при увлажнении большая часть пород, содержащих в своем составе глинистые минералы, становится более деформируемой, во-вторых, эти породы, впитывая воду, увеличиваются в объеме. Увеличение объема при этом зависит от обводненности пород, толщины набухающего слоя и коэффициента набухания;

3) глубина заложения выработок. С увеличением глубины заложения выработок во всех горных массивах возрастают естественные гравитационные напряжения и интенсивность пучения пород увеличивается, причем на больших глубинах пучению обычно подвергаются относительно более прочные породы. Только на малых глубинах (до 100 м), где пучение чаще всего объясняется объемным расширением пород, указанная зависимость проявляется менее отчетливо;

4) мощность слоя пучащих пород. Абсолютное значение и интенсивность пучения находятся в прямой зависимости от мощности слоя пучащих пород. Если эта мощность велика, а выработка не закреплена, интенсивность пучения может не затухать во времени;

5) ширина горной выработки. Замечено, что увеличение ширины горной выработки снижает интенсивность пучения, и эта закономерность в настоящее время широко используется на практике при проведении выработок по пучащим породам.

Большая часть перечисленных факторов действует совместно, и установить относительную значимость каждого из них практически невозможно. В связи с этим точные прогнозы пучения пород в горных выработках затруднительны, а меры борьбы не всегда эффективны. Для ориентировочной оценки пучения горных пород в одиночных выработках глубокого заложения можно пользоваться формулами, разработанными Лыткиным в 1965 г.

Важнейшими факторами, влияющими на интенсивность пучения, являются прочностные и деформационные свойства пород. Поэтому при борьбе с пучением в первую очередь следует стремиться к тому, чтобы указанные свойства пучащих пород не ухудшались, а в случае необходимости принимать меры по искусственному упрочнению пород путем химического закрепления, замораживания и т.п.

Многие пучащие породы, особенно глинистые, очень чувствительны к изменениям влажности. В связи с этим при борьбе с пучением большое значение имеют осушение и изоляция пучащих пород от воды. Эффективными при борьбе с пучением пород являются также некоторые виды специального крепления выработок (штанговая или анкерная крепь в сочетании с бетоном, набрызгбетоном и т.п.). Иногда применяется также дополнительная выемка пучащих пород с установкой податливой временной крепи и возведением постоянной обделки после затухания деформаций.

1.5. Изучение физико-геологических и инженерно-геологических процессов, явлений и сейсмичности

Физико-геологическими и инженерно-геологическими процессами принято называть изменения, происходящие в гео-

логической среде под воздействием природных факторов или при строительстве и эксплуатации сооружений.

Среди большого разнообразия физико-геологических и инженерно-геологических процессов для подземных сооружений существенное значение могут иметь следующие:

1) процессы, связанные с изменением состава и свойств горных пород, состоянием горных массивов: горное давление, пучение, вывалообразование, отслаивание, стреляние, горные удары, выбросы газов, выветривание и разуплотнение;

2) процессы, связанные с действием подземных вод: карст, суффозия, плывунные явления;

3) процессы, обусловленные водоотливом и понижением уровней подземных вод: уплотнение рыхлых пород, образование на поверхности земли мульд и трещин оседания, изменение гидростатического и гидродинамического давления, напряженного состояния пород и их устойчивости, интенсификации или уменьшение суффозии, движение плывунов;

4) процессы, связанные с гравитационным смещением горных пород: оползни, обвалы, осыпи;

5) процессы, связанные с действием поверхностных вод: эрозия водотоков, переработка берегов водохранилищ, сели;

6) процессы, вызванные изменением термического режима горных пород: трещинообразование, оттаивание или промерзание.

Процессы, связанные с гравитационными смещениями, действием поверхностных вод, выветриванием и разуплотнением горных пород, имеют существенное значение при оценке инженерно-геологических условий верхних зон: при выборе мест заложения порталов туннелей, шахт, штреков и т.п., а также в случаях прохождения подземных сооружений на небольших глубинах от дневной поверхности (под логами и речными долинами, крупными оползневыми цирками и т.п.). Выветривание и разуплотнение горных пород необходимо также учитывать при проходке подземных выемок и своевременно закреплять породы, легко поддающиеся этим процессам.

Процессы, связанные с изменением термического режима, следует учитывать при глубоком заложении подземных сооружений и при строительстве их в областях с особо суровыми климатическими условиями, осо-

бенно в районах развития многолетней мерзлоты. Все остальные процессы могут иметь место и оказывать воздействие на производство строительных работ и эксплуатацию подземных сооружений на различных глубинах в зависимости от конкретных геологических и гидрогеологических условий.

Проявления пучения пород в подземных выемках обычно наблюдаются на участках распространения глин, а также полускальных пород – глинистых сланцев, алевролитов, аргиллитов, слабых мергелей, туффитов.

Неблагоприятными с точки зрения устойчивости пород, возможности вывалообразования, прорывов подземных вод, горного давления, возможного проявления горных ударов и выбросов газов являются участки пересечения туннельной выемкой зон крупных разрывных тектонических нарушений, рыхлых крупнообломочных и песчано-глинистых пород, полускальных пород, участков пород с мелкой складчатостью и перемятостью, в особенности при наличии в них подземных вод. Вывалы пород, проявления вертикального и бокового горного давления часто бывают связаны также с неблагоприятным сочетанием направлений основных систем трещин (субпараллельных по простиранию стенкам подземных выемок), а также наличием в трещинах глинистого заполнителя и зеркал скольжения.

Проявления повышенного напряженного состояния горных пород и как следствие этого горного давления, стреляния и пучения обычно бывают приурочены к осевым частям антиклинальных структур.

Процессы, связанные с действием подземных вод, а также с водоотливом и водопонижением, обычно бывают приурочены к определенным литологическим комплексам пород. Неблагоприятными с точки зрения возможного пересечения крупных карстовых полостей и связанных с ними скоплений подземных вод считаются известняки, а также комплексы гипсоносных и соленосных пород. Суффозионные и плывунные явления, а иногда сдвижения пород и оседания кровли связаны с комплексами рыхлых водоносных пород.

Прогноз возможности прорыва в подземную выработку значительных объемов воды является весьма трудной и ответственной задачей, так как это явление, со-

провождающееся обычно выносом породы, может вызвать катастрофические последствия и значительно осложнить ход строительных работ. Такие прорывы возможны по карстовым полостям (Шаорская ГЭС) по трещинам в сильно водопроницаемых породах (Ереванская ГЭС), по крупным тектоническим разломам (туннель Арпа-Севан), при пересечении туннельной выемкой древних эрозионных понижений, выполненных водонасыщенными песчано-глинистыми породами типа плывунов (Храмская ГЭС II).

Для того чтобы предвидеть возможность подобных явлений, необходимо прежде всего исходить из общих геологических условий района строительства.

В районах развития карбонатных пород необходимо проанализировать гидродинамические условия циркуляции подземных вод. Карст в горно-складчатых областях обусловлен в основном рельефом и структурно-тектоническими факторами. Резкая расчлененность рельефа приводит к тому, что инфильтрация осадков происходит с большим гидравлическим градиентом, что способствует развитию преимущественно вертикальных карстовых форм (Миатлинское ущелье на р. Сулак). Вода из таких карстовых пустот может поступать под большим напором и с большим дебитом.

В районах, где в разрезе имеются слои сильно водопроницаемых трещиноватых пород – вулканические шлаки, песчаники и другие породы, необходимо выявить условия их распространения по трассе и проанализировать возможность притока из них значительных объемов воды.

При наличии крупных разрывных тектонических нарушений необходимо установить места их пересечения туннельной выемкой, охарактеризовать сопровождающие их зоны дробления и трещиноватости, выявить обводненность этих зон и связь их с водоносными горизонтами.

При прохождении туннелей под высокогорными плато, пересеченными древними эрозионными понижениями, выполненными водонасыщенными аллювиальными или озерными осадками, необходимо проследить эти понижения и прогнозировать возможность встретить их по трассе туннеля.

При неглубоком заложении туннеля, когда его трасса разведуется буровыми скважинами, рассматриваемые неблагоприятные явления могут быть частично выявлены в про-

цессе разведочных работ, выполняемых на стадии технического проекта, но нуждаются в уточнении в процессе проходки выемки путем бурения отдельных опережающих скважин и геофизическими методами.

При глубоком же заложении туннеля бурение опережающих скважин из забоя является практически единственным надежным методом для прогнозирования неблагоприятных явлений, связанных с прорывом в подземную выемку больших объемов воды. Поэтому при проведении глубоких туннельных выемок на участках, неблагоприятных с точки зрения возможности прорыва значительных объемов воды, должно непрерывно вестись бурение опережающих скважин.

Изучение и прогноз инженерно-геологических процессов следует производить с постепенной постадийной детализацией материалов на основе данных инженерно-геологического обследования (схема), инженерно-геологической съемки (ТЭО, технический проект) или специальных исследований (технический проект, рабочие чертежи), причем основное внимание следует уделять тем процессам, которые могут существенно повлиять на оценку инженерно-геологических условий строительства и эксплуатации сооружений.

Анализ причин проявления в процессе строительства таких наиболее опасных инженерно-геологических явлений, как большое горное давление и пучение, крупные вывалы пород, прорывы подземных вод и плывунов, притоки вредных природных газов и т.п., показывает, что в преобладающем числе случаев их возникновение не было предсказано из-за недостаточной инженерно-геологической изученности или предсказывалось без должной количественной оценки и потому не получало отражения в проектах.

В задачу инженерно-геологической службы на всех стадиях проектирования и строительства подземных гидротехнических сооружений входит:

1) выявление наличия, распространенности и активности всех неблагоприятных для сооружений процессов и связанных с ними явлений для оценки инженерно-геологической обстановки – выяснения возможности ее изменения, приспособления к ней или ее избежания при строительстве;

2) качественная и количественная оценка и прогноз развития выявленных процессов, а также возможности возникновения их новых форм и очагов;

3) обоснование и рекомендация мероприятий по предупреждению опасных процессов или борьбе с их вредным влиянием.

В ходе строительства подземных гидротехнических сооружений все инженерно-геологические процессы и явления должны тщательно документироваться, а за наиболее опасными из них следует проводить наблюдения, которые иногда целесообразно продолжать и в период эксплуатации сооружений. На участках проявления интенсивного горного давления и пучения горных пород, сопровождающихся деформациями крепления выработок, следует проводить инструментальные наблюдения с установкой маяков и специальных приборов, позволяющих судить об интенсивности этих явлений и ее изменениях во времени. В связи с интенсивными проявлениями горного давления и пучения в ходе строительства подземных гидротехнических сооружений иногда измеряются также естественные напряжения в горном массиве. Эти измерения проводятся с целью установления абсолютных или относительных значений и направлений действия главных усилий естественных напряжений, что позволяет косвенно судить о протекающих в горном массиве современных тектонических процессах.

Указанные наблюдения за горным давлением и пучением, а также измерения естественных напряжений в горных массивах выполняются специализированными подразделениями изыскательской службы.

Изучение сейсмичности в горно-складчатых областях должно выявлять возможность и интенсивность землетрясений, а также вероятность развития современных тектонических движений. Оба эти процесса являются неблагоприятными для подземных сооружений: землетрясения могут вызвать мгновенное расстройство работы туннелей или подземных машинных залов, современные тектонические движения могут привести к постепенной, но существенной деформации подземных выемок.

Оценить возможность проявления современной тектоники и сейсмичности обычно позволяет уже сама принадлежность района строительства к тому или иному структурно-текто-

ническому и сейсмическому поясу, а также сложность его геологического строения. Предварительно об этих факторах можно судить на основе изучения существующих карт регионального структурно-тектонического и сейсмического районирования. Окончательно же эти явления обычно оцениваются после детальных инженерно-геологических съемочных и разведочных работ на стадии технического проекта. Предпосылкой для возможного проявления неотектоники и сейсмичности обычно служат такие факторы, как наличие в районе молодых складчатых и разрывных тектонических структур, в строении которых участвуют четвертичные отложения; наличие крупных региональных разломов, местных переуглублений и поднятий в продольном профиле речной долины; асимметричность берегов и разновысотное положение одновозрастных речных террас; сведения из летописей о землетрясениях и пр. В ходе выполнения инженерно-геологических исследований на указанные факторы следует обращать особое внимание.

В особо ответственных случаях для определения скоростей относительных тектонических смещений отдельных структурных элементов могут быть организованы специальные инструментальные наблюдения (периодическое точное нивелирование, наблюдения за маяками, шелемерами, наклономерные измерения и пр.).

1.6. Изучение температурных условий

Определение максимальной ожидаемой температуры внутри горного массива при проектировании подземных выработок глубокого заложения имеет важное значение как для оценки условий производства строительных работ, так и для выбора конструкции обделки сооружений. Известно, что при умеренной влажности человек может работать при температуре до + 50°С. Во влажной же атмосфере даже при + 40°С работа становится практически невозможной, и в подземных выемках приходится прибегать к искусственному охлаждению воздуха. Кроме того, значительная разница между высокой температурой пород в массиве и наинизшей температурой воды, протекающей по тунелю, вызывает дополнительные напряжения в его облицовке, что требует специальных конструктивных решений. В

табл. 9 приводятся максимальные температуры, отмеченные при проходке ряда крупных туннелей.

Таблица 9

Наименование туннеля	Длина туннеля, м	Наибольшая глубина заложения туннеля, м	Максимальная температура в туннеле, °С
Симплон I	19 780	2136	55,4
Сен-Готард	14 984	1706	35,0
Мон-Сенис	12 848	1654	30,1
Лечберг	14 605	1560	34,2
Грехенберг	8565	900	26,5
Арпа-Севан	48 250	1225	46,5
Сурам	3998	366	23,0

На определенной глубине от земной поверхности существует пояс постоянной температуры, ниже которого температура постепенно повышается. У экватора, где колебания температуры незначительны, пояс постоянной температуры лежит на глубине 1–2 м, а в континентальных странах средних широт, где годовые колебания температуры достигают больших размеров, он опускается на глубины до 30–40 м. В районе Москвы, например, пояс постоянной температуры залегает на глубине около 20 м.

Возрастание температуры земной коры с глубиной принято измерять геотермической ступенью или геотермическим градиентом. Геотермическая ступень – глубина в метрах, которая соответствует повышению температуры горных пород (ниже пояса постоянных температур) на 1°С. Геотермическим градиентом называется повышение температуры в градусах, которое соответствует углублению в земную кору на 100 м.

В горном деле чаще принято пользоваться геотермической ступенью. Геотермическая ступень в разных местах и на разных глубинах неодинакова и колеблется от 5 до 150 м. Среднее значение геотермической ступени

обычно принимают равным 33 м. В пределах равнинных территорий значение геотермической ступени составляет 33–35 м, тогда как под горными вершинами оно часто существенно возрастает. Так, в Сурамском туннеле на Кавказе оно оказалась близким к 45 м, под вершинами Симплона и Сен-Готарда – около 44 м, Мон-Сенис – около 50 м.

Важнейшими факторами, влияющими на увеличение геотермической ступени в горных массивах, следует считать большую продольную и поперечную их изрезанность гидрографической сетью, крутое падение пластов, водообильность пород и интенсивность циркуляции инфильтрационных вод, а также отсутствие молодых вулканических образований.

При проходке горных выработок сильное охлаждающее действие на породы может оказывать приточность подземных вод из вышележащих водоносных горизонтов и, наоборот, приток восходящих напорных термальных вод может существенно повышать температуру пород и воздуха. В связи с циркуляцией подземных вод отмечается заметное повышение общей температуры в пределах антиклинальных структур и снижение ее в синклиналях. Существенное влияние на значение геотермической ступени оказывает теплопроводность горных пород. В массивах пород с повышенной теплопроводностью геотермическая ступень возрастает и, наоборот, с уменьшением теплопроводности она уменьшается.

Значительное уменьшение геотермической ступени обычно отмечается в областях проявления молодого вулканизма. Так, в туннеле Арпа-Севан под Варденисским хребтом среднее значение геотермической ступени составило около 28 м. В строительной шахте того же туннеля на северном склоне Варденисского хребта на глубине 676 м зафиксирована максимальная температура 37,6°С, а геотермическая ступень на глубинах до 240 м в толще слаботеплопроводных рыхлых пемзоволипаритовых туфов составляла (по фактическим наблюдениям) 13–14 м. Ниже, в толще плотных порфиритов и гранитоидов, она была близкой к 33 м. Иногда значительное уменьшение геотермической ступени и общее повышение температуры пород отмечается в зонах больших естественных (остаточных) тектонических напряжений и зонах проявления горного давления.

Для предварительного определения температуры пород t на различных глубинах в горном деле применяется формула

$$t = t_0 + \frac{(H - H_0)}{h_g}, \qquad (31)$$

где t_0 – среднегодовая температура почвы над выработкой, °С; H – глубина заложения выработки, м; H_0 – глубина залегания пояса постоянной температуры, м; h_g – геотермическая ступень, м.

Для более точного определения температуры пород на глубинах заложения подземных сооружений в ходе бурения разведочных скважин следует производить систематические замеры температуры в скважинах. Эти наблюдения должны выполняться с учетом возможного охлаждающего воздействия промывочной жидкости при бурении. Поэтому замеры температуры следует проводить после определенного перерыва в бурении, необходимого для восстановления естественных условий. Замеры необходимо производить через определенные интервалы по мере углубления скважин. После завершения бурения следует повторно замерять температуру по всей глубине для проверки и сравнения данных. Для замеров используют максимальные термометры в специальной оправе или электротермометры. Последние позволяют получить непрерывную кривую изменения температуры по глубине и предпочтительнее при изучении глубоких скважин.

Графически все изменения температуры пород в горном массиве по глубине принято изображать в виде линий, соединяющих точки равных температур и называемых геоизотермами. Геоизотермы обычно накладываются непосредственно на геолого-литологические разрезы или изображаются на специальных профилях. При этом следует иметь в виду, что изгиб геоизотерм не точно соответствует поверхности горного массива: под крутыми возвышенностями геоизотермы обычно возвышаются несколько положе дневной поверхности, а под глубокими впадинами с крутыми склонами опускаются плавнее и несколько сгущаясь. Иногда графическое изображение изменения температуры с глубиной по трассам туннелей выполняется также в виде

кривой, накладываемой на продольный профиль с помощью дополнительной вертикальной масштабной шкалы температур.

1.7. Изучение газоносности пород

При проходке туннелей и других подземных выработок нередко встречаются взрывоопасные и вредные для здоровья людей и техники природные газы. Наиболее часто в подземных выработках встречаются метан (CH_4), углекислый газ (CO_2), сероводород (H_2S) и азот (N_2).

Метан, называемый иначе рудничным или болотным газом, образуется в результате разложения без доступа воздуха остатков растительных и животных организмов и появляется обычно в выработках, прорезающих угленосные, битуминозные, нефтеносные или соленосные пласты. Он без цвета и запаха, мало растворим в воде, не ядовит, но горит, а в смеси с воздухом взрывоопасен. Взрывоопасные концентрации его в воздухе составляют от 4,9 до 15,4%. Наиболее сильные взрывы получаются при отношении объемов метана с воздухом примерно 1:10.

Имея небольшую плотность, метан скапливается в верхних частях горных выработок и при соприкосновении с пламенем моментально вспыхивает или взрывается. В практике туннелестроения известны многочисленные случаи обильного выделения метана из трещин горных пород, сопровождающиеся пожарами и взрывами.

Углекислый газ образуется в результате процессов метаморфизма горных пород и различных биохимических процессов, происходящих в земной коре, при деятельности углекислых фумарол в очагах проявления молодого вулканизма и т.п. Этот газ легко проникает во все пустоты и трещины и часто насыщает минерализованные подземные воды. Углекислый газ тяжелее воздуха и накапливается обычно в нижней части подземных выработок. Появление его в большом количестве опасно для жизни людей.

Согласно действующим правилам безопасности в атмосфере подземных выработок допускается содержание углекислого газа до 0,5%. При содержании его 3–4% гаснет пламя карбидной лампы.

Сероводород образуется в результате биохимических, химических и гидротермальных процессов, протекающих в земной коре. Он ядовит, легко узнается по сильному запаху даже при малой концентрации. При содержании в воздухе 0,01% сероводорода через несколько часов наступает легкое отравление, а при вдыхании воздуха с содержанием его около 0,1% может наступить смерть. При содержании сероводорода в воздухе около 6% образуется взрывчатая смесь. Кроме того, сероводород действует разрушающе на бетонные растворы и металлы.

Азот — газ без цвета и запаха, встречается значительно реже и выделяется обычно в незначительных количествах, накапливаясь в верхних частях подземных выработок. Выделяется он чаще всего в смеси с другими газами. В чистом виде проявления его иногда отмечаются только в породах молодых вулканических массивов. Небольшое увеличение содержания его в воздухе подземных выработок опасности не представляет (в атмосферном воздухе содержание азота составляет 79%). Значительные выделения азота встречаются очень редко.

Проявления газоносности горных пород вызывают необходимость усиленной вентиляции подземных выработок. Большие газовыделения в сочетании с повышенной температурой пород нередко вызывают необходимость прокладки дополнительных воздуховодов, проходки специальных вентиляционных выработок, установки дополнительных вентиляторов и пр., что приводит к усложнению производства работ и увеличению стоимости строительства. Вероятность газовыделений обычно увеличивается с возрастанием глубины заложения подземных сооружений.

Оценка возможных проявлений газоносности на предпроектных стадиях обычно делается на основе имеющихся фондовых материалов и по общегеологическим соображениям, а на стадии технического проекта — на основе материалов геологосъемочных и разведочных работ, которые должны сопровождаться исследованиями растворенных и свободных газов в водах подземных источников (родников), буровых скважин и горных выработок. В особых случаях для этого могут выполняться специальная газовая съемка, исследования насыщенности газами образцов горных пород и пр.

На завершающих стадиях проектирования прогноз возможных поступлений газов в подземные выемки должен содержать как качественную, так и количественную их характеристики.

В связи с тем что газоносность пород не может быть достаточно подробно изучена с поверхности земли, при проходке тех участков, где по имеющимся данным могут быть встречены вредные газы, необходимо помимо перечисленных выше наблюдений за газопроявлением бурить опережающие колонковые скважины и проводить в них соответствующие исследования. Вредные газы могут заполнять трещины и полости в породе, сообщающиеся между собой, или содержаться в замкнутых порах или замкнутых системах трещин.

В первом случае истечение газа может происходить постепенно по мере проходки выработки, при этом газ может поступать сам по себе или выделяться из подземных вод. Во втором случае газ обычно находится под большим давлением и при выделении его может происходить так называемое газодинамическое явление, которое характеризуется следующими признаками:

а) сейсмическим эффектом, более мощным и продолжительным, чем при ведении взрывных работ, сопровождающимся выбросом значительного объема пород;

б) высокой степенью дробления пород, представленных самыми различными фракциями (тонкодисперсной породной мелочью, песком и крупными обломками);

в) обильным и интенсивным выделением огромных объемов газа.

Все перечисленные признаки характеризуют явление как выброс породы и газа.

Для предупреждения прорывов в подземную выемку газонасыщенных вод проводится бурение опережающих скважин, изучается характер выхода воды, ее газонасыщенность, температура и прочие важные признаки.

Для прогнозирования газодинамического явления необходимо применять метод прогноза степени взрывоопасности пород, вошедший в "Инструкцию по безопасной разработке пластов, склонных к внезапным выбросам угля, породы и газа", которая дополняет § 105 "Правил безопасности в угольных и сланцевых шахтах" Госгортехнадзора СССР.

Этот метод прогноза основан на оценке степени разделения на диски кернов скважин, буримых в направлении проведения выработки.

На завершающих стадиях следует давать прогноз и о вредности пыли, образующейся при подземных горных работах. По действию на человека пыль делится на ядовитую (свинцовая, ртутная) и неядовитую (пыль горных пород). Неядовитая пыль может вызвать легочное заболевание, так называемые пневмокониозы.

Наиболее распространенным и тяжелым заболеванием является пнефмокониоз, вызываемый кремнистой пылью и получивший название силикоз. Возможность заболевания силикозом находится в прямой зависимости от интенсивности вдыхания пыли и содержания в ней свободной двуокиси кремния (SiO_2).

Едиными правилами безопасности установлены следующие предельно допустимые концентрации пыли в зависимости от содержания SiO_2 в горных породах: более 70% SiO_2 - 2 мг/м^3 воздуха; от 10 до 70% - 2; до 10% - 4 мг/м^3 воздуха.

Основными направлениями в профилактике силикоза являются мероприятия, обеспечивающие уменьшение пылеобразования при рабочих процессах и своевременное подавление пыли (бурение с промывкой, искусственное увлажнение, пылеулавливание, вентиляция и др.)

Предельно допустимые концентрации ядовитой пыли, а в особых случаях и радиоактивных веществ в воздухе подземных выработок устанавливаются с учетом вида их вредности на основе специальных исследований.

Раздел второй

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ И СТАДИЯХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

2.1. Схема комплексного использования водотока

Задачей изыскательских работ для составления схемы является обоснование возможных вариантов расположения подземных сооружений, рассматриваемых в схеме. Эта работа проводится обычно на основе имеющихся фондовых материалов и результатов инженерно-геологического обследования местности. Однако если фондовые и другие имеющиеся материалы не содержат геологических или инженерно-геологических карт масштаба 1:50 000 – 1:25 000, то для района намечаемых подземных сооружений следует проводить инженерно-геологическую съемку в этих масштабах.

В ходе рекогносцировочного инженерно-геологического обследования местности или инженерно-геологической съемки основное внимание геологов должно быть уделено выявлению и предварительной оценке участков, неблагоприятных для производства строительных работ и эксплуатации подземных гидротехнических сооружений. Таких участков следует по возможности избегать.

Если этого сделать нельзя, то на участках с неблагоприятными или весьма сложными инженерно-геологическими условиями, а также в случаях, когда высота напора воды в подземных сооружениях будет превышать 100 м вод. ст., допускается проведение небольшого объема разведочных работ (электроразведка, сейсморазведка, проходка шурфов, бурение скважин). Портальные участки туннелей должны быть исследованы с точки зрения устойчивости склонов при их подрезке и возможности обводнения.

На основе всех имеющихся фондовых и полевых материалов инженерно-геологических изысканий по всем намеченным вариантам схемы размещения подземных сооружений составляются инженерно-геологические карты и разрезы, на которых должны быть выделены основные стратиграфо-литологические комплексы пород, показаны гидрогеологические условия и физико-геологические явления и отмечены неблагоприятные в инженерно-геологическом отношении участки. В соответствующем разделе обоснования схемы должны быть даны оценки инженерно-геологических условий участков расположения подземных гидротехнических сооружений по каждому из возможных вариантов, рекомендации по выбору тех или иных вариантов и основные соображения о направлении изысканий на дальнейшей стадии проектирования.

2.2. Технико-экономическое обоснование

Технико-экономическое обоснование объекта гидротехнического строительства разрабатывается на основании утвержденной схемы. В ТЭО обязательна вариантная проработка основных вопросов, а объемы и детальность разработки каждого варианта должны обеспечить выбор оптимального решения и определение стоимости строительства сооружения.

Основной задачей инженерно-геологических изысканий для ТЭО объекта гидротехнического строительства в целом и подземных сооружений его в частности является освещение инженерно-геологических условий конкурирующих вариантов. Поэтому при проведении изысканий на этой стадии основное внимание следует обращать на те вопросы, которые определяют выбор места расположения сооружений и их компоновки в данных природных условиях.

Конкурирующие варианты трасс и мест расположения подземных сооружений намечаются главным инженером проекта с участием главного геолога проекта. Во избежание излишних работ перед составлением технического задания на изыскания необходимо тщательно проанализировать все имеющиеся инженерно-геологические материалы по участкам расположения намечаемых вариантов сооружений и выполнить предварительные проектные проработки. Это позво-

лит своевременно отказаться от таких вариантов, которые по экономическим, инженерно-геологическим, строительным и другим условиям являются неконкурентоспособными.

При изысканиях для ТЭО по всем вариантам трасс деривационных туннелей, предусмотренных техническим заданием, следует выполнять специальные инженерно-геологические съемки в масштабе 1:50 000 – 1:25 000. На участках расположения вариантов подземных камер машинных залов, порталов туннелей, строительных шахт и штреков съемки выполняются в масштабе 1:10 000 – 1:5000. Кроме того, необходимо проводить горно-буровые и геофизические разведочные работы, гидрогеологические исследования, лабораторные испытания образцов основных разновидностей пород и химические анализы вод.

Масштабы съемок и объемы разведочных работ, гидрогеологических и лабораторных исследований следует определять в зависимости от капитальности проектируемых сооружений, сложности геологического строения, обнаженности, проходимости и других природных особенностей местности с учетом общих указаний, изложенных в разд. 1. При этом объемы разведочных горно-буровых работ и специальных исследований должны быть минимально необходимыми, но достаточными для обоснованного сравнения вариантов и выбора оптимального решения.

Основная часть горно-буровых разведочных выработок должна закладываться на наиболее неблагоприятных и сложных в инженерно-геологическом отношении участках трассы туннеля, на порталах туннелей, участках расположения подземных камер ГЭС и других наиболее важных и ответственных сооружений. С наибольшей детальностью разведуют выбранный в результате составления ТЭО вариант.

Результаты всех изысканий и исследований, выполненных для обоснования ТЭО подземных сооружений, представляются в общем инженерно-геологическом обосновании проекта. В записке должна быть дана общая оценка инженерно-геологических особенностей района намечающегося строительства с пояснениями ко всем картам и разрезам, а также сравнительная инженерно-геологическая оценка рассматриваемых вариантов компоновки и отдельных участков размещения подземных сооружений. Наиболее подробные материалы даются по выбранному варианту.

В качестве обязательных графических приложений в отчете должны быть: инженерно-геологические карты по трассам туннелей, участкам подземных сооружений станционного узла, порталов туннелей, строительных шахт и штреков; продольные и поперечные инженерно-геологические разрезы. По портальным участкам туннелей и участкам размещения подземного здания гидроэлектростанции могут быть приложены также некоторые специальные карты и разрезы, например карты-срезы, карты кровли коренных пород, карты гидроизогипс, разрезы наиболее сложных в инженерно-геологическом отношении участков в крупном масштабе.

На инженерно-геологических картах, разрезах и в пояснительной записке должны быть отражены все основные природные факторы, определяющие инженерно-геологические условия строительства и последующей эксплуатации подземных сооружений, в том числе: состав, литологические и текстурные особенности, распространение, мощности и условия залегания стратиграфо-литологических комплексов, а по возможности и основных разновидностей горных пород; складчатые и разрывные тектонические структуры, проявления современной тектоники и сейсмичности; подземные воды - их распространение, условия залегания, напоры, режим, расходы (обильность) и агрессивность; показатели физико-механических и строительных свойств пород, в том числе прочностных и деформационных; современные действующие и возможные физико-геологические и инженерно-геологические процессы; прогноз геотермических условий и газоносности горных пород.

2.3. Технический проект

В техническом проекте должны быть приняты окончательные решения по выбору мест расположения всех основных сооружений гидроузла, их типов, компоновки, основных параметров и конструкций, методов производства строительных работ и определена стоимость строительства.

По объектам гидротехнического строительства, имеющим утвержденное ТЭО, инженерно-геологические изыскания проводятся в один этап - по выбранным вариантам расположения основных сооружений. В этом случае изыскания под технический проект гидроузла проводятся с целью де-

тализации и уточнения инженерно-геологических условий выбранного варианта его компоновки в масштабах и объемах, позволяющих принять окончательные проектные решения.

Инженерно-геологические съемки по трассам гидротехнических туннелей в зависимости от их капитальности, сложности геологического строения, обнаженности, проходимости местности и других особенностей природных условий, а также протяженности и глубины заложения на стадии технического проекта могут выполняться в масштабах 1:25 000 – 1:10 000. На участках расположения подземных камер машинных залов, порталов туннелей, строительных шахт и других наиболее ответственных сооружений инженерно-геологические съемки проводятся в масштабе 1:5000 – 1: 2000.

Объемы горно-буровых и других разведочных работ по трассам туннелей на стадии технического проекта следует выбирать в зависимости от капитальности проектируемых туннелей и сложности геологического строения с учетом общих указаний, изложенных в разд. 1.

Расстояния и места заложения буровых скважин по трассе туннеля следует назначать с учетом рельефа местности и особенностей геологического строения. Скважины следует располагать в понижениях рельефа и на характерных в инженерно-геологическом отношении участках.

На практике, особенно при проектировании туннелей большой протяженности, часто одна и та же трасса может пересекать участки, различные по сложности геологического строения. Участки трассы с мелким заложением туннеля и плохой обнаженностью коренных пород следует относить к сложным. На таких участках частота заложения буровых скважин должна быть максимальной. На хорошо обнаженных и благоприятных в инженерно-геологическом отношении участках трасс туннелей, особенно при глубоком их заложении и плохой доступности местности, разведочные скважины могут не закладываться.

Трассы напорных туннелей и напорных водоводов, как правило, изучаются с большей подробностью, чем ненапорных туннелей, так как их обделка является более дорогостоящей и к расчетам ее конструкции предъявляются более высокие требования.

На участках порталов туннелей со сложными геологическими условиями разведочные скважины закладываются как по оси, так и на поперечниках. Порталы туннелей высокой капитальности, а также находящиеся в сложных инженерно-геологических условиях следует разведывать штольнями.

По участкам расположения подземных камер машинных залов, турбинных водоводов, напорных камер и других подземных сооружений станционных узлов гидроэлектростанций на стадии технического проекта разведочные горно-буровые работы выполняются в объеме, необходимом для принятия окончательных проектных решений. В числе разведочных выработок здесь по возможности предпочтение следует отдавать штольням, шахтам и смотровым скважинам, которые позволяют детально изучить литологические и текстурные особенности, трещиноватость, выветрелость и физико-механические свойства горных пород, а также провести исследования их деформационных свойств штампами.

При глубоком заложении подземных сооружений станционного узла (более 500 м) разведку участков их расположения следует проводить буровыми скважинами с обязательным выполнением в них помимо общегеологических и гидрогеологических наблюдений и исследований также электро-, сейсмо- и ультразвукового каротажа.

На стадии технического проекта следует широко применять геофизические методы (электро- и сейсморазведку), результаты которых могут быть использованы для более рационального размещения горно-буровых разведочных выработок. Данные геофизической разведки на сложных и неблагоприятных участках расположения подземных сооружений следует уточнять буровыми скважинами или горными выработками. В буровых скважинах, в свою очередь, следует выполнять различные виды каротажа.

Объем и состав гидрогеологических исследований и наблюдений (опытные откачки, наливы, нагнетания, стационарные наблюдения за режимом подземных вод и пр.) в разведочных выработках на трассах туннелей и участках размещения подземных сооружений станционного узла следует определять исходя из необходимости получения достаточно полных и достоверных материалов для решения всех гидрогеологических вопросов, возникающих при проектирова-

нии (прогноз водопритоков, распределение гидростатических напоров, агрессивность вод и пр.).

При глубоком заложении туннелей, камер машинных залов и других подземных сооружений на стадии технического проекта следует проводить также специальные исследования и наблюдения по изучению температурных условий и газоносности пород соответствующих горных массивов. Методы этих исследований и наблюдений изложены в разд. 1.

Деформационные характеристики пород для напорных гидротехнических туннелей рекомендуется определять методами нагружения поверхности специально проходимых для этой цели цилиндрических выработок диаметром до 2,5 м равномерно распределенной нагрузкой или методами нагружения стенок (кровли и подошвы) прямоугольных выработок штампами площадью 1–2 $м^2$. Испытания пород следует проводить с учетом возможного насыщения их водой, анизотропии и ползучести во времени, а также направлений действия внутреннего давления воды в сооружении. С целью увязки статических и динамических методов исследований деформационных свойств пород в массиве необходимо выполнять в тех же выработках сейсмоакустические исследования.

Для безнапорных подземных сооружений деформационные характеристики пород рекомендуется определять сейсмоакустическими и прессиометрическими методами. С этой целью в пройденных разведочных скважинах на характерных участках следует проводить электро–, сейсмо– и ультразвуковой каротаж, а в горных выработках – прессиометрические испытания пород и сейсмоакустические исследования.

Для интерполяции расчетных характеристик деформационных свойств пород следует выполнять в достаточном для статистической обработки объеме лабораторные испытания физико–механических свойств образцов всех основных их разновидностей. Примерный комплекс и специфика этих испытаний приведены в табл. 1 и изложены в подразделе 1.4. В случае необходимости в разведочных горных выработках следует проводить также натурные испытания по определению сопротивления пород сдвигу, горного давления и естественных напряжений в массиве.

Расчетные характеристики физико-механических и строительных свойств горных пород следует выбирать на основе всех материалов инженерно-геологических и специальных исследований в соответствии с действующими "Строительными нормами и правилами" и "Указаниями по проектированию гидротехнических туннелей" (СН 238-73), а также общими указаниями, изложенными в разд. 1 настоящего Руководства.

Для удобства пользования инженерно-геологическими материалами в проектных целях все основные цифровые и качественные расчетные характеристики физико-механических, строительных и других свойств пород следует помещать в специальных таблицах и в виде графиков на основных чертежах - инженерно-геологических картах, разрезах, картах-срезах и пр.

Результаты всех инженерно-геологических изысканий и исследований, выполненных для обоснования технического проекта подземных гидротехнических сооружений, представляются в отдельном разделе проекта. В нем дается подробная характеристика условий строительства всех подземных сооружений, прогнозы по всем специальным вопросам и рекомендации по выбору способов производства работ и расчету конструкций сооружений.

Графическими приложениями к тексту должны быть: инженерно-геологические карты по туннелям и напорно-станционному узлу; продольные и поперечные разрезы, составленные в масштабах карт или крупнее в зависимости от требований главного инженера проекта; гидрогеологические карты или карты гидроизогипс; специальные карты (карты-срезы, карты поверхности коренных пород); специальные профили (геотермические, сейсмопрофили и т.п.); графики, таблицы, чертежи, схемы и другие материалы специальных и лабораторных исследований горных пород; разрезы и зарисовки характерных разведочных выработок; графики наблюдений за режимом подземных вод; натурные фотографии, необходимые для иллюстрации текста.

Основным графическим приложением является инженерно-геологический разрез по трассе подземных сооружений, под которым помещают следующие сведения: абсолютные отметки поверхности, пикетаж, наименование пород, плотность

пород, временное сопротивление сжатию, коэффициент крепости для разработки, коэффициент крепости для обделки, коэффициент отпора, группа пород для разработки, ожидаемый приток воды, агрессивность вод, температура, возможность появления газов.

На разрез наносят элементы геологического строения, тектоники, гидрогеологии, а также показывают разведочные выработки, обнажения, места проведения полевых опытов и другой фактический материал.

Масштаб разреза принимают в зависимости от сложности геологического строения, длины туннеля и характера рельефа. Наиболее часто горизонтальный масштаб принимают от 1:25 000 до 1:5000, а вертикальный от 1:10 000 до 1:2000.

2.4. Рабочие чертежи и строительство

На стадии рабочих чертежей и в период строительства подземных гидротехнических сооружений инженерно-геологические изыскания и исследования проводят с целью доработки и уточнения отдельных вопросов, выявившихся при утверждении технического проекта, а также возникающих в процессе разработки рабочих чертежей и при строительстве. На этой стадии выполняются необходимые дополнительные инженерно-геологические изыскания, опытные работы и специальные исследования, документация подземных выемок и развивающихся физико-геологических и инженерно-геологических процессов.

Дополнительную разведку буровыми скважинами и горными выработками на стадии рабочих чертежей проводят главным образом на наиболее сложных и неблагоприятных в инженерно-геологическом отношении участках расположения подземных сооружений (участках с предполагаемым большим горным давлением, максимальными ожидаемыми водопритоками и пр.). В зависимости от конкретных задач новые разведочные выработки могут закладываться как с поверхности земли, так и из имеющихся строительных выемок.

При необходимости в разведочных скважинах проводится электро-, сейсмо- и ультразвуковой каротаж, что позволяет уточнить степень трещиноватости, плотность, прочность и

деформационные свойства пород. В разведочных штольнях, штреках, подземных опытных камерах и шахтах следует выполнять сейсмопрофилирование, позволяющее получать характеристики деформационных свойств пород.

Для уточнения гидрогеологических условий и отдельных расчетных параметров на участках дополнительной разведки следует проводить гидрогеологические исследования и наблюдения (кустовые и одиночные опытные откачки, нагнетания, наливы и стационарные наблюдения за режимом подземных вод).

В связи с ограниченными возможностями изучения инженерно-геологических условий горно-буровыми разведочными выработками, особенно на труднодоступных участках трасс туннелей, в ходе строительства должна производиться тщательная документация выемок, а в случае необходимости могут выполняться и специальные исследования в забоях. Значение инженерно-геологической документации и исследований в забоях очень велико (например, в отношении установления мест с ослабленной устойчивостью пород, повышенным горным давлением, пучением пород, сосредоточенным притоком подземных вод). Поэтому нередко только на основе материалов документации удается правильно оценить природную обстановку, которая иногда вызывает необходимость изменения запроектированных способов проходки, крепления и обделки выработок, а в отдельных случаях даже направлений трасс туннелей.

Инженерно-геологическая документация подземных строительных выемок должна выполняться систематически по мере их проходки до возведения временной и постоянной крепи.

Документация, сопровождающаяся зарисовками или фотодокументацией и описанием стен, потолочин и забоев подземных выработок, должна давать полную литологическую характеристику и данные о фактическом состоянии горных пород – их крепости, плотности, трещиноватости, влажности, условиях залегания, местах и характере вывалов, зон и поверхностей ослабления, наличии различных физико-геологических и инженерно-геологических процессов и пр.

Из характерных разностей пород должны отбираться образцы для лабораторных исследований. Количество отбираемых образцов зависит от типов пород, пересекаемых выработкой, их однородности, частоты смены отдельных лито-

логических разностей, мощностей слоев, характера их залегания и значимости для строящегося сооружения. В общем случае оно должно быть достаточным для статистической обработки результатов исследований по каждой литологической разности пород (комплекс исследований приведен в табл.1). Породы, содержащие растворимые соли (гипс, ангидрит, каменную соль и пр.), должны подвергаться химическим анализам.

Наблюдениями за устойчивостью горных пород в подземных выработках должны быть выявлены:

формы проявления неустойчивости;

факторы, способствующие снижению устойчивости (литологические и текстурные особенности, трещиноватость, обводненность пород, воздействие взрывных работ и т.п.);

условия и закономерности развития нарушений устойчивости.

При документации регистрируются и описываются все случаи деформации горных пород, временного крепления и постоянной обделки (вывалы, пучение, прогибание кровли, деформации стен, элементов временного крепления, образование трещин в постоянной обделке и пр.), выявляются закономерности развития этих явлений во времени (интенсификация, затухание, стабилизация). Для многолетнемерзлых пород должны быть установлены скорость и глубина их оттаивания.

Инженерно-геологической документацией подземных выемок должны быть освещены также гидрогеологические условия - места выходов и количество притекающих в выработку подземных вод, их химические свойства и агрессивность по отношению к бетону. По характеру водопритока следует выделять следующие участки горных пород:

практически безводные (капеж отсутствует);

слабый капеж - до 10 капель с 1 $м^2$ пролета выработки в секунду;

средний капеж - более 10 капель с 1 $м^2$ пролета выемки в секунду, отдельные прерывистые струи;

сильный капеж, местами со сплошными струями;

сосредоточенные выходы подземных вод в виде родников.

Приток подземных вод в подземные выработки на характерных участках следует определять по работе насосов при водоотливе или с помощью водосливов, устанавливаемых в

водоотводных канавах, а также объемным способом – по скорости заполнения зумпфов, водосборников и других емкостей.

При инженерно-геологической документации подземных выемок также должны вестись наблюдения за температурой воздуха и пород и за выходами природных газов. Высокие температуры горных пород могут встретиться главным образом при проходке туннелей на глубинах более 500 м. Замеры температуры следует вести термопарами, ртутными или электрическими термометрами в шпурах, пробуренных не менее чем за 2–3 ч до начала измерений. В многолетнемерзлых породах измерения температуры проводятся в стенах, своде и подошве выработок на специально оборудованных для систематических наблюдений поперечниках. Замеры температуры в этих случаях берутся с интервалами в 0,5 м на глубину 2–3 м и более, что позволяет установить характер и скорость деградации многолетней мерзлоты.

Проявления газов фиксируют по запаху, пузырькам или наличию пленок нефти на поверхности воды (метан), шумовому (суфлярному) эффекту и другим признакам. При первом же проявлении признаков газовыделений следует отобрать пробы газов на химический анализ.

Наблюдения за температурой, загазованностью и запыленностью воздуха (в том числе и для определений его силикозоопасности) в подземных выработках обычно проводит служба строительства и контролирует служба горно-технической инспекции (Госгортехнадзор).

В случаях приближения горных выработок к участкам распространения пород, неблагоприятных по наличию в них крупных карстовых полостей, скоплений воды, плывунов и т.п., в их забоях следует проводить дополнительные исследования, сопровождающиеся проходкой опережающих буровых скважин или штолен. Для этой цели могут быть использованы также геофизические методы разведки (электропрофилирование, сейсмическое и радиоволновое просвечивание и пр.).

Необходимость бурения опережающих скважин из забоя туннеля, их количество и глубина определяются при составлении технического проекта.

На стадии рабочих чертежей все эти вопросы подлежат уточнению с учетом опыта проходки туннелей в подобных

условиях, а также на основе геологической и гидрологической документации туннельных работ, геофизической разведки, наблюдений за газопроявлением и т.п.

Отказ от опережающих скважин возможен только при проходке коротких туннелей в относительно простых геологических условиях, достаточно подробно изученных путем бурения скважин и другими способами и исключающих возможность прорывов больших объемов воды и выбросов газов.

Бурение опережающих скважин и сопровождающие его наблюдения должны осуществляться службой строительства при консультации проектной организации.

Все работы по инженерно-геологической документации подземных выемок должны проводиться в тесном контакте геологов со строителями и проектной группой авторского надзора на строительстве.

Обо всех изменениях и осложнениях инженерно-геологических условий в процессе проходки выработок должны быть своевременно поставлены в известность главный геолог и главный инженер проекта строящегося гидротехнического объекта.

В процессе строительства напорных гидротехнических туннелей, а также подземных участков турбинных водоводов и камер машинных залов гидроэлектростанций на характерных по инженерно-геологическим условиям участках в дополнение к исследованиям, выполненным по стадии технического проекта, могут быть выпонены натурные исследования по определению характеристик деформационных свойств горных пород и горного давления.

Исследования выполняют в опытных камерах и горных выработках по особым программам. Места проведения указанных исследований и их методику выбирает главный геолог с участием главного инженера проекта. Выбранные участки для опытов должны быть представительными, отражать все особенности геологического строения и гидрогеологических условий изучаемого массива.

Помимо испытаний в опытных камерах и специальных горных выработках статическими методами (обжатием, штампами и т.п.) исследования деформационных свойств пород следует проводить также геофизическими (сейсмоакусти-

ческими) и прессиометрическими методами. Эти методы позволяют произвести массовые исследования пород непосредственно в туннельных и других строительных выемках. При проведении укрепительных мероприятий (цементация, силикатизация и т.п.) геофизические и прессиометрические исследования на характерных участках обычно выполняют до и после осуществления этих мероприятий, что позволяет выявить их эффективность.

При глубоком (500 м и более) заложении подземных сооружений исследования деформационных свойств пород и горного давления следует проводить с учетом естественных напряжений в массиве, явлений пучения, стреляния пород и пр.

Для менее ответственных туннелей натурные исследования по определению характеристик деформационных свойств горных пород на стадии рабочих чертежей допускается выполнять только геофизическими и прессиометрическими методами. Определение значений давления может быть сделано только на участках его интенсивного проявления (деформации крепления, обделки и т.п.) путем установки динамометров или специальных датчиков на элементах крепления и за обделкой.

Материалы дополнительных инженерно-геологических изысканий и исследований, инженерно-геологической документации, специальных наблюдений и исследований должны систематически обрабатываться. На основе этих материалов должны составляться уточненные разрезы, карты-срезы, развертки, зарисовки, поперечники и др., а также инженерно-геологические заключения по отдельным участкам и специальным вопросам, на основе чего должны приниматься окончательные решения о типах и конструкциях обделок, необходимых защитных, укрепительных и других мероприятиях, конструктивных и компоновочных изменениях в проекте.

Масштабы зарисовок при документации подземных строительных выемок в зависимости от их размеров и сложности инженерно-геологических условий могут приниматься от 1:50 до 1:200. Сводные материалы – инженерно-геологические разрезы, карты-срезы и т.п. – по отдельным участкам и узлам сооружений могут составляться в масштабах от 1:200 до 1:5000.

После завершения строительных работ по материалам всех инженерно-геологических изысканий, инженерно-геологической документации, специальных исследований и наблюдений составляют сводный отчет, который передают заказчику и используют при составлении отчета о строительстве объекта в целом. В сводном отчете должны быть освещены инженерно-геологические условия всех участков основных сооружений и дано их сопоставление с данными предварительных материалов и прогнозов, выдававшихся на стадии технического проекта, отражены все изменения, внесенные в инженерно-геологические и проектные материалы, и отмечено их значение для производства строительных работ.

Список литературы

1. Золотарев Г.С. Вопросы инженерно-геологических исследований для проектирования и строительства подземных сооружений в горноскладчатых областях. – "Труды Гидропроекта", 1974, вып. 36, с. 47-65.

2. Зурабов Г.Г., Бугаева О.Е. Гидротехнические туннели гидроэлектростанций. М., Госэнергоиздат, 1962. 153 с.

3. Инструкция и методические указания по определению коэффициентов фильтрации водоносных пород методом опытных откачек из скважин. И-38-67. М., "Энергия", 1967. 184 с. (Гидропроект).

4. Инструкция и методические указания по определению водопроницаемости пород методом опытных нагнетаний в скважины. И-39-67. М., "Энергия", 1968. 95 с. (Гидропроект).

5. Инструкция и краткие методические указания по крупномасштабной инженерно-геологической съемке для гидроэнергетического строительства. И-37-66. М., "Энергия", 1966. 80 с. (Гидропроект).

6. Инструкция по инженерно-геологической документации строительных выемок при гидроэнергетическом строительстве. И-40-68. М., "Энергия", 1968. 55 с. (Гидропроект)

7. Инженерно-геологические изыскания для строительства гидротехнических сооружений. Под ред. Е.С.Карпышева, М., "Энергия", 1972. 376 с.

8. Карпышев Е.С., Молоков Л.А. Основные положения методики инженерно-геологических изысканий для строительства подземных гидротехнических сооружений. – "Труды Гидропроекта", 1974, вып. 36, с. 38–47.

9. Лыкошин А.Г. Инженерно-геологические исследования несущей способности скальных пород. – "Гидротехническое строительство", 1963, № 8, с. 16–20.

10. Лыткин В.А. Механизм пучения пород в подземных выработках. М., "Недра", 1965. 110 с.

11. Мостков В.М. Подземные сооружения большого сечения. М., "Недра", 1974. 320 с.

12. Насберг В.И. Фильтрационные расчеты шпурового дренажа, служащего для разгрузки облицовки туннелей и шахт от давления грунтовых вод. М., "Энергия", 1965. 80 с.

13. Нейштадт Л.И., Пирогов И.А. Методы инженерно-геологического изучения трещиноватости горных пород. М., "Энергия", 1969. 247 с.

14. Протодьяконов М.М. (младший). Коэффициент крепости горных пород проф. М.М. Протодьяконова. – В кн.: Вопросы разрушения и давления горных пород. М., Углетехиздат, 1955, с. 115–135.

15. Руководство по определению состава и объема инженерно-геологических изысканий для гидротехнического строительства. П-651-74. М., "Энергия", 1974. 110 с. (Гидропроект).

16. Руководство по составлению инженерно-геологической документации подземных гидротехнических сооружений. М., Информэнерго, 1976. 87 с.

17. Сейсмоакустические методы изучения массивов скальных пород. М., "Энергия", 1969. 239 с. Авт.: А.И. Савич, В.И.Коптев, В.Н.Никитин, З.Г.Ященко.

18. Справочник гидрогеолога. Под общ. ред. М.Е. Альтовского. М., Госгеолтехиздат, 1962. 616 с.

19. Тер-Микаелян К.Л. О связи удельного коэффициента отпора и модуля деформации горных пород с коэффициентом крепости по Протодьяконову. – "Труды Гидропроекта", 1974, вып. 33, с. 118–123.

20. Указания по проектированию гидротехнических тоннелей (СН 238–73). М., Госстройиздат, 1974. 95 с.

21. Хечинов Ю.Е. О проявлениях горного давления в подземных выработках гидроэлектростанций. – "Энергетическое строительство", 1970, № 8. с. 74–77.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3

Раздел первый. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ И ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1. Задачи изысканий 5
1.2. Изучение геологического строения района 7
1.3. Изучение гидрогеологических условий 19
1.4. Изучение физико-механических свойств пород . . 30
1.5. Изучение физико-геологических и инженерно-геологических процессов, явлений и сейсмичности 55
1.6. Изучение температурных условий 61
1.7. Изучение газоносности пород 65

Раздел второй. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ И СТАДИЯХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

2.1. Схема комплексного использования водотока . . . 69
2.2. Технико-экономическое обоснование 70
2.3. Технический проект 72
2.4. Рабочие чертежи и строительство 77
Список литературы 84

Руководство по инженерно-геологическим изысканиям для строительства подземных гидротехнических сооружений

Составители: И. С. Толоконников, Л. А. Молоков
Редактор Е. С. Карпышев
Редактор издательства И.Г.Натанович
Технический редактор Н.М. Бякирева

ИБ № 2245

Выпущено по заказу Всесоюзного ордена Ленина проектно-изыскательского и научно-исследовательского института Гидропроект им. С.Я. Жука.

Сдано в набор 12.10.77 Подписано к печати 06.10.77
Т-16453 Формат 60x90/16 Бумага офсетная № 2
Усл.печ.л. 5,5 Уч.-изд.л. 4,51
Тираж 1000 экз. Зак. 165 Цена 25 к. Заказное

Издательство "Энергия", Москва, М-114, Шлюзовая наб.,10

Тульская типография «Союзполиграфпрома» при
Государственном комитете Совета Министров СССР
ств, полиграфии и книжной торговли,
г. Тула, проспект им. В. И. Ленина, 109.

gost.e-ecolog.ru