

ДОНБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра маркшейдерии, геологии и геодезии

доц. Долина Ж.И.

Дисциплина

«ГИДРОГЕОЛОГИЯ»

Конспект лекций

для студентов 7.090301 «Разработка месторождений полезных
ископаемых», 7.090303 «Шахтное и подземное строительство» и
7.090307 «Маркшейдерское дело»

Алчевськ 2004

Предисловие

Рост объемов горных работ предусматривает освоение разведанных запасов месторождений полезных ископаемых, развитие сырьевого потенциала действующих горнодобывающих предприятий, комплексное использование месторождений, улучшение охраны недр. В ближайшей перспективе большинство угольных шахт будут разрабатывать пласты на глубинах от 500 до 1200-1300м.

Основой успешной реализации задач горнодобывающей промышленности является изучение гидрогеологических и инженерно-геологических условий месторождений полезных ископаемых, недостаточное знание которых и неумение их оценивать приводит к неритмичной работе горных предприятий, иногда и к аварийной ситуации.

Исходя из потребностей горного производства, гидрогеология и инженерная геология является одной из важнейших дисциплин в подготовке горного инженера.

Учебное пособие составлено для студентов горных специальностей 7.090301, 7.090303, 7.090307 высших учебных заведений.

Введение

Гидрогеология – наука о подземных водах, их происхождении, составе, свойствах, условиях залегания и закономерностях движения, распространении и взаимосвязи с вмещающими породами.

Подземные воды играют весьма существенную роль в народном хозяйстве Украины и в повседневной жизни и в деятельности человека. Наличием подземных вод в значительной степени определяются инженерно-геологические свойства горных пород, от которых зависят

условия строительства жилых и промышленных объектов.

Наиболее актуальной задачей гидрогеологии сегодня является разработка вопросов рационального использования подземных вод, с учетом защиты их от истощения и с учетом загрязнения при минимальных затратах по их охране.

Геологическая среда – неотъемлемая часть внешней среды. Именно в геологической среде протекают инженерно-геологические процессы, вызванные инженерной деятельностью человека.

Инженерная геология – наука, изучающая грунты (горные породы), геологические и инженерно-геологические процессы, протекающие в верхних горизонтах Земли и влияющие на условия строительства, эксплуатацию сооружений и их обратного влияния на изменение природных условий.

В соответствии с этим, гидрогеологические и инженерно-геологические исследования должны производиться параллельно, так как объектом изучения обеих наук является геологическая среда.

При добыче и переработке минерального сырья происходят значительные потери подземных вод. В угольной промышленности на каждую тонну полезного ископаемого откачивается в среднем от 1 м³ до 10 м³ подземных вод.

В горнодобывающей промышленности для борьбы с подземными водами в карьерах, шахтах и рудниках стоимость дренажных и водоотливных установок достигает 20-40% от себестоимости по полезного ископаемого. Наличием подземных вод в значительной мере определяются и инженерно-механические свойства горных пород.

Перспективы развития горной промышленности Донбасса связаны с освоением глубоких горизонтов. В настоящее время средняя

глубина ведения горных работ на шахтах Донбасса превысила 750 м, а отдельные угольные пласты разрабатываются на глубинах 900 – 1200 м и более.

С увеличением глубины ухудшаются горно-геологические условия разработки угольных пластов, повышается горное давление, температура, метанообильность, снижается устойчивость горных выработок, растет количество выбросов газа.

Осложнение горно-геологических условий нарушает нормальный технологический режим работы горного предприятия, требует разработки и применения новых технических решений и технологий.

Поэтому основной задачей курса «гидрогеология и инженерная геология», применительно к эксплуатации горных предприятий, является прогнозирование геологических процессов, вызываемых производственной деятельностью человека и разработка мероприятий, обеспечивающих нормальную работу горнодобывающих предприятий.

СТРУКТУРА КУРСА

Расширение знаний о гидрогеологии и инженерной геологии, привели к выделению научных направлений дисциплины.

Самостоятельными научными разделами гидрогеологии являются:

1. Общая гидрогеология – изучает происхождение, размещение, движение подземных вод и процессы их взаимодействия с горными породами, особенности физических свойств и химического состава подземных вод, находящихся во взаимодействии с поверхностными водами Земли.
2. Динамика подземных вод исследует закономерности движения подземных вод, режима и баланса подземных

вод с целью количественной оценки этого процесса и управления им в нужном направлении.

3. Региональная гидрогеология – изучает закономерности распространения и формирования подземных вод отдельных регионов, разрабатывает принципы гидрогеологического картирования в различных физико-географических условиях.
4. Горнопромышленная гидрогеология изучает подземные воды в связи с освоением месторождений твердых полезных ископаемых для обоснования инженерных мероприятий по предупреждению вредного влияния подземных вод на функционирование объектов горного производства: разработка мероприятий по охране подземных вод от истощения и загрязнения.

Основные разделы инженерной геологии:

1. Инженерная петрография (грунтоведение) исследует свойства горных пород, определяющих их поведение в сфере воздействия инженерных работ и сооружений; методы улучшения свойств пород для строительных целей.
2. Инженерная геодинамика (механика грунтов) изучает геологические процессы и инженерно-геологические явления, определяющие геодинамическую обстановку возведения и эксплуатации сооружений.
3. Региональная инженерная геология оценивает инженерно-геологические условия возведения и эксплуатации различных сооружений в геологически обособленных регионах.

4. Горнопромышленная инженерная геология решает вопросы инженерно-геологического обеспечения при строительстве и эксплуатации горнодобывающих предприятий.

1 НАЗНАЧЕНИЕ И СОСТАВ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ИНЖЕНЕРНО_ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ РАЗВЕДКЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ГОРНЫХ ОБЪЕКТОВ

При разведке месторождений твердых горючих полезных ископаемых с целью выяснения гидрогеологических и инженерно-геологических условий, необходимых для проектирования, строительства и эксплуатации шахт должны быть получены следующие данные.

- 1.1 В результате гидрогеологических исследований:
 - 1.1.1 потенциальные ресурсы поверхностных или подземных вод, которые могут вызывать обводнение горных объектов или быть использованы как источники водоснабжения;
 - 1.1.2 связь водоносных горизонтов между собой и с поверхностными водами;
 - 1.1.3 основные водоносные горизонты, содержащиеся в покровных и вмещающих уголь отложениях (их мощность, состав водоносных пород, распространение по площади и в разрезе);
 - 1.1.4 гидрогеологические параметры, необходимые для расчета водопритоков в стволы шахт и общего водопритока в шахту, фильтрационные свойства пород и коэффициент фильтрации, пьезопроводимость, положение уровней, величины напора и пр.;

- 1.1.5 физические свойства, химический и бактериологический составы подземных вод;
- 1.1.6 прогноз изменения режима подземных и поверхностных вод в результате шахтного водоотлива, влияние обводненности на горнотехнические условия эксплуатации шахт, рекомендуемые мероприятия по борьбе с поверхностными и подземными водами;
- 1.1.7 рекомендации по выбору наиболее рациональных методов вскрытия, систем разработки и способа управления кровлей в конкретных гидрогеологических условиях.

Гидрогеологические исследования проводятся параллельно с геологическими на всех стадиях изучения месторождения.

По характеру выполнения работ они подразделяются на:

региональные исследования, проводимые с целью комплексного гидрогеологического изучения территории для перспективного планирования поисково-разведочных работ;

поисково-съёмочные работы, осуществляемые с целью выявления гидрогеологических условий, основанных на литературных и фондовых материалах, результатах гидрогеологической съёмки, материалах по гидрогеологии известных в районе аналогичных месторождений;

разведочные работы, в которых выделяют: а) предварительную, б) детальную и в) эксплуатационную разведки.

Предварительная разведка ведется для выяснения общих гидрогеологических условий месторождения, позволяющих предварительно количественно охарактеризовать основные их показатели и влияние на вскрытие и разработку месторождения.

В результате детальной разведки гидрогеологические условия должны быть изучены с детальностью, обеспечивающей составление проекта горнодобывающего предприятия. Исследования должны быть достаточными для окончательного решения вопроса о способе проходки шахтных стволов, вскрытия месторождений и способов их осушения. Оценка химического состава и свойств подземных вод дается с целью рекомендации их, как возможных источников питьевого и технического водоснабжения.

Эксплуатационная разведка по срокам может совпадать со строительством горного предприятия и продолжаться в период эксплуатации с целью уточнения притоков подземных вод в горные выработки и их режима.

1.2 инженерно-геологические исследования включают:

1.2.1 изучение инженерно-геологических свойств покровных и вмещающих угольные пласты толщ, мощность зоны выветривания и степень трещиноватости;

1.2.2 прогноз устойчивости пород основной кровли и пород, залегающих непосредственно в кровле и почве рабочих пластов, местоположение зон структурного ослабления;

1.2.3 разработку рекомендаций по предупреждению явлений, которые могут осложнить горно-эксплуатационные работы.

Инженерно-геологические исследования состоят из следующих видов работ:

поисковой разведки (изучаются физико-географические особенности района, литературные и фондовые материалы по имеющимся горным объектам, при буровых работах – характер керна, его трещиноватость, закарстованность, случаи оплывания, пучения

пород и пр.);

предварительной разведки (выполняется литолого-петрографическое описание пород, слагающих покровные отложения и угленосную толщу, производятся физико-механические исследования отдельных образцов и монолитов, непосредственно вмещающие угольные пласты и залежи);

детальной разведки, при которой осуществляется массовый отбор проб и монолитов углей и горных пород для исследования их вещественного состава, структурных и текстурных особенностей, физико-механических свойств, степени трещиноватости и других характеристик.

Детальность инженерно-геологических исследований определяются стадией проектирования и регламентируется соответствующими инструктивными и методическими документами [СН и П 11-9-78].

Контрольные вопросы

1. Предмет гидрогеологии, её основные научные направления.
2. Предмет инженерная геология, её основные научные направления.
3. Назовите назначение и состав гидрогеологических и инженерно-геологических исследований при разведке и эксплуатации горных объектов.

2 ОБЩАЯ ГИДРОГЕОЛОГИЯ

2.1 Круговорот воды в природе

Вода прослежена от поверхности Земли до верхней мантии. Ниже водородные связи рвутся и молекулы H_2O не существует.

Подсчитано, что на долю подземных вод приходится 2460 млн. км². Из них в осадочных породах их содержание составляет 190 млн. км³, в кристаллических – 860 млн. км³.

Природные воды – единственные из полезных ископаемых, запасы которых в результате круговорота непрерывно пополняются. Составными элементами круговорота воды являются: испарение, осадки, сток.

Испарение – обратимый процесс перехода воды из жидкого или твердого состояния в газообразное, на что затрачивается 23 % поступающей на Землю солнечной энергии. Испарение зависит от геологических условий района – характера, структуры и влажности почвы, структурно-текстурных особенностей горных пород, глубины залегания подземных вод.

Осадки. Различают твердые, жидкие и смешанные. К твердым относятся изморозь (кристаллы льда размером до 0,1 мм), иней (кристаллы льда до 0,5 мм), снег (кристаллы в виде снежинок и хлопьев), снежная и ледяная крупа, ледяной дождь, град, гололёд. Жидкими осадками являются роса, дождь, морось. Среди смешанных осадков выделяют: смесь дождя и снега, туман.

Атмосферные осадки участвуют в пополнении (питании) подземных вод.

Практикой подземной разработки месторождений установлена тенденция увеличения водообильности выработок с повышенным

выпадением осадков.

По данным А.И. Кравцова на ряде шахт Донбасса приток воды в горные выработки в течение года изменяется, причем наибольшей величины он достигает в конце апреля и начале мая ($220 \text{ м}^3/\text{час}$ при нормальном $85\text{-}90 \text{ м}^3/\text{час}$).

Сток. Выпавшие на Землю атмосферные осадки частично испаряются, а оставшаяся часть образует сток, разделяемый на поверхностный и подземный, возникающий в ходе просачивания (инфильтрации) вод в горные породы через поры и трещины.

Изображенные на рисунке 1 схемы соотношения между поверхностными и подземными водами отражают возможные варианты геологических условий. Интенсивность поверхностного стока зависит от климата района, рельефа территории, наличия растительности и др.

где I – испарение,

O – осадки,

$Q_{\text{п}}$ – поверхностный сток,

Q – подземный сток,

T – транспирация

Рисунок 2.1 – Схема круговорота воды в природе

Процессы взаимодействия между атмосферными и поверхностными водами составляют гидрогеологическую ветвь общего круговорота воды на Земле.

Подземные воды также участвуют в круговороте, образуя сложную подземную ветвь – геологический круговорот. Как форма движения материи, геологический круговорот совершается в виде инфильтрации, фильтрации, взаимодействия воды с горными породами, участвуя и многообразных современных геологических процессах.

Количественно гидрогеологический круговорот для любого района Земли может быть выражен в виде уравнения водного баланса:

$$Q \text{ (осадки)} = C \text{ (поверхностный сток)} + I_{\text{н}} \text{ (инфильтрация)} + I \text{ (испарение)};$$

Водный баланс – это количественное выражение круговорота воды или отдельных его звеньев (осадки, сток, испарение).

2.2 Основные понятия гидрогеологии

Подземные воды – это воды, находящиеся в верхней части земной коры и залегающие ниже поверхности Земли.

В литосфере вода содержится в крупных полостях, порах и трещинах горных пород, находится в постоянной взаимосвязи с горными породами их включающие и образует водоносные горизонты.

Водоносный горизонт – это часть пласта или пласт, заполненный водой и приуроченный к регионально выдержанным водопроницаемым породам, однотипных по гидрогеологическим признакам и имеющих общую гидравлическую или пьезометрическую поверхности.

Водоносные породы – это пласты, линзы и другие формы залегания пород, в которых поры, пустоты и трещины заполнены

гравитационной водой.

Водоносный пласт – выдержанный по мощности и распространению одновозрастной пласт породы с относительно однородными водно-емкостными и фильтрационными свойствами.

Водоносный комплекс – толща горных пород, состоящая из нескольких водоносных горизонтов с разделяющими их относительно водоупорными слоями или пластами, рассматриваемая как единая гидродинамическая система.

Гидрогеологический бассейн – совокупность водоносных и относительно водоупорных горизонтов и комплексов, выделяемых по общим условиям формирования, состава и свойств заключенных в них вод.

Водоупорные породы – не пропускающие воду или слабопроницаемые; подстилающие водоносный горизонт называются водоупорной почвой, а перекрывающие – водоносной кровлей.

Область, в пределах которой распространен водоносный горизонт, называется **площадью или областью распространения** (рисунок 2.8).

Область, где подземные воды вытекают из водоносного горизонта, называется **областью разгрузки или дренажа**, а площадь, где происходит питание водоносного горизонта – **областью питания**. Расстояние от уровня подземных вод (гидравлического или пьезометрического) до водоупорной почвы называется **мощностью водоносного горизонта**.

В горном деле, в зависимости от положения относительно пласта полезного ископаемого, водоносные горизонты могут быть подугольными (подрудными) и надугольными (надрудными).

2.3 Виды воды в горных породах

Основными видами воды в горных породах являются:

а) **вода в твердом состоянии**. Эта вода распространена в зонах многолетнемерзлых пород в виде кристаллов, жил, линз, прослоев льда;

б) **парообразная вода (водяной пар)**. Пары воды, образующиеся при испарении в атмосфере или земной коре, заполняют вместе с воздухом не занятые водой поры и трещины в горных породах (рисунок 2.2).

Количество паров не превышает нескольких тысячных долей процента от массы пород. В определенных условиях при понижении температуры до точки росы пары могут конденсироваться и переходить в жидкое состояние. **Точка росы** – это температурный предел, при котором водяные пары, находящиеся в воздухе, начинают конденсироваться и переходить в жидкое, а при очень резком изменении температуры, и в твердое состояние.

В общем объеме парообразной воды значительная доля принадлежит горячему пару больших глубин или выходу перегретых вод на поверхность Земли. Обособленные скопления пара встречаются на месторождениях нефти и газа.

Передвигается парообразная вода от участков с большей к участкам с меньшей упругостью пара.

в) **связанная вода**. Связанная вода удерживается на поверхности минеральной частицы или внутри ее молекулярными и электрическими силами сцепления, значительно превышающими силу тяжести. Подразделяется такая вода на **физически и химически связанную воду**. Располагается в зоне аэрации горных пород.

Физически связанная вода

Существование физически связанной воды обусловлено наличием на поверхности минеральной частицы слабого отрицательного заряда. Благодаря дипольному строению, молекулы воды притягиваются к поверхности минеральной частицы со слабым отрицательным зарядом, водородными положительными концами, образуя прочную связь. Связанная вода составляет примерно 42 % всей воды, содержащейся в земной коре. Средняя её плотность $1,2 - 1,4 \text{ г/см}^3$.

Физически связанная вода подразделяется на прочносвязанную (гигроскопическую или адсорбционную) и рыхлосвязанную (пленочную). Частицы пород, особенно тонкодисперсных, способны адсорбировать на свою поверхность молекулы водяного пара или жидкой воды (при смачивании) и удерживать их электростатическими силами как в виде отдельных молекул, так и в виде пленки толщиной в несколько молекул. Сверху этой пленки может образовываться как бы вторая пленка, притягиваемая молекулярными силами, действие которых ослабевает по мере утолщения пленки.

Пленочная вода способна передвигаться от частиц с большей толщиной пленки к частицам с меньшей ее толщиной.

Признаки физически связанной воды:

- не подчиняется силе тяжести;
- не передает гидростатического давления в порах породы;
- не замерзает при температуре минус 78°C ;
- не обладает растворяющей способностью;
- не замерзает до минус 78°C – гигроскопическая вода и до минус 6°C – пленочная.

Наибольшим количеством связанной воды обладают глинистые породы (до 45 %), обуславливая такие их свойства как пластичность, набухание, липкость и др.

где 1 – частицы грунта;

2 – молекулы воды в виде пара;

а – неполная гигроскопичность,

б – максимальная гигроскопичность,

в и г – частицы почвы с пленочной водой (вода движется от частицы г к частице в, окруженной более тонкой пленкой);

д – частицы почвы со свободной водой

Рисунок 2.2 – Схема различных видов воды в породе
по А.Ф. Лебедеву

Химически связанная вода

Химически связанная вода принимает участие в строении кристаллической решетки в виде молекулы (H_2O), гидроксила (OH^-), водорода (H^+) и оксания (H_3O^+). Подразделяется такая вода на конституционную (диаспор – AlOOH), которая выделяется из минерала в пределах от 300° до 1000°C ; кристаллизационную (гипс – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), температура удаления не более 300°C и цеолитную воду (опал $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), выделяемую при меньших температурах (100°C - 50°C) и легче восстанавливаемую. Как правило, удаление воды из кристаллической решетки минералов влечет за собой перестройку последней.

Таким образом, наличие в горных породах тех или иных видов воды во многом предопределяет как основные водные свойства горных пород, так и условия движения подземных вод.

Свободная вода

В породах земной коры свободная вода может быть капиллярной и гравитационной.

Капиллярная вода удерживается и передвигается за счет сил капиллярного давления как при просачивании поверхностных вод через породы зоны аэрации, так и при подъеме подземных вод над их уровнем по тонким порам и трещинам (капиллярам).

Высота капиллярного поднятия может достигать 600-1200 см в глинистых породах и до 400 см – в суглинистых и совсем незначительна в песчано-гравийных отложениях.

Рисунок 2.3 - Распределение воды в верхней части земной коры

Гравитационная вода

Гравитационная вода передвигается по порам и трещинам в горных породах под действием силы тяжести и напорного градиента.

Такая вода характерна для зернистых и трещиноватых пород, образуя свободные постоянные водоносные горизонты в зоне насыщения верхней части подземной гидросферы.

Вода в надкритическом состоянии (диссипированная). Такая вода характерна для нижней зоны литосферы, где температура выше критической ($+374^{\circ}\text{C}$), характеризуется флюидным состоянием, меньшей вязкостью, большей миграционной способностью и пр.

2.4 Водно-физические свойства горных пород

Свойства, которые проявляются при взаимодействии горных пород с водой, называются водными.

К основным водным свойствам горных пород относятся:

Водонепроницаемость – способность горных пород пропускать через себя свободную воду при наличии напорного градиента. Количественно определяется коэффициентом фильтрации ($K_{\text{ф}}$), т.е. объемом воды, проходящей через единицу поверхности в единицу времени при напорном градиенте равном единице или скоростью перемещения воды в породах.

Величина коэффициента фильтрации зависит от размера и структуры порового пространства, свойств фильтрующейся жидкости и направления движения.

По степени проницаемости все породы условно подразделяются на три группы:

а) непроницаемые (водоупорные) – практически не пропускают воду; $K_{\phi} = 0,1 - 0,01$ м/сут. и менее. Относятся глины, аргиллиты, плотные кварциты, граниты и пр.;

б) слабонепроницаемые – $K_{\phi} = 1 - 1$ м/сут. Относятся лесс, суглинки;

в) хорошо проницаемые – $K_{\phi} = 100-1$ м/сут. Относятся пески, песчаники, гравелиты, трещиноватые известняки, мел, мергели и др.

Влажность.

В природных условиях горные породы в той или иной степени содержат воду.

Влажность горных пород – степень насыщенности водой (пленочной, капиллярной, гравитационной) пор, трещин и других пустот в естественных условиях. Такая влажность называется естественной влажностью. Она выражается в процентах по весу к абсолютно сухой породе и определяется формулой:

$$W = \frac{g_e - g_c}{g_c} \cdot 100\%, \quad (2.1)$$

где W – естественная влажность, %;

g_e – вес образца при естественной влажности, гр.;

g_c – вес образца горной породы высушенного при $105^{\circ}-106^{\circ}\text{C}$, гр.

Различают также относительную влажность – отношение объема воды в образце к объему пор в нем и отражает долю заполнения пор водой.

Относительная влажность определяется формулой:

$$g = \frac{W \cdot \gamma_{уд} (1 - n)}{n}, \quad (2.2)$$

где g – относительная влажность, доли единицы:

W – весовая влажность породы, доли единицы;

$\gamma_{уд}$ – удельный вес горной породы, доли единицы;

n – пористость породы, доли единицы.

Влажность, соответствующая полному заполнению всех пор породы водой, называется влагоемкостью.

В зависимости от влажности песчаные и глинистые породы могут находиться в различном физическом состоянии – изменяется их прочность, деформируемость и устойчивость.

Влагоемкость – способность горной породы поглощать и удерживать некоторое количество воды (в долях единиц или %). По степени влагоемкости различают породы:

а) весьма влагоемкие (торф, глины, суглинки);

б) слабо влагоемкие (мел, рыхлые песчаники):

в) невлагоемкие (скальные породы, пески, галечники).

Водонасыщение – заполнение всех пор и пустот породы водой при давлении.

При проведении горных работ в водонасыщенных горных породах применяют специальные способы проходки с применением различных способов технической мелиорации (закрепления с помощью цементирующих растворов), тампонирувания, водопонижения и др.

Водоотдача – способность водонасыщенной породы отдавать часть воды путем свободного стекания под действием силы тяжести, либо в результате воздействия (откачки и т.п.). Оценивается процентным отношением объема свободно вытекающей из горной

породы воды к ее объему. Водоотдача пород характеризуется коэффициентом водоотдачи, определяемым в процентах или долях единицы по формуле:

$$\mu_B = W_{\Pi} - W_m, \quad (2.3)$$

где μ_B — коэффициент водоотдачи, %;

W_{Π} — полная влагоемкость, %;

W_m — максимальная молекулярная влагоемкость, %.

Водоотдача возрастает с увеличением крупности частиц породы открытой пористости, трещиноватости и с уменьшением смачиваемости. Это основная характеристика, используемая при выборе способа водозащиты горных выработок, расчета сети дренажных скважин, интенсивности снижения уровня воды при водопонижения и др.

Водопонижение — способность горных пород, вскрытых горной выработкой или скважиной, поглощать воду.

2.5 Скважность и пористость горных пород

Накопление и перемещение воды в земной коре возможно благодаря наличию в толще горных пород различных пустот, форма и размеры которых колеблются в значительных пределах. Пустоты могут быть заполнены водой или газами и служить каналами для их передвижения. Поэтому, одним из главнейших свойств горных пород является пористость или скважность, т.е. общий объем всех пустот в породе.

По размерам пустот пористость подразделяется на некапиллярную (сверхкапиллярную) и капиллярную. Их характеристика приведена в таблице 2.1

Таблица 2.1 – Виды пористости

Виды пористости	Наименование пустот	Размеры пустот		Типичные породы
		Диаметр округлых пустот, мм	Ширина трещин, мм	
Некапиллярная	Каверны, трещины	>2,0	>2,0	Закарстованные, сильно трещиноватые, крупнообломочные, рыхлые
	Сверхкапиллярная	2,0-0,5	2,0-0,25	
Капиллярная	Капилляры	0,5-0,0002	0,25-0,0001	Тонкотрещиноватые, пористые, смешанные
	Субкапилляры	<0,0002	<0,0001	Глинистые, ультрапористые

Количественно пористость породы характеризуется коэффициентом пористости, равным отношению объема пор ко всему объему породы:

$$n = \frac{V_{пор.}}{V_{породы}} \cdot 100\%, \quad (2.4)$$

Наибольшей пористостью обладают глинистые породы –50-60%.

Различают также пористость общую (физическую) – общий объем всех пор, независимо от их формы, величины и взаимного расположения и эффективную (динамическую) – объем тех пор, через

которые происходит движение воды.

Пористость и коэффициент пористости характеризуют плотность горных пород, что при их оценке как оснований сооружений и горных объектов имеет существенное значение. От пористости зависят водопроницаемость, водоотдача, влагоемкость, сжимаемость и другие свойства горных пород. Расчет величины пористости мелкозернистых песков и связных глинистых грунтов производят по объемному и удельному весам породы. Взаимоотношения подземных вод и горных пород существенно зависят также от гранулометрического состава, т.е. от размеров частиц, слагающих породы, которые в свою очередь обуславливают те или иные размеры пор в породе. Гранулометрический состав показывает процентное содержание (по массе) частиц различного размера, слагающих данную рыхлую породу. Для его определения производят деление пород на фракции, т.е. группы частиц одинакового размера и определяют процентное содержание различных фракций. В зависимости от процентного соотношения различных фракций устанавливают классификационное название породы (глина, суглинок, супесь, песок, щебень и др.).

2.6 Условия залегания подземных вод

По условиям залегания в земной коре различают следующие типы подземных вод: почвенные, верховодка, грунтовые, межпластовые и артезианские.

Почвенные воды – это влага, содержащаяся в почвенном слое у поверхности земли, в зоне аэрации. Передвигаются они под действием молекулярных, капиллярных сил. Такие воды не имеют под собой водоупорного слоя и при избытке влаги просачиваются до уровня грунтовых вод.

Рисунок 2.4 – Схема залегания почвенных, грунтовых
и межпластовых вод

Верховодка

При инфильтрации через зону аэрации воды встречают на своем пути водонепроницаемые или слабоводопроницаемые глинистые прослойки и линзы их удерживающие. Образуются при этом маломощные водоносные горизонты локального распространения.

Рисунок 2.5 – Верховодка

Залегают такие воды на небольшой глубине поверхности, с небольшими запасами, носят сезонный характер, безнапорные. Верховодка часто служит источником водоснабжения в сельских районах. В районах больших городов верховодка легко загрязняется.

Грунтовые воды

Подземные воды, залегающие на первом от поверхности водоупоре, выдержанном по простираению, называют грунтовыми.

Грунтовые воды имеют свободную поверхность, называемую зеркалом грунтовых вод. Они формируются за счет инфильтрации атмосферных и поверхностных вод. Основные черты грунтовых вод следующие:

- залегают вблизи поверхности Земли в рыхлых отложениях изменчивой мощности, дренируемых реками;
- воды безнапорные;
- область питания совпадает с областью разгрузки (дренажа);
- пласт обычно не полностью насыщен водой;
- глубина залегания уровня, температура вод, минерализация, расход подвержены систематическим колебаниям (суточным, месячным, годичным);
- изменчивость физических свойств и химического состава;
- обладают тесной связью с поверхностными водами.

Поверхность грунтового потока имеет различный наклон на разных участках. Ее положение определяется гидроизогипсами, т.е. кривыми, соединяющими точки с одинаковыми абсолютными отметками установившегося уровня воды. Схема, на которой показаны гидроизогипсы, выработки, колодцы, элементы рельефа называется картой гидроизогипс.

По карте гидроизогипс (рисунок 2.6) можно определить:

- направление грунтового потока;
- глубину залегания грунтовых вод;
- уклон грунтового потока;
- характер взаимосвязи грунтовых вод с поверхностными (рисунок 2.7);
- условия питания и разгрузки;
- скорость движения водного потока и пр.

Направление движения грунтовых вод берут по нормали к двум смежным гидроизогипсам. Движение воды направлено от более высоких отметок уровня к более низким. (рисунок 2.6).

Глубину залегания грунтовых вод в любом заданном пункте определяют по разности отметок горизонтали поверхности и гидроизогипсы. *Уклон потока подземных вод* для любого участка вычисляют делением сечения карты гидроизогипс на кратчайшее расстояние между двумя гидроизогипсами, взятое в масштабе карты.

где А – река дренирует грунтовые воды;

Б – река питает грунтовые воды;

В – река питает и дренирует грунтовые воды

Рисунок 2.7 – Схема связи грунтовых вод с поверхностными

Связь грунтовых вод с поверхностными устанавливают по характеру сопряжения гидроизогипс с рекой. В природе наблюдаются два основных случая: первый – грунтовые воды питают поверхностные (рисунок 2.7, А), второй – поверхностные воды питают грунтовые (рисунок 2.7, Б). Кроме того, реки могут одновременно питать и дренировать грунтовые воды (рисунок 2.7, В).

По соотношению и характеру изменения гидроизогипс можно получить представление о потоке. Участки замкнутых гидроизогипс с высокими отметками указывают на положение водоразделов грунтовых вод, где условия питания наиболее благоприятны. Зоны с нулевой глубиной до воды указывают на участки выхода подземных вод на поверхность земли.

Совокупность происходящих изменений водного потока (уровня, состава, температуры, расхода, скорости и др.) под влиянием естественных и искусственных факторов определяет режим этих вод.

Выходя на поверхность грунтовые воды образуют источники нисходящего типа.

Межпластовые воды

Межпластовые – подземные воды, залегающие между двумя водоупорными слоями. Они могут быть приурочены к различным породам (пескам, песчаникам, известнякам и др.), представляя собой поровые, трещинные и карстовые воды.

Межпластовые воды могут быть безнапорными (при вскрытии которых уровень их остается на месте) и напорными. При вскрытии напорных межпластовых вод, уровень их поднимается обычно выше подошвы верхнего водоупора, при условии, когда все поры и пустоты водоносного горизонта заполнены и вода находится под гидростатическим давлением. Для них характерно ограниченное питание и разгрузка, отличаются замедленным водообменом, что приводит к увеличению их минерализации. Характеризуются также незначительным распространением, характерны для участков с холмистым рельефом, где развиты горизонтально залегающие пласты пород.

Артезианские воды

Это межпластовые воды порового, трещинного, карстового или смешанного типа, залегающие на значительных глубинах и приуроченные к крупным мульдообразным тектоническим структурам. Водосодержащими являются различные водопроницаемые породы.

где а – область питания;

б – область напора;

в – область разгрузки;

г – область возможного самоизлива напорных вод;

1, 5 – напорные водоносные горизонты;

2 – пьезометрический уровень напорных вод горизонта 1;

3 – восходящий источник;

4 – участок возможной гидравлической взаимосвязи напорных горизонтов (гидрогеологическое «окно»)

Рисунок 2.8 – Схема артезианского бассейна

Линия, определяющая положение уровня в напорном водоносном пласте, называется пьезометрическим уровнем.

Величина напора – это разность отметок вскрытия горизонта

напорных вод и установившегося уровня. Величина непостоянная и изменяется в зависимости от условий залегания водоносного горизонта и часто определяет напряженное состояние вокруг горных выработок и условия их устойчивости.

Основные особенности напорных вод следующие;

- область питания и разгрузки не совпадают (иногда отдалены на сотни и тысячи километров);
- режим их характеризуется относительным постоянством;
- приуроченность к мульдам;
- наличие напора;
- малая подверженность загрязнению;
- бассейновый характер распространения.

Напорные воды, изолированные от атмосферы (связь имеется лишь в области питания и разгрузки), характеризуются меньшей зависимостью их режима от климатических факторов, относительным постоянством уровней, температуры и химического состава, меньшей загрязненностью и лучшим санитарным качеством воды. Поэтому их можно использовать для различных видов водоснабжения (хозяйственно-питьевого, производственно-технического, лечебно-питьевого, термального и др.) и орошения.

Для решения практических задач по обеспечению устойчивости горных выработок, безопасности ведения горных работ и водопонижения в пределах шахтного поля или его части строят карты гидроизопьез (рисунок 2.9) и прогнозные карты безопасных напоров. Карта гидроизопьез составляется аналогично карте гидроизогипс грунтовых вод и представляет собой систему изолиний, соединяющих точки с одинаковыми отметками пьезометрического уровня.

Условные обозначения

где 1 – горизонтали поверхности;

2 – гидроизопъезы;

3 – изогипсы кровли водоносного горизонта;

4 – направление движения артезианских вод;

5 – скважина (в числителе номер скважины, в знаменателе
отметка пьезометрического уровня).

Рисунок 2.9 – Карта гидроизопъез (пример)

Например, по карте по сгущению и разрежению гидроизопьез судят об изменении мощности водоносного горизонта или водопроницаемости. При уменьшении водопроницаемости пьезометрическая поверхность становится круче, а гидроизопьезы сгущаются. Если мощность пласта увеличивается по потоку, пьезометрическая кривая выполаживается. По карте определяют также связь напорных вод с поверхностными водотоками и водоемами (рисунок 2.9), направление движения напорных вод, уклон пьезометрической поверхности, глубину уровня, высоту напора воды над кровлей водоносного пласта, равную разность отметок пьезометрического уровня и кровли водоносного пласта

где АА – пьезометрическая поверхность

Рисунок 2.10 – Питание реки напорными водами через водонепроницаемую кровлю

Кроме перечисленных типов подземных вод различают также трещинные, карстовые и подземные воды многолетней мерзлоты.

Трещинные воды – это воды, содержащиеся в трещинах и небольших пустотах горных пород.

Среди различных видов трещин для подземных вод важны трещины двух типов – тектонические и вторичные или выветривания. Первые распространены на глубине 100-500 м и более, носят региональный характер. Трещины выветривания имеют местное значение, неглубоки (до 100 м).

При наличии крупных тектонических трещин или участков с интенсивной тектонической трещиноватостью, подземные воды приобретают характер потоков, в которых движение происходит с повышенными скоростями по законам отличным от законов движения воды в рыхлых зернистых породах.

Трещинные воды могут быть как напорными, так и безнапорными, причем на различных участках одного и того же водоносного массива трещиноватых пород напорные воды могут сменяться безнапорными.

Карстовые воды – это подземные воды, циркулирующие по пустотам и трещинам пород, карстового происхождения. В закарстованных породах происходит весьма сложная циркуляция вод как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях в виде сплошного потока подземных вод. Они резко поглощают поверхностный сток, обладают тесной связью с поверхностными водами. Для них характерно также резкое колебание уровня и расхода. Карстовые воды, обычно, безнапорные, грунтового типа. Химический состав их зависит от состава карстующихся пород. Минерализация их обычно повышена.

2.7 Промышленные и минеральные воды

Промышленными называют подземные воды, содержащие некоторые компоненты в концентрациях, позволяющих их извлечение для промышленных целей.

Залегают такие воды на больших глубинах (500м и более), занимают сравнительно ограниченные площади. Для них характерны такие элементы как йод, бром, бор, литий, германий, медь, цинк, алюминий, вольфрам и др.

Минеральными называют такие подземные воды, которые оказывают благотворное физиологическое влияние на человеческий организм в силу общей минерализации, ионного состава, содержания газов и активных компонентов.

К минеральным водам условно относятся вода с минерализацией, превышающей 1 г/л (солончатые – до 10 г/л, соленые – 10-35 г/л, рассолы – свыше 35 г/л). Однако встречаются лечебные минеральные воды с минерализацией меньше 1 г/л, но с высоким содержанием специфических биологически активных компонентов.

По температуре минеральные воды делят на холодные (до 20°C), теплые или субтермальные (20-37°C), термальные (37-42°C), горячие или гипотермальные (свыше 42°C).

Основными типами минеральных вод являются железистые, мышьяковистые, сероводородные (сульфидные) углекислые, радоновые, йодные, бромные. Распределение основных типов минеральных вод определяется геолого-тектоническими особенностями и историей геологического развития регионов. Например, провинции углекислых вод приурочены к областям альпийской складчатости (Кавказ, Памир, Камчатка и др.), хлоридных вод – к глубоким частям крупных

артезианских бассейнов и др.

2.8 Физические свойства и химический состав подземных вод

Установлено, что простейшую формулу H_2O имеет молекула парообразной влаги – гидроль; молекула воды в жидком состоянии $(H_2O)_2$ дигидроль; в твердом состоянии $(H_2O)_3$ – тригидроль.

Изучение физических свойств и химического состава подземных вод необходимо не только для оценки их качества для питьевых и промышленно-хозяйственных целей, выяснения условий питания, происхождения и пр., но и при выборе материала для крепления горных выработок и подборе шахтного оборудования.

Основными физическими свойствами подземных вод являются температура, прозрачность, цвет, запах, плотность, радиоактивность.

Температура подземных вод изменяется в широких пределах: в областях распространения вечной мерзлоты она отрицательная и составляет до $-6^{\circ}C$, в районах вулканической деятельности – более $100^{\circ}C$.

По температуре воды делятся на весьма холодные – до $+4^{\circ}C$; холодные – $4-20^{\circ}C$; теплые – $20-37^{\circ}C$; горячие – $37-42^{\circ}C$; весьма горячие – $42-100^{\circ}C$ и более. Температура воды оказывает огромное влияние на скорость протекания физико-химических процессов в земной коре.

Температура неглубоко залегающих подземных вод обычно составляет - $+5$ - $+15^{\circ}C$, при глубоком погружении водоносных горизонтов артезианских бассейнов - $+40$ - $+50^{\circ}C$; во внутренней геотермической зоне на глубине 3000-4000 м буровыми скважинами вскрыты перегретые подземные воды с температурой более $150^{\circ}C$.

Прозрачность воды зависит от наличия в ней минеральных солей, механических примесей, коллоидов и органических веществ. Подземные воды считаются прозрачными, если в толщине слоя 30 см не

содержится взвешенных частиц.

Цвет подземных вод зависит от химического состава и наличия примесей. Большой частью подземные воды бесцветны. Однако, жесткие воды имеют голубоватый оттенок, закисные соли железа и сероводород придают воде зеленовато-голубую окраску, органические гуминовые кислоты окрашивают воду в желтый цвет, а воды, содержащие соединения марганца – черные.

В большинстве случаев запах в подземных водах отсутствует. Наличие специфического запаха может быть обусловлено присутствием в ней каких-либо соединений (сероводорода, гуминовых кислот, органических соединений), образующихся в результате разложения животных и растительных остатков. Для определения запаха воду подогревают до 50-60°C.

Вкус воды зависит от присутствия в ней растворенных минеральных веществ, газов и примесей. Так, например, хлористый натрий придает воде соленый вкус, сернокислые соли натрия и магния – горький, при наличии азотистых соединений – сладковатый, а ионов свободной углекислоты – приятный, освежающий. При определении вкуса воду подогревают до 30°C.

Плотность воды обусловлена растворенными в ней солями, газами, взвешенными и температурой.

Радиоактивность обусловлена присутствием в ней природных радиоактивных элементов: урана, радона, радия, продуктов их распада – гелия и др., формирование которых определяется многими геологическими, гидрогеологическими и геохимическими факторами.

Вследствие наличия трех изотопов водорода – ^1H (протий), D (дейтерий), T (тритий) и шести изотопов кислорода ^{14}O , ^{15}O , ^{16}O , ^{17}O , ^{18}O , ^{19}O имеются 36 изотопных разновидностей воды, из которых только

девять являются стабильными.

Соединение D_2O называется тяжелой водой, содержание которой в природе составляет 0,02%.

Изучение состава и свойств подземных вод производится на всех стадиях разведки, а также в процессе вскрытия и эксплуатации месторождений.

Исследование состава подземных вод преследует основные цели:

- выяснение их пригодности для хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения;
- оценка возможного вредного влияния вод на бетонные и металлические конструкции шахт и горное оборудование.

Химический состав подземных вод позволяет судить также об особенностях формирования и питания подземных вод, взаимосвязи водоносных горизонтов.

Химический состав подземных вод определяется количеством и соотношением содержащихся в них ионов (минерализацией воды), жесткостью, количеством и составом растворенных и нерастворенных в воде газов, реакцией воды (pH), агрессивностью и пр.

Главнейшими химическими компонентами подземных вод являются катионы – Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , анионы – HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , микрокомпоненты – Fe^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} , Mn^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Br, I, N и другие газы – N_2 , O_2 , CO_2 , CH_4 , H_2 и др., комплексные органические соединения – фенолы, битум, гумус, углеводороды органические кислоты.

Химический состав подземных вод принято выражать в ионной форме в мг/л и г/л.

Главными источниками веществ, растворенных в подземных водах, являются горные породы, газы атмосферы и поверхностные воды, питающие подземные воды и те геохимические условия, которые

сложились в пределах площади распространения и на различных глубинах.

По степени минерализации (содержания в воде ионов, молекул и различных соединений) подземные воды месторождений твердых полезных ископаемых могут быть пресными, с минерализацией до 1 г/л, слабосолоноватыми – 1-3 г/л; солеными – 3-10 г/л, очень солеными – 10-50 г/л и рассолами – более 50 г/л.

Жесткость воды (Н) – свойство воды, обусловленное присутствием в ней солей кальция и магния. Выражается жесткость в мг-экв/л. Различают жесткость общую, временную (устранимую) и постоянную (неустранимую), карбонатную и некарбонатную

Общая жесткость оценивается по содержанию всех солей Ca^{2+} и Mg^{2+} в виде $Ca(HCO_3)_2$, $Mg(HCO_3)_2$, $CaSO_4$, $MgSO_4$, $CaCl_2$, $MgCl_2$ и вычисляется путем суммирования этих ионов в мг-экв/л.

$$H_{общ.} = \frac{[Ca^{2+}]}{20,04} + \frac{[Mg^{2+}]}{12,16}, \quad (2.5)$$

где значения Ca^{2+} и Mg^{2+} приведены в мг/л;

20,04 и 12,16 – эквивалентные массы кальций-иона и магний-иона.

Временная жесткость (устранимая) обусловлена гидрокарбонатными и карбонатными солями Ca^{2+} и Mg^{2+} ($Ca(HCO_3)_2$, $Mg(HCO_3)_2$, $CaCO_3$ и $MgCO_3$).

Гидрокарбонатная жидкость – величина, показывающая на сколько уменьшилась общая жесткость после выпаривания, а карбонатная жесткость – величина расчетная. Если карбонатная

жесткость больше, чем общая жесткость, ее считают равной общей жесткости.

Временную жесткость рассчитывают по формуле:

$$H_{вр.} = \frac{\left[HCO_3^- \right]}{61,018}, \quad (2.6)$$

где значение HCO_3^- берется в мг/л,

61,018 – его эквивалентная масса.

Постоянная (неустраняемая) и некарбонатная жесткости обусловлены хлоридами, сульфатами и другими некарбонатными солями кальция и магния. Определяется как разность между общей и временной жесткостью:

$$H_{пост.} = H_{общ.} - H_{вр.} \quad (2.7)$$

Выражается жесткость в мг·эquiv./л Ca^{2+} и Mg^{2+} в 1 мг·эquiv./л жесткости.

Природные воды подразделяются по степени жесткости на пять групп (в мг·эquiv./л); очень мягкие – до 1,5; мягкие – 1,5-3; умеренно жесткие – 3,0-6,0; жесткие – 6,0-9; очень жесткие – 9,0.

Щелочность обусловлена наличием в воде щелочей Na^+ в виде $NaOH$, Na_2CO_3 и $NaHCO_3$. 1 мг·эquiv./л щелочности соответствует 40 мг/л $NaOH$; 53 мг/л Na_2CO_3 и 84,22 мг/л $NaHCO_3$.

Активная реакция воды – степень ее кислотности или щелочности, количественно характеризующаяся концентрацией

водородных ионов рН (десятичный логарифм концентрации ионов водорода, взятый с положительным знаком), по величине которой подземные воды подразделяются на: очень кислые - < 5 ; кислые – 5-7; нейтральные – 7; щелочные – 7-9; высоко щелочные > 9 .

Агрессивность воды – способность разрушать бетон, железобетонные и металлические конструкции. Различают сульфатную, уголекислую, выщелачивания магниальную и общекислотную виды агрессии.

Сульфатная агрессия определяется повышенным содержанием иона SO_4^{2-} . При избытке иона SO_4^{2-} происходит кристаллизация в бетоне новых соединений: образуется гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ с увеличением объема на 100 % и сульфоалюминат кальция (бетонная бацилла) с увеличением объема в 2,5 раза, что приводит к разрушению бетона. Вода агрессивна к бетону при содержании иона SO_4^{2-} - свыше 250 мг/л.

Уголекислая агрессивность. При воздействии агрессивной угольной кислотой происходит растворение и вынос из бетона CaCO_3 – основной составной части цемента. При избытке CO_2 наблюдается переход CaCO_3 в $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, который легко растворяется и выносится из бетона.

Избыток $\text{CO}_2 > 20$ мг/л называется агрессивной уголекислотой.

Агрессивность выщелачивания (бикарбонатная щелочность) происходит за счет растворения и вымывания из бетона извести CaCO_3 при малом содержании в воде иона HCO_3^- . Воды, содержащие менее 30 мг/л связанной уголекислоты и обладающие жесткостью менее 1,4 мг/л, считаются агрессивными, независимо от других показателей.

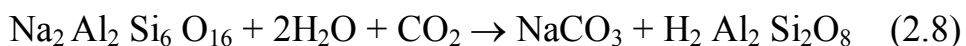
Магниальная агрессивность приводит к разрушению бетона при повышенном содержании Mg^{2+} . В зависимости от сорта цемента, условий и конструкции сооружения, иона SO_4^{2-} , более 250 мг/л,

предельно допустимое количество ионов Mg^{2+} составляет от 750 мг/л до 1000 мг/л.

Общекислотная агрессивность зависит от концентрации водородных ионов pH. Вода обладает коррозирующими свойствами при $pH < 6,5$.

2.9 Формирование химического состава подземных и шахтных вод

Подземные воды находятся в постоянном взаимодействии с атмосферными водами, горными породами и минеральными образованиями месторождений твердых полезных ископаемых. В результате происходит растворение и выщелачивание горных пород, особенно таких как карбонаты, сульфаты, галоиды. Если в воде присутствует углекислота, происходит разложение нерастворимых в воде силикатов по следующей схеме:



В результате в воде накапливаются карбонаты и гидрокарбонаты натрия, магния, кальция, т.е. происходит увеличение минерализации подземных вод. Распространение их подчиняется общей гидрохимической зональности. Вертикальную гидрохимическую зональность определяют геологические условия формирования подземных вод, связанные с особенностями состава, строения и свойств горных пород. Изменения этих параметров приводят к изменениям во взаимодействии системы горная порода – подземные воды, отражается на химическом, газовом составе и степени минерализации подземных вод.

В вертикальном разрезе земной коры выделяют три

гидродинамические зоны [1]:

а) верхняя – интенсивность водообмена, мощностью от десятков до нескольких сотен метров. Здесь подземные воды находятся под влиянием современных экзогенных факторов. По составу – гидрокарбонатные кальциевые маломинерализованные воды. Водообмен исчисляется годами и столетиями (в среднем 330 лет);

б) средняя – замедленного водообмена. Глубина зоны изменчива (примерно 3-4 км). Скорость движения подземных вод и их дренаж уменьшается. На состав вод этой зоны оказывают влияние вековые изменения экзогенных условий. Воды преимущественно натриевые, сульфатно-натриевые или сульфатно-натриево-кальциевые. Водообмен длится десятки и сотни тысяч лет;

в) нижняя – весьма замедленного (застойного) водообмена. Экзогенные условия здесь не оказывают никакого влияния. Приурочены обычно к глубоким частям впадин. Распространены на глубинах более 1200 м и более. Воды обычно высокоминерализованные, по составу хлоридные кальциево-натриевые и хлоридно-магниево-натриевые. Возобновление подземных вод составляет миллионы лет.

Соответственно гидродинамическим выделяются гидрохимические зоны. Гидрохимическая зона представляет собой часть артезианского бассейна, относительно однородную по гидрохимическому строению, в границах которой минерализация и состав вод изменяются в сравнительно узких пределах;

г) верхняя – пресных вод с минерализацией до 1 г/л мощностью 0,3-0,6 м;

д) промежуточная, солоноватых вод и соленых вод с минерализацией от 1 до 35 г/л;

е) нижняя – рассолов (более 35 г/л).

На формирование химического состава подземных вод месторождений твердых полезных ископаемых, кроме названных выше факторов, существенно влияют окислительные и восстановительные условия, которые складываются в процессе ведения горных работ.

Как отмечает М.В.Сыроватко [17] гидрохимическая зональность нарушается с началом эксплуатации месторождения, когда вступает в действие шахтный водоотлив из системы горных выработок. Поэтому формирование химического состава глубинных шахтных вод протекает в исключительно сложных условиях.

Для угольных месторождений характерны два типа природной обстановки: в верхних частях – окислительная, на глубоких горизонтах – восстановительная.

Основным фактором, определяющим условия и закономерности формирования шахтных вод является искусственно созданная окислительная обстановка, в которую попадают подземные воды. После поступления в шахту, вследствие несколько повышенной температуры и хорошего проветривания выработок, нарушается ход естественных химических процессов, ведущих к формированию определенного для соответствующих глубин состава вод.

В более глубоких горизонтах воды насыщены более стойкими соединениями (NaCl , Na_2SO_4), сравнительно малоактивны и устойчивы к окружающей среде.

По мере их передвижения по выработкам, в воде значительно увеличивается содержание Ca^{2+} , Mg^{2+} и SO_4^- , повышается жесткость и минерализация (в основном за счет сульфатов). В меньшей степени возрастает содержание Na^+ , Cl^- , Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 .

При уменьшении pH иногда исчезает CO_3^{2-} и появляется HCO_3^- . Содержание CO_2 и O_2 изменяется в зависимости от обстановки.

Изменение состава воды происходит пропорционально длине пути протекания воды по выработкам и времени.

Наибольшие изменения претерпевают подземные воды, поступающие в виде редких капелей, особенно в очистных выработках. Систематические исследования, проведенные на шахтах Донбасса, свидетельствуют о том, что кислые воды образуются только на верхних горизонтах, куда поступают подземные воды низкой минерализации и обладающие меньшей щелочностью. И в большинстве случаев кислые воды формируются в старых заброшенных выработках, где они застаиваются продолжительное время.

Кислые воды являются хорошими растворителями, вследствие чего минерализация их быстро повышается по мере протекания по выработкам.

Предполагается, что зона возможного образования кислых вод охватывает подземные воды, где в составе их сильные кислоты преобладают над щелочами. Нижняя граница совпадает с верхней границей метановой зоны (примерно глубина 150 м) и с верхней границей – распространения натриевых. Максимальные мощности зоны возможного образования кислых вод 350-400 м.

Почти все без исключения шахтные воды агрессивны, в верхних частях – обладающие сульфатной, в нижней – агрессивностью выщелачивания.

2.10 Режим подземных вод

Под режимом понимают совокупность изменений во времени уровня или напора их, расхода, химического и газового состава, температурных условий, скорости движения подземных вод.

Изменение режима подземных вод происходит под влиянием природных (в основном климатических и структурных) факторов и

техногенной деятельности человека. Особенно резкие изменения их режима наблюдаются в горнодобывающих районах. Водоотливы из горных выработок уменьшают напоры подземных вод, а иногда полностью осушают водоносные пласты, нарушая природный режим подземных вод. Горные выработки или дренажные системы повышают коэффициент водообмена, возникающие деформации поверхности способствуют увеличению подземного стока; отмечается взаимосвязь водоносных горизонтов и с поверхностными водами.

В одних условиях количество откачиваемых шахтных вод может компенсироваться естественным притоком подземных вод, в других – интенсивный приток в горные выработки приводит к истощению ресурсов подземных вод шахтного поля или месторождения.

При эксплуатации глубоких горизонтов в соответствующих геологических условиях происходит обычно изменение притока шахтных вод с глубиной, не зависящее от их ресурсов.

Для условий Донбасса отмечается следующая закономерность: наибольшая водообильность наблюдается на глубинах 150-200 м, ниже 300-500 м водоприток несколько уменьшаются, что особенно заметно на глубине более 500 м. Немаловажное значение имеет характер залегания пород. При горизонтальном залегании пластов и приуроченности водоносных горизонтов к пористым породам притоки шахтных вод в паводковые периоды не превышают 20-25 %. Наклонное залегание пород способствует сезонному увеличению паводковых вод на 50, 100 % и больше.

Особенно резкие колебания наблюдаются при наличии карстующихся пород с увеличением притока до 300-400 %.

Нарушения естественного режима подземных вод возникает уже в самом начале шахтного строительства, при проходке стволов.

Вскрываются многие водоносные горизонты каменноугольных отложений до глубин 500-600 м, а при закладке глубоких шахт – до 1000-1200 м. Но поскольку крепление стволов осуществляется вслед за углубкой, притоки в них незначительные и составляют 10-20 м³/час, в отдельных районах (Красноармейский) до 70-100 м³/час. Поэтому вокруг шахтных стволов не наблюдается широких депрессий и в зону осушения попадают незначительные площади.

Дальнейший дренаж подземных вод происходит при проведении подготовительных выработок, особенно квершлагов, вскрывающих по несколько водоносных горизонтов. Однако ввиду небольших сечений квершлагов притоки в эти выработки не превышают 10-15 м³/час. Более интенсивное осушение водоносных горизонтов наблюдается при очистных работах, при обрушении и оседании пород над выработанным пространством. Сопровождается обычно образованием трещин, связывающих разобщенные до этого водоносные горизонты, залегающие над разрабатываемыми пластами в пределах 30-50-кратной мощности угольного пласта.

В дальнейшем происходит задавливание трещин обрушения и уменьшение их водопроницаемости, приток в лаву на этом участке будет уменьшаться или полностью прекратиться и уровни подземных вод восстанавливается до уровней поверхности общей шахтной депрессии. Таким образом, формирующиеся над очистными выработками депрессионные воронки являются временными, мигрируя по площади отработки вслед за перемещением забоя лавы.

При неглубоком залегании пласта полезного ископаемого зона водопроводящих трещин может достигать земной поверхности и водопритоки в шахту будут формироваться за счет просачивания атмосферных осадков по площади очистных работ.

При вскрытии тектонических нарушений притоки составляют 300-400 и более м³/час, иногда 1000 м³/час. Однако такие интенсивные притоки редки и кратковременны.

В результате подработки горными работами водоносных горизонтов имеют место отдельные редкие случаи вывода из строя водозаборов подземных вод.

2.11 Происхождение подземных вод.

По происхождению выделяют несколько типов подземных вод:

1) инфильтрационные подземные воды – образуются в результате просачивания (инфильтрации) в водопроницаемые горные породы атмосферных осадков. В отдельных случаях наблюдается поступление воды в водоносные горизонты из рек, озер и морей. Таким образом, можно считать инфильтрацию основным источником пополнения подземных вод, распространенными в верхних горизонтах с интенсивным водообменом.

2) конденсационные подземные воды. В засушливых районах, при малом выпадении атмосферных осадков и большой испаряемости, в формировании подземных вод определенную роль играет конденсация водяных паров воздуха в порах и трещинах горных пород, возникающая за счет разности упругости водяных паров атмосферного и почвенного воздуха. Такой же процесс может происходить и внутри горной породы. В результате конденсации в пустынях образуются линзы пресных вод над солеными грунтовыми водами.

3) седиментогенные подземные воды (седиментум – осадок) – это воды морского происхождения. Они образовались одновременно с накоплением осадков. В ходе последующего тектонического развития такие воды претерпевают значительные изменения в процессе диагенеза, тектонических движений и других факторов, попадая в зоны повышенных давлений и температур. Нередко их называют погребенными. Вместе с тем, большую роль в формировании седиментогенных вод отводят элизионным процессам (элизио – обжимаю). Первичные осадки содержат до 80-90 % воды, при уплотнении которых происходит их отжим. Естественная влажность горных пород 8-10 %.

4) ювенильные подземные воды (юные) или магматогенные, образованы из паров, выделяющихся из магмы при ее остывании. Попадая в области более низких температур пары магмы конденсируются и переходят в капельно-жидкое состояние, создавая особый тип подземных вод. Такие воды обладают повышенной температурой и содержат в растворенном состоянии необычные для поверхностных условий соединения и газовые компоненты. Приурочены к областям современной вулканической деятельности.

Вблизи поверхности такие воды смешиваются с обычными подземными водами и поступают на поверхность в смешанном виде.

5) возрожденные или дегидратационные воды образуются в результате выделения ее из минеральных масс, содержащих кристаллизационную воду. Такой процесс перехода из связанного в свободное состояние возможен при повышенных температурах и давлениях.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные задачи и разделы гидрогеологии и инженерной геологии.
2. Охарактеризуйте круговорот воды в природе.
3. Назовите основные виды воды в горных породах.
4. Назовите основные водно-физические свойства подземных вод.
5. Охарактеризуйте типы подземных вод по условиям залегания и основные их особенности.
6. Назовите физические свойства подземных вод.
7. Какие основные параметры определяются при химическом составе подземных вод.
8. Сформулируйте понятие режим подземных вод. Как изменяется режим шахтных вод?
9. Охарактеризуйте типы подземных вод по происхождению.

3 ОСНОВЫ ДИНАМИКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Динамика подземных вод является разделом гидрогеологии и изучает теоретические основы и закономерности движения подземных вод под влиянием естественных и искусственных факторов.

Основными естественными факторами являются: метеорологические (количество осадков, температура среды), гидрогеологические (сезонные колебания уровней и др.), биологические (транспирация), геологические (сейсмические, обвально-оползневые и пр.)

К искусственным факторам относятся строительство водохранилищ, водоснабжение, водопонижение при разработке месторождений полезных ископаемых, орошение и др.

3.1 Классификация потоков и виды движения подземных вод

Передвижение воды в горных породах зависит от водных свойств горных пород и степени насыщенности их негравитационной и гравитационной водой. Различают два режима движения подземных вод: негравитационное движение – это движение парообразной влаги (от слоя с большей температурой к слою с меньшей температурой), движение физически связанной воды (от частиц более влажных к менее влажным), движение воды в капиллярах (под действием поверхностных сил, как сверху вниз, так и снизу вверх).

Следовательно, основными факторами негравитационного движения являются размеры частиц, величина диаметров пор, температура воды, концентрирование воды, концентрация порового

раствора и пр. Этот вид движения носит также название миграции.

Гравитационное движение обусловлено действием сил тяжести и происходит в зонах аэрации и насыщения при наличии разности напоров и уклонов в самых разнообразных породах.

В породах, находящиеся в состоянии максимального смачивания, но не насыщенных полностью, передвижение гравитационной воды происходит в виде свободного просачивания, называемого инфильтрацией.

В породах, полностью заполненных водой, ниже зеркала подземных вод в зоне полного насыщения, движение воды носит название фильтрации.

Фильтрация воды происходит при наличии гидростатического давления (напора).

Фильтрация воды в горных породах происходит по порам, т.е. промежуткам между отдельными частицами породы и по трещинам или пустотам. В первом случае, вода движется в виде отдельных параллельных капель или струй без разрыва сплошности потока и такое движение называется ламинарным. Оно характеризуется небольшими скоростями движения.

Движение воды по пустотам, крупным тектоническим нарушениям, для которого характерны большие скорости, вихреобразность, пульсация и перемешивание струй, называется турбулентным.

Различают также установившееся или стационарное движение воды, при котором все характеристики потока (скорость, уровень и мощность) постоянны во времени и неустановившееся движение, с изменяющимся во времени режимом.

В природе движение подземных вод почти всегда неустановившееся, однако, в некоторых случаях изменение отдельных характеристик водного потока весьма незначительны во времени и при решении практических задач ими можно пренебречь.

Движение воды в подземном потоке может быть равномерным и неравномерным.

Равномерным называют такое движение подземных вод, при котором скорость фильтрации во всех сечениях одинакова, в отличие от неравномерного, характеризующегося изменением скорости по длине потока. Равномерное движение свойственно потоку напорных вод по пласту постоянной мощности и в безнапорных водах, когда уклон водоупора численно равен напорному градиенту, следовательно, глубина потока остается постоянной по его длине. При неравномерном движении подземных вод напорный градиент изменяется по длине потока.

3.2 Основные гидродинамические элементы водного потока

Основными гидродинамическими элементами водного потока являются: дебит, удельный дебит, гидравлический (напорный) градиент, скорость фильтрации, коэффициент фильтрации.

Дебит (Q) – количество воды, поступающей в единицу времени из естественного или искусственного (колодца, скважины, горной выработки и пр.) источников, в единицу времени измеряется обычно в л, м³ в секунду, час, сутки.

Дебит колодца определяется коэффициентом фильтрации водоносных пород, их мощностью, величиной понижения уровня

(напора) воды в скважине, запасами воды в водоносном горизонте и конструкцией фильтра.

При ламинарном движении дебит подчиняется закону Дарси, который можно сформулировать следующим образом: количество воды, фильтрующееся через поперечное сечение водопроницаемой толщи пород прямо пропорционально этому сечению, коэффициенту фильтрации, разности уровней воды, отнесенной к высоте слоя (l) и выражается формулой:

$$Q = kF \frac{(H_1 - H_2)}{l} \quad (3.1)$$

Движение воды в горных породах происходит при разности уровней ее в двух сечениях (рисунок 3.1). Разность уровней ($H_1 - H_2$) создает напор, под действием которого вода из сечения I движется в направлении сечения II.

Отношение $\frac{H_1 - H_2}{l}$ называют гидравлическим уклоном (напорным градиентом), показывающим величину падения напора на единицу длины пути фильтрации

$$I = \frac{H_1 - H_2}{l} = \frac{\Delta H}{l} \quad (3.2)$$

Подставив вместо $\frac{\Delta H}{l} = I$, получим следующее выражение закона Дарси:

$$Q = k \cdot F \cdot I \quad (3.3)$$

где АВ – уровень подземных вод;

A_1B_1 – водоупорная почва;

h – напор;

H_1 – уровень воды в сечении I;

H_2 – уровень воды в сечении II

Рисунок 3.1 – Разрез участка подземного потока.

Скорость подземного потока V зависит от напора и длины пути фильтрации l . Следовательно, если обе части уравнения Дарси разделить на F (площадь сечения потока)

$$V = \frac{Q}{F} \quad (3.4)$$

получим, что скорость фильтрации

$$V = kI \quad (3.5)$$

Уравнение показывает, что скорость фильтрации прямо пропорциональна коэффициенту фильтрации и гидравлическому уклону (напорному градиенту) в первой степени.

Однако вода двигалась бы с этой скоростью, если бы поток занимал все сечение F . В действительности, вода течет через часть сечения, равного площади сечения пор и трещин. Такая скорость движения получила название приведенной или кажущейся.

Чтобы получить действительную скорость движения в порах породы, необходимо расход воды Q разделить на действительную площадь пор F_n (где n – пористость породы в долях единицы)

$V_D = \frac{Q}{F_n}$, м/с, где заменив значение $\frac{Q}{F}$ через V , получим

$$V_D = V_{np} : n \quad (3.6)$$

Учитывая, что пористость n всегда меньше единицы, скорость фильтрации потока меньше действительной скорости движения в породах и трещинах.

Коэффициент K – коэффициент фильтрации или коэффициент водопроницаемости пород, численно равен скорости фильтрации (V) при уклоне (I) равном единице (м/сек, час, сут.).

$$K_{cp} = V, \text{ при } I=1 \quad (3.7)$$

По величине коэффициента фильтрации породы подразделяются на:

хорошо проницаемые

(галечники, закарстованные породы) – $k_f = 100$ м/сут.

водопроницаемые

(крупнозернистые пески, трещиноватые) – $k_f = 40-100$ м/сут.

породы, пески разномерные,

пески среднеразмерные)

- $k_{\text{ф}} = 10-20$ м/сут.

слабо водопроницаемые

(мелкозернистые пески, супеси,

суглинки)

- $k_{\text{ф}} = 0,1-10$ м/сут.

весьма слабопроницаемые

(суглинки, супеси, глины)

- $k_{\text{ф}} = 0,001-0,1$ и менее.

Для водозаборных колодцев используют также термин «удельный дебит» q , т.е. объем воды, выдаваемый колодцем при понижении уровня воды S в нем на 1 м, выражаемое в л/с или м²/с

$$q = \frac{Q}{S} \quad (3.8)$$

Переход от ламинарного движения к турбулентному происходит при наличии в потоке критической скорости, которая характерна для движения воды по сильно трещиноватым и закарстованным породам или вблизи шахт, шурфов при очень больших напорах или понижениях уровня.

Расход воды (приток) определяется в этом случае по формуле Шези-Краснопольского и имеет вид:

$$Q = k \cdot F \sqrt{I}, \quad (3.9)$$

а скорость движения

$$V = k \sqrt{I}, \quad (3.10)$$

т.е. пропорциональна коэффициенту фильтрации и гидравлическому уклону в степени $\frac{1}{2}$.

Однако в природных условиях скорости фильтрации исчисляются небольшими значениями (метрами или десятками метров), поэтому движение подземных вод базируется в основном на линейном законе фильтрации Дарси.

3.3. Дренаж и дренажные сооружения

Дренаж – это комплекс мероприятий, предназначенных для осушения водоносных горизонтов или снижения в нем уровня подземных вод.

Искусственные сооружения, предназначенные для дренажа, называются дренажными. В горном деле дренаж применяется для защиты шахт и карьеров от подземных вод путем перехвата их при помощи дренажных устройств в период строительства и эксплуатации горных предприятий.

Дренажные сооружения подразделяются на вертикальные (буровые скважины, вертикальные стволы шахт, колодцы, шурфы и пр.) и горизонтальные (осушительные канавы, штреки, квершлаг, галереи, траншеи и пр.).

По характеру напора дренажные водозаборы любого назначения, вскрывающие грунтовые и безнапорные межпластовые воды, носят общее название грунтовые колодцы, а водозаборы, вскрывающие напорные воды – артезианские колодцы.

По условиям вскрытия водоносного горизонта как грунтовые, так и артезианские колодцы могут быть совершенного и несовершенного

типов (рисунок 3.2).

Рисунок 3.2 – Колодцы совершенного и несовершенного типов.

Совершенными называются колодцы, доведенные до водоупора и вскрывающие водоносный горизонт на всю его мощность, т.е. имеют проницаемые стенки по всей мощности водоносного горизонта (рисунок 3.2).

Несовершенные колодцы – это такие, которые не доведены до водоупора и вскрывают только часть водоносного горизонта (рисунок 3.2). Различают следующие типы несовершенных колодцев:

- несовершенный колодец с проницаемыми стенками и непроницаемым дном;
- с проницаемым дном и непроницаемыми стенками;
- с проницаемыми стенками и дном.

Дренажные сооружения любого типа могут быть также одиночными и групповыми. Одиночные водозаборы используются для

водоснабжения или для снижения уровня воды в отдельных районах или отраслей народного хозяйства. Групповые дрены применяются для осушения или снижения уровня на горных объектах, а также водоснабжения городов и поселков.

3.4. Движение подземных вод к водозаборным сооружениям

Основные закономерности движения подземных вод определяются составом, условиями залегания водоносных и водоупорных пород, их фильтрационными особенностями и другими факторами.

В результате водозабора из горных выработок вокруг последних возникает понижение уровня подземных вод или депрессионная воронка, имеющая максимальный наклон у стенки выработки и по мере удаления от нее постепенно выполаживается и практически сопрягается с уровнем первоначального напора, H (рисунок 3.3). Расстояние от оси выработки до точки сопряжения депрессионной кривой с линией первоначального положения уровня называется радиусом влияния, R .

Размеры воронки депрессии вокруг горной выработки увеличиваются с течением времени и подчиняются зависимости

$$R \approx \sqrt{10at}, \quad (3.11)$$

где R – радиус воронки депрессии;

a – коэффициент уровнепроводимости

(пъезопроводимости) дренируемого пласта;

t – расчетное время.

где H – уровень воды в выработке (мощность водоносного пласта);

S – сниженный уровень воды в выработке;

H – уровень воды после откачки;

R – радиус влияния.

Рисунок 3.3 – Схема откачки воды из вертикальной дрены.

В практике гидрогеологических расчетов для приближенного определения радиуса влияния при непродолжительных откачках грунтовых вод и при откачке из ствола шахты широко используется формула И.П. Кусакина

$$R = 2S\sqrt{kH}, \quad (3.12)$$

а для напорных вод – формула В. Зихардта

$$R = 10S\sqrt{k}, \quad (3.13)$$

где k – коэффициент фильтрации, м/с;

S – понижение уровня подземных вод, м;

H – мощность водоносного горизонта, м.

Сниженный уровень воды в дрене в результате продолжительной откачки, соответствующий остаточному (высоте h), называется динамическим в отличие от статического уровня, который соответствует первоначальному уровню H . Величина S , на которую понижается уровень воды в выработке, называется понижением и определяется

$$S = H - h \quad (3.14)$$

По мере удаления от колодца величина понижения уровня уменьшается и на расстоянии, равном радиусу влияния, R , близка к нулю.

Для безнапорного потока, где вода не полностью занимает сечение пласта, характерны свободный уровень (или зеркало грунтовых вод) и давление на поверхности пласта, равное атмосферному.

При напорном движении водоносный пласт полностью заполнен водой, при вскрытии которого уровень, называемый пьезометрическим, устанавливается выше его кровли.

При откачке подземных вод из горной выработки практически нельзя получить установившегося движения подземных вод. Однако, если при продолжительной откачке с постоянной интенсивностью уровень воды в ней почти не изменяются во времени, приток подземных вод к горной выработке можно считать установившимся.

3.5 Движение безнапорного потока в однородном пласте при горизонтальном залегании водоупора

Рассмотрим установившееся движение грунтового потока с горизонтальным водоупором и постоянным расходом (рисунок 3.4).

Рисунок 3.4 – Схема движения безнапорного потока подземных вод на горизонтальном водоупоре.

Единичный расход потока (расход, приходящийся на единицу ширины потока) определяется формулой Дюпюи:

$$q = k \frac{h_1^2 - h_2^2}{2l}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (3.15)$$

где k – коэффициент фильтрации, м/с;

h_1 и h_2 – мощности водоносного горизонта в сечениях 1 и 2;

l – расстояние между сечениями, м.

Расход потока шириной B равен произведению ширины потока на
единичный расход

$$Q = B \cdot q = B \cdot k \frac{h_1^2 - h_2^2}{2l}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (3.16)$$

или

$$Q = k \cdot B \cdot h_{\text{ср.}} \cdot l, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (3.17)$$

где $h_{\text{ср.}}$ – средняя мощность грунтового потока, м.

3.6 Движение грунтовых вод в однородном пласте при наклонном залегании водоупора

Рисунок 3.5 – Схема движения грунтовых вод на наклонном
водоупоре.

Здесь единичный расход q и расход Q водного потока шириной в сечениях 1 и 2 определяется по приближенным формулам Г.Н.Каменского:

$$q = k \frac{h_1 + h_2}{2} \cdot \frac{H_1 - H_2}{l}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (3.18)$$

$$Q = Bq = Bk \frac{h_1 + h_2}{2} \cdot \frac{H_1 - H_2}{l}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (3.19)$$

где H_1 и H_2 – отметки уровня грунтовых вод, отсчитываемые от условной линии сравнения 0 0₁ соответственно в сечениях 1 и 2 (рисунок 3.5).

3.7 Движение напорных вод в однородных пластах

Независимо от положения верхнего и нижнего водоупоров, единичный расход (q) и расход (Q) напорного потока постоянной мощности определяются по формулам Г.Н. Каменского (рисунок 3.6):

$$q = k \cdot m \frac{H_1 - H_2}{l}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (3.20)$$

где m – мощность напорного потока.

$$Q = kB \frac{M_1 + M_2}{2} \cdot \frac{H_1 - H_2}{l}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (3.21)$$

где M_1 и M_2 – мощности водного потока в сечениях I и II (при наклоне пласта менее 10° могут быть заменены расстоянием от кровли до почвы пласта по вертикали).

Рисунок 3.6 – Схема движения подземных вод в напорном пласте.

В случае неравномерного движения водного потока будут изменяться мощность водного потока и коэффициент фильтрации. Расчеты такого потока изложены в специальных курсах гидрогеологии.

3.8 Движение подземных вод к одиночным колодцам

3.8.1 Грунтовый совершенный колодец

При откачке воды из грунтового одиночного колодца с радиусом r (рисунок 3.7), заложенного в однородном пласте со свободным уровнем, вокруг образуется депрессионная воронка с радиусом влияния R .

Рисунок 3.7 – Схема грунтового совершенного колодца.

Количество притекающей к колодцу воды (расход, дебит колодца) при принятом сечении Y на расстоянии X от центра колодца будет

$$Q = F \cdot V, \text{ м}^3/\text{с} \quad (3.22)$$

где F – площадь поперечного сечения потока, равная площади цилиндрической поверхности радиусом X и высотой Y , т.е.

$$F = 2\pi \cdot x \cdot y, \text{ м/с}, \quad (3.23)$$

где $V = k \cdot I = k \frac{dy}{dx}$ - скорость фильтрации, м/с.

Следовательно,

$$Q = 2\pi \cdot x \cdot y \cdot k \frac{dy}{dx}. \quad (3.24)$$

Произведя математические преобразования, получим формулу притока воды к грунтовому совершенному колодцу (формула Дюпюи):

$$Q = \frac{\pi \cdot k (H^2 - h^2)}{\ln R - \ln r}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (3.25)$$

где k – коэффициент фильтрации, м/сут.;

H – мощность водоносного горизонта, м;

h – высота слоя воды в колодце во время откачки, м;

R – радиус влияния, м;

r – радиус колодца, м.

Заменяя в формуле натуральные логарифмы десятичными и подставив вместо π его значение, получим

$$Q = 1,366 \cdot k \frac{(H^2 - h^2)}{\lg R - \lg r}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (3.26)$$

(переходной коэффициент от натуральных логарифмов к десятичным равен 2,3).

Заменив h через $H-S$, получим

$$Q = 1,366 \cdot k \frac{(H^2 - h^2)}{\lg R - \lg r} = 1,366 \cdot k \frac{(2H - S) \cdot S}{\lg R - \lg r}, \text{ м}^3/\text{с}, (3.27)$$

где S – величина сниженного уровня воды в колодце, м.

Из формулы следует, что приток воды будет тем больше, чем больше коэффициент фильтрации K , мощность пласта H , понижение уровня S , радиус колодца r и меньше радиус влияния R .

Величина радиуса влияния зависит от продолжительности откачки и фильтрационных свойств горных пород.

3.8.2 Артезианский совершенный колодец

При откачке воды из колодца радиусом r , вскрывающего артезианский горизонт, вода будет притекать со всех сторон в пределах пласта мощностью m . Уровень воды в колодце понизится на величину S , и вместе с ним будет понижаться и напор. Вокруг колодца образуется депрессионная воронка с радиусом R , а напорный уровень устанавливается на высоте H от водоупорной почвы.

Расположив координатные оси по оси выработки и по нижнему водоупору, рассмотрим цилиндрическое сечение Y на расстоянии X от начала координат, площадь которого равна $F = 2\pi xm$.

Рисунок 3.8. – Схема притока воды в артезианский колодец

Расход потока подземных вод к выработке через это сечение определяется формулой

$$Q = 2\pi \cdot x \cdot m \cdot k \frac{dy}{dx}, \quad (3.28)$$

где $I = \frac{dy}{dx}$ - напорный градиент.

Разделяя переменные и проинтегрировав это уравнение

$$Q = \int \frac{R}{r} \frac{dx}{x} = 2\pi \cdot k \cdot m \int \frac{H}{m} dy, \quad (3.29)$$

получим

$$Q = \frac{2\pi \cdot k \cdot m(H - h))}{\ln R - \ln r}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (3.30)$$

Учитывая, что $H-h=S$ и, заменив натуральный логарифм десятичным, получим

$$Q = \frac{2,73 \cdot k \cdot m \cdot S}{\lg R - \lg r}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (3.31)$$

где k – коэффициент фильтрации, м/сут.;

m – мощность напорного водоносного горизонта, м;

S – понижение уровня воды в колодце, м;

R – радиус влияния, м;

r – радиус колодца, м.

Из формулы видно, что дебит совершенного напорного кольца прямо пропорционален коэффициенту фильтрации k , мощности m и понижению уровня воды S и обратно пропорционален логарифму

отношения $\frac{R}{r}$. Логарифм отношения $\frac{R}{r}$ даже при значительных

изменениях существенного влияния не окажет.

Результаты расчетов показывают, что при возрастании радиуса колодца в 10 раз дебит его увеличится в 1,5 раза, а при изменении радиуса влияния в 10 раз при постоянном диаметре выработки дебит увеличится всего в 1,38 раза.

3.8.3 Несовершенные колодцы

Приток воды к несовершенным колодцам, как правило, меньше, чем к совершенным, в виду того, что вода, движущаяся к несовершенному колодцу, преодолевает большее сопротивление при входе в колодец и проделывает больший путь, чем при движении к совершенному колодцу. Вода притекает не только с боков, но из части слоя, лежащего ниже дна колодца (рисунок 3.9).

Рисунок 3.9 – Несовершенный колодец

(А – грунтовый, Б – артезианский)

По мере удаления от колодца линии токов постепенно выполаживаются и на некотором расстоянии от колодца принимают горизонтальное положение.

Величина притока зависит от длины и расположения фильтра в колодце.

При расчетах притока воды необходимо учитывать коэффициент несовершенства колодца (K_n), который определяется формулой:

$$K_H = \frac{l}{m} \left[1 - 7 \left(\ln \frac{l}{m} \sqrt{\frac{r_K}{m}} \right) \right], \quad (3.32)$$

где l – длина фильтра, м;

m – мощность водоносного горизонта, м;

r_K – радиус колодца, м.

Приток воды в несовершенный грунтовой или артезианский колодец с проницаемыми стенками и непроницаемым дном приближается к притоку воды в совершенный колодец.

По Форхгеймеру соотношение дебитов совершенного и несовершенного колодцев выражается уравнением:

$$\frac{Q}{Q_1} = \sqrt{\frac{h}{l}} \cdot \sqrt{\frac{h}{2h-l}}, \quad (3.33)$$

где Q – дебит совершенного колодца, м³/с;

Q_1 – дебит несовершенного колодца, м³/с;

h – высота столба воды в совершенном колодце, или высота пониженного уровня в несовершенном колодце, считая от подошвы водного слоя, м;

l – высота столба воды в несовершенном колодце, считая от дна колодца, или длины рабочей части фильтра, м.

Подставив в уравнение формулу Дюпюи притока воды к совершенному колодцу, получим формулу притока воды к несовершенному с проницаемыми стенками и непроницаемым дном:

$$Q = \frac{\pi \cdot k(H^2 - h^2)}{\ln R - \ln r} \cdot \sqrt{\frac{l}{h}} \cdot 4\sqrt{\frac{2h-l}{h}}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (3.34)$$

Для несовершенного колодца с проницаемым дном и непроницаемыми стенками эта зависимость по Ферхгеймеру имеет вид:

$$\frac{Q}{Q_1} = \sqrt{\frac{h}{l + 0,5r}} \cdot 4\sqrt{\frac{h}{2h-l}}, \quad (3.35)$$

где r – радиус колодца, м.

Остальные обозначения даны выше.

Рассмотренные выше уравнения, согласно Каменскому, могут применяться и для артезианского несовершенного колодца, если заменить величину h на величину M – мощность напорного пласта. Для колодца с непроницаемым дном получим:

$$\frac{Q}{Q_1} = \sqrt{\frac{M}{l}} \cdot \sqrt{\frac{M}{2M-l}}. \quad (3.36)$$

Для колодца с проницаемым дном

$$\frac{Q}{Q_1} = \sqrt{\frac{M}{l + 0,5r}} \cdot 4\sqrt{\frac{M}{2M-l}}. \quad (3.37)$$

Дебит несовершенного артезианского колодца можно рассчитывать также по приближенной формуле Бабушкина В.Д. и Гиринского Н.К.:

$$Q = \frac{2\pi \cdot k \cdot l(H - h)}{\ln \frac{0,66 \cdot l}{r}}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (3.38)$$

Подставив значение π и перейдя к десятичным логарифмам, получим

$$Q = \frac{2,73 \cdot k \cdot l(H - h)}{\lg \frac{0,66 \cdot l}{r}} = \frac{2,73 \cdot k \cdot l \cdot S}{\lg \frac{0,66 \cdot l}{r}}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (3.39)$$

Такая формула справедлива для случая, если водопримная часть фильтра удалена от нижнего и верхнего водоупора. Если водопримная часть фильтра примыкает к водоупорной границе, приток воды к несовершенному артезианскому колодцу рассчитывается по формуле:

$$Q = \frac{2\pi \cdot k \cdot l(H - h)}{\ln \frac{\alpha \cdot l}{r}}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (3.40)$$

или

$$Q = \frac{2,73 \cdot k \cdot l(H - h)}{\lg \frac{\alpha \cdot l}{r}} = \frac{2,73 \cdot k \cdot l \cdot S}{\lg \frac{\alpha \cdot l}{r}}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (3.41)$$

где (для всех вышеперечисленных формул)

k – коэффициент фильтрации, м/сут.;

l – длина водоприемной части фильтра, м;

H – мощность водоносного горизонта в грунтовом потоке, или
высота пьезометрического уровня в напорном потоке, м;

h – глубина воды в колодце, м;

S – понижение уровня воды в колодце, м;

r – радиус колодца, м;

α – коэффициент, равный 0,66 (для случая, когда фильтр удален от
верхнего или нижнего водоупора) и 1,32-1,6 (когда фильтр
примыкает к водоупору).

3.8.4 Горизонтальная дрена (канавы, галерея)

Приток воды к совершенной горизонтальной дрены (рисунок 3.10), заложенной в безнапорном пласте, отнесенный к 1 м его длины (единичный расход) с одной стороны, определяется формулой:

$$q = k \frac{H^2 - h^2}{2R}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (3.42)$$

где q – дебит, м³/с;

k – коэффициент фильтрации, м/сут.;

H – мощность водоносного горизонта, м;

h – расстояние от водоупора до уровня воды, м;

R – радиус влияния, м.

Рисунок 3.10 – Схема движения воды к горизонтальной
совершенной дрене

Приток в горизонтальную дрину длиной B с двух сторон определяется формулой:

$$Q = k \cdot B \frac{H^2 - h^2}{2 \cdot R}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (3.43)$$

Высота пониженного уровня на расстоянии $x < R$ от стенки выработки равна:

$$y = \sqrt{H - \frac{x}{R}(H^2 - h^2)}, \text{ м,} \quad (3.44)$$

Для напорных вод формула будет иметь вид:

$$Q = \frac{k \cdot m \cdot B(H - h)}{R}, \text{ м}^3/\text{с,} \quad (3.45)$$

$$y = H - \frac{x}{R}(H - h), \text{ м}^3/\text{с} \quad (3.46)$$

3.8.5 Взаимодействующие вертикальные дрены

При осушении месторождений полезных ископаемых, при эксплуатации подземных вод дренажные выработки располагаются обычно группами на таком расстоянии, чтобы они оказывали влияние одна на другую (рисунок 3.11).

Рисунок 3.11 – Схема взаимодействия 2-х дрен

Считается целесообразным располагать дренажи на расстоянии меньше двух радиусов влияния. При одновременной откачке с обеих сторон уровень воды между ними снизится, причем, чем ближе будут расположены дренажи, тем большее понижение будет достигнуто.

При расположении скважин на расстоянии, равном половине радиуса влияния ($2a = 0,5 R$), снижение уровня будет сравнительно небольшим (до 10 %).

Такое расположение скважин рекомендуется применять для целей водоснабжения. При осушении их располагают значительно ближе, на расстоянии $2a < 0,1R$.

При работе обеих дрен, их депрессионные воронки наложатся одна на другую и общее снижение уровня будет больше, чем при работе единичной дрены.

В плане взаимодействующие водозаборы могут располагаться по контурам геометрической фигуры (по кругу, вершинам многоугольника и пр.).

При взаимодействии дрен, расположенных в один ряд, дебит каждой скважины можно определить по формулам Чарного-Брамова:

для безнапорного потока

$$Q^1 = \frac{1,36 \cdot k(2H - S)}{\lg \frac{a}{\pi \cdot r} + \frac{1,36 \cdot R}{2 \cdot a}}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (3.47)$$

для напорного потока

$$Q^1 = \frac{2,73 \cdot k \cdot M \cdot S}{\lg \frac{a}{\pi \cdot r} + \frac{1,36 \cdot R}{2 \cdot a}}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (3.48)$$

где a – половина расстояния между дренами, м.

Рисунок 3.12 – Схема взаимодействия группы вертикальных дрен

При работе группы дрен, расположенных по кругу, по углам правильного многоугольника или по незначительно вытянутому контуру (где отношение длины к ширине менее 2,5) дебит каждой грунтовой дрены определяется по формуле Щелкачева:

$$Q^1 = \frac{1,36 \cdot k(2H - S) \cdot S}{\lg \frac{R_0^n}{n \cdot r_0^{n-1} \cdot r}}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (3.49)$$

для артезианского потока

$$Q^1 = \frac{2,73 \cdot k \cdot M \cdot S}{\lg \frac{R_0^n}{n \cdot r_0^{n-1} \cdot r}}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (3.50)$$

где n – число скважин;

R_0 – радиус влияния отсчитываемый от центра установки до границы области питания, м;

r_0 – приведенный радиус или контур группы скважин, м.

Величину приведенного радиуса не очень вытянутого контура группы дрен площадью F можно вычислить по формуле:

$$r_0 = \sqrt{\frac{F}{\pi}}, \text{ м} \quad (3.51)$$

Радиус влияния R_0 установки

$$R_0 = r_0 + R, \text{ м}, \quad (3.52)$$

где R вычисляется по формуле И.П. Кусакина (см. стр. 60).

Величину сниженного уровня при работе группы дрен в безнапорных условиях в точке А в пределах зоны влияния (рисунок 3.13) вычисляют по формуле:

$$H_A = \sqrt{H^2 - \frac{n \cdot Q^1}{1,36 \cdot k} \left[\lg R_0 - \frac{1}{n} \lg(x_1 \cdot x_2 \dots x_n) \right]}, \text{м}$$

(3.53)

Рисунок 3.13 – Схема расположения группы взаимодействующих дрен

В центре установки высота сниженного уровня

$$H_{\text{ц}} = \sqrt{H^2 - \frac{n \cdot Q^1}{1,36 \cdot k} (\lg R_0 - \lg r_0)}, \text{ м} \quad (3.54)$$

При напорной фильтрации уравнение депрессионной кривой

$$H_A = H - 0,366 \frac{n \cdot Q^1}{1,36 \cdot k} (\lg R_0 - \lg r_0), \text{ м} \quad (3.55)$$

Расчет взаимодействующих дрен производится методом подбора необходимого их количества, таким образом, дрены могли принять приток воды, поступающий к групповой установке. Решается в каждом конкретном случае и зависит от многих естественных и искусственных факторов (водопроницаемости пород, условий питания и разгрузки, мощности, взаимного расположения и количества дрен, конструкции фильтров и др.).

Контрольные вопросы

1. Назовите виды передвижения воды в горных породах.

2. Перечислите основные гидродинамические элементы водного потока.
3. Назовите типы дренажных сооружений.
4. Сформируйте основные законы гидрогеологии – Дарси и Шези-Краснопольского.
5. В чем заключаются особенности движения воды в совершенных (грунтовых и артезианских) и несовершенных (грунтовых и артезианских) дренах? Приведите их схемы.
6. С какой целью применяются взаимодействующие дрены?
7. При каких условиях они могут взаимодействовать?

4 ОСУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

4.1 Факторы обводненности шахтных полей и горных выработок

Обводнение шахт в процессе ведения горных работ усложняет вскрытие и эксплуатацию полезного ископаемого и создают неблагоприятную обстановку для работы механизмов и условий труда шахтеров.

В некоторых угольных бассейнах и на отдельных шахтах затраты на водоотлив и осушение составляют 30-40% стоимости по добыче полезного ископаемого, а иногда не окупаются стоимостью

добываемого угля.

Поступление воды в шахты обусловлено пересечением водоносных горизонтов, залегающих в кровле и почве разрабатываемого пласта.

По характеру, величине и продолжительности притоки подземных вод в шахту весьма разнообразны. Количественно это может быть выражено коэффициентом водообильности (k_v), который представляет собой отношение количества воды (Q) в m^3 , откачиваемой из шахты за определенный период (обычно за год), к количеству добытого за этот период полезного ископаемого (P).

Код водообильности определяется формулой

$$k_v = \frac{Q}{P}, \text{ м}^3/\text{т год}, \quad (4.1)$$

где k_v – коэффициент водообильности, $m^3/\text{т год}$;

Q – количество откачиваемой воды, $m^3/\text{год}$;

P – количество добытого полезного ископаемого, $\text{т}/\text{год}$.

Как правило, количество откачиваемой из шахты воды в несколько раз превышает количество добытого полезного ископаемого.

Для шахт Донбасса коэффициент водообильности колеблется от

0,8 м³/т год до 12,3 м³/т год; средний – 2,8-5,6 м³/т год.

Изменение во времени обводненности шахтных полей и горных выработок зависит от ряда природных и искусственных факторов.

Природные факторы включают:

а) климатические (количество выпадающих атмосферных осадков, температура, испарение, степень влажности и др.). Установлено, что в период паводков притоки воды в горные выработки увеличиваются на 30-40% по сравнению со среднегодовыми при горизонтальном залегании и иногда на 200-300% при развитии карста или наличии дизъюнктивных нарушений.

Для гидрогеологических условий ведения горных работ Донбасса поверхностные воды оказывают существенное влияние до глубины 100-250 метров.

б) геоморфологические (рельеф местности, степень обнаженности коренных пород, наличие многолетней мерзлоты, поверхностных текущих вод и др.).

Как правило, наиболее обводненными горными выработками являются те, которые расположены под долинами рек и оврагов.

Шахтные поля Донбасса по характеру рельефа [9] подразделяют на три группы:

- 1) расположенные на водоразделах со слабо расчлененным рельефом с незначительной обводненностью;

- 2) на склонах водоразделов с широко развитой овражно-балочной системой со значительной обводненностью;
- 3) в долинах рек с инфильтрацией из водотоков и значительными статическими запасами подземных вод в аллювиальных отложениях и дизъюнктивных нарушениях, достигающих поверхности. При наличии мерзлотных пород также возможно проникновение подземных вод в выработку после оттепления пород под воздействием горных работ.

в) геологические (литологический состав вмещающих уголь пород, структурные особенности, тектоническая нарушенность). Замечено, что наиболее сложные гидрогеологические условия наблюдаются на месторождениях, где пласт полезного ископаемого залегает между рыхлыми водопроницаемыми породами. Крепь горных выработок испытывает при этом горное давление во много раз большее, чем если бы в кровле выработки залегали скальные породы.

Пески-пльвуни также создают весьма неблагоприятные условия при ведении горных работ, даже при малой общей обводненности месторождения. Притоки здесь зависят от степени вскрытия пород горными выработками, мощности и состава покровных отложений.

В скальных породах при равномерной их трещиноватости даже значительная обводненность не осложняет ведение горных работ, тогда как зоны тектонических нарушений (отдельные крупные тектонические трещины) или закарствленность пород могут неожиданно весьма осложнить ведение горных работ и при малых общин ресурсах

подземных вод. В таких случаях характерны большие водопритoki в горные выработки, внезапные прорывы, обрушение кровли, образование провалов на поверхности и пр.

г) гидрогеологические (количество водоносных горизонтов, их мощность, напоры, гидравлическая связь с поверхностными водами, изменение водопроницаемости пород с глубиной и др., т.е. необходима количественная оценка гидрогеологических русловий).

Для условий Донбасса водоносными являются песчаники и известняки карбона и покрывающие их мезокайнозойские отложения, которые наряду с поверхностными водами участвуют в обводнении горных выработок. Например, в северной части Донецкого бассейна [9]. Наиболее водоносны известняки и песчаники среднего карбона (свиты C_2^5 и $C_2^6 - K_6SK_7$ с притоками $1200 \text{ м}^3/\text{час}$; $K_9SL_1 - >1000 \text{ м}^3/\text{час}$ и $I_6Sl_7 - 323 \text{ м}^3/\text{час}$), разделенных мощными толщами аргиллитов и алевролитов. Песчаники дают постоянные притоки, известняки – кратковременные.

Имеющиеся в настоящее время данные по шахтам Донбасса показывают, что средние водопритoki составляют до $100 \text{ м}^3/\text{час} - 41 \%$; $100-200 \text{ м}^3/\text{час} - 33 \%$; $200-500 \text{ м}^3/\text{час} - 24 \%$ и более $500 \text{ м}^3/\text{час} - 2 \%$, т.е. в основном характерны небольшие водопритoki, не превышающие $200 \text{ м}^3/\text{час}$ [16].

Искусственные факторы

К числу искусственных факторов обводненности горных объектов относятся:

а) вскрытие горными выработками незатампонируемых скважин или старых заброшенных выработок. Обычно после окончания буровых работ, из скважин извлекаются обсадные трубы и производится их тампонаж вязким глинистым раствором или цементом. При плохом тампонаже скважин вода может прорваться в горные выработки, сопровождаясь выносом обломочного материала, разрушением кровли и оборудования. В целях безопасности ведения горных работ бурение технических скважин прекращают за 2-3 метра до встречи с горной выработкой.

В старых заброшенных выработках может скапливаться большое количество воды. Как правило, такие воды кислые и агрессивны по отношению к оборудованию. Прорывы воды в действующие горные выработки весьма опасны и носят катастрофический характер.

б) способ и системы разработки. При проведении горных работ с обрушением кровли на поверхности образуются локальные понижения в рельефе (воронки, трещины), которые способствуют скоплению застойных вод и проникновению их в более глубокие горизонты и непосредственно в горные выработки.

При таких условиях посадку лавы можно производить только при мощной толще пластичных пород (глин, аргиллитов, пластичных глинистых сланцев), в которых в зоне обрушения не возникают открытые трещины. Особую роль этот фактор приобретает, если горные выработки расположены в долинах рек и балок.

в) не рекомендуется отводить шахтные воды по поверхности шахтного поля канавами и по балкам, производить орошение

сельскохозяйственных угодий, строить плотины, если породы водопроницаемы.

Все это в совокупности обязывает при оценке условий обводненности месторождения учитывать характер взаимодействия каждого из природных и искусственных факторов в формировании режима шахтных вод и необходимость проведения современного осушения шахтного поля.

4.2 Типы угольных месторождений по гидрогеологическим условиям

Для систематизации материалов гидрогеологических исследований и правильной их оценки необходима гидрогеологическая типизация угольных месторождений.

Общая обводненность месторождений полезных ископаемых, шахтных и карьерных полей может быть оценена следующими показателями:

- а) суммарным притоком воды, $\text{м}^3/\text{ч}$;
- б) удельным притоком воды на 1 м^2 обнаженной поверхности горных выработок, л или $\text{м}^2/\text{ч}$;
- в) коэффициентом водообильности, $\text{м}^3/\text{т год}$;
- г) коэффициентом фильтрации пород, $\text{м}/\text{сут}$ и другими водными их свойствами.

Положив в основу оценки степени обводненности месторождения

вышеперечисленные показатели, М.В. Сыроватко [18] предложил следующую классификацию (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Классификация месторождений твердых горючих полезных ископаемых по степени обводненности (по М.В. Сыроватко)

Показатели общей обводненности месторождений	Степень обводненности месторождений			
	весьма обводненные	обводненные	умеренно обводненные	слабо обводненные
Суммарный приток воды (Q), м ³ /час	1000	1000-300	300-100	100
Удельный приток воды (q), л или м ² /час	4	4-0,4	0,4-0,05	0,05
Коэффициент водообильности (K _в), м ³ /т год	25	25-8	8-3	3
Коэффициент фильтрации горных пород (K), м/сут	100	100-5	5-0,5	0,05

К **весьма обводненным** месторождениям относятся Кизеловское месторождение каменных углей (150 м³/ч) при коэффициенте

водообильности равном 8, к **обводненным** – месторождения Донецкого, Подмосковного, Кузнецкого, Карагандинского, Челябинского, Канско-Ачинского и Ангренского бассейнов. Здесь средние притоки воды в горные выработки изменяются от 175 м³/час до 650 м³/час – 900 м³/час и более. К **умеренно** и **слабо обводненным** можно отнести Черемховское, Экибастузское и др. со средними притоками, не превышающими 100 м³/час и коэффициенте водообильности меньше 3 м³ на 1 т.

При типизации угольных месторождений Донецкого бассейна по степени обводненности определяющими факторами являются:

- а) мощность покрывающих карбон водоносных пород;
- б) связь водоносных горизонтов карбона с поверхностными водотоками и водоемами;
- в) структурно-тектонические условия каменноугольных отложений.

По первому признаку выделены типы, по структурно-тектоническим особенностям – подтипы месторождений [16].

Типы месторождений, выделяемые по мощности покровных отложений:

- а) карбон обнажен или в покрывающих его отложениях (супеси, суглинки и глины) водоносные горизонты либо отсутствуют, либо имеют мощность до 10-15 м (открытая часть Донбасса). Здесь характерны значительные сезонные водопритоки в горные выработки,

превышающие нормальные в 1,5-2 и более раза;

б) в покрывающих карбон отложениях водоносные горизонты локально развиты и их мощность не превышает 10-15 м. Шахтные поля этого типа распространены в пределах Красноармейской моноклинали и в Северной зоне мелкой складчатости. Здесь покровные отложения сложены водоносными песками, песчаниками и известняками мезозоя и кайнозоя мощностью 100-150 м. Средние притоки составляют от 35-40 м³/ч до 600-860 м³/ч. Коэффициент водообильности 4-7 м³/т.

в) в покрывающих карбон отложениях водоносные породы имеют повсеместное распространение мощностью более 15 м. Такой тип шахтных полей развит в закрытой части бассейна к северу и востоку от границ открытого карбона (северные части Луганского и Краснодонского угленосных районов, закрытые площади Восточного Донбасса). Отличительной особенностью гидрогеологического разреза является наличие мощной покровной толщи мело-мергельных пород. Водоносность их наблюдается лишь в верхней трещиноватой и закарстованной зоне, до глубины 60-70 м, редко до 100 м.

Подтип А (рисунок 4.1) характеризуется следующими особенностями:

- 1) рабочие пласты угля отдалены друг от друга и поэтому, как правило, вскрываются отдельными шахтами;
- 2) в обводнении выработок участвует незначительное количество водоносных горизонтов, которые обычно дренируются горными выработками на большой площади

- 3) в зависимости от наличия или отсутствия в кровле пласта водоносного горизонта отмечаются весьма большие колебания суммарных притоков по отдельным шахтам. Средний приток в шахту составляет $150 \text{ м}^3/\text{г}$, максимальные $500-850 \text{ м}^3/\text{г}$, средний коэффициент водообильности до $4 \text{ м}^3/\text{т}$.
- 4) с крутым падением слоев (более 45°) (рисунок 4.2) распространены в Центральном районе Донбасса. Здесь вертикальными стволами вскрываются до 10 пластов угля с вмещающими породами, а квершлагами пересекаются все водоносные горизонты угленосных свит. Здесь приток в шахту из отложений карбона составляет до $100 \text{ м}^3/\text{ч}$, иногда $200-300 \text{ м}^3/\text{ч}$. Коэффициент водообильности – $1,5-2,5 \text{ м}^3/\text{т}$.

По геолого-структурным признакам в породах Донецкого бассейна выделяются [18] следующие подтипы шахтных полей (или участков): А- месторождения, приуроченные к районам крупной складчатости; Б – расположенные в зонах мелкой складчатости и купольных структур; В – перекрытые толщей более молодых образований.

Подтип А. Здесь различают две группы шахтных полей.

С пологим и наклонным падением (рисунок 4.1) почти все месторождения Чистяково-Снежнянского, Боково_хрустальского, Должанско-Ровенецкого, Шахтинско-Несветаевского, Сулино-Садкинского, Гуково-Зверевского и Задонского районов.

При относительно равномерном обнажении водоносных пород системой горных выработок, притоки по отдельным шахтам между собой почти не отличаются и составляют 150-200 м³/ч, иногда до 650 м³/ч при наличии связей водоносных горизонтов с поверхностными водами.

Б – шахтные поля, расположенные в зонах мелкой складчатости и купольных структур с частыми дизъюнктивными нарушениями (рисунок 4.2): Донецко-Макеевский, Алмазно-Марьевский, Лисичанский и Селезневский угленосные районы и открытые части Луганского, Краснодонского и Каменско-Гундоровского районов обводнены весьма неравномерно. Площадь питания водоносных горизонтов ограничена, в связи с чем ресурсы подземных вод невелики. Внезапное увеличение притоков наблюдается при вскрытии открытых нарушений надвигового типа.

Средний приток в шахты составляет около 150 м³/ч, максимальный – 600 м³/ч, средний коэффициент водообильности до 4 м³/т, максимальный – около 7 м³/т.

В – шахтные поля, где угленосные отложения перекрыты более молодыми образованиями (рисунок 4.4): западный и южный Донбасс, Старобельско-Миллеровская моноклинал, Красноармейский район, т.е. преимущественно закрытого и полузакрытого типов. Мощность покровных отложений достигает 40 м, из которых 10-20 могут проявлять плавунные свойства.

где 1 – песчаники;

2 – известняки;

3 – угли;

4 – аргиллиты;

5 – дизъюнктивные нарушения

Рисунок 4.3 – Подтип Б шахтных полей Донбасса, расположенных в зонах мелкой складчатости и купольных структур с дизъюнктивными нарушениями.

Отличаются высокой угленосностью (разрабатывают по несколько угольных пластов и ряд водоносных горизонтов, что приводит к поступлению в выработки значительных и устойчивых суммарных притоков, превышающих средние показатели по бассейну (более 200 м³/ч).

4.3 Водоприток. Шахтный водоотлив

Водоприток – поступление подземных и поверхностных вод в горные выработки. Различают общий, участковый и забойный водоприток.

Общий водоприток в шахты и карьеры складывается: из притока подземных вод (водоносных горизонтов, дренируемых горными выработками); шахтных вод, поступающих из затопленных выработок и соседних шахт, технических вод, подаваемых для орошения, бурения скважин и др.; поверхностных вод и атмосферных осадков. Режим поступления воды в выработки зависит от совокупности взаимодействия природных (климатических, геоморфологических, геологических и гидрогеологических) и технологических (форма и размеры участка горных работ, глубина и интенсивность разработки месторождений, системы разработки) факторов.

Участковый водоприток на шахтах складывается из притоков в подготовительные выработки и в выработанное пространство выемочного участка. В подготовительные выработки вода поступает из залежей полезного ископаемого, водоносных горизонтов, залегающих непосредственно в кровле и в почве выработок или из дренажных скважин. В выработанное пространство вода поступает в основном из водоносных горизонтов, попадающих в зону водопроводящих трещин, из соседних отработанных участков и иногда с поверхности земли.

Забойный водоприток на шахтах складывается из притоков подземных вод и вод, поступающих из выработанного пространства

непосредственно в призабойное пространство подготовительных и очистных выработок. Наибольший забойный водоприток наблюдается в случае, когда забой находится гипсометрически ниже, чем выработанное пространство.

Шахтный водоотлив

Водоотлив – удаление шахтных и карьерных вод из шахтных выработок.

При подземной разработке месторождений твердых горючих ископаемых различают главный водоотлив, предназначенный для откачки общешахтного притока воды и участковый - для перекачки воды из отдельных участков шахты к водосборникам главного водоотлива (реже на поверхность земли). В редких случаях применяются центральный водоотлив, когда несколько шахт имеют общую водоотливную установку и региональный, обеспечивающий водоотлив всего района в целом.

По схеме откачки воды на поверхность водоотлив подразделяется на прямой, когда откачка воды из главного водосборника производится сразу на поверхность, и ступенчатый, когда из нижних горизонтов через стволы (реже скважины) вода перекачивается в промежуточные водосборники вышележащих горизонтов и затем на поверхность (рисунок 4.5).

В систему шахтного водоотлива входят: устройства для регулирования внутришахтного стока (водоотводные канавки, трубопроводы, перекачные насосы), водосборники, насосные

трубопроводы, перекачные насосы), водосборники, насосные станции с водозаборными колодцами и отливными установками, с всасывающими и нагнетательными трубопроводами.

Водоотливные установки оборудуются аппаратурой автоматизации, контроля и защиты [7].

Рисунок 4.5 – Схемы водоотлива на шахтах: прямой с одним горизонтом (а) и с несколькими (б), ступенчатый с насосными камерами вышележащих горизонтов (в).

4.4 Методы прогнозирования водопритоков в горные выработки

Определения возможных водопритоков к шахтным полям и горным выработкам должны осуществляться методами, позволяющими в наибольшей мере учитывать природные условия, степень их изученности и опыт эксплуатации месторождений в аналогичных условиях.

При определении водопритоков к горным объектам используются различные методы: 1) гидрогеологической аналогии; 2) гидравлический; 3) метод водного баланса; 4) методы моделирования, которые выбираются в зависимости от конкретных гидрогеологических условий и наличия исходных материалов.

1) **метод гидрогеологической аналогии** основан на аналогии гидрогеологических и горнотехнических условий проектируемой и эксплуатационной шахт.

Аналогия должна быть по геологическому разрезу участков работ, условиям формирования ресурсов подземных вод и обводнению горных выработок, а также по способу и системе разработки.

Метод аналогии впервые стал применяться в Донбассе, затем на угольных месторождениях Кузбасса, Урала и др. Метод дает хорошие результаты для месторождений, сложенных плотносцементированными осадочными породами с равномерной трещиноватостью.

Если же гидрогеологическая обстановка сложена дизъюнктивной тектоникой, наличием карста, рек или покровных аллювиальных отложений, метод аналогии неприемлем.

Для выяснения водообильности проектируемого горного предприятия можно использовать эмпирические зависимости, выведенные для данного промышленного района. Для условий Донбасса предложен ряд эмпирических зависимостей для расчетов водопритоков в выработки, следующего вида

$$Q_{\Pi} = Q_{\text{Э}} \sqrt[n]{\frac{S_{\Pi}}{S_{\text{Э}}}}, \quad (4.1)$$

$$Q_{\Pi} = Q_{\text{Э}} \sqrt{\frac{S_{\Pi} \cdot F_{\Pi}}{S_{\text{Э}} \cdot F_{\text{Э}}}}, \quad (4.2)$$

$$Q_{\Pi} = Q_{\text{Э}} \sqrt{\frac{S_{\Pi}}{S_{\text{Э}}}} \sqrt{\frac{F_{\Pi}}{F_{\text{Э}}}}, \quad (4.3)$$

где Q_{Π} – ожидаемый общий приток воды в проектируемую шахту, м³/ч;

$Q_{\text{Э}}$ – фактический приток в действующую шахту – аналог, м³/с;

$S_{\Pi}, S_{\text{Э}}$ – понижения уровня соответственно на проектируемой и эксплуатационной шахтах;

F_{Π} – отработанные площади на участках проектируемой и эксплуатационной шахт, м².

При этом если в расчет вводятся не общие площади разработок, а приращения их за год, они могут быть заменены производительностью шахт. Необходимо иметь в виду, что в приведенных выше формулах не учитывается фактор времени, т.е. продолжительность разработок, что в значительной мере может сказываться на расчетных значениях водопритокров.

Водопритокки при проходке шахтных стволов в условиях Донбасса рассчитываются по приближенной эмпирической формуле

$$Q_{\text{ств.}} = Q_{\text{скв.}} \sqrt{\frac{r_{\text{ств.}}}{r_{\text{скв.}}}}, \quad (4.4)$$

где $Q_{\text{ств.}}$ – водоприток в ствол, $\text{м}^3/\text{ч}$;

$Q_{\text{скв.}}$ – водоприток в скважину, $\text{м}^3/\text{ч}$;

$r_{\text{ств.}}$ – радиус ствола, м;

$r_{\text{скв.}}$ – радиус скважины, м.

Методом аналогии можно рассчитывать также водопритоки, основанные: а) на гидродинамической зависимости; б) на единицу длины выработки.

Водоприток, основанный на гидродинамической зависимости рассчитывается по формуле:

$$Q_{\Pi} = Q_{\Xi} \frac{(2H_{\Pi} - S_{\Pi}) \cdot S_{\Pi}}{(2H_{\Xi} - S_{\Xi}) \cdot S_{\Xi}}, \quad (4.5)$$

где Q_{Π} – приток воды в проектируемую шахту, $\text{м}^3/\text{ч}$;

Q_{Ξ} – приток воды в шахту – аналог, $\text{м}^3/\text{ч}$;

H_{Π} , H_{Ξ} – мощность водоносного горизонта проектируемой шахты и шахты – аналога, м;

S_{Π} , S_{Ξ} – понижение уровня в проектируемой шахте и шахте – аналоге, м.

Определение водопритоков по дебиту на единицу длины выработки применим при условии большой протяженности системы выработок по отношению к их поперечным размерам, по формуле:

$$Q = q \cdot L, \quad (4.6)$$

где q – удельный водоприток на единицу длины выработки, шахты – аналога, $\text{м}^2/\text{ч}$;

L – протяженность выработок, м.

2) **гидравлический метод** основан на экстраполяции опытных данных (экстраполяция на глубину, т.е. с увеличением понижения уровня или с учетом изменения площади горных выработок) с использованием гидродинамической зависимости. Поэтому здесь могут применяться приведенные выше для метода аналогии формулы.

3) **метод водного баланса основан** на учете всех составляющих питания и разгрузки подземных вод при их водозаборе в процессе осушения месторождений. Оценка притоков по этому методу производится с помощью различных приемов, зависящих от конкретных условий как в качестве дополнительного, корректирующего гидродинамические расчеты или для определения ориентировочных притоков.

При использовании метода необходимо помнить, что соотношение между приходной и расходной частями водного баланса, установившееся в естественных условиях, будет резко нарушено после проходки горных выработок. Поэтому, балансовый метод дает ответ лишь о максимально возможном суммарном притоке подземных вод к шахтному полю или карьеру. Метод моделирования используется при решении многих задач, связанных с вопросами водоснабжения, осушения карьеров и шахтных полей со сложными гидрогеологическими условиями с использованием приборов, моделирующих природные гидрогеологические условия. Наибольшим распространением пользуется метод ЭГДН (электродинамических

аналогий). Этот метод позволяет моделировать как установившиеся, так и не установившиеся потоки по линейному закону фильтрации. Основан на аналогии между явлением ламинарной установившейся фильтрации воды и прохождением тока в электропроводящей среде. Впервые метод был разработан Н.Н. Павловским [17].

4.5 Ресурсы и запасы подземных вод

Подземные воды в отличие от других полезных ископаемых (твердых, жидких и газообразных) не только расходуются в процессе эксплуатации, но во многих случаях происходит их дополнительное формирование или питание. Следует учитывать также, что их рациональный отбор зависит не только от запасов воды в пласте и условий питания водоносного горизонта, но и от фильтрационных свойств водовмещающих пород. Эти особенности определили необходимость выделения понятий запасы и ресурсы подземных вод. Термином «запасы» обычно обозначают объем подземных вод в водоносном пласте; термином «ресурсы» - расход подземных вод в единицу времени.

Выделяют естественные (статические) и упругие запасы.

Статические (естественные) запасы – это объем гравитационной воды, заключенной в порах и трещинах водовмещающих пород в ее естественных условиях. Такие запасы имеют размерность объема.

Упругие запасы – количество воды, полученное при вскрытии водоносного горизонта и снижении пластового давления в нем при откачке или самоизливе.

В практике гидрогеологических исследований обычно производят оценку естественных и эксплуатационных ресурсов подземных вод.

Естественные ресурсы или динамические запасы – это количество воды, стекающее из водоносного горизонта за определенный промежуток времени, $\text{м}^3/\text{сек}$, час, сут. Включают инфильтрацию, сток и перетекание воды из одного водоносного горизонта в другой, суммарно выраженные величиной расхода водного потока или толщиной слоя воды.

Эксплуатационные запасы (ресурсы) подземных вод – это количество воды ($\text{м}^3/\text{сек}$, час, сут.), которое может быть получено в единицу времени из водоносного горизонта рациональным в технико-экономическом отношении водозабором при заданном режиме эксплуатации и качестве воды, удовлетворяющем в течение всего расчетного срока водопотребления.

Эксплуатационные запасы (ресурсы) подземных вод в зависимости от степени разведанности месторождений, изученности качества подземных вод и условий эксплуатации подразделяются на категории А, В, С₁, С₂. К категории А относятся запасы, разведанные и изученные с детальностью, обеспечивающей полное выяснение условий залегания строения, величин напора и фильтрационных свойств водоносных горизонтов, условий их питания, возможностей восполнения эксплуатационных запасов, установления взаимосвязи между водоносными горизонтами и с поверхностными водами, изучение качества подземных вод с достоверностью, подтверждающей возможность их использования на весь расчетный срок водопотребления.

Категория В – запасы, разведанные и изученные с детальностью, обеспечивающей выяснение основных особенностей залегания, строения и питания водоносных горизонтов, установление взаимосвязи отдельных горизонтов и с поверхностными водами, определения приблизительного количества естественных ресурсов с детальным изучением качества подземных вод.

Запасы категории C_1 изучаются с детальностью, обеспечивающей выяснение в общих чертах строения, условий залегания и распространения водоносных горизонтов. Качество подземных вод выясняется в той мере, чтобы можно было предварительно решить вопрос об их использовании.

К категории C_2 относятся запасы, установленные на основании общих геолого-гидрогеологических данных, подтвержденных опробованием водоносного горизонта в отдельных точках или по аналогии.

Оценка качества подземных вод производится по тем же параметрам.

4.6 Способы осушения угольных месторождений

Осушение месторождений твердых горючих полезных ископаемых производится в том случае, если пласт полезного ископаемого располагается ниже уровня грунтового водоносного горизонта или под пластом располагается напорный водоносный горизонт, пьезометрический уровень которого устанавливается выше кровли пласта.

Необходимость проведения защитных мероприятий в период строительства горного предприятия обуславливается снижением уровней подземных вод с целью безопасного проведения подготовительных горных выработок, а также ограждением их от поступления атмосферных осадков и других поверхностных вод.

В период эксплуатации такие мероприятия необходимы в целях предупреждения деформации горных выработок, нормальных условий для работы горно-транспортного оборудования, соблюдения технических условий качества полезного ископаемого и создание нормальных условий для работы горнорабочих. Поэтому все работы, связанные с осушением шахтных и карьерных полей по времени проведения подразделяются на: а) предварительное или опережающее и б) параллельное или эксплуатационное осушение.

Предварительное осушение осуществляется путем откачки воды из буровых скважин, заложенных с поверхности. Иногда проходят специальные дренажные шахты и штреки. Применяются при проходке стволов шахт и горизонтальных горных выработок с коэффициентом фильтрации пород более 5 м/сут.

Параллельное осушение производится одновременно с проходкой горных выработок с целью полного осушения водоносных пластов кровли и снижения напоров подземных вод до почвы выработок. Осушение производят при помощи забивных и сквозных фильтров, дренажных колодцев и пр. На практике часто объединяют оба способа.

По характеру производства работ при подземной добыче угля выделяют внешехтное (поверхностное), подземное и комбинированное осушение.

Для защиты горных выработок от подземных вод используются различные системы вертикальных и горизонтальных дренажных устройств. По расположению дренажных устройств в плане выделяют контурные и линейные системы, определяемые формой и размерами осушаемых участков и гидрогеологическими условиями.

Контурные системы – это системы дренажных устройств, расположенные по замкнутому контуру (по периметру прямоугольника или окружности). Применяются для осушения стволов шахт, сопряжений выработок околоствольного двора и выемочных участков.

При взаимодействии контурных систем между собой, например при одновременной работе на обеих стволах или на участках лав и околоствольном дворе, составляют двух-, трех- и четырехконтурные системы.

Линейные системы – это системы линейно расположенных вертикальных устройств, применяемых при защите от подземных вод околоствольных выработок, штреков главных направлений, разрывных и выездных траншей и бортов разреза и на месторождениях, расположенных вблизи открытых водоемов или водотоков. При этом дренаж располагается на более или менее равных расстояниях друг от друга.

Все вертикальные дренажные устройства оказывают влияние друг на друга и работают по принципу взаимодействующих колодцев.

4.6.1 Расчет одноконтурных групп вертикальных дрен

Одноконтурные группы применяются для осушения сравнительно небольших участков шахтного поля.

Для безнапорных вод определение дебита совершенных дрен, расположенных по контуру, применяется преобразованная формула В.Н. Щелкачева:

$$Q_0 = \frac{\pi \cdot k \cdot (2H - S) \cdot S}{\ln \frac{R^n}{n \cdot r_0^{n-1} \cdot r_c}}, \text{ м/с}, \quad (4.7)$$

где k – коэффициент фильтрации, м/с;

H – мощность безнапорного водоносного пласта, м;

S – требуемое снижение уровня, м;

R – радиус влияния, м;

r_c – радиус дрен, м;

r_0 – радиус контрольной группы дрен, м;

n – число дрен в группе.

Уровень снижения подземных вод и построение депрессионных кривых по различным направлениям (в пределах радиуса депрессии) производят по формуле Ф. Форхгеймера:

$$H_x = \sqrt{H_2 - \frac{n \cdot Q_0^1}{\pi \cdot k} \left[\ln R - \frac{1}{n} \ln(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \right]}, \text{ м} \quad (4.8)$$

где $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ – расстояние от искомой точки депрессионной кривой до группы соответствующих дрен, м.

В условиях напорных вод:

а) определение дебита вертикальных совершенных дрен (рисунок 4.6), расположенных по контурам различных форм производим по формуле В.Н. Щелкачева:

$$Q_0^1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot k \cdot m \cdot S}{\ln \frac{R^n}{n \cdot r_0^{n-1} \cdot r_c}}, \text{ м}^3/\text{сут.}, \quad (4.9)$$

где Q_0^1 – дебит каждой из взаимодействующих дрен, м³/сут.;

R – радиус влияния (депрессии), образующейся при работе группы дрен, м;

N – число дрен в группе;

r_c – радиус дрен, м;

r_0 – радиус равновеликого круга, к которому приводятся реальные контуры групп дрен, м

$$r_0 = \sqrt[n]{r_1 \cdot r_2 \cdot r_3 \dots \cdot r_n}, \quad (4.10)$$

где $r_1, r_2, r_3, \dots, r_n$ – расстояние от середины каждой из сторон многоугольника и угловых дрен (рисунок 4.7) до центра тяжести, м;
 p – число точек, для которых определяются эти расстояния.

Рисунок 4.7 – Схема приведения площади дрен к равновеликому кругу

б) определение сниженного напора и построение пьезометрических депрессионных кривых по различным направлениям (в пределах радиуса депрессии) производят по формуле Ф. Форхгеймера:

$$H_x = H - \frac{n \cdot Q_0^1}{2 \cdot \pi \cdot k \cdot m} \left[\ln R - \frac{1}{n} \ln(x_1, x_2, x_3 \dots x_n) \right], \text{м},$$

(4.11)

где H – мощность водоносного горизонта (высота непониженного уровня подземных вод в месте расположения групп дрен, считая от почвы пласта), м;

$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ – расстояние от искомой точки депрессионной кривой до группы соответствующих дрен, м.

Для прямоугольного контура вместо величины

$\frac{1}{n} \ln(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ в формулу можно подставить расстояние от

центра контура до искомой точки.

4.6.2 Расчет линейного ряда водопонижающих скважин

Расчет приводится для случая, когда при работе линейного ряда дрен формируется устойчивая во времени депрессионная воронка, границы которой определяются величиной радиуса депрессии.

а) для условий безнапорных вод при определении дебита ряда совершенных вертикальных дрен (рисунок 4.8) применяется формула А.В. Романова:

$$Q_0^1 = \frac{\pi \cdot k \cdot (2 \cdot H_s - S) \cdot S}{\ln \frac{\sigma}{\pi \cdot r_c} + \frac{\pi \cdot R_1 \cdot R_2}{\sigma \cdot L}}, \text{ м}^3/\text{сут} \quad (4.12)$$

где H_s – мощность водоносного горизонта (непониженный уровень водоносного горизонта), м;

k – коэффициент фильтрации, м/сут;

S – понижение уровня воды в дренах, м;

δ – половина расстояния между дренами, м;

r_c – радиус дрен, м;

R_1 – расстояние от ряда дрен до области питания, м;

R_2 – расстояние от ряда дрен до области естественного дренажа, м;

$L=R_1+R_2$ – расстояние между областями питания и естественного дренажа, м.

Рисунок 4.8 – Схема расчета линейного ряда совершенных вертикальных дрен при их работе в условиях безнапорных вод

Депрессионную кривую по линии, направленной нормально к линейному ряду и проходящей через каждую из дрен можно определить по формуле С.Ф. Аверьянова:

$$H_x = H_s - \left[S \left(1 - \frac{x}{R} \right) \right] \cdot a, \text{ м} \quad (4.13)$$

где H_x – высота депрессионной кривой (H_x) на расстоянии x метров в направлении, перпендикулярном ряду линейных скважин;

H_s – мощность водоносного горизонта (до понижения), м;

a – коэффициент, значения которого могут быть подсчитаны по формулам: в сторону области питания

$$a_1 = \frac{1}{1 + 2 \cdot \delta \cdot A / R_1}; \quad (4.14)$$

в сторону естественного дренажа

$$a_2 = \frac{1}{1 + 2 \cdot \delta \cdot A / R_2}; \quad (4.15)$$

$$A = 0,731g \left[\frac{\delta}{\pi \cdot r_0} \right] \quad (4.16)$$

определяется по графику (рисунок 4.9) в зависимости

Рисунок 4.9 – График зависимости коэффициента A от отношения $\frac{\delta}{r_c}$

б) в условиях напорных вод определение дебита совершенных вертикальных дрен (рисунок 4.10) производится по формуле А.С. Романова:

$$Q' = \frac{2 \cdot \pi \cdot k \cdot m \cdot S}{\ln \frac{\delta}{\pi \cdot r_c} + \frac{\pi \cdot R}{2 \cdot \delta}}, \text{ м}^3/\text{сут}, \quad (4.17)$$

где k – коэффициент фильтрации, м/сут;

m – мощность водоносного горизонта напорных вод, м;

S – требуемое снижение пьезометрического уровня (величина депрессии), м;

R – радиус влияния водопонижающей скважины, м;

2δ – расстояние между скважинами, м;

r_c – радиус скважины, м.

Депрессионная кривая (H_x), направленная по нормали к линейному ряду дрен и проходящей через каждую из дрен

$$H_x = H - \left[S \cdot \left(1 - 0,22 \frac{2 \cdot \delta}{R} \right) \cdot a \right], \text{ м} \quad (4.18)$$

где a – коэффициент, определяемый по формуле (стр. 114), а величину A находим по графику (рисунок 4.9).

Высота остаточного столба воды ($h_{ост.}$) определяется формулой

$$h_{ост} = H_c - M, \text{ м}, \quad (4.19)$$

где M – высота подъема воды над кровлей водоносного горизонта

Рисунок 4.10 – Схема к расчету линейного ряда совершенных вертикальных дрен при их работе в условиях напорных вод

Рисунок 4.11 – График для определения величины $\ln(1 - e^{-\frac{\pi x}{\delta}})$

Для определения сниженного напора посередине между дренами точка а (рисунок 4.10) на расстоянии x метров используется формула С.Ф. Аверьянова:

$$H_x = \frac{Q'}{2\pi km} \left(\ln 1 - e^{\frac{-\pi \cdot x}{\delta}} \right) + H_c - \frac{Q' \cdot R}{2\delta km} \left(\frac{1}{2} - \frac{x}{2R} \right),$$

м, (4.18)

где выражение $\ln 1 - e^{\frac{-\pi x}{\delta}}$ - логарифм модуля, находим по графику (рисунок 4.11).

4.7 Дренажные системы и устройства, применяемые при водопонижении и осушении шахтных полей и горных выработок

Дренажные системы и устройства представляют собой совокупность технических средств, применяемых с целью дренажа карьерных и шахтных полей. К ним относятся водопонижающие скважины, оборудованные погружными насосами; стволы дренажных шахт; штреки с системами сквозных и забивных фильтров и др. Выбор систем дренажа зависит от гидрогеологических условий и горнотехнических особенностей разработки. Дренажные устройства могут закладываться непосредственно с поверхности, находиться в горных выработках, а также представлять собой системы специальных капитальных горных выработок, необходимых для осушения.

В соответствии с этим дренажные устройства разделяются на поверхностные, подземные и комбинированные.

К поверхностным относятся вертикальные водопонижающие, водопоглощающие скважины, иглофильтровые установки и опережающие поверхностные траншеи.

Водопонижающие скважины (рисунок 4.12) диаметром 200-800мм проходят для снижения уровня (напора) в водоносных горизонтах, залегающих на глубинах 25-500 м, мощностью свыше 10 м, с коэффициентом фильтрации более 1 м/сут, пробуренные до почвы водоносного горизонта.

Такие скважины оборудуются погружными насосами. При пересечении водоносных горизонтов устанавливают фильтры в зернистых породах или перфорированные трубы (в трещиноватых породах). Скважины могут дренировать один или несколько водоносных горизонтов. Применение водопонижающих скважин возможно для осушения нескольких надугольных водоносных горизонтов и снятия напора в подугольных. Целесообразно дренировать одной скважиной не более двух водоносных горизонтов.

При ведении горных работ водопонижающие скважины располагают в один или два параллельных ряда в пределах осушаемого участка или по его периметру.

Водопонижающие скважины предназначены для пропуска воды из верхних горизонтов (с низкими фильтрационными свойствами и сравнительно малой мощностью) в нижние (с более высокими фильтрационными свойствами) при условии, когда величина напора воды в нижнем горизонте ниже почвы разрабатываемого угольного пласта.

По конструкции поглощающие скважины представляют собой самотечные устройства, работающие при наличии разности напоров.

- 1 – суглинки;
- 2 – пески мелкозернистые;
- 3 – песчаные глины;
- 4 – известняки;
- 5 – глины;
- 6 – уровень безнапорных вод;
- 7 – уровень напорных вод;
- 8 – фильтры в дренажных скважинах;
- 9 – направление движения воды в дренажных скважинах и осушаемых пластах

Рисунок 4.12 – Схема дренажа подземных вод системой водопонижительных скважин при проходке шахтного ствола

Однако, необходимо учитывать, что такие водоносные горизонты могут служить источником питьевого водоснабжения, поэтому возможность сброса шахтных вод, нередко загрязненных продуктами разложения органических веществ и др. должна решаться после тщательного анализа сбрасываемых вод.

Иглофильтровые установки применяются для временного или локального понижения уровня подземных вод в песчаных или песчано-глинистых породах с коэффициентом фильтрации от 0,2 до 50 м/сут.

Рисунок 4.13 – Схема работы забивного фильтра

Иглофильтры – это скважины малого диаметра с небольшой глубиной заложения. Принцип их действия основан на создании и

поддержании вакуума с помощью насосов, погруженных в водонасыщенную породу иглофильтров, через которые подземные воды засасываются в коллектор и откачиваются за пределы осушаемого участка.

Такие установки позволяют снизить уровень воды до 7-8 м, иногда до 24 м. Длина иглофильтровых установок достигает 50-100 м.

Опережающие поверхностные траншеи сооружаются для снижения уровня воды в маломощных (до 10 м) и неглубоко залегающих (до 15 м) водоносных горизонтах. Откачка воды из траншей производится центробежными насосами низкого давления.

Подземный способ осушения месторождений угля осуществляется при помощи специальных дренажных горных выработок (дренажных штреков), в почву и кровлю которых устанавливают забивные или сквозные фильтры, аэрирующие скважины, дренажные колодцы и др.

Дренажные штреки предназначены для осушения пласта полезного ископаемого и водоносных горизонтов, расположенных вблизи кровли и почвы пласта угля.

На шахтах роль дренажных штреков выполняют подготовительные выработки, которые служат для сбора воды из забивных или сквозных фильтров и закладки водопонижающих дренажных колодцев и скважин.

Забивные или сквозные фильтры – это скважины диаметром 100-500 мм, пробуренные с земной поверхности до кровли горной выработки или дренажного штрека, обсаженные трубами и оборудованные фильтрами в интервале водоносных горизонтов (рисунки 4.13, 4.14).

Их применяют для дренажа водоносных горизонтов, залегающих на расстоянии 2-30 м от кровли выработки и мощностью более 15 м. Длина забивных фильтров обычно соответствует расстоянию от кровли штрека до почвы водоносного горизонта плюс 0,5-1,5 м, установленных на расстоянии 10-30 м друг от друга (в зависимости от водных свойств горных пород). Одновременно могут работать до 20 забивных фильтров с дебитом 5-7 м³/час и более и радиусом влияния 50-100 м.

1 - сквозной фильтр;

2 – забивной фильтр;

3 – восстающая скважина;

4 – штрек;

5 – отводная канава;

I, II, III – водоносные пласты

Рисунок 4.14 – Подземная система дренажа

Забивные фильтры эффективно действуют в течение одного-полутора месяцев с общей продолжительностью 9-12 месяцев.

При необходимости дренировать несколько глубоколежащих водоносных горизонтов лучше применить сквозные фильтры (рисунки 4.14, 4.15), т.е. скважины большого диаметра (25-50 см) с двухслойной фильтрующей засыпкой.

Для более интенсивного осушения пласта полезного ископаемого между забивными фильтрами сооружают аэрирующие скважины, которые давлением воздуха ускоряют поступление воды из пласта к забивному фильтру. С целью интенсификации осушения слабопроницаемых пород ($K_f < 0,05$ м/сут) используют электроосмотический способ водопонижения, основанный на явлении электроосмоса – направленного движения воды в породы при пропускании через нее постоянного электрического тока.

1 – двухслойная
фильтрующая
засыпка;

2 – перфорированная
труба;

3 – отводная труба

Рисунок 4.15 – Схема
сквозного фильтра

Дренажные колодцы – вертикальные горные выработки, служащие для снижения напора в водоносных горизонтах, залегающих ниже подошвы выработок. Закладывают их на пониженных участках почвы выработок на глубину 1-3 м и более.

Откачка воды из них осуществляется в течение всего периода работы горной выработки с помощью центробежных насосов. Производительность их должна быть на 10-15 % выше притока воды в колодец.

Дренажные канавы – служат для дренирования почвы горной выработки и рабочего пласта и транспортирования воды по горным выработкам. Располагают их в штреках под людским проходом, а на двухпутевых штреках – под одним из путей. Дренажные канавы располагаются под уклоном к водосборнику или перекаточному колодцу, глубиной 0,5-1,0 м. Чем больше уклон дренажной канавы, тем на большее расстояние они располагаются друг от друга.

Для повышения эффективности работы дренажных устройств и сокращения срока осушения месторождения полезного ископаемого разработаны различные способы интенсификации дренажа. В скальных породах применяют гидравлический разрыв пласта, торпедирование скважин и их прострел, проходят многозабойные скважины. При приуроченности водоносных горизонтов к карбонатным породам используют кислотную обработку скважин.

Подземные способы осушения наиболее эффективны для месторождений со сложными гидрогеологическими условиями при наличии в кровле и почве пласта полезного ископаемого водоносных горизонтов.

Комбинированные способы осушения месторождений состоят в одновременном применении элементов поверхностного и подземного способов в различных сочетаниях. Наиболее применимы комбинированные способы осушения при открытой разработке полезного ископаемого.

Контрольные вопросы

1. Назовите типы и подтипы каменноугольных месторождений Донбасса по гидрогеологическим признакам;
2. Сформируйте понятие «коэффициент водообильности»;
3. Как подразделяются месторождения твердых горючих полезных ископаемых и шахтных полей по степени обводненности?
4. Назовите факторы обводненности горных объектов;
5. Назовите и охарактеризуйте способы определения прогнозных водопритоков к горным объектам;
6. Назовите и охарактеризуйте виды водопритоков в горные выработки;
7. Охарактеризуйте шахтный водоотлив;
8. Назовите виды и категории запасов подземных вод;
9. Назовите и охарактеризуйте способы осушения МПИ.

5 ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ

Объектом изучения инженерной геологии являются грунты – почвы и горные породы любого состава и генезиса, изучаемые как основания фундаментов различных инженерных сооружений, как среда и материал для их возведения, а также инженерно-геологические процессы и явления. Основными задачами всех выполняемых исследований являются изучение и оценка инженерно-геологических свойств горных пород (физических, механических, водных, коллоидно-химических и др.), т.е. свойств, которые определяют поведение горных пород при использовании их в качестве объектов инженерно-строительной деятельности.

Свойства грунтов определяют и условия ведения горных работ. В зависимости от прочности, трещиноватости, выветрелости, липкости грунтов выбирают технологию и способ ведения горных работ. Для оценки водопритоков в горные выработки, а также эффективности работы водопонижающих систем определяют фильтрационные свойства грунтов. Расчет устойчивости сводов подземных выработок проводится на основании показателей прочности грунтов на сдвиг и разрыв.

Состав, структура (обусловлена характером внутренних связей, размером, формой, расположением и количественным соотношением основных структурных элементов) и текстура (совокупность признаков, характеризующих пространственное расположение структурных элементов грунта) определяют качество грунтов при их использовании.

При оценке грунтов, в связи с инженерной деятельностью, применяются различные классификации, среди которых важное значение имеет их общая инженерно- геологическая, разработанная группой ученых и принятая в 1957 г. Совещанием по инженерно- геологическим свойствам пород, которая базируется на основных физических свойствах грунтов, отношении к воде и главнейшим техническим показателям.

5.1 Инженерно- геологическая классификация грунтов

На основании вышеперечисленных показателей грунты подразделяются на следующие группы:

а) **скальные грунты** - изверженные, метаморфические и осадочные с жесткой связью между зернами (спаянные и сцементированные), залегающие в виде сплошного массива. Прочность скальных грунтов высокая. Предел прочности на сжатие у

магматических пород изменяется от 800 до 3500 кГс/см². У метаморфических пород он колеблется от 400 до 2500 кГс/см², у осадочных – от 200 до 1200 кГс/см². При такой прочности от давления инженерных сооружений эти грунты не сжимаются. Водопроницаемость скальных грунтов зависит от степени их трещиноватости и пористости.

Кроме прочности на сжатие к одним из основных свойств скальных грунтов относятся сопротивление их сдвигу и водопроницаемость. Водопроницаемость скальных грунтов зависит от степени их трещиноватости и пористости. Монолитные скальные породы практически водонепроницаемы.

б) полускальные грунты - также обладают жесткими структурными связями. К ним относятся трещиноватые и выветрелые скальные грунты, в основном осадочные и некоторые метаморфические горные породы. К практически нерастворимым полускальным грунтам относятся опоки, трепелы, диатомиты, алевролиты, аргиллиты, глинистые и некоторые сланцы. Растворимыми грунтами являются гипсы, ангидриты, трещиноватые известняки и доломиты, каменная соль, известковые туфы.

Полускальные грунты достаточно прочны. Предел прочности на сжатие у них колеблется от 50 до 500 кГс/см². У выветрелых, трещиноватых и закарстованных разновидностей он снижается до 20-25 кГс/см². В направлении сланцеватости и слоистости прочность их также снижается. Водопроницаемость обусловлена первичной пористостью и вторичной трещиноватостью, кавернозностью, величина которой определяется главным образом размером трещин и карстовых пустот.

в) грунты с мягкими структурными связями. К таким грунтам относятся осадочные глинистые, пылеватые и смешанные породы (глины, суглинки, лёсс, супеси), илы. Свойства этих грунтов определяются их гранулометрическим и минеральным составом, структурой и текстурой. Пористость их обычно высокая до 50-60 %, но водопроницаемость либо незначительна, либо практически отсутствует. Характерной особенностью мягких грунтов является изменение свойств грунта в зависимости от влажности (набухание, пластичность, липкость, просадочность и др.).

г) грунты, не имеющие структурных связей. Эта группа представлена рыхлыми, несвязанными грунтами (гравий, галечник, дресва, щебень, различные пески). Прочность их обусловлена силами трения, пористостью, размерами, формой, составом обломков и уменьшается при увлажнении.

При статических нагрузках слабо или практически несжимаемы.

Рыхлые несвязные грунты не обладают пластичностью, но некоторые разновидности, насыщенные водой могут переходить в плавунное состояние. Обычно водопроницаемы, не влагоемки или слабовлагоемки, обладают капиллярными свойствами. Пористость их 35-40 % иногда 40-50 %, угол внутреннего трения 30°-35°.

д) искусственные грунты. Искусственные грунты – это грунты, сформировавшиеся в результате деятельности человека. Они подразделяются на культурные – сформировавшиеся на месте древних и современных поселений человека и техногенные образования. Последние возникли и формируются под действием инженерной деятельности человека (терриконы, грунты в теле дамб, насыпей, шлаковые отходы и др.).

По составу они обычно связные или слабосвязные.

В заключение следует отметить, что грунты всех классов со временем могут изменяться под действием природных геологических факторов и деятельности человека. При этом свойства грунтов, как правило, ухудшаются.

5.2 Основы инженерной геодинамики

Отрасль инженерной геологии, изучающая геологические процессы и явления с целью их количественной оценки и прогноза, установление их динамики и интенсивности развития, влияния на окружающую среду и сооружения, называется инженерной геодинамикой.

Инженерно-геологическими называются процессы, которые возникают в природе в результате вмешательства человека, а инженерно-геологические явления – результат инженерно-геологических процессов. Среди современных инженерно-геологических процессов наибольшего влияния заслуживают те, которые сопровождаются интенсивным изменением состава и строения или разрушением горных пород, мощными динамическими воздействиями на горнотехнические сооружения. Это гидродинамическое давление в грунтах, когда подземные воды находятся в движении и кроме действия гидростатического давления возникает действие гидродинамического давления на частицы породы. При напорных градиентах, больших критического, грунт увлекается и уносится водой. При этом возникают явления выноса частиц грунта – суффозия, пывуны.

Суффозия – это процесс выноса частиц породы из массива грунта под действием подземных вод, вызывающий оседание поверхности земли.

Горные породы, подверженные суффозии, водонасыщены, и возможность выноса отдельных частиц определяются их размерами, минералогическим составом, скоростью фильтрации движущейся воды и величиной гидродинамического давления. Так как процесс суффозии заключается в переносе мелких частиц породы через поры между крупными частицами, то большое значение имеет размер пор.

Различают **механическую** и **химическую** суффозию. Первая происходит в рыхлых насыщенных водой и мягких связных грунтах при повышении напорного градиента в фильтрационном потоке до некоторых величин.

Химическая суффозия практическое значение имеет в таких растворимых породах, как карбонаты, сульфаты и галоиды. В результате растворения водой составных частей пород в последних образуются пустоты – возникает карст. Химическое воздействие протекающей воды с породой может усиливаться или ослабляться в зависимости от состава воды и породы. Так, например, наличие в воде хлористого натрия резко повышает растворимость гипса, а вода, содержащая хлористый магний, практически не растворяет гипс. Особое значение имеет содержание в воде свободной углекислоты, которая, соединяясь с карбонатами, создает растворимые двууглекислые соединения вида $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Другими показателями интенсивности карстообразования являются количество и скорость протекающей воды, т.е. условия фильтрации.

Плывуны. При вскрытии некоторых насыщенных подземными водами грунтов, преимущественно рыхлых, несвязных, а иногда и мягких связных песчанисто-пылеватых, происходит движение всей грунтовой массы в направлении действия напорного градиента. Этот процесс получил название плывучести. Грунты, насыщенные водой и обладающие этим свойством, называют соответственно плывунами. При вскрытии плывунов котлованами, карьерами, скважинами, стволами шахт происходит вынос насыщенного водой грунта; в результате в массиве грунта около выработок образуются пустоты и ниши. В следующей стадии происходит деформация поверхности земли с образованием опусканий и провалов различных размеров и глубины.

Проходка в плывунах шахтных стволов и горизонтальных выработок осуществляется с помощью специальных мероприятий: капитального крепления слабых участков выработок и дренаж водоносных горизонтов с помощью вакуумфильтров. Осушенный плывун разрабатывается легче – уменьшается его объемный вес, облегчается труд горнорабочих, повышается норма выработки и др.

Одним из методов закрепления плывучего грунта является последовательное нагнетание жидкого стекла и раствора хлористого кальция. Однако этот метод возможен для грунтов с малым коэффициентом фильтрации пород (от $2,0 \cdot 10^{-3}$ до $9,0 \cdot 10^{-2}$ см/с). Более эффективно совместное применение электроосмотической фильтрации и нагнетания твердеющих растворов. Очень эффективен метод замораживания. Однако, недостатком этого метода является временный характер. При защите от плывунов котлованов, тоннелей, карьеров и шурфов от заплывания применяют кессоны; шпунтовые стенки, забивную крепь, опускные колодцы.

- а – «зарядка» вакуум-фильтра;
- б – работа вакуум-фильтра;
- в – совместная работа вакуум-фильтра с аэрирующей скважиной;
- 1 – глины;
- 2 – пески водоносные;
- 3 – угольный пласт

Рисунок 5.1 – Схема осушения пловунов вакуум-фильтрами
(по С.В. Троянскому)

Прорывы пловунов имеют место при явлениях сдвижения пород, при пересечении зон повышенной раздробленности пород, уменьшения мощности водоупорных пород в почве и кровле и на участках с

повышенными напорами подземных вод. Возникают внезапно, но протекают с различной интенсивностью в зависимости от местных геолого-гидрогеологических условий. При проходке горных выработок приходится вынимать грунта-плывуна в несколько раз больше, чем объем выработки.

Оползни. Потерявшие связность мягкие связные грунты текучей или мягкопластичной консистенции, слагающие склон или откос, могут оползать. Смещение их происходит как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях. Оползание может происходить также по поверхности раздела грунтов при слоистой толще и уклоне слоев в сторону откоса. Скорость смещения грунтов при этом различна. Условия, в которых чаще всего развиваются оползни, определяются рельефом, геологическим строением, а иногда и новейшими тектоническими движениями. Оползни возникают под влиянием силы тяжести в связи с изменением физических свойств грунтов при участии поверхностных и подземных вод, атмосферных агентов, а также деятельности человека.

Для борьбы с оползневыми явлениями применяется сложный комплекс противооползневых мероприятий, базирующихся на детальном изучении природной обстановки.

Просадка. При увлажнении мягких связных макропористых грунтов (лессов и лессовидных суглинков) происходит разрушение некоторых структурных связей (кристаллизационных и водноколлоидных) и уменьшение пористости. В результате возникает неравномерное уплотнение грунтов – просадка и, как правило, в толще просадочных грунтов образуются трещины. Эти грунты характеризуются высоким содержанием пылеватых частиц (до 80-85 %),

высокой пористостью.

Главные факторы возникновения просадочных явлений – это генезис и последующие условия существования грунта, его гранулометрический и минеральный составы, влажность, пористость, давление от сооружений, длительность увлажнения, состав и свойства увлажняющей среды.

Для предупреждения опасных и нежелательных для сооружений деформаций просадочных грунтов проводят мероприятие по улучшению свойств лессовых грунтов: механическое уплотнение с помощью трамбующих устройств, предварительное их замачивание и др.

Осадка. Сооружения оказывают на грунты вертикальное давление (вес сооружения) и горизонтальное (от действия ветра) воздействие динамических нагрузок. Все эти факторы, а также изменение температуры (замерзание, оттаивание) и влажность грунта могут вызвать сжатие сооружений и их осадку. Осадка сооружений может быть равномерной и неравномерной, допустимой и недопустимой (19).

Неравномерная осадка, при которой различные части сооружения испытывают неодинаковую осадку, приводит к их деформации. Допустимая осадка для отдельных типов сооружений устанавливается специальными техническими условиями при проектировании сооружений. При допустимой осадке не происходит деформация архитектурных деталей сооружения.

При строительстве и эксплуатации горных предприятий приходится сталкиваться с проявлением различных геологических процессов, осложняющих освоение и разработку месторождений

полезных ископаемых. В отличие от естественных геологических, инженерно-геологические процессы и явления при разработке месторождений характеризуются обычно большей интенсивностью, более быстрым протеканием во времени, ограниченностью площади их проявления и более разнообразным характером.

Особенно разнообразны и опасны по возможным последствиям инженерно-геологические процессы и явления, сопровождающие подземную разработку месторождений. Поэтому, важнейшим принципом эффективности и безопасности подземной разработки является обеспечение максимального соответствия решений инженерно-геологическим условиям.

5.3 Классификация месторождений угля по горно-геологическим условиям

В соответствии с А.М. Гальпериным, В.С. Зайцевым и Ю.А. Норватовым [2] для установления степени сложности горно-геологических условий используют бальную оценку классификационных признаков, в соответствии с которой месторождения разделены на четыре группы (типа): I - простые, II - средние, III сложные, IV – весьма сложные.

Месторождения, выделяемые в одну горно-геологическую группу, имеют одинаковый генезис, число угольных пластов и близкие значения горно-геологических показателей разработки.

Выделенные группы соответствуют четырем основным стадиям литогенеза угленосных пород: I группа - буроугольной, II группа – переходной от буроугольной к каменноугольной, III группа - каменноугольной, IV группа – графитовой.

Стадии характеризуются разной степенью метаморфизма угля и пород, что в свою очередь отражается на соответствующих петрографических и физико-механических свойствах.

Каждая из групп месторождений разделена на три подгруппы – А, Б и В, отличающиеся строением, морфологией угольных пластов, инженерно-геологическими и гидрогеологическими условиями, а III группа – условиями залегания пластов. Причем сложность горно-геологических условий возрастает от подгруппы А к подгруппе В.

В пределах Донецкого бассейна предложено подразделять территорию по условиям вскрытия и разработки шахтных полей отдельно по: 1) условиям проведения горных работ в надкарбоновой толще, где главными признаками горно-геологических условий являются обводненность, устойчивость и мощность покрывающих карбон отложений; 2) условия проведения выработок в каменноугольных породах, где основными признаками является прочность пород, зависящая от степени их метаморфизма.

Для I случая, при наличии надкарбоновой толщи, территория Донбасса подразделена на 3 группы районов: I- со сложными условиями вскрытия, II – с относительно сложными и III – с простыми условиями.

I группа включает районы, где мощность покровных отложений составляет 20-200 м и более и содержащие многочисленные горизонты напорных вод в палеогеновых, юрских и триасовых отложениях. Напоры здесь достигают 80-120 м, иногда до 160 м.

II группа – где угленосная толща покрыта меловыми, палеогеновыми и неогеновыми отложениями мощностью до 100-300 м, которые содержат как безнапорные, так и напорные воды. Напоры здесь составляют от 20-30 м до 120 м.

III группа – районы, где угленосная толща либо выходит на поверхность, либо покрыта маломощным чехлом неогеновых (мощностью до 100 м) и четвертичных образований.

В общем гидрогеологические и инженерно-геологические условия благоприятны.

По условиям проведения выработок в каменноугольной толще прослежены три зоны по степени метаморфизма (см. раздел 6).

5.4 Изменение геодинамической обстановки при подземной разработке угольных месторождений

Горные породы в условиях естественного залегания находятся в соответственно напряженном состоянии, т.е. в состоянии равновесия. В силу многочисленных естественных причин (состава и строения массива горных пород, физического состояния, гидрогеологических условий и пр.) происходит перераспределение напряжений и их разгрузка. Несмотря на то, что все возникающие при этом геологические явления имеют геологическую природу, определенное внимание на их течение и развитие оказывают и горнотехнические факторы. Любые подземные работы – проходка горных выработок, шахт, шурфов, штолен, скорость и последовательность проходки, размеры выработанного пространства нарушают равновесное состояние горных пород и приводят к различным их деформациям.

Наибольшие значения и опасность при разработке угля подземным способом имеют явления сдвижения горных пород над выработанным пространством, горное давление, горные удары, разуплотнения, расслаивания, обрушения, оплывания, выпирания, газодинамические явления и пр.

Зона влияния горных работ на месторождения полезных ископаемых захватывает огромные пространства геологической среды, а возникающие здесь процессы нарушают устойчивость горных выработок, требуют специальных способов проходки и специальных видов их крепления, других инженерных мероприятий. Поэтому оценка и прогноз инженерно-геологических условий месторождения должны основываться на учете и изучении как природных, так и горнотехнических факторов.

5.4.1 Сдвигение горных пород в массиве

При освоении месторождений угля и других видов полезных ископаемых основным объектом инженерно-геологического изучения являются массивы горных пород.

Массив горных пород – это находящийся в сфере инженерного воздействия участок земной коры, который составляет некоторую геологическую структуру или ее часть, характеризующуюся определенным литологическим составом и внутренним строением.

Составляющие напряженности массива зависят от петрографических и структурных особенностей и физико-механических свойств пород.

При подработке земной поверхности геодинамические процессы охватывают всю вышележащую над горными выработками толщу горных пород, вызывая оседание, провалы поверхности в границах так называемой мульды сдвижения.

Процесс сдвижения толщ горных пород начинается обычно с их прогибания в кровле горных выработок. По мере увеличения площади выработанного пространства, особенно при близком взаимном расположении выработок на разных горизонтах, прогиб слоев

увеличивается и в сдвигение вовлекаются все большее число слоев, пачек слоев, свит и толщ, происходит сдвиг пород по поверхностям напластования. При этом в зоне, непосредственно прилегающей к кровле горных выработок, наряду с расслоением и опусканием пород повышается их раздробленность и они обрушаются.

Процесс оседания и сдвижения горных пород, достигая поверхности Земли, вызывает ее деформации и формирование мульды сдвижения. Причем оседание участков поверхности в зоне сдвижения неравномерно и увеличивается от ее границ к центру. Высота зоны обрушения составляет от 2-х до 6-ти кратной мощности вынимаемого пласта. Выше последовательно располагается зона трещинообразования, высотой 20-40 кратной мощности пласта.

На угольных месторождениях с горизонтальным или пологим залеганием пластов при разработке с обрушением кровли отношение высоты зоны обрушения ($h_{обр.}$) к мощности вынутого пласта m , как

$$\text{правило не превышает } 5, \text{ т.е. } \frac{h_{обр.}}{m} < 5.$$

При крутом залегании пород это соотношение больше. Таким образом, величина сдвижений земной поверхности находится в прямой зависимости от вынимаемой мощности пласта и площади выработанного пространства и в обратной – от глубины ведения горных работ и способа управления кровлей.

В результате неравномерности перераспределения напряжений в мульде сдвижения возникают горизонтальные (сжатие и растяжение) и вертикальные (наклоны, кривизна) деформации, что приводит к повреждению инженерных сооружений вплоть до их разрушения, к

5.2 – Схемы оседания и сдвижения подработанных толщ пород,
залегающих: а – горизонтально; б – наклонно;
в - крутонаклонно

образованию оползней, заболачиванию и затоплению больших площадей, к прорывам воды в горные выработки при подработке старых затопленных горных объектов и мощных водоносных горизонтов, образованию пывунов и прочим явлениям.

Для защиты зданий и сооружений, охраны территорий от вредного влияния сдвижения горных пород применяют различные мероприятия: разделение зданий на отсеки, усиление стен железобетонными поясами и стальными тяжами, анкеровка в стены концов балок перекрытий, устройство компенсационных траншей, преобразование жестких узлов связей в шарнирные и пр.

Для уменьшения деформаций земной поверхности производят разработку пластов угля с закладкой выработанного пространства, что уменьшает деформации земной поверхности на 50-90 %; применяют камерную систему разработки с закладкой камер – уменьшает на 90-95 %. Горные меры включают также частичную отработку пласта по площади (уменьшение длины лав и размеров выработанного пространства по простиранию), уменьшающую деформации на 40-45 %; разработку пластов в свиты с разрывом во времени более продолжительном, чем процесс сдвижения горных пород, оставляют предохранительные целики.

5.4.2 Горное давление

В результате действия главным образом гравитационных и тектонических сил, а также изменения температуры верхних слоев земной коры в массиве горных пород, возникают напряжения на поверхностях контакта порода-крепь. Давление, передаваемое горными породами при их перемещении (сдвигении), деформациях и

разрушении на крепь, целики, предохранительные слои, стенки горных выработок и другие конструктивные элементы, называется горным давлением. Таким образом, горное давление может возникать только при наличии горных выработок.

Наиболее общей формой проявления горного давления является формирование нагрузки на крепь, горные удары, газодинамические явления.

- 1 – контур сечения выработки;
- 2 – величина смещения;
- 3 – положение крепи в момент установки;
- 4 – положение крепи при отходе забоя;
- 5 – границы зоны неупругих деформаций

Рисунок 5.2 – Схема формирования горного давления на крепь
в разрезе вдоль оси выработки

Величина горного давления зависит от геологического строения массива и свойств горных пород, глубины залегания, физического состояния и тектонических условий, степени обводненности и др. Из горнотехнических факторов первостепенное значение имеют размеры и форма горных выработок, система, способ и скорость проходки,

глубина, заложение и их назначение (подготовительные, капитальные, очистные). Причем горное давление в капитальных и подготовительных выработках отлично от горного давления в очистных забоях. Это связано с обнажением пород на больших площадях и наличием постоянного перемещения с забоя. Угольный пласт впереди забоя является опорой для кровли, поэтому в нем возникают повышенные нормальные напряжения или опорное давление, вызывающее частичное разрушение и выдавливание призабойной части пласта (отжим угля). В кровле очистных выработок основным видом смещений пород является прослойный изгиб с образованием зазоров и щелей между слоями (расслоение и отслоение горных пород).

- 1 – угольный пласт;
- 2 – опорное давление;
- 3 – основная кровля;
- 4 – обрушение породы;
- 5 – просадочная крепь;
- 6 – призабойная крепь;
- 7 – зона отжима;
- 8 – непосредственная кровля

Рисунок 5.3 – Схема проявления горного давления в лаве

Развитие горного давления во времени характеризуется значительной интенсивностью в начальный период (месяц-полтора), затем оно постепенно стабилизируется.

Б.В. Смирновым (16) установлены наиболее общие закономерности проявления горного давления и напряженно-деформированного состояния горных пород при проведении в них горных выработок: 1) максимальная концентрация механических напряжений обычно проявляется на контурах выработок, особенно на их углах; 2) в случаях, когда горизонтальные размеры выработок больше, чем вертикальные, в их кровле и почве возникают участки растяжения, тогда как при отношении вертикального и горизонтального размеров 5:1 в кровле и почве могут существовать только сжимающие усилия; 3) перед очистными забоями в пластах углей и вмещающих породах развивается наиболее интенсивное опорное давление, которое начинает проявляться в 50-60 м впереди фронта очистных работ и достигает максимума в 2-10 м от него, особенно в предохранительных целиках, где концентрация напряжений тем больше, чем меньше их размеры; 4) абсолютные величины опорного давления и размеры области его проявления возрастают с увеличением глубины разработки; 5) при прочных породах кровли опорное давление распространяется в глубь массива, чем при слабых породах; 6) наибольшие концентрации напряжений в разрабатываемых пластах проявляются в случаях, когда их почва и кровля представлены механически неоднородными толщами; 7) концентрация напряжений в зоне опорного давления обратно пропорциональна углу падения пластов; 8) горное давление в породах, подверженных набуханию, на обводненных участках выше, чем на необводненных и др. Следовательно, разнообразие факторов,

определяющих развитие горного давления свидетельствует о том, что проявление его различно в различных геологических условиях, в пространстве и во времени.

- 1 – основная кровля;
- 2 – непосредственная кровля;
- 3 – угольный пласт;
- 4 – выработанное пространство;
- 5 – эпюры опорного давления

Рисунок 5.4 – Обрушение основной кровли над чистой
выработкой (по А.А. Борисову)

Чтобы не допустить массового обрушения пород (рисунок 5.4) в призабойное пространство с разрушением крепи, применяют различные способы управления горным давлением. Например, полное обрушение и закладку выработанного пространства, которая препятствует прогибу слоев кровли, ликвидируя чрезмерные изгибающие моменты и возможность обрушения.

Для обрушения прочности несущих элементов подземных сооружений и выбора способа управления горным давлением производят предварительный его расчет.

5.4.3 Горные удары.

Горный удар – это мгновенное освобождение упругого сжатия горных пород, сопровождающееся быстрым разрушением предельно напряженных участков полезного ископаемого и горных пород, прилегающих к подземной горной выработке. Сопровождаются выбросом пород в горную выработку, сильным звуковым эффектом, возникновением мощной воздушной волны и сотрясением пород. Разрушение происходит лавинообразно и совершается образованием устойчивой по форме полости при подпоре со стороны выброшенных пород.

Проявляются горные удары обычно в краевых частях подготовительных и очистных выработок, в целиках, на глубинах свыше 200м и по разрушительной силе, внезапности проявления исключительно опасны.

В зависимости от интенсивности проявления и вызываемых последствий в качестве локальных проявлений горных ударов различают стреляние пород, микроудары и толчки.

Стреляние горных пород – это быстрое откалывание и отскакивание кусков породы от обнаженной поверхности горных выработок, сопровождающееся звуковым эффектом, возникающее вследствие их хрупкого разрушения при соответствующем напряженном состоянии. Стреляние горных пород может являться признаком возможных горных ударов.

Микроудары характеризуются разрушением горных пород и пластов угля в пределах сравнительно небольшого объема геологического пространства при быстром их выбросе в горную выработку.

Рисунок 5.5 – Схема к проявлению горных ударов: в целике (а) и в очистном забое (б), Δh_1 и Δh_2 – соответственно смещения кровли и почвы в результате упругого расширения массива горных пород (пунктирными линиями показаны зоны опорного давления и разгрузки до горного удара, сплошными – после удара).

Сопровождаются обычно резким звуком, образованием пыли, сотрясением горных пород и усилением газовыделения в газоносных породах.

Толчками принято называть горные удары, проявляющиеся в разрушении угленосной толщи за пределами контуров выработок без их выброса в горную выработку.

Установлено, что удароопасность тесно связана с прочностью и структурными особенностями пород кровли и угольных пластов, углами падения и глубинами разработки. Чем ниже прочность угля и круче углы падения пород, тем меньше глубина выработки разработки, при

которой возникают горные удары. Удароопасность повышается с увеличением глубины при наличии разрывных нарушений, разделяющих массив на крупные блоки. Установлено также, что удароопасны в основном песчаники, известняки, пластовые жилы изверженных пород с пределом прочности на сжатие до 100 мПа, при мощности пластов 10 м и более, залегающие на глубине более 500 м. Их горнотехнических условий первостепенное значение приобретают высокое горное давление на отдельных участках, условия вскрытия и система разработки, неправильное ведение горных работ в целом.

5.4.4 Газодинамические явления

Газодинамические явления – это быстропротекающие геологические явления в виде разрушения газоносных пластов углей (руд) и горных пород в призабойных частях подготовительных и очистных выработок, сопровождающиеся повышенным выделением газа и перемещением или выбросом разрушенных масс в выработку.

Горные породы угольных месторождений содержат следующие природные газы: метан, углекислый газ, азот, тяжелые углеводороды (этан, пропан, бутан, пентан, гексан и их соединения), водород, окись углерода, сероводород и инертные газы (гелий, неон, аргон и др.). Наиболее распространенными газами являются метан, углекислый газ и азот, определяющие газоносность месторождения. Остальные газы встречаются в виде примесей.

В генетическом отношении газы угольных месторождений неразрывно связаны с накоплением и со всей геологической историей формирования угленосной толщи. Считается, что основным источником возникновения газов являются биохимические процессы,

выражающиеся в разложении и углефикации скоплений органического вещества.

Выделяются газы (в основном метан и углекислый газ) через свободную поверхность пласта и из отбитого угля. Различают газовыделения: **обыкновенное** – происходящее медленно, но непрерывно из трещин и пор в угле и породах; **суфлярное** – местное концентрированное выделение газа из природных или эксплуатационных трещин с дебитом $1\text{ м}^3/\text{мин}$ и более на участке выработки протяженностью до 20м и **внезапное** – местное интенсивное выделение больших количеств газа в короткий промежуток времени, сопровождающееся разрушением призабойной части угольного пласта (рисунок 5.6).

Рисунок 5.6 – Схема внезапного выброса угля и газа из забоя
в подготовительную выработку

При этом в горную выработку выносятся от нескольких тонн до десятков и сотен тысяч тонн угля на расстояние до 40-500 м и более и от десятков до сотен тысяч метров кубического газа.

Самый мощный в мире внезапный выброс – 14 тыс.т выброшенной массы угля и около 600 тыс.м³ метана произошел в 1968 г в Донбассе на шахте им. Ю. Гагарина при вскрытии квершлагом крутого пласта угля, мощностью 1,3 м на глубине 750 м. Квершлаг засыпало углем на протяжении 650 м.

Внезапные выбросы угля и газа происходят в основном на глубинах более 250 м, в основном на пластах мощностью от 0,5 до 2,5м, при этом, чем больше мощность угольного пласта, тем выше средняя интенсивность выброса. С увеличением глубины разработки частота и сила их возрастает. Установлена также неравномерность в распределении газов в угленосной толще. Выделяются (сверху вниз): зона газового выветривания, зона азотно-углекислых газов и углекисло-азотных газов (практически не содержат метана), зоны метаново-азотные и азотно-метановые (с газообильностью выработок 2-3 м³/т с.д., иногда 10-15 м³/т с.д.). Граница между зонами углекисло-азотных и метаново-азотных фиксируется как «глубина первого проявления метана». Ниже располагается зона метановых газов. Однако, газовая зональность на угольных месторождений не всегда прослеживается четко. Мощность отдельных газовых зон колеблется по вертикали от нуля до сотен метров. Газовые шахты в зависимости от газообильности разделяются по метану на 4 категории (таблица 5.2).

Предупредительными признаками внезапных выбросов угля и газа являются: выжимание угля или породы из забоя, повышенное горное давление, удары и трески различной силы и частоты, шелушение

забоя, появление пылевого облака и усиленное газовыделение.

Таблица 5.2

Категория по газу (метану)	Количество метана м ³ /т с.д. угля
I	До 5
II	От 5 до 10
III	От 10 до 15
Сверхкатегорийная	Более 15 м ³ , а также шахты, разрабатывающие пласты, опасные по выбросам и суфлярам

Внезапные выбросы газа и угля развиваются в определенных геологических условиях. Главнейшим из них являются: степень газоносности углей и горных пород, повышенное давление газа, мощность угольных пластов, марка углей и другие геологические и гидрогеологические (необводненность угленосных толщ и низкое значение естественной влажности горных пород и углей) факторы. Наиболее часто внезапные выбросы происходят на пластах углей марок ПЖ, К, ОС и Т, реже марок А и Г. Из горнотехнических факторов – это глубина разработки, степень изменения естественной напряженности горных пород и др.

Мерой природной газоносности (или газонасыщенности) горных пород является количество газа в м³/т твердого вещества.

Относительная газообильность – объем выделяющегося газа в горные выработки в единицу времени, отнесенный к одной тонне

среднесуточной добычи угля ($\text{м}^3/\text{т с.д.}$).

Газодинамические явления характерны для многих угольных месторождений Донбасса, Кузнецкого, Карагандинского и Печерского угольных бассейнов, Дальнего Востока и Сахалина. Мероприятия по предупреждению развития газодинамических явлений включают: дегазацию неглубокими скважинами, опережающую отработку защитных пластов; увлажнение путем нагнетания воды в пласт; столбовую систему разработки, полное обрушение на пологих пластах и полную закладку на крутых; гидровывывание опережающих полостей и щелей, применение опережающей крепи и др.

Обрушение горных пород в выработанное пространство – это сдвигание горных пород, покрывающих пласт угля с отделением кусков, глыб и блоков и их вывалом в горную выработку. Обрушение может быть вызвано принудительным воздействием на массив горных пород взрывом или долговременным влиянием природных факторов (действием подземных вод, температуры, выветривания); толчков, возникающих при горных ударах, внезапных выбросах угля и газа, пород.

По способности отслаиваться при ведении горных работ выделяют непосредственную, ложную и основную кровли.

Непосредственная кровля – слой, пачки слоев небольшой мощности, залегающие в кровле горных выработок непосредственно на пласте угля, не сохраняющие устойчивость в призабойном пространстве без крепи и обрушающиеся вслед за удалением крепи.

Ложная кровля – слои и пачки слоев непосредственной кровли, обрушающиеся одновременно с их подработкой при выемке угля. Ложная кровля может составлять часть и всю непосредственную

кровлю, достигая мощности 0,6-1,0 м, редко 1,5 м. Обычно она представлена аргиллитами, углистыми аргиллитами или алевролитами кучерявой и комковатой текстуры, редко слабыми песчаниками и известняками.

Основная кровля – слои и пачки слоев, залегающие на непосредственной кровле или на слое угля, имеющие достаточную устойчивость и свойство обрушаться только после их подработки на значительной площади, т.е. когда площадь обнаружения в горной выработке достигает критического значения. Основная кровля может обрушаться через некоторое время после обрушения непосредственной кровли.

где 1 – основная кровля;

2 – непосредственная кровля;

3 – ложная кровля;

4 – угольный пласт;

5 – выработанное пространство;

6 – пути движения подземных вод

Рисунок 5 7 – Осадка и зависание основной кровли

(по Б.В. Смирнову)

Обрушение пород кровли может произойти и в результате их нарушенности трещинами, как естественными, так и искусственными. Причем на устойчивость пород влияет угол встречи – угол, образованный преобладающим направлением трещиноватости и линией забоя. При совпадении этих направлений пластовые отдельности пород склонны к прогибанию и зависанию вдоль забоя. При значительном прогибании породы по трещинам разделяются на плиты и обрушаются.

Для безопасности ведения работ, по наблюдениям на шахтах угол встречи направления трещиноватости и линии забоя должен оставлять не менее 10-15 %.

Устойчивость пород кровли определяется структурой и физико-механическими свойствами пород, величиной возникновения в них напряжений.

По этим показателям в кровле выработок выделяют породы **весьма устойчивые** – допускающие весьма большие площади обнажения и не требующие поддержания; **устойчивые** – допускающие значительные обнажения и требующие крепления лишь в отдельных местах; **средней устойчивости** – допускающие обнажение на относительно большой площади без поддержания вслед за выемкой. Необходимость поддержания этих пород возникает не сразу, а со временем; **неустойчивые породы** – допускающие небольшие по площади обнажения кровли и боков выработки и требующие прочного поддержания непосредственно за выемкой; **весьма неустойчивые** – не допускающие обнажение кровли и боков выработки без крепления (сыпучие, рыхлые и плавунные породы).

Согласно Б.В. Смирнову максимально допустимые площади (мг) незакрепленного пространства при различных типах кровель для

Донбасса составляют: неустойчивые – 6; средней устойчивости – 6-12; устойчивые – 12.

5.4.5 Вывалы горных пород

Вывалы горных пород – местное выпадение отделившейся от массива части горных пород или угля, преимущественно из кровли горных выработок при наличии в массиве зон дробления, слоистости, трещиноватости и пр.

Обычно вывалы образуются в призабойной части выработок по мере продвижения забоя, при удалении или перестановке крепи, в выработанном незакрепленном пространстве.

где а – при сочетании трещин;

б – при сочетании трещин, поверхности слоистости и других поверхностей и зон ослабления. Тонкие линии – трещины, поверхности слоистости

Рисунок 5.8 – Формирование горного давления при образовании вывалов в скальных и полускальных породах

В результате образования вывалов в кровле подготовительных и очистных выработок образуются пустоты, имеющие форму куполов, обращенных вершиной вверх. Высота их обычно 0,5-0,6 м, реже

составляет 1,0-2,0 м мощности слоев и пачек непосредственной кровли, иногда и ложной кровли.

В осадочных породах купола в кровле выработок могут возникать на участках недостаточной сцементированности, размягчения, осыпания и прочих признаках изменения горных пород при их обнажении.

5.4.6 Разуплотнение и расслаивание горных пород

При вскрытии горных пород горными выработками и карьерами происходит их разуплотнение, т.е. образование по контуру горных выработок зоны повышенной трещиноватости в результате раскрытия скрытых и закрытых трещин и образование новых.

Трещины разуплотнения развиваются более или менее параллельно обнаженной поверхности пород, образуя зоны ослабления. Наиболее четко выражены такие трещины вблизи дневной поверхности, с глубиной более редки и менее четкие.

Разуплотнение горных пород часто сопровождается другими явлениями – расслаиванием, оползанием, обрушением, осыпанием и др.

Расслаивание пород обусловлено степенью слоистости осадочных пород с образованием пластовых отдельностей в кровле горных выработок.

Пластовые отдельности могут обрушаться за продвижением забоя при выемке угля или перестановке крепи или зависать в кровле на расстоянии нескольких метров от забоя до 3-4 м.

5.4.7 Выдавливание (пучение) пород

В отличие от опускания и обрушения, выдавливание проявляется в смещении пород не только в направлении действия силы тяжести, т.е.

сверху вниз, но и по другим направлениям, от периферии к центральной части выработанного пространства.

Характерной формой выдавливания пород при подземной эксплуатации месторождений является пучение почвы разрабатываемых пластов, что выражается в подъеме пород, подстилающие пласты угля, после его выемки. Чаще всего выдавливание наблюдается в подготовительных выработках-штреках. В Донецком бассейне это явление характерно для 54 %, в Кузнецком – около 27 % от общего числа штреков, находящихся в зоне влияния очистных выработок.

Пучение почвы пласта полезного ископаемого обусловлено в основном действием горного давления. Вызывает деформации горных выработок, деформации и разрушение крепей и иногда приводят к полному их разрушению. Данные наблюдений свидетельствуют, что явление выдавливания (пучения) связано в основном с разнообразными глинистыми породами – глинами, аргиллитами, алевролитами, редко с глинистыми песчаниками, особенно при их увлажнении, размокании и размягчении, в зонах тектонических нарушений.

По склонности к пучению В.В. Фроммом выделены следующие категории пород, слагающих почву горных выработок: 1) весьма устойчивые, пучение которых не происходит; 2) устойчивые – пучение в течение трех лет не превышает 0,1 м; 3) относительно устойчивые – пучение в течение 3 лет не превышает 0,3-0,5 м; 4) неустойчивые – пучение составляет 0,5-1,0 м; 5) весьма неустойчивые – пучение более 1,0 м, при этом выработка полностью запечатывается в течение 4-6 месяцев.

Другим фактором развития этого процесса является увеличение глубины расположения горных выработок до 300-400 м, наряду со

степенью литификации глинистых пород (влажности, плотности, прочности). На глубинах 600-700 м выдавливание горных пород почвы наблюдается на всех без исключения выработках и тем интенсивнее, чем на большей глубине они расположены. К числу проявления выдавливания относится и отжим ложной кровли в очистных забоях еще до выемки угля.

Длительность процесса деформации пород почвы может быть различной в зависимости от их напряженного состояния и физико-механических свойств в Донбассе смещения в крепких породах заканчиваются через 6-9 месяцев, в породах средней прочности и слабых – через 12-24 месяцев.

Отжим угля и горных пород – выдавливание угля (породы) в массиве (целике) в сторону выработанного пространства, сопровождающееся его постепенным разрушением, отслаиванием. Происходит под действием горного (опорного) давления в краевой части пласта, находящегося в перенапряженном состоянии. Зависит как от условий образования угольных пластов, так и от условий их отработки.

Явление отжима характерно для различных глинистых пород и углей. Наблюдается на средних и больших глубинах, облегчает выемку угля, однако требует определенного внимания, так как создает трудности для охраны выработок.

Оседание пород. Оседание почвы подземных выработок проявляется в виде неупругих деформаций пород почвы под воздействием механических нагрузок, передаваемыми элементами крепи и другими видами шахтного оборудования.

Породы считаются слабо оседающими при преобладающем погружении строек, диаметром около 150 м менее чем на 15 см и интенсивно оседающими – при большем погружении.

6 ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КАМЕННОУГОЛЬНЫХ УГЛЕНОСНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ДОНЕЦКОГО БАССЕЙНА

6.1 Подземные воды каменноугольной толщи Донбасса

Каменноугольные угленосные отложения Донбасса сложены разнообразным комплексом терригенных пород – песчаниками, алевролитами, аргиллитами, среди которых в виде маломощных слоев залегают пласты углей и известняков. Общая мощность каменноугольных отложений увеличивается с запада на восток и от окраин к центральной части бассейна – области наибольшего прогибания и изменяется от 700 м в районе с. Терновка до 18 км у г. Шахты.

Подземные воды являются важнейшим элементом горно-геологических условий карбона. Они широко распространены как по площади, так и на глубину, образуя водоносные горизонты и комплексы различные по типу, условиям залегания, водообильности, составу и другим признакам.

Отложения карбона по типу содержащихся в них водоносных горизонтов и степени водообильности подразделяются на две различные толщи: нижнюю – известняковую, включающую мощный водоносный горизонт трещинно-карстовых вод, и верхнюю песчано-глинистую с многочисленными водоносными горизонтами пластово-трещинных вод, приуроченных к пластам песчаников и известняков.

Толща почти сплошных известняков, реже доломитов (свиты C_1 -

C₅) вскрытые в северо-западной части Донбасса сильно трещиновата и закарстована до глубины 200 м. Степень их трещиноватости и закарстованности резко изменяется как с глубиной, так и по простиранию, увеличиваясь вблизи тектонических разломов, в долинах балок и рек. Коэффициенты фильтрации здесь достигают до 100 м/сут. Зеркало трещинно-карстового горизонта имеет общий уклон с запада на восток. Дебиты отдельных скважин достигают 0,1 м³/сек.

Свиты среднего и верхнего отделов карбона сложены чередующимися пластами песчаников, аргиллитов, алевролитов, известняков и углей. Терригенные породы слагают здесь до 98 % всей толщи, однако в северной и северо-восточной частях бассейна содержание известняков повышается до 10-17 % по сравнению с 0,1-5,0 % остальной территории. Мощность известняков не превышает 2-3 м, иногда до 10 м, редко до 40-50 м (известняки G₁ и F₁) – в северо-восточных районах.

Средняя мощность песчаников составляет 20-25 м, иногда 70-80 м, редко 100 м в свитах.

В отложениях песчано-глинистой толщи карбона выделено 330 более или менее выдержанных водоносных горизонтов, в том числе в известняках – 105 и 225 в песчаниках. Количество водоносных горизонтов в каждой из свит изменяется от 11 (в свите C₂³) до 44 (в свите C₂⁷), причем степень выдержанности и их мощность существенно отличаются в различных районах. Обусловлено это, как быстрой фациальной изменчивостью отложений, так и общими изменениями металлического состава толщи в разных частях бассейна. Коэффициенты фильтрации песчаников изменяются от нескольких м/сут до 100 м/сут.

Водоносность пород карбона закономерно уменьшается с глубиной и затухает на глубинах 700-900 м. Исключением являются зоны тектонических нарушений, особенно сбросы и флексуры, где высокая водообильность прослежена до глубин 1000-1300 м (Чайкинская, Березовская флексуры). Водопритоки в шахты существенно зависят от мощности и степени обводненности покрывающих карбон отложений. Существенное влияние на обводненность оказывают также поверхностные воды и сезонные атмосферные осадки в открытых и полузакрытых районах на верхних горизонтах шахт до глубины 100-250 м.

О различной степени водоносности каменноугольных пород свидетельствуют притоки в шахты, средняя величина которых составляет 75-90 м³/час, редко 300-400 м³/час и больше (несмотря на незначительную мощность), чем песчаников, что объясняется повышенной их трещиноватостью и закарстованностью. При вскрытии известняков горными выработками иногда наблюдаются очень большие кратковременные притоки. Катастрофический прорыв воды из пласта известняка М₅ зафиксирован на глубине 146 м на шахте Ломоватская-Южная п/о «Стахановуголь». В первые шесть часов наблюдались притоки до 460 м³/час. Вода в стволах за сутки поднялась на 40 м выше рудного двора. За 40 дней было откачено 220 тыс. м³.

Особенно обводнены песчаники свиты С₂⁵ – К₆SK₇ с притоком до 1200 м³/час; К₉SL₁ – более 1000 м³/час; свиты С₂⁶ – l₆Sl₇ 323 м³/час. Общий приток воды в шахты Донбасса 912 тыс. м³/сут, снижаясь с глубиной. Однако еще на глубине 1000 м притоки достигают 15-18 м³/час.

Средний коэффициент водообильности для шахт Донбасса

составляет 2,8, по отдельным районам 1,3-5,0. Соответственно наблюдается и изменение коэффициента фильтрации с глубиной (от 0,96-0,36 м/сут на глубине 50-150 м до менее 0,002 м/сут на глубине 900-1000 м).

Увеличение минерализации подземных вод каменноугольной толщи направлено от центральной (открытой) части к его периферийным (закрытым) районам. Минерализация вод песчано-глинистой толщи карбона колеблется от 0,2 до 0,66 г/л, при среднем значении 2-3 г/л. Жесткость от следов до 250 мгэкв/л.

По условиям залегания подземные воды карбона трещинные и трещинно-пластовые.

6.1.1 Формирование химического состава шахтных вод

Разнообразие геологического строения условий залегания, питания и дренирования подземных вод обусловили довольно разнообразный их состав и минерализацию. Их состав и минерализация изменяются в зависимости от мощности покровных отложений.

Для вод поверхностной зоны наиболее открытых районов Донбасса минерализация подземных вод низкая, до 1 г/л. При увеличении мощности четвертичных отложений и сокращении выходов карбона на дневную поверхность, минерализация постепенно увеличивается до 2-3 г/л.

По мере увеличения мощности покровных отложений к периферийным частям Донецкого бассейна минерализация возрастает до 40-50 г/л. Наблюдается также изменение минерализации с глубиной.

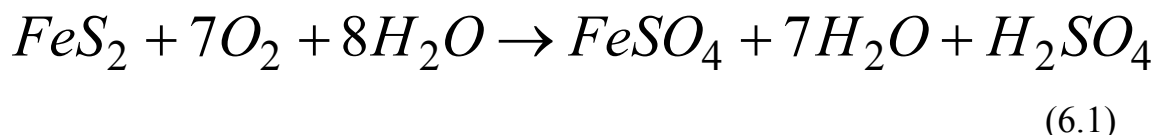
В районах открытого Донбасса на глубинах 300-400 м величина минерализации – 2-3 г/л, на глубинах 400-700 м – 5-6 г/л (в полужакрытых районах) и на более глубоких горизонтах – более 10 г/л

(закрытый Донбасс).

В составе подземных вод также наблюдается последовательный переход с глубиной от гидрокарбонатных через сульфатные к хлоридным.

При вскрытии водоносных горизонтов горными выработками подземные воды претерпевают значительные изменения. Изменение химического состава отражается главным образом на увеличении общей минерализации, жесткости и кислотности. Одновременно возрастает и агрессивность вод в верхних горизонтах угленосных отложений. В результате процессов окисления сульфидов (в основном пирита) и других минералов (в основном сульфата железа, магния, алюминия и др.) образуется окислительная зона, где формируются кислые шахтные воды.

Окисление пирита происходит по схеме:



т.е., при действии фильтрационной воды, обогащенной кислородом, происходит окисление серы с образованием серной кислоты и сернокислотных соединений. Образовавшаяся серная кислота частично нейтрализуется карбонатом кальция, основной составной частью известняков, часть считается свободной и накапливается в шахтных водах, придавая им кислотный характер.

Кислотность подземным водам придают также угольная и гуминовая кислоты. Кислотные воды при разведке угольных месторождений, как правило, не встречаются, а возникают в

определенной горно-геологической обстановке при ведении горных работ.

По А.В. Докунину, Л.С. Докукину и Л.С. Докукиной (16) кислотные воды не появляются при разработке наклонных пластов с сернистостью до 2,5 %; при разработке одиночных пластов угля средней мощности с содержанием серы более 2,5-3 % (пласт малозольный, а непосредственная кровля сложена песчаниками и известняками) появление кислых вод возможно. При выемке тонких пластов, с сернистостью более 3,5 %, такие условия создаются.

Увеличение мощности пласта и угла падения способствует образованию кислых вод. Снижает кислотность подземных вод высокая зональность пласта, содержание в зоне большого количества окислов алюминия, наличие в кровле мощных толщ глинистых пород.

При разработке горизонтальных пластов сернистых углей с наличием в кровле аргиллитов, кислые воды вообще не появляются.

Приток кислых шахтных вод зависит также от времени года. Особенно опасны паводки. На мелких шахтах этот период длится обычно 10-20 дней, на глубоких до 30-45 дней.

Для нейтрализации кислых шахтных вод на незначительной площади их распространения применяют негашеную известь. Рекомендуется производить также предварительное осушение очистных площадей и избегать сброса кислых шахтных вод на нижние горизонты через выработанное пространство в действующие горные выработки.

С глубиной окислительная обстановка сменяется восстановительной, где образуются зоны метановых вод повышенной минерализации.

Для шахт Донецкого бассейна А.И. Кравцов и др. [12] установили

следующую гидрохимическую вертикальную зависимость:

- 1) зона гидрокарбонатно-кальциевых слабо минерализованных вод (до глубины около 50 м);
- 2) зона гидрокарбонатно-сульфатно-кальцево-натриевых вод более высокой минерализации (за счет выщелачивания сульфатов из зоны окисления);
- 3) зона сульфатно-натриевых вод;
- 4) зона метановых вод гидрокарбонатно-натриевого состава;
- 5) зона гидрокарбонатно-хлоридно-натриевых вод, повышенной минерализации – до 3 г/л и более (глубины свыше 400 м).

Таким образом, минерализация шахтных вод всегда превышает минерализацию подземных вод на тех же глубинах распространения, не вскрытых горными выработками в результате их взаимодействия с шахтной атмосферой, горными породами, угольной пылью, креплением и шахтным оборудованием и пр.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные виды горно-геологических явлений, возникающих при подземной разработке угля;
2. Охарактеризуйте процесс сдвижения горных пород над выработанным пространством;
3. Охарактеризуйте понятие «горное давление», объясните сущность этого процесса;
4. Какие инженерно-геологические явления возникают в результате проявления горного давления?

5. Объясните сущность газодинамических явлений в горных выработках;
6. Охарактеризуйте процесс обрушения горных пород в выработанное пространство. Дайте определение понятий ложная, непосредственная и основная кровли;
7. Объясните сущность процессов вывалов горных пород, разуплотнения и расслаивания, выдавливания (пучение), отжима, оседания пород, их влияние на ведение горных работ.

6.2 Гидрогеологические, инженерно-геологические условия вскрытия и разработки угольных месторождений Донбасса

Общие гидрогеологические и инженерно-геологические условия каменноугольных месторождений определяют не только расположение шахтных стволов и способы вскрытия, но и в значительной мере способы разработки и мероприятия по технике безопасности при проведении горных выработок.

Угольные месторождения Донецкого бассейна характеризуются рядом специфических особенностей горно-геологических условий разработки.

Обширное площадное распространение тел полезного ископаемого (пластов или залежей) при малой их мощности, наклонное залегание, сравнительно большая глубина зоны выветривания (средняя глубина – 60 м) и крепость вмещающих пород делают целесообразным разработку углей закрытым способом, даже на площади обнаженного карбона, как наклонными, так и вертикальными стволами. Инженерно-

геологические условия проходки стволов по каменноугольным отложениям весьма разнообразны. Немаловажное значение при этом имеют стратиграфический и петрографический факторы, степень метаморфизма пород и углей, вторичные постдиагенетические изменения пород.

Выветрелость пород. От мощности зоны выветривания и степени выветрелости горных пород зависит решение ряда практических задач по обеспечению устойчивости горных выработок. Глубина зоны выветривания изменяется в значительных пределах в зависимости от состава пород, способности их к выщелачиванию, эпигенетическим преобразованиям, степени метаморфизма.

В результате наблюдений установлено, что увеличение мощности выветрелой зоны прослеживается по направлению к долинам рек на площади открытого Донбасса и общее ее уменьшение под покровом мезо-кайнозойских отложений.

В среднем глубина зоны выветривания пород Донбасса составляет 30-60 м, максимальная до 100 м.

Скорость образования зоны выветривания в горных выработках в слабых песчаниках, алевролитах, аргиллитах, некоторых известняках измеряется десятками сантиметров в год. Наиболее интенсивно выветривание в участках тектонических нарушений, зонах трещиноватости и различных форм водопроявлений. Главным внешним признаком выветривания пород в горных выработках является интенсивность их осыпания из кровли и стенок.

Вторичные изменения горных пород. Наряду с тектонической трещиноватостью при ведении горных работ под влиянием внутренних сил сжатия и растяжения образуется нетектоническая. Такие трещины

(усыхания, напластования, выветривания и пр.) весьма разнообразны и встречаются повсеместно.

В подземных выработках наиболее часто они устанавливаются на глубинах 250-300 м и более от поверхности в кровле, почве, стенках и забое. Протяженность искусственных трещин небольшая (1-3 см), ширина – от долей мм до 1-2 мм. Мощность зоны трещиноватости может достичь больших значений.

Как правило, чем выше прочность, крепость пород и больше мощность слоев, тем меньше их трещиноватость. Например, в Красноармейском районе в кровле очистных выработок эта зона составляет 17-25 м, в почве 5-10 м, в Донецко-Макеевском районе соответственно 11-26 м и 8-10 м, в Чистяково-Снежнянском 10-55 м и в 20 м.

В очистных выработках искусственные трещины обычно обуславливают обрушение пород в кровле и их пучение в почве. Они способствуют также проявлению ложной кровли, образованию вывалов, сдвигению блоков пород, интенсивному проявлению горного давления, деформации крепи. Причем, при наличии естественной трещиноватости разрушение пород резко возрастает.

Структурные особенности. Важным фактором при изучении структурных особенностей является мощность слоев, прослоев и линз угля, а также вмещающих и покрывающих пород.

В горной практике слои угля по мощности принято делить на:

- а) весьма тонкие – до 0,7 м;
- б) тонкие – 0,7 – 1,2 м;
- в) средней мощности – 1,21 – 3 м;
- г) мощные – 3,5 м

Рабочими пластами считаются такие, которые по мощности, строению и содержанию угля целесообразно разрабатывать в данном конкретном случае.

Метаморфизм пород угленосной толщи. Проходка шахтных стволов в значительной мере определяются степенью метаморфизма пород угленосной толщи. Угли и вмещающие их породы в геологическом разрезе образуют единый комплекс осадочных образований. Процесс их изменения протекает одновременно, но проявляется неодинаково в связи с различным вещественным их составом. Принято считать, что первая стадия углефикации – превращение торфа в бурый уголь – это стадия диагенеза, а вторая – дальнейшее их изменение от бурых до антрацита – метаморфизма.

Установлено, что повышение степени метаморфизма углей проявляется в уменьшении содержания в их составе летучих компонентов и влаги, увеличении содержания углерода, плотности органической массы, в повышении их прочности и крепости.

В соответствии с этим выделяются определенные технологические марки углей, отражающие степень их метаморфизма.

В угленосной толще Донбасса выделяют следующие зоны по степени метаморфизма пород (соответственно марочному составу углей), отражающих основные черты инженерно-геологических условий проходки:

а) **зона сильно метаморфизированных пород**, вмещающих пласты полуантрацитов (ПА) и антрацитов (А). Породы этой зоны распространены на большей части открытого Донбасса и на площади их восточного погружения под более молодые отложения. Здесь все породы обладают высокой прочностью даже в зоне выветривания.

Средняя величина временного сопротивления сжатию песчаников составляет 1029 кг/см^2 , вне зоны выветривания – 1300 кг/см^2 , алевролитов – 1000 кг/см^2 , аргиллитов – 580 кг/см^2 . Причем более высокая прочность песчаников приурочена к средней части слоя. В кровле и почве прочность их снижается, что, по-видимому, обусловлено постепенным переходом к менее прочным алевролитам и аргиллитам.

В структурном отношении площадь распространения сильнометаморфизированных пород развиты в основном крупные линейные складки с редкими дизъюнктивными нарушениями. Мощность зоны выветривания колеблется от 10 до 65 м, редко до 80 м. Пучение в глинистых породах возникает на глубинах 400-600 м, иногда и более 100 м. Условия проходки шахтных стволов в сильно метаморфизированных породах благоприятны.

б) зона средней степени метаморфизма, вмещающая угли марок Т (тощие), ОС (отощено-спекающиеся), К (коксовые) и Ж (жирные) приурочены к северному поясу мелкой складчатости Донбасса и тектонически сложным районам западной части бассейна. Породы этой зоны обладают более низкими показателями прочности и относятся к среднеустойчивым. При вскрытии их стволами дает деформации стенок типа вывалов отдельных блоков, ограниченных трещинами, а при пересечении тектонических нарушений с большими зонами дробления и выветривания наблюдаются осыпи. Глубина развития трещиноватости крайне изменчива, в открытых районах – 75 м, в закрытых районах – 350-600 м.

Глубина зоны выветривания углей равна 30-40 м. Здесь уголь и породы имеют пониженную механическую прочность и устойчивость, набухают и разрушаются. Аргиллиты и алевролиты становятся вязкими

и пластичными, а песчаники часто превращаются в песок. Предел прочности песчаников на сжатие колеблется от 480 до 1560 кг/см². Пучение в аргиллитах наблюдается, начиная с глубины 300 м, в других породах – с глубины 800 м и более. В целом условия проходки стволов шахт можно считать удовлетворительными.

в) **зона слабо метаморфизированных пород**, вмещающих угли марок ДК, Д (длиннопламенные) и Г (газовый) распространена в пределах западных, северо-западных и северных районов Донбасса. Отличается большим содержанием известняков и развитием слабо метаморфизированных аргиллитов (в районах развития углей марок Д и Г) и уплотненных глин (в районах развития углей марки ДБ). Породы здесь обладают низкой плотностью, прочностью и устойчивостью. Глинистые породы легко размокают в воде и обладают высокой пластичностью. В зоне выветривания временное сопротивление на сжатие крайне низкое и составляет 13-15 кг/см². Некоторые водоносные песчаники могут переходить при вскрытии в плывунные пески, а глины и аргиллиты в оплывающую глинистую массу. В процессе проходки стволов шахт горные породы стенок деформируются, образуются вывалы пород, приуроченные в основном к глубинам 200 м.

Кроме нарушения прочности пород, наблюдается и повышенная их обводненность, особенно в зонах развития разрывных нарушений.

Максимальная величина зоны обрушения и трещиноватости над выработанным пространством по данным ПГО «Артемгеология» равна 60-65 кратной мощности разрабатываемых пластов, в отличие от районов развития сильно метаморфизированных пород, где мощность этой зоны примерно в два раза меньше.

Инженерно-геологические условия проведения подготовительных

очистных выработок на угольных месторождениях Донбасса в основном обусловлены условиями проходки шахтных стволов.

Для прогнозирования инженерно-геологических условий могут применяться различные методы, среди которых наибольшее применение находит метод аналогий, который заключается в перенесении данных, полученных при эксплуатации шахт, на проектируемые шахтные поля или их участки.

Для оценки устойчивости кровли по методу аналогии часто применяется следующая типизация: I тип – неустойчивые породы (часто являются ложной кровлей); II тип – слабоустойчивые породы, которые при выемке угля обрушаются в отдельных местах; III тип – породы средней устойчивости, IV тип – устойчивые породы, зависающие в выработанном пространстве по ширине на 3,0-4,5 м и больше.

Под устойчивым состоянием кровли понимается такое, когда в течение 1,5-2 лет смещение их не превышает 300-400 мм, деревянная крепь и затяжки не разрушены, металлическая крепь не деформирована или деформирована незначительно.

При неустойчивом состоянии, когда смещение за указанный период превышает 400-600 мм, разрушены деревянная крепь и затяжки, сильно деформирована металлическая крепь, что вызывает необходимость перекрепления выработки.

При пучении почвы (поддувании пород) почвы на высоту не более 0,2 м в течение 1,5-2 лет состояние можно считать устойчивым, при большем – неустойчивым.

Приводимые графики могут быть использованы для приближенного прогнозирования устойчивости пород кровли по данным разведочного бурения по методу, разработанному в ПГО

«Артемгеология».

Внезапные выбросы угля и газа происходят при проведении горных выработок по углю (подготовительных и очистных), а также при вскрытии пласта. В любом случае в выработку выбрасывается большое количество угля (от нескольких до сотен и даже тысяч тонн).

Так, в Центральном районе интенсивность выбросов колеблется от 2-7 до 1000 т, а дальность от 2-6 до 45 м. С глубиной интенсивность выбросов увеличивается в среднем от 44 т на глубину 400 м до 1000 т на глубине 700 м.

Выбросы угля и газа наблюдаются в углях всех марок, при любом падении пород и в различных горных выработках.

Чаще всего они происходят при крутом залегании пластов в среднеметаморфизованных углях на глубинах 200-300 м и в особенности в тех горных выработках, где концентрируются напряжения, обусловленные горным давлением (районы Центрального Донбасса и северного крыла Селезневской котловины).

С увеличением глубины количества выбросов как правило увеличивается.

Предупреждение внезапных выбросов при эксплуатации ведется разными способами, которые направлены на разгрузку пласта от горного давления и его дегазацию путем опережающей отработки близлежащего неопасного по выбросам пласта.

На глубоких горизонтах 750 м и более наблюдаются выбросы песчаников в вертикальных стволах, квершлагах, полевых выработках. Многочисленные выбросы зафиксированы на шахтах Донецко-Макеевского района, Центрального, Красноармейского и Алмазно-Марьевского районов с развитием углей марок от Г-Ж до Ж-К. При

выбросах в выработки выносилось от 20 до 2100 т породы, причем при всех выбросах наблюдалась повышенная концентрация метана.

Деформации крепи шахтных стволов, как бетонной, так и железобетонной наступают в результате действия агрессивных подземных и шахтных вод (в основном при сульфатной агрессии и агрессивности выщелачивания). При длительном их воздействии бетон либо выщелачивается, либо теряет прочность и превращается в рыхлую массу. Причем, разрушающее влияние на бетон подземных (шахтных) вод сказывается очень быстро.

Кроме подземных вод, на деформации крепи стволов оказывают влияние сдвигения горных пород, особенно при крутом залегании пород (52-68°).

Геотермические условия. В настоящее время результаты геотермических исследований в Донбассе используются для решения многих практических задач: прослеживания водоносных горизонтов и установления их мощности, определения изменения степени трещиноватости пород и скорости водообмена, определения положения депрессивной поверхности над горными выработками и пр.

Установлено, что температура горных пород до глубины 1000 м возрастает минимально на 15,2°С (Ворошиловградский район).

Общее повышение температуры с глубиной (от 0 до 2000 м) происходит неравномерно. Выделяется две зоны: верхняя – пониженного геотермического режима мощностью 500-550 м и нижняя – нормального геотермического режима. В юго-западной части Донбасса, на верхних горизонтах до глубины 500-600 м отмечается замедленный темп повышения температуры при средних значениях геотермического градиента 1,6-1,9°С на 100 м.

На более глубоких горизонтах температура возрастает более интенсивно и определяется средним геотермическим градиентом $2,8^{\circ}\text{C}$ на 100 м. Наибольшее колебание температур зарегистрировано до глубин 150-300 м, обусловленное рельефом, температурными условиями поверхности и гидродинамическими условиями температуры.

Установлены также следующие закономерности изменения геотермических условий:

- а) геотермический градиент понижается с запада на восток;
- б) понижение геотермического градиента зафиксировано в синклиналях и на участках развития сильно метаморфизированных углей;
- в) повышение геотермического градиента в сводовых частях антиклиналей.

Общее понижение геотермических градиентов увязывается с изменением гидродинамических особенностей территории. Так, в западной части закрытого Донбасса глубина водообмена с поверхностью (глубина интенсивной циркуляции подземных вод) не превышает 200-300 м, в то время как в открытых частях глубина водообмена достигает 1000 м.

Максимальная температура $+143^{\circ}\text{C}$ была зафиксирована при бурении скважины на Шебелинском газовом месторождении на глубине 4400 м.

Контрольные вопросы

1. Назовите особенности горно-геологических условий разработки угольных месторождений Донбасса.

2. Охарактеризуйте состав пород каменноугольной толщи Донецкого бассейна.
3. Сколько водоносных горизонтов включают угленосные отложения Донбасса? К каким водоносным породам они приурочены?
4. Назовите среднюю величину коэффициента водообильности для шахт Донбасса.
5. Охарактеризуйте условия химического состава шахтных вод Донбасса.
6. Охарактеризуйте гидрохимическую зональность шахтных вод Донбасса.
7. Назовите основные инженерно-геологические условия вскрытия и разработки угольных месторождений Донбасса.
8. Назовите зоны метаморфизма каменноугольных отложений Донбасса.

7 ОХРАНА И РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ В УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ РАЙОНАХ

Техногенное воздействие на окружающую среду весьма разнообразно, оно усиливается с развитием техники и народного хозяйства и оказывает все большее влияние на ход природных процессов.

Развитие экономики страны на современном этапе сопровождается ростом вовлечения водных ресурсов, в том числе и

подземных вод, в процессы расширенного воспроизводства.

Однако загрязнение природной среды, истощение ресурсов пресной воды приобрело столь значительные масштабы, что ставит под угрозу целостность существования экосистем и нормальные условия функционирования экономики и других сфер деятельности (социальной, политической).

Добыча и переработка полезных ископаемых оказывает негативное воздействие на окружающую среду. Подземная разработка месторождений приводит к нарушению поверхности, истощение запасов подземных вод, загрязнение атмосферы выбрасываемыми из шахт различными газами, вредной пылью, загрязнению водоемов шахтными водами и пр. Чтобы избежать отрицательного воздействия разработки полезных ископаемых на природную среду необходимо осуществлять целый комплекс мероприятий как предупредительных, так и активных.

Предупредительными являются меры, направленные на создание условий для сохранения природного равновесия; **активными** – целенаправленные действия по предупреждению загрязнения окружающей среды.

Мероприятия по охране подземных вод направлены на предотвращение проникновения загрязняющих веществ в горизонты подземных вод и их дальнейшего распространения включает: осуществление технических и технологических мер многократного использования воды в технологическом цикле, утилизацию отходов, разработку эффективных методов очистки и образования отходов, предотвращение проникновения сточных вод с поверхности Земли в подземные воды, уменьшение промышленных выбросов в атмосферу и

водные объекты; соблюдение требований к порядку проведения разведки месторождений подземных вод, проектированию, строительству и эксплуатации водозаборных сооружений и др.

К профилактическим мерам относятся: систематический контроль за уровнем загрязнения подземных вод и их масштабы, соблюдение зон санитарной охраны участка водозабора; оценка воздействия проектируемого объекта на подземные воды и окружающую среду и др. В целом – это создание специализированной сети скважин для контроля за состоянием подземных вод.

В районах горнодобывающей промышленности происходит интенсивное преобразование естественной среды, определяемое в основном двумя группами факторов. К первой группе относятся нарушения поверхности над отработанными площадями месторождений, ко второй – формирование в районе горных работ народных отвалов. Все остальные действующие факторы представляют собой следствие указанных двух групп факторов, влияние которых в значительной степени определяется общей системой рационального использования земных недр. В последние годы составлены качественные классификации, отражающие причины нарушений естественной среды под влиянием горных работ. Причины изменения окружающей среды могут подразделяться на геомеханические, гидрогеологические, физико-механические и термические.

В частности, к гидрогеологическим причинам относится дренирующее воздействие горных работ на массив горных пород и его деформации в связи с дренажом подземных вод, отсыпкой стволов, строительством карьеров, проведением дренажных горных выработок и пр. Как следствие, происходит изменение уровня и движения

подземных вод и других гидрогеологических факторов. Вызываемые изменения окружающей среды связаны также с характером сдвижения массивов налегающих горных пород.

При плавном сдвижении массива горных пород образуются мульды проседания земной поверхности на больших площадях с глубиной распространения до горизонтов очистных работ, что влечет подтопление этих участков, обрушения, отвалы, оползни, разрушают наземные объекты и подземные коммуникации.

В зону сдвижения вовлекаются и водоносные горизонты, дренаж которых горными выработками приводит к истощению водных ресурсов, может сопровождаться эндогенными пожарами, что влечет за собой провалы поверхности, загрязнение атмосферы вредными продуктами горения (в основном окись углерода и углекислый газ). Газами, образующимися в процессе горных работ можно считать также газы, выделяемые горящими терриконами и отвалами.

Предприятиями горнодобывающей промышленности постоянно выносятся в атмосферу большое количество мельчайших минеральных частиц пыли в свободном взвешенном состоянии или в виде аэрозолей. В результате происходит накопление в почве и водоемах металлов или минералов. К наиболее распространенным веществам, загрязняющим атмосферу можно отнести окись углерода, сероводород, окислы азота и серы, водород и пр.

О прогрессирующем истощении подземных вод можно судить по следующим данным. За 1940-1980 г.г. использование подземных вод в СССР возросло в 15 раз, количество откачиваемых вод при осушении МПИ увеличилось в 15 раз за последние 25 лет.

Громадные депрессионные воронки вызвали снижение уровня

подземных вод местами более чем на 50-100 м.

Водоотливные установки шахт Донбасса ежегодно откачивают на поверхность более 800 млн. м³ шахтных вод, которые нуждаются в механической и химической очистке.

7.1 Контроль за охраной недр

Значение охраны недр определяется тем, что извлекаемые полезные ископаемые практически не возобновимы в обозримом будущем, что существенно отличает недра от других видов природных ресурсов.

Общественные отношения в области использования и охраны недр базируются на государственной собственности на недра и определяются «Основами законодательства Союза ССР о недрах». Законодательства предусматривают регулирование горных отношений в целях обеспечения рационального, комплексного использования недр, их охраны и обеспечения безопасности работ при пользовании недрами, охрана прав предприятий, организаций, учреждений и граждан.

Согласно с.9 «Основ законодательств...» выделяют следующие виды пользования недрами:

- для геологического изучения;
- для добычи полезных ископаемых;
- для строительства и эксплуатации подземных сооружений, не связанных с добычей полезных ископаемых;
- для удовлетворения иных государственных и общественных надобностей.

Право пользования недрами для добычи полезного ископаемого

осуществляется только лишь при наличии земельного участка для размещения наземных средств необходимых при производстве горных работ.

Участок недр, предназначенный для разработки МПИ, называется горным отводом.

Порядок разработки месторождений полезных ископаемых определяется проектами горнодобывающих предприятий.

Законодательство также обязывает горные предприятия извлекать не только те полезные ископаемые, на которые рассчитано предприятие, но и все выявленные попутные, имеющие промышленное значение и предусмотренные к отработке проектом.

7.2 Охрана окружающей среды при горных работах

Строительство и эксплуатация горных предприятий сопровождается значительными нарушениями естественного гидродинамического режима подземных вод в прилегающих районах, это обусловлено устройством дренажных систем карьеров и шахт, технических водоемов, что выражается общим понижением уровня подземных вод, скоростей и направлений фильтрации.

При неблагоприятных условиях пополнения запасов дренируемых водоносных горизонтов наблюдается также истощение ресурсов подземных вод.

Отрицательное воздействие горнодобывающих предприятий на гидрогеологические условия делает необходимым проведение специальных мероприятий по охране и рациональному использованию водных ресурсов. Такие мероприятия включают выделение зон

санитарной охраны водозаборов-дренажей, уменьшение фильтрационных потерь из хранилищ промышленных стоков, искусственное восполнение запасов подземных вод, а также широкое использование вод для хозяйственных целей.

При осушении месторождений полезных ископаемых извлекается большое количество высококачественных подземных вод, нередко являющихся единственным источником хозяйственно-питьевого водоснабжения.

При поверхностном способе осушения откачиваемая из водопонижающих скважин вода обычно сохраняет свои природные качества, при условии заложения скважин вне горных выработок. При условии постоянного санитарного надзора откачиваемая вода может быть использована для водоснабжения ближайших населенных пунктов.

При подземном способе осушения с наличием дренажных горных выработок, сквозных фильтров и прочих дренажных устройств, воды сбрасываются в водоотводные канавы горных выработок. Подземные воды, приобретают свойства шахтных вод, в результате чего они пригодны для питьевого и хозяйственного водоснабжения.

Воды, отводимые после использования в бытовой и производственной деятельности человека, называются **сточными**.

Концентрация вредных веществ в сточных водах устанавливается нормативно-технической документацией, называемой **нормой состава сточных вод**.

В последнее время подземные шахтные воды все шире включаются в оборотное водоснабжение и используются в народнохозяйственных целях.

Основными техническими направлениями по охране и

рациональному использованию водных ресурсов являются: очистка от механических примесей шахтных вод и обезвреживание их перед сбросом в реки и открытые водоемы для использования в производственно-хозяйственных нуждах взамен питьевой воды.

В настоящее время годовая суммарная мощность водоочистных сооружений Минуглепрома УССР несколько больше общего притока воды, который составляет $4,5 \text{ м}^3/\text{т}$. Однако неудовлетворительное техническое состояние сооружений не позволяет очищать все шахтные воды до санитарного состояния (по состоянию на 1985 г.).

Для дальнейшего расширения объемов использования шахтных вод необходимо решать вопросы деминерализации.

Объем шахтных вод с минерализацией до 1 г/л (для питьевого водоснабжения) составляет $9,8 \%$; с $1-2 \text{ г/л}$ (для технического водоснабжения) – 27% ; с $2-3 \text{ г/л}$ – $45,8 \%$ и более высокой минерализацией – 17% от общего притока вод.

Подземная разработка месторождений полезных ископаемых приводит также к значительным нарушениям земной поверхности, хотя и в меньшей степени, чем открытая. В результате на земной поверхности образуются трещины, провалы, прогибы, изменения рельефа местности с образованием мульд проседания, происходит обводнение и заболачивание местности, создаются отвалы пустых пород.

Техническая мелиорация таких участков включает ряд мероприятий:

- 1) обеспечение сохранности земной поверхности и сведения к минимуму деформации земельных участков;
- 2) снятие плодородного слоя участков, предназначенных

- для терриконов и подверженных деформациям;
- 3) нивелирование поверхности прогибов путем заполнения их горной породой;
 - 4) проведение мероприятий по предотвращению заболевания, развития эрозионных процессов;
 - 5) отвод шахтных вод с таким расчетом, чтобы не ухудшать природного состояния земель и пр.