

**Национальная академия наук Украины
Институт геофизики им. С.И. Субботина**

В.П. Нагорный, В.М. Глоба

**Обо всем,
что под землей**
(добывается, сооружается, размещается)

**Под общей редакцией
докт. техн. наук, проф. В.П. Нагорного**

Киев – 2010

Обо всем, что под землей (добывается, сооружается, размещается) / В.П. Нагорный, В.М. Глоба: под редакцией В.П. Нагорного; НАН Украины, Институт геофизики им. С.И. Субботина. – Киев, 2010. – С. 205, ил. 155, табл. 9, библи. 28.

ISBN 978-966-02-5541-8

Изложены вопросы строения и структуры Земли. Описаны полезные ископаемые, залегающие в недрах, способы их добычи: открытый, шахтный, скважинный. Отдельный раздел посвящен нефти и газу. Рассмотрены вопросы бурения нефтегазовых скважин, добычи нефти и газа, их сбор и подготовка к транспортировке. Большое внимание уделено строительству подземных сооружений. Приведены методы и технологии сооружения подземных электростанций, метро, тоннелей, подземных газонефтехранилищ, трубопроводов и подземных сооружений специального назначения.

Изложены вопросы использования подземного пространства для размещения больниц, холодильников, складов, гаражей и других объектов инфраструктуры. Завершается книга разделом, посвященным охране недр Земли и окружающей среды.

Книга рассчитана на массового читателя, и в первую очередь, на молодую аудиторию, выбирающую профессию горно-геологического профиля.

Про все, що під землею (видобувається, споруджується, розміщується) / В.П. Нагорний, В.М. Глоба: за редакцією В.П. Нагорного; НАН України, Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна. – Київ, 2010. – С. 205, іл. 155, табл. 9, бібл. 28.

Викладені питання будови і структури Землі. Описані корисні копалини, що залягають в надрах, способи їх видобутку: відкритий, шахтовий, свердловинний. Окремий розділ присвячений нафті і газу. Розглянуті питання буріння нафтогазових свердловин, видобутку нафти і газу, їх збір та підготовка до транспортування. Велика увага приділена будівництву підземних споруд. Приведені методи і технології спорудження підземних електростанцій, метро, тунелів, підземних газонафтохосовищ, трубопроводів та підземних споруд спеціального призначення.

Викладені питання використання підземного простору для розміщення лікарень, холодильників, складів, гаражів та інших об'єктів інфраструктури. Завершується книга розділом, присвяченим охороні надр Землі і навколишнього середовища.

Книга розрахована на масового читача, і в першу чергу, на молоду аудиторію, яка вибирає професію гірничо-геологічного профілю.

Рекомендовано до друку Робочою секцією геодинаміки вибуху Вченої ради Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України (протокол № 7 від 07.12.2009 р.).

ISBN 978-966-02-5541-8

© Институт геофизики им. С.И. Субботина
НАН Украины, 2010
© В.П. Нагорный, В.М. Глоба, 2010

Содержание

	стр.
Введение	5
Часть первая	
Земля и ее недра	8
Раздел 1. Строение Земли	8
1.1. Структура и свойства недр Земли	8
1.2. Природные катастрофы	13
Раздел 2. Что таят в себе недра Земли?	20
2.1. Горные породы	20
2.2. Полезные ископаемые	22
2.2.1. Металлические (рудные) полезные ископаемые	23
2.2.2. Неметаллические (нерудные) полезные ископаемые	26
2.2.3. Естественные энергетические полезные ископаемые	31
2.2.4. Резервы энергетических источников недр Земли . .	39
Раздел 3. Добыча полезных ископаемых – горное дело	44
3.1. Развитие горного дела	44
3.2. Методы добычи твердых полезных ископаемых	49
3.2.1. Добыча полезных ископаемых открытым методом	49
3.2.2. Шахтная добыча полезных ископаемых	51
3.3. Скважинные методы добычи твердых полезных ископаемых	64
3.3.1. Подземное растворение солей	65
3.3.2. Подземная выплавка серы	67
3.3.3. Подземная газификация угля	69
3.3.4. Подземная переработка сланцев	71
3.3.5. Подземное выщелачивание полезных ископаемых	72
3.3.6. Добыча полезных ископаемых гидравлическим способом	74
Раздел 4. О нефти и газе	75
4.1. Нефтегазовая хронология	75
4.2. Как добывают нефть и газ?	82
4.2.1. Бурение скважин	82
4.2.2. Методы добычи нефти и газа	88
4.2.3. Последующий путь нефти и газа	93

Часть вторая	
Подземное строительство и использование подземного пространства	95
Раздел 5. Подземные электростанции	95
5.1. Подземные гидроэлектростанции	95
5.2. Подземные атомные электростанции	100
5.3. Подземное захоронение радиоактивных отходов АЭС	103
Раздел 6. Тоннели	108
6.1. Общие сведения о тоннелях	108
6.2. Как сооружают тоннели	113
Раздел 7. Метро	125
7.1. Метро «шагает» по планете	125
7.2. Метро – комплекс подземных сооружений	130
7.3. Способы сооружения тоннелей метро	134
Раздел 8. Подземные магистральные трубопроводы	145
8.1. Этапы развития	145
8.2. Магистральный трубопровод. Что это за сооружение?	148
8.3. Как сооружается подземный магистральный газонефтепровод?	150
Раздел 9. Подземные газонефтехранилища	155
9.1. Основные сведения и назначение	155
9.2. Подземные хранилища природных газов	156
9.3. Подземные газонефтехранилища в соляных структурах	160
9.4. Подземные хранилища шахтного типа	162
9.5. Ледопородные газонефтехранилища	166
9.6. Подземные хранилища, образованные глубинными (камуфлетными) взрывами	168
9.7. Изотермические хранилища	170
Раздел 10. Подземные сооружения специального назначения	173
10.1. Подземные научные центры	173
10.2. Подземные комплексы для военных целей	175
Раздел 11. Подземное пространство в истории и жизни человека	178
11.1. А все начиналось так...	178
11.2. Подземные больницы (спелеотерапия)	184
11.3. Подземные холодильники и склады	187
11.4. Теплицы и оранжереи в подземном пространстве	192
11.5. Подземное пространство городов	194
Раздел 12. Землю нужно беречь	197
Заключение	203
Список литературы	204

Введение

Мы живем на планете Земля. Она нас кормит, дает нам воду, энергию – все то, что нужно человеку.

Раньше казалось, что поверхность Земли безгранична. Однако, постепенно людям на планете становится теснее. Если в начале XIX века на земле проживало всего 250 млн. человек, то до 1900 года мировое население выросло до 1,6 млрд. человек, а в 2002 году составило 6,25 млрд. человек. По прогнозам в 2050 году численность населения планеты может достичь 9,5 млрд. человек, а в 2100 году даже 12 млрд.

За годы цивилизации человек предпринял большой шаг в освоении Земли. Как глубоко ему удалось опуститься под землю? Выработки сверхглубоких рудников Индии достигли 4 000 м, в Южно-Африканской Республике – 5 000 м. Разработка твердых полезных ископаемых ведется на глубинах до 1 000 м.

В недра океана удалось опуститься на 11 000 м. Уже созданы подводные гигантские корабли и первые подводные поселения. На глубине 6 000 м современный человек может существовать и изучать дно мирового океана.

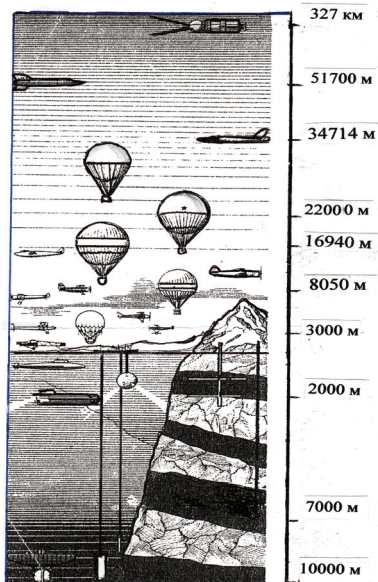
Используя природные ресурсы, человечество создало подземный мир – подземные города, метро, тоннели, подземную инфраструктуру, освоил подземное пространство. На рисунке показано, как человек, используя достижения науки и техники, овладел околоземным пространством, космосом, недрами Земли, морскими и океанскими глубинами.

Человек овладел природой и использует ее. Сегодня человечество ежегодно сжигает более четырех миллиардов тонн угля, нефти и газа, тратя для этого энергию, накопленную в недрах Земли в течение многих геологических эпох.

Люди живут на земной поверхности, добывают полезные ископаемые, создают грандиозные строения, соединяют между собой океаны, превращают тысячи квадратных километров голых пустынь в цветущие сады.

Человек в своей хозяйственной деятельности не только использует богатство Земли, но и преобразовывает ее природу.

Свою книгу мы назвали «Обо всем, что под землей» и хотим, в доступной для читателя форме, рассказать о богатствах недр Земли, как они добываются и используются, что сооружается под землей, как используется подземное пространство, что нужно сделать, чтобы сохранить Землю.



Так человек предпринял шаги в космос, под океаны, под землю

Книга состоит из 12 разделов. В первом разделе мы знакомим читателя со строением Земли, ее структурой и теми катастрофическими явлениями, которые происходят на нашей планете. Второй раздел посвящен недрам Земли: горным породам и полезным ископаемым. Среди полезных ископаемых выделены две основные группы: естественные минеральные ископаемые и естественные энергетические ископаемые.

Вопросы добычи полезных ископаемых освещены в третьем разделе. Здесь рассмотрена технология добычи твердых полезных ископаемых (угля, руд черных и цветных металлов, солей, серы, строительных материалов) открытым и шахтным способами, геотехнологическим через буровые скважины и др.

Учитывая большое значение таких энергетических полезных ископаемых, как нефть и газ, о них мы рассказываем в отдельном разделе «О нефти и газе». Здесь читатель узнает как осуществляется бурение скважин. Описаны методы добычи нефти и газа, их сбор и подготовка к последующей транспортировке.

Вопросы, о которых шла речь выше, мы объединили в первую часть книги. Во второй части идет речь о строительстве подземных сооружений и использовании подземного пространства.

Строительству подземных сооружений посвящены пятый, шестой, седьмой, восьмой, девятый и десятый разделы. В них сконцентрировано

внимание на главных сооружениях, размещаемых под землей: подземные электростанции (гидро- и атомные), тоннели (авто- и железнодорожные), метро, подземные газонефтепроводы и газонефтехранилища, объекты специального назначения.

Подземное пространство образуется при разработке полезных ископаемых шахтным методом, при строительстве подземных сооружений, а также и естественным способом (сталактитовые пещеры, катакомбы и др.). И все это может быть поставлено на службу человеку. В одиннадцатом разделе идет речь об использовании подземного пространства для размещения гаражей, больниц, холодильников, складов и других объектов и помещений инфраструктуры. Чтобы узнать, как начиналось освоение подземных пещер и лабиринтов в древние времена, сделан экскурс в историю.

Книга завершается двенадцатым разделом, посвященным охране недр Земли и окружающей среды – важным вопросам сегодняшнего дня. При написании книги авторы пользовались доступными источниками информации: Интернетом, литературными источниками, перечень которых приведен в конце книги.

Авторы выражают благодарность Я.А. Рудюк за подготовку компьютерной верстки книги.

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

ЗЕМЛЯ И ЕЕ НЕДРА

Раздел 1

СТРОЕНИЕ ЗЕМЛИ

1.1. Структура и свойства недр Земли

Земля – третья по расстоянию от Солнца планета Солнечной системы. Она движется по орбите вокруг Солнца и вращается вокруг собственной оси. Земля образовалась около 4,5 млрд. лет тому и, как космическое тело, сформировалась из газопылевых скоплений, кусков и обломков, вращавшихся вокруг молодого Солнца под действием внутренних и внешних источников энергии и гравитационного сжатия (рис. 1.1). Диаметр Земли – 12 756,3 км, длина экватора – 40 075,7 км, расстояние от Солнца – 149,6 млн. км.

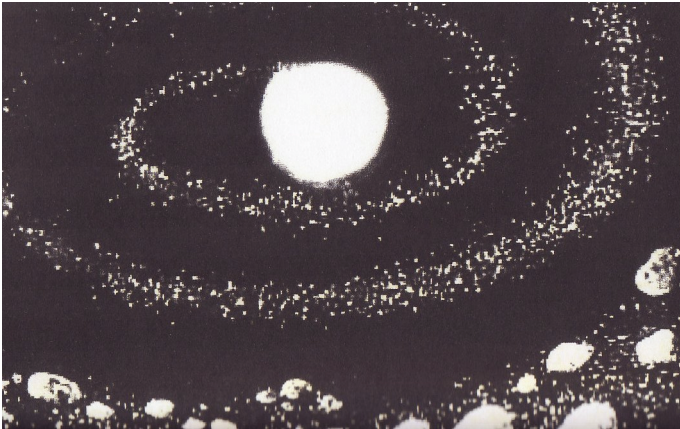


Рис. 1.1. Так образовывалась планета Земля

Уплотнение, расплавление, дифференциация и миграция, привели к образованию земных оболочек. Разные по составу, состоянию и свойствам оболочки земного шара называются геосферами. Геофизическими исследованиями в недрах Земли обнаружено несколько концентрических слоев: земная кора, верхняя и нижняя мантия, внешнее и внутреннее ядро (рис. 1.2). Каждая оболочка (слой) имеет свою толщину и свойства (табл. 1.1).

Верхняя часть мантии (субстрат) и земная кора называются литосферой. Глубже всего расположено ядро, имеющее диаметр около 3 400 км и состоящее из внутреннего твердого и внешнего жидкого ядра.

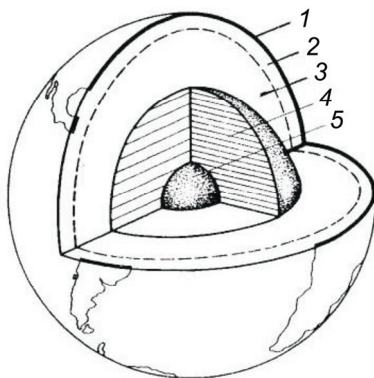


Рис. 1.2. Строение Земли:

1 – земная кора; 2 – верхняя мантия; 3 – внутренняя мантия; 4 – внешнее ядро;
5 – внутреннее ядро

Таблица 1.1. Глубины размещения и толщина оболочек Земли

№	Оболочки	Глубина (толщина), км
1	Земная кора	5 – 80
2	Верхняя мантия	40 – 1000
3	Внутренняя мантия	1000 – 2900
4	Внешнее ядро	2900 – 5000
5	Внутреннее ядро	5000 – 6300

Сегодня современные наука и техника дают нам представления о процессах, происходящих в недрах Земли. Сейсмическое профилирование больших глубин Земли с помощью отраженных сейсмических волн, дало возможность исследовать кору и мантию Земли на континентах и в океанах. Многие специалисты теперь считают, что кроме мощных литосферных плит, в недрах существуют слои, способные перемещаться на десятки и сотни километров. Появились новые данные о вертикальной и горизонтальной неоднородности верхней мантии.

Нелинейной геофизикой, как одним из направлений среди наук о Земле, установлено, что энергия сейсмической волны переходит в энергию электромагнитного поля; энергия геофизических полей трансформируется в энергию геохимических реакций. Геологическая среда и ее физические свойства превращаются под действием интенсивных физических полей.

Так, интенсивное акустическое поле, распространяющееся в горных породах, может вызывать превращение структуры порового пространства и привести к изменению фазового состояния жидкостей и газов, находящихся в порах пород. Особенно это проявляется при добыче нефти. Акустическое воздействие на призабойную зону сопровождается нагреванием пласта, при этом возникают изменения вязкости нефти, увеличивается проницаемость горных пород. Вследствие интенсивного акустического воздействия на пласт может быть увеличена производительность нефтяной скважины.

Сегодня Землю рассматривают как динамическое тело, в середине которого, за счет внутреннего тепла происходят конвективные процессы. На поверхности планеты конвекция проявляется в образовании новой литосферы в местах океанских хребтов. Новая литосфера распространяется в горизонтальном направлении, охлаждается, а затем опять погружается в мантию. С помощью этой концепции можно объяснить многие геологические явления: вулканизм, магнетизм, землетрясения. Она объясняет молодой возраст пород дна океанов, который не превышает 200 млн. лет. В то же время, век пород материков в некоторых местах достигает 3,8 млрд. лет. Таким образом, всего лишь 5% геологической истории представлены в океанах, хотя они занимают 70% поверхности планеты. Однако свидетели основной части истории Земли (95%) сконцентрированы на континентах. Как раз в континентальной коре размещены основные энергетические и минеральные ресурсы.

Земная кора – самая тонкая и сложная по своему составу и строению из всех внутренних оболочек Земли. Хотя на ее долю приходится менее 1% общей массы планеты, она включает все необходимое для жизни.

Ее толщина изменяется в пределах континентов и океанов. Так, толщина земной коры в пределах континентов составляет около 35 км (максимальная – под высокими горными цепями и массивами – 70 км), в пределах океанов – колеблется от 5 до 10 км. Земная кора под океанами отличается от материковой не только толщиной, но и отсутствием под океанами так называемого гранитного слоя.

Земная кора нашей планеты – самая неоднородная. Наиболее резкий признак неоднородности континентальной земной коры проявляется в переходах разных слоев и пород осадков в формации из магматических пород, а последних – в мощные массивы метаморфических пород. Магматические и метаморфические породы составляют фундамент континентальной земной коры. В верхних ее ярусах преобладают изверженные породы, в нижних – более плотные основные породы. Это послужило поводом для геофизиков, чтобы дать схему разреза континентальной земной коры. Традиционно верхнюю часть

консолидированной коры называют «гранитным» слоем, нижнюю – «базальтовым».

В земной коре происходят сложные химические процессы, которым способствует явление диффузии. В мельчайших капиллярах и трещинах, пронизывающих горные породы, происходят, хотя и медленно, громадные по своим размерам и последствиям процессы переноса веществ. При больших давлениях идет перекристаллизация вещества. При температурах, хотя и далеких от их плавления, происходят сложные химические процессы. Эти процессы, происходящие по законам физической химии, привели к выделению из огненно-жидкого клубка атомов земной коры. Силикатный расплав начал охлаждаться. Из него, в определенной последовательности, начали выделяться в твердом состоянии одно вещество за другим. Одни вещества были более тяжелыми и опускались в глубину; легкие составные части, газы и летучие вещества, напротив, всплывали кверху. Так, из среднего расплава базальта вниз опускались тяжелые составные части, богатые железом и магнием. Из них в глубинах образовались тяжелые породы, с которыми связаны месторождения алмазов, платины, хромовых руд, никеля.

Ближе к поверхности в закономерной последовательности образовались породы диоритового, гранитодиоритового и гранитного состава. Охлажденные массивы гранитов образовали основу наших материков. Те же законы физической химии руководили и этим новым распределением самых разнообразных химических элементов в земной коре.

Атомы и их частицы в земной коре соединяются в гармоничное строение – кристалл. Один кубический сантиметр кристалла строится из триллионов атомов. Образуются решетки и сетки, в узлах которых размещены разные атомы. Из кристаллов построена в основном вся зона земной коры.

Современная техника и технология, научные поиски и разработки ученых позволяют исследовать недра Земли, обнаруживать их свойства. На помощь ученым пришли такие методы как сейсмический, гравитационный, магнитный, электромагнитный, термический, ядерный и другие. Наиболее надежный из них – сейсмический. Он основан на наблюдении сейсмических волн, возникающих в твердом теле Земли при землетрясениях или при взрывах. Сейсмические волны проходят через недра Земли и дают возможность составить картину о ее внутреннем строении и об изменениях физических свойств веществ земных недр с глубиной (рис. 1.3).

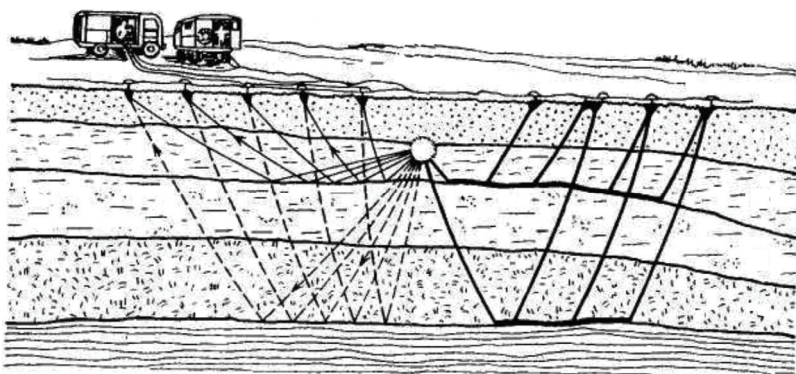


Рис. 1.3. Отражение и преломление сейсмических волн при сейсмических исследованиях недр Земли

Изучая распределение сейсмических волн в глубине Земли, ученые исследовали и определяли физические свойства веществ, составляющих земные недра. Изменчивость строения верхней сферы земного шара на глубине 400 км указывает на наличие в ней тектонических процессов. По данным австралийского сейсмолога Буллена в слое существует область пониженных скоростей – астеносфера, в которой находятся очаги вулканов. Они образуются там, где снижаются давление и температура плавления вещества астеносферы. Снижение температуры плавления приводит к расплавлению вещества и образованию магмы, которая потом по трещинам и каналам в земной коре может вылиться на поверхность земли.

Атмосфера образована газами, которые выделились из твердого тела Земли. Атмосфера частично рассеивается в мировом пространстве, в котором Земля движется со скоростью 30 км/с. Все оболочки Земли, внутренние и внешние, не изолированы одна от другой и находятся в постоянном взаимодействии.

В глубинах Земли происходят разнообразные геохимические процессы: магма превращается в базальт, а затем в гранит. В этих процессах большую роль играет вода. Вода – конструктор и строитель земной коры, ее организующее начало.

Основным из физических свойств Земли является магнетизм. Это свойство наша планета приобрела благодаря размещению в ее недрах жидкого внешнего ядра. В нем циркулирует система течений и происходят процессы, приводящие к созданию кольцевого биполярного магнитного поля Земли.

Следующей особенностью физических свойств Земли является наличие тепловой и гравитационной энергий. Тепловая энергия, образуемая в недрах Земли, стимулирует тектонические процессы и вулканизм в верхней мантии и коре. Тепло поддерживает в расплавленном состоянии внешнее ядро, создает в нем конвективное течение, влияющее на образование и функционирование дипольного геомагнитного поля. Из недр нашей планеты в каждой точке ее поверхности направлен поток тепла.

К эндогенной энергии относится гравитационная энергия (энергия силы притяжения Земли). Она поступает из внутренней области во внешнюю с помощью тектонических движений и вулканизма. Возбуждение эндогенной энергией тектонических процессов в период длительного геологического времени создало современную структуру земной коры и верхней мантии.

Неоднородность строения и неравномерность движения (в пространстве и времени) разных частей земной коры и более глубоких оболочек создают условия для перераспределения и периодической концентрации напряжений в определенных объемах горных пород. Наиболее благоприятными для разных изменений являются области неоднородности и участков, движущихся с разной скоростью. Чаще такие границы у земной коры отмечаются как зоны разломов или разрывов. Поэтому землетрясения, как правило, приурочены к зонам разломов и проявляются в виде сдвигов. Разломы и разрывы представляют собой элемент тектоники земной коры и движений.

Земная кора, как твердая оболочка планеты, постоянно изменяется под воздействием внутренних и внешних факторов. Как правило, эти изменения происходят очень медленно по сравнению с жизнью человека и даже многих поколений. Лишь отдельные физико-геологические явления протекают быстро и угрожающе. К ним относятся сильные землетрясения, извержения вулканов, сдвиги, большие горные обвалы, цунами.

Эти и другие физико-геологические явления геологи с древних времен распределяют на две группы: экзогенные, возникающие под действием внешних источников энергии, и эндогенные – под действием внутренних.

Экзогенные явления возникают благодаря силе притяжения и неравномерному нагреванию лучами Солнца земной поверхности воды и воздушных масс.

1.2. Природные катастрофы

Природные катастрофы связаны с существованием нашей планеты Земля и окружающего пространства. Они возникают вследствие высоких температур и тектонических процессов, происходящих в недрах Земли и в

атмосфере. Это в первую очередь: землетрясения, извержения вулканов, стихия ветра, цунами, грозовые разряды и другое.

Еще в IV – III тысячелетиях до нашей эры первые древние города – государства испытали большие катастрофы. Извержение вулкана и пожар стали причиной гибели библейских городов Содома и Гоморры (рис. 1.4).



Рис. 1.4. Исчезновение городов Содома и Гоморры во время катастрофы (картина Кастриана де Кеутича, 17 век)

В Библии вспоминается и о Всемирном потопе, как одной из грандиозных катастроф. Об этой катастрофе писали и шумеры в древнем Египте (рис. 1.5).



Рис. 1.5. Всемирный потоп (из Нюргбернской Библии, 1848 г.)

Землетрясения – наиболее грозные природные катастрофы, которые влекут много человеческих жертв, разрушений и изменяют поверхность Земли. Известно, что землетрясениями охвачена 1/10 часть поверхности континентов. Приблизительно 99% землетрясений относятся к явлениям тектоническим, в процессе которых перемещаются громадные блоки земной коры. Люди не раз были свидетелями значительных геологических катастроф. Так, 12 июня 1897 года вследствие одного подземного толчка в долине реки Миссисипи высота гор Асама увеличилась почти на 6 метров. А землетрясение в 1899 г., произошедшее на границе между Аляской и Канадой, подняло земную толщу на 15 м. Бывали случаи, когда в результате землетрясения море отступало, но спустя некоторое время водяные массы возвращались на прежние места. Например, во время землетрясения в Португалии в 1755 году в устье реки Тежу состоялся резкий спад воды. Через несколько часов после этого сюда поступила водяная стена высотой 6 м, сметая и разрушая все на своем пути.

Величина вреда, который наносят землетрясения, зависит от их бальности. По количеству баллов землетрясения распределяются: 6 баллов – относятся к сильным, 7 – очень сильным, 8 – разрушительным, 9 – опустошающим. Наиболее сильное землетрясение характеризуется 12 баллами и считается катастрофическим. В 1923 году во время такого подземного толчка в Японии было разрушено более чем 570 тыс. домов, в одном лишь Токио погибло свыше 170 тыс. человек.

Землетрясения испытали такие страны как США, Перу, Чили, Китай, Португалия, города бывшего СССР (Спитак, Ташкент, Ашхабад) и другие. Уже в XXI веке глубинные недра Земли напоминают о себе (2005 год – Пакистан, 2006 год – Малая Азия) (рис. 1.6).



Рис. 1.6. Результаты землетрясения

Наблюдают о приближении землетрясения и оповещают о нем сейсмологи. Они следят за возрастанием скорости движения земной коры, подъемом земной поверхности, скоростями сейсмических волн, изменением напряженности магнитного поля и электропроводности пород, изменением параметров, извещающих о возможности землетрясения.

В СССР велись работы по определению сейсмически опасных зон. Были разработаны методы сейсмического районирования и на их основе были созданы карты сейсмического районирования территории СССР. В 1948 году впервые были начаты работы по прогнозированию землетрясений. Эти работы продолжаются и в XXI веке во многих странах мира, потому что одна из загадок природы – землетрясения, постоянно напоминают о себе в разных районах планеты, унося десятки тысяч жизней людей.

Землетрясения происходят не только на континентах, но и под водными пространствами морей и океанов. В результате сдвига дна океанов образуются длинные волны, называемые цунами (рис. 1.7).

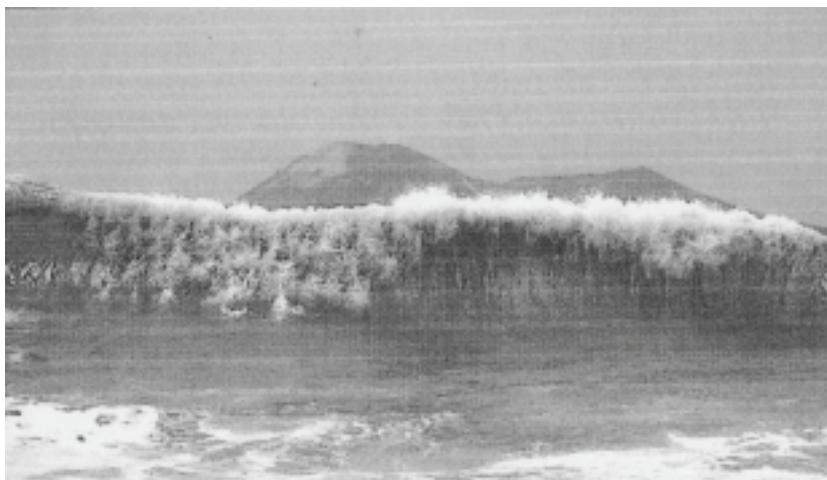


Рис. 1.7. Так зарождаются цунами

Высота цунами иногда достигает 30–40 м, скорость – нескольких сотен километров в час. Когда волны цунами достигают берегов, они сметаюют все на своем пути, создавая катастрофическую обстановку – разрушения и человеческие жертвы. Цунами, которое произошло в Индийском океане в 2004 году, привело к гибели более 300 тыс. человек и огромным разрушениям в Индии, Таиланде, Шри-Ланке (рис. 1.8).



Рис. 1.8. Цунами обрушился на город (Таиланд)

Особенно сильно волны цунами обрушаются на Тихоокеанское и Атлантическое побережья. Здесь выделяются побережья Камчатки, Курильских островов, Индонезии, Мексиканского залива в Америке.

Район Тихоокеанского побережья – зона перехода от материка к океану – характеризуется активными тектоническими сдвигами блоков Земли, поэтому здесь ежегодно происходит около 5,0 тыс. землетрясений разной силы и достоверность образования волн цунами достаточно высока.

Одними из самых разрушительных цунами в XX и начале XXI вв. были: Камчатка (Россия) – 1952 год, Аляска (США) – 1957, 1958, 1964 годы, Новая Гвинея – 1998 год, Япония – 2004 и 2005 годы, Малая Азия – 2004 год.

Не менее катастрофическим явлением, грозным проявлением внутренних сил Земли, являются вулканы (рис. 1.9). Давно замечено, что в распределении вулканов на земной поверхности есть определенная закономерность: они группируются в форме поясов вдоль глубинных разломов земной коры, главным образом, по побережью океанов и островным дугам.

Таковыми являются Тихоокеанский, Средиземноморский, Индонезийский и Атлантический вулканические пояса. Около 200 млн. жителей проживает вблизи опасных зон действующих вулканов. Катастрофой угрожают такие вулканические процессы, как лавовые потоки, вулканические грязевые потоки, извержения с выпадением пепла, вулканические наводнения, пылающие тучи, выходы газов.



Рис. 1.9. Извержение вулкана

В историческое время состоялось несколько извержений, представляющих собой сверхкатастрофу. Эти извержения разрушали острова, покрывали пылью тысячи квадратных километров земной поверхности, охватывали большие территории, хоронили под собой города и населенные пункты. Такой катастрофой было извержение вулканов Везувий и Кракатау, взрыв вулкана Танбура. В результате извержения вулкана Везувий полностью был засыпан пеплом и золой город Помпея. Известный художник К.П. Брюллов отобразил эту катастрофу в своей картине «Последний день Помпеи». Позже этот исторический город откапывался и только руины напоминали о крупномасштабной катастрофе (рис. 1.10).

Вулканы, как результат тектонических процессов и тепловой энергии, стремятся к узким зонам и пересекают земной шар, как бы огневой пояс. Между вулканизмом и землетрясениями существует определенная зависимость. Оба этих явления связаны с процессами перемещения литосферных плит.



Рис. 1.10. Одна из улиц Помпеи, которая откопана

Ученые пришли к выводу, что за время существования нашей планеты из недр Земли произошло извержение такой массы вещества, которая близка к общей массе земной коры. Процессы, происходящие во время извержения вулканов в разных точках земли, обуславливают разные их типы и структуры, в зависимости от геологической структуры пород.

Катастрофы на земле происходят не только от подземных процессов, но и от процессов, происходящих в атмосфере. Мы знаем, какой вред приносят ветровые стихии – тайфуны (рис. 1.11).



Рис. 1.11. Так выглядит ветровая стихия – тайфун

В среднем в год бывает около 30 тайфунов. Одни из самых мощных тайфунов XX – начала XXI вв.: Пакистан – 1970 год, Филиппины – 1984 год, Япония – 2005 год.

Раздел 2

ЧТО ТАЯТ В СЕБЕ НЕДРА ЗЕМЛИ?

В этом разделе речь пойдет о горных породах и полезных ископаемых, находящихся в недрах Земли, и их использовании.

2.1. Горные породы

Мы уже знаем, что земная кора сформировалась в результате взаимодействия поверхностных твердых горизонтов планеты с атмосферой, гидросферой и биосферой. Она характеризуется достаточно резким изменением толщины и разнообразным строением. В среднем подошва коры залегает под континентами на глубине 40 км, а под океанами на глубине 11-12 км. Земная кора имеет три главные зоны: осадочную, гранитную и базальтовую. Осадочный покров составляет самую верхнюю часть земной коры и имеет толщину в среднем 1,5 км. Он образовался за счет разрушения и переработки первичных кристаллических пород литосферы. Эта зона покрывает 75% поверхности материков.

Исключительно важную роль в образовании осадочной зоны играют кора выветривания и почва. Кора выветривания получила такое название потому, что в ней происходит процесс выветривания, то есть разрушение. Нижний предел этой зоны образует так называемая кислородная поверхность (глубина 500-800 м), в которую из земной поверхности проникает кислород.

Углубляясь в недра земной коры, осадочные породы изменяются под действием температуры, давления и химических процессов и приобретают черты метаморфизма. Здесь начинается гранитная зона, составленная гранитами, гранитогнейсами и другими породами. Толщина гранитного слоя колеблется от 10 до 40 км.

Продвигаясь дальше в глубину недр земной коры, породы гранитной зоны заменяются более тяжелыми базальтовыми породами. Мощность слоя базальтовых пород достигает 30 км. Ученые допускают, что базальтовая зона является источником «материнской» магмы, вытекающей из глубин к поверхности Земли. Под базальтовой зоной размещена так называемая мантия Земли, которая протянулась на глубину 2 900 км. Здесь уже рядом и ядро Земли.

Земная кора состоит из многих геологических тел разнообразных по составу, форме и размерам: минералов и горных пород. Мельчайшими из этих тел являются отдельные зерна и кристаллы, представляющие собой

естественные химические соединения или самородные элементы. Они называются минералами.

В самородном виде (графит, сера, золото, медь, и др.) минералы встречаются редко. Большинство минералов (свыше 2000) – это химические соединения. Например, разные соли, образованные путем выпадения из концентрированных растворов водоемов. Широко распространены также минеральные скопления, образованные в результате застывания расплавленного вещества Земли. Считается, что нижние слои земной коры представлены такими минеральными скоплениями.

Минералы могут быть кристаллическими или аморфными. В кристаллическом веществе частицы расположены в строго определенном порядке. Форма кристаллов зависит от строения вещества, от ее кристаллической решетки. Для аморфного вещества характерно хаотическое размещение частиц.

Геологические тела, состоящие из минеральных зерен или их обломков, которые входят в состав земной коры, называются горными породами. Горные породы могут состоять из одного минерала – мономинеральные, или нескольких – полиминеральные. В зависимости от условий образования горные породы разделяются на осадочные, метаморфические и магматические.

Осадочные породы образовались в поверхностной части земной коры в результате разрушения и переотложения ранее образованных пород, выпадения разных веществ из растворов и продуктов жизнедеятельности. В осадочных породах могут быть одновременно три составных части: обломки минералов и горных пород как продукты разрушения (например, магматических пород); остатки организмов и органических веществ; минералы, образованные химическим способом на разных стадиях формирования породы.

Представителями осадочных пород являются глины, глинистые сланцы, песчаники, алевролиты, гипсы, известняки, ангидриты и др. В осадочных породах сконцентрированы все залежи угля, нефти, газа, битума, торфа.

С осадочными породами связаны многие месторождения железных руд, алюминия, марганца, урана, фосфора, ванадия, кобальта, меди, лития, а также каменной и калийной солей.

Метаморфические горные породы образовались в недрах земной коры вследствие действия высоких температур, давления и химических превращений. Эта зона представлена гранито-гипсами, кварцитами, мрамором.

Магматические горные породы образовались в результате застывания расплавленного вещества – магмы в породах земной коры, на ее

поверхности и на дне водоемов. Характерными представителями магматических пород являются базальт, гранит, габбро, диорит и др.

2.2. Полезные ископаемые

Полезные ископаемые Земли – это материальная база, позволившая человечеству пройти длинный путь современного развития, начиная с изготовления каменных топоров в каменном веке и заканчивая атомной энергетикой и выходом человека в космическое пространство в конце XX века. На протяжении развития всей цивилизации человечество постепенно вовлекало в сферу своей деятельности все новые и новые естественные процессы.

Среди полезных ископаемых Земли можно выделить три основные группы:

- естественные минеральные ископаемые;
- естественные энергетические ископаемые;
- природные биологические ресурсы.

Между этими группами существуют свои взаимосвязи и взаимопереходы. Ниже мы остановимся на естественных минеральных и энергетических полезных ископаемых.

Минеральные полезные ископаемые – это группа твердых полезных ископаемых, которые по видам содержания в них полезных компонентов и характеру их переработки разделяются на металлические (рудные) и неметаллические (нерудные). Само название говорит, что первая группа включает полезные компоненты разных металлов, таких как железо, марганец, хром, титан, медь, свинец, цинк и многих других. Ко второй группе принадлежат минеральные руды, которые используются в качестве сырья для строительной, химической и других отраслей промышленности.

Что мы понимаем под рудой?

Рудой называется скопление минералов в горных породах, в которых концентрация полезных компонентов является настолько высокой, что выгодно их извлечение. Некоторые металлы, такие как золото, платина, сера, углерод и др. встречаются в природе в элементарной форме, образуя отдельные скопления, или входят в состав других минералов. В большинстве случаев рудные минералы находятся в руде с другими «пустыми» минералами. Много руд содержат в своем составе два и больше полезных компонентов. Так, гранитные пегматиты Украины одновременно вмещают промышленные скопления топаза и берилла; медные руды месторождения Монтана (США) содержат значительное количество серебра, золота, цинка и свинца; арсенипиритовые руды Бая-Маре (Румыния) – золото.

Залежи горных пород, которые обогащены одним, или несколькими минералами, и могут быть использованы для добычи, переработки и последующего извлечения полезных компонентов, называются месторождениями полезных ископаемых. В зависимости от происхождения все минеральные месторождения разделяются на группы, типы и классы с характерными для каждой из классификационных единиц способами их образования, химическим и минеральным составом.

2.2.1. Металлические (рудные) полезные ископаемые

Месторождения металлических полезных ископаемых по всему миру представлены: рудами черных металлов (железо, марганец, титан, хром, никель, вольфрам); рудами цветных металлов (алюминий, медь, свинец, цинк, олово); рудами благородных металлов (золото, серебро, платина); рудами редких и редкоземельных металлов (литий, бериллий, тантал, цирконий и др.) и рудами рассеянных металлов (гафний, галлий и др.).

Руды черных и цветных металлов. Украина является одной из развитых стран мира по добыче железной руды. Добыча руды осуществляется на глубинах 1 000 – 1 300 м. Общие производственные мощности предприятий Украины по подземной добыче руды составляют более 41 млн. тонн сырой и 32 млн. тонн товарной руды. При этом 61% руды добывается шахтным способом, 21% – открытым. Обобщенные характеристики полезных ископаемых руд черных и цветных металлов приведены в табл. 2.1 и 2.2.

Таблица 2.1. Руды черных металлов

Название металла	Рудообразующие минералы	Мировые запасы	Наиболее крупные месторождения	Содержание металла в богатых рудах, %
Железо (Fe)	Магнетит, гематит, гетит, сидерит	13-15 трлн. тонн	Криворожский бассейн (Украина), Курская магнитная аномалия (Россия), бассейн района Верхних озер (США)	До 65%
Марганец (Mn)	Пирролюзит, манганит, псиломелан, родохрозит	Около 2,5 млрд. тонн	Никопольское (Украина), Чиатури (Грузия), Успенское (Россия), Гана, Индия, Бразилия	До 40%
Титан (Ti)	Рутил, сфен, ильменит	Около 5,5-6,0 млрд. тонн	Андирондак (США), Кусинское (Россия), Иршавское (Украина) и др.	До 30%
Хром (Cr)	Хромит	Около 2,5 млрд. тонн	Южный Урал (Россия), Родезия	До 40%
Никель (Ni)	Пирротин, пентландит, халькопирит, контронит	До 0,5 млрд. тонн	Куба, Бирма, Индонезия, Россия. Незначительные запасы имеет Украина (Побужье)	До 0,3-1,0%
Вольфрам (W)	Вольфрамит, шеелит	Около 2,5-3,5 млн. тонн	Юго-восточный Китай (запасы до 2,0 млн. тонн), Южная Корея, Бирма, Малайзия	0,5-0,6 %

Таблица 2.2. Руды цветных металлов

Название металла	Рудообразующие минералы	Мировые запасы	Наиболее крупные месторождения
Алюминий (Al)	Гидраргиллит, бемит, диаспор, нефелин	Сотни млн. тонн	Кольский полуостров, Саяны, Северный Урал, Бурятия (Россия), Африка, Бразилия, Казахстан
Медь (Cu)	Халькопирит, халькозин, ковеллин, борнит, малахит, лазурит	Около 500 млн. тонн	Гайское, Норильское, Толнахское (Россия), Коунрадское (Казахстан), Африка, Чили, Канада
Свинец (Pb)	Галенит, англезит, церезит	Около 150 млн. тонн	Россия, США, Канада, Мексика. Небольшие месторождения есть в Украине (Закарпатье, Донбасс)
Цинк (Zn)	Сфалерит, каламин, смитсонит	Около 200-250 млн. тонн	Суливан (Канада), Брокен Хил (Австралия), Ледвиль (США), Забайкалье, Рудный Алтай (Россия)
Олово (Sn)	Касситерит, станин	7-8 млн. тонн	Малайзия, Индонезия, Таиланд, Англия, Боливия, Конго, Китай, Россия

Такие металлы, как хром, используют для производства разных хромовмещающих сталей, в качестве летучих примесей к сплавам и др. Никель используют в производстве специальных сортов сталей и сплавов, для никелирования разнообразных изделий из меди, железа и др.

Цветные металлы находят широкое применение в разных областях науки, техники, промышленности, в быту. В электротехнике используют алюминий, медь, свинец; в атомной энергетике – свинец; в ремонте и строительстве – алюминий, свинец. В нашем повседневном быту мы часто используем алюминий и цинк.

Руды благородных металлов – это месторождения золота, серебра и платины.

Золото (Au). Главным рудообразующим минералом является самородное золото. Золото часто содержится и в ряде минералов типа сульфидов. Оно в большинстве образуется гидротермальным путем. В результате процессов выветривания золото переходит в раствор в виде отдельных чешуек, зерен, а часто и достаточно больших самородков весом в десятки килограммов. Используют золото как валютный материал, а также в электронной, ювелирной и в других отраслях промышленности.

Серебро (Ag). Главными рудообразующими минералами является самородное серебро, аргентин, стефанит, пирроаргиллит, прустит. Основные запасы серебра и серебряобразующих (полиметаллических) руд сосредоточены в США (Ледвил), Канаде (Суливан) и Австралии (Брокенхил), а также частично в России (Алтай) и Таджикистане (Алтын-Топкан). Серебро с древних времен используется для изготовления монет, посуды, украшений, в последние годы – в электронике и радиопромышленности.

Платина (Pt). Главными платиноносными минералами являются самородная платина, сперилит, стибнопаладинит, а также твердые растворы – поликсен и др. Из месторождений наиболее распространены магматические. Наиболее значительные месторождения находятся в России (Уральская и Норильская группы), Канаде, Колумбии, Южной Африке. Используется платина в ювелирной промышленности и как чрезвычайно тугоплавкий и инертный материал – в химической.

Описание металлических (рудных) полезных ископаемых мы завершим характеристикой руд редких и редкоземельных металлов.

Редкие металлы – это литий (Li), бериллий (Be), цирконий (Zr) и др. Главными минералами лития являются сподумен, петалит, легодолит. Наиболее крупные месторождения лития приурочены к гранитным пегматитам. Это месторождения Канады, США, России, Западной Африки и Австралии. Литий используется в цветной металлургии, при изготовлении аккумуляторов, в керамической промышленности. Особенное значение литий приобрел в последние годы, став одним из главных компонентов термоядерных реакций.

Для бериллия главными бериллийсодержащими минералами являются берилл, хризоберилл, гельвин и дакелит. Месторождения бериллия представлены такими типами: гранитными пегматитами, скарновыми и гидротермально-метасоматическими типами. Главные месторождения бериллия сосредоточены в России (Урал, Забайкалье), Норвегии, США, Юго-Западной Африке и др. В Украине месторождения бериллия связаны с гранитными пегматитами Украинского кристаллического щита. Применяется бериллий в атомной промышленности для изготовления бериллиевых сплавов.

Для циркония главным минералом является циркон и бадделет. Основные промышленные месторождения циркония приурочены к гранитным и щелочным пегматитам. Добыча циркониевого концентрата ежегодно увеличивается благодаря его применению в атомной, ракетно-строительной и космической промышленности.

Отдельную группу рудных металлов составляют **редкоземельные металлы**. Главные месторождения этих металлов приурочены к магматическим щелочным образованиям гранитных и щелочных пегматитов. Наиболее крупные месторождения редкоземельных металлов сосредоточены в Украине (Приазовье), России (Кольский полуостров, Урал), Индии, США, Бразилии, Норвегии и Африке. Используются эти металлы во многих отраслях промышленности, в медицине, как изотопы, в черной металлургии, в электротехнике, в химической промышленности.

К группе рассеянных металлов принадлежат: цезий (Cs), рубидий (Rb), скандий (Sc), галлий (Ga), рений (Re), гафний (Hf), кадмий (Cd) и др. В

земной коре они находятся в рассеянном состоянии в других минералах. Самостоятельных промышленных месторождений не образуют, а добываются при переработке руд других полезных ископаемых. Эти металлы играют чрезвычайно важную роль в современных отраслях техники. Входя в состав многих сплавов, используются в радарных установках, в теле- и радиоаппаратуре, в производстве красок, в медицине для изготовления лечебных препаратов и тому подобное.

2.2.2. Неметаллические (нерудные) полезные ископаемые

К неметаллическим полезным ископаемым принадлежат: строительные материалы (естественные каменные); цементное сырье (известняки, мергель, глина); сырье для химической промышленности (фосфорит, апатит, соли, самородная сера, флюорит); сырье для других отраслей промышленности (слюда, асбест, тальк, магнезит, доломит, графит, гипс); драгоценные камни.

Естественные каменные строительные материалы. Этот вид полезных ископаемых является наиболее распространенным на Земле. Практически каждая страна обеспечивает свою потребность в этом сырье своими ресурсами. К ним принадлежат разнообразные магматические породы (гранит, диорит, габбро, мрамор, лабрадорит, базальт, песчаник и др.), пригодные для строительства дорог, закладки фундаментов разных сооружений, облицовки станций метро, вокзалов, строительства дамб и др. Этот вид полезных ископаемых используется без глубокой технологической переработки.

Цементное сырье принадлежит к строительным связывающим веществам, представляющим собой порошковидные материалы. При замешивании с водой они образуют пластичное тесто, которое постепенно отвердевая, переходит в монолитное крепкое каменное тело. Основу цемента составляют известняки, глины и мергели, переходящие при температуре 1 400–1 500 °С в цемент. Существует много видов цемента, которые определяются его так называемой маркой, являющейся степенью сопротивления бетона при механических нагрузках. Чем выше марка бетона, тем степень его сопротивления нагрузке более высока.

Известняки – порода, составленная в основном из кальцита. Выделяют морские и континентально озерные известняки. Их месторождения многочисленны.

Мергель также осадочная порода, состоящая на 75–80% из кальцита с примесями доломита, глинистого вещества и мелкозернистого кварцевого песка. Некоторые месторождения мергеля имеют мощность пластов до 100 м.

Глины представляют собой горную породу сложного минерального состава с преобладающим количеством алюмосиликатов, размер зерен которых не превышает 0,01 мм. Глина используется для изготовления кирпича, черепицы, гончарных труб и др., а также в химической, бумажной и других отраслях промышленности.

Каолины – разновидность глин – горная порода, состоящая в основном из минерала каолинита, образованная из кварца, полевого шпата, слюды и других примесей. Особенностью каолина является высокая белизна.

Образуется каолин при выветривании различных магматических пород, реже глинистых осадков. Месторождения каолинов встречаются довольно часто. Каолин добывается в США, Германии, Чехии, Украине, России. Важнейшим потребителем каолинов является бумажная промышленность, использующая около 40-50% всей добываемой продукции. Каолин используется также в медицине (под названием белая глина), резиновой промышленности, парфюмерии.

В большом количестве каолины используются для получения фаянса и фарфора. Для получения фарфоровой массы, где каолин составляет основную часть, используется до 10% добываемого каолина. Глина, каолин, гончарный круг, топливо для обжига и талантливые руки гончаров делают уникальные изделия из фаянса и фарфора. Мы являемся свидетелями изумительных работ мастеров Гжели (Россия), Дельфта (Голландия), Майсена (Германия), мастеров Китая и других стран. Китай – родина фарфора. История фарфора насчитывает более 3 тыс. лет.

Многие полезные ископаемые являются сырьем для химической промышленности. В первую очередь, это фосфатное сырье (фосфорит и апатит), разнообразные соли, бораты, сера, пирит, барит, флюорит и другие.

Наиболее распространенным минералом является апатит и смесь апатита с глинами и примесями – фосфорит. Промышленные месторождения сосредоточены в России, Казахстане, Алжире, США, Тунисе, Марокко и др. Используют фосфатное сырье для изготовления фосфатных удобрений, фосфатных солей, кислот и др. Мировые запасы фосфатного сырья составляют миллиарды тонн.

Соли. Разновидностями солей являются каменная и калийные соли. Почти каждый день мы сталкиваемся с каменной солью (рис. 2.1). Поваренная соль добывается более чем в 100 странах, ее получают из месторождений каменной соли и путем выпаривания воды соляных озер, озер морской воды и рассолов.



Рис. 2.1. Кристалл каменной соли

Мировые ресурсы поваренной соли практически неисчерпаемы. Первое место по добыче поваренной соли занимают США (21% от мировой), далее следуют: Китай (14%), Канада и Германия (по 6%). Значительная добыча ведется во Франции, России (Прикаспий, Предуралье, Восточная Сибирь), Украине (Закарпатье, Донбасс), Белоруссии, Мексике, Бразилии, Индии, Великобритании.

Калийные соли используются для изготовления минеральных удобрений (сильвинит) и для получения металлического магния (карналлит). Наиболее крупные месторождения калийных солей находятся в США (Нью-Мехико), Франции (Эльзас), Германии, России (Соликамск), Украине (Прикарпатье), Белоруссии (Солегорск), Канаде и других странах. Мировые запасы солей чрезвычайно большие и составляют сотни миллиардов тонн.

Представителем этой группы полезных ископаемых является и самородная сера. Она широко используется в промышленности и хозяйстве: для производства серной кислоты, в целлюлозно-бумажной промышленности, при изготовлении искусственных волокон, резины, в медицине для изготовления многих медицинских препаратов. Самыми крупными месторождениями серы являются месторождения в Прикарпатье (Украина), Поволжье (Россия), Средней Азии, Японии, Чили.

Становление серной промышленности Украины относится к 50-м годам XX века, когда был открыт сероносный бассейн в Прикарпатье. В 1970 году на Яворовском месторождении, наряду с открытым способом, стали применять подземную выплавку серы.

Кроме тех полезных ископаемых, которые были описаны выше, недра Земли богаты и другими. Основные данные о них приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3. Сырье для многих отраслей промышленности

Название	Главные минералы	Основные свойства	Наиболее крупные месторождения и мировые запасы	Применение
Слюды	Мусковит	Способность изолировать высокое напряжение, жаростойкость (до 450 °С и больше), гибкость, кислотоустойчивость, эластичность	Во многих странах мира. Запасы несколько сотен тысяч тонн	Электро- и радиопромышленность, приборостроение, изготовление бытовых приборов
Асбест	Разновидность некоторых минералов, которые имеют тонко-волокнистое строение	Прочность на разрыв и гибкость	Россия, Канада, Южная Родезия, ПАР. Запасы несколько десятков млн. тонн	Для изготовления асбестотекстильного волокна
Тальк		Мягкость, жирность, вязкость, химическая инертность	Россия, США, Канада, Южная Родезия	Парфюмерия, медицина, электротехническая, химическая промышленность и другие
Магнезит	Магнезит с примесями кальцита и доломита	Огнеупорность, абразивность	Во многих странах мира	Для производства огнеупорного кирпича, металлического магнезия, в химической промышленности
Доломит	Доломит с примесями кальцита и доломита		США, Россия, Украина и много других стран	Для производства огнеупорного металлического магнезия, для получения абразивов
Гипс	Минерал из класса сульфидов		Во многих странах мира	Строительное дело, медицина, химическая и бумажная промышленности
Графит	Является одной из полиморфных модификаций углерода	Мягкость, жирность, высокая электро- и теплопроводимость, огнеупорность, химическая инертность	Украина, Россия, Канада, США, Бразилия и др.	Химическая, электротехническая, литейная промышленности

Подраздел «Неметаллические (нерудные) полезные ископаемые» мы завершаем знакомством с драгоценными камнями. Эта группа минеральных природных ресурсов захватывает человечество своей уникальной красотой, игрой разнообразных цветов, ярким блеском, невероятностью своей чистоты и другими свойствами.

В природе драгоценных камней много, но рассмотрим некоторые из них.

Алмаз. Он принадлежит к самым твердым минералам, найденным на Земле. Это кубическая полиморфная модификация углерода, формируемая в глубинах недр Земли при образовании так называемых кимберлитовых трубок, в которых он присутствует в виде октаэдрических кристаллов. Ограненные и отшлифованные алмазы носят название бриллиантов.

Их величина настолько незначительна, что пришлось ввести новую единицу веса – карат, который равняется 0,2 г. По размерам и по весу кристаллы алмазов незначительны и в среднем составляют 4 – 5 каратов, хотя найден алмаз весом до 3 106 каратов («Кулинан»). Как самый твердый минерал, алмаз используется для изготовления режущего и обрабатывающего инструмента, а также в ювелирной промышленности.

Сегодня алмазы добываются в 20 странах мира на четырех континентах. В семерку ведущих стран – производителей алмазов (90% мировой добычи) входят: ЮАР, Россия, Ботсвана, Заир, Намибия, Австралия и Ангола. Добыча алмазов ведется также в Бразилии, Гвинее, Венесуэле, Индонезии и других странах.

Рубин и сапфир. Это драгоценные разновидности корунда, окрашенные в ярко-красный (рубин) и синий (сапфир) цвета.

Образуются рубин и сапфир главным образом при пегматитовых процессах и метаморфизме. Наиболее крупные месторождения рубинов известны в Бирме, где был найден рубин весом 690 г, в Таиланде, Индии и др. Как рубин, так и сапфир, применяются в ювелирном деле и в ядерной технике как генератор.

Изумруд, аквамарин, морганит, гелиодор. Это разновидности берилла, окрашенные в зеленый (изумруд), синевато-голубой (аквамарин), бледно-розовый (морганит) и желтый (гелиодор) цвета.

Основная масса названных минералов связана с гранитными пегматитами. Кристаллы берилла могут достигать достаточно больших размеров – десятков и сотен килограммов. Главные месторождения берилла известны в Украине, России, Колумбии, США (где найден гигантский кристалл берилла). Чистые и прозрачные разновидности используются в ювелирной промышленности для изготовления разнообразных украшений.

Шпинель является разновидностью минералов группы шпинель. Прозрачные шпинели носят название благородных. Среди шпинелей по расцветке выделяют: красную шпинель, цейлонит (зеленовато-черную), пикотит (зеленовато-бурую). Все они используются в ювелирном деле для изготовления украшений (за исключением цейлонита). Месторождения

благородной шпинели известны в России (Южный Урал), Цейлоне, США, Бирме, Афганистане и в других странах.

Малахит. Этот минерал – водный карбонат меди. Назван он от греческого слова “малакос” – мягкий. Это довольно хрупкий минерал. Малахитовые шахты разрабатывались в Египте 4 000 лет до н.э. Его ярко-зеленая расцветка, рисунок на отшлифованной поверхности, создали ему всемирную славу, как одного из самых красивых творений неживой природы.

Из малахита изготавливают ювелирные изделия. Он также используется при оформлении дворцов и роскошных помещений. Так, в Санкт-Петербурге малахитом облицованы колонны в Исакиевском соборе, в Зимнем дворце малахитом отделаны Малахитовый и Георгиевский залы. Наиболее крупные месторождения малахита известны в России (Урал).

2.2.3. Естественные энергетические полезные ископаемые

Подраздел 2.2 мы завершим знакомством с полезными ископаемыми, которые дают человечеству освещение, тепло, приводят в движение транспорт (самолеты, пароходы, автомобили), ракеты и космические корабли – все это энергетические полезные ископаемые. Эта группа полезных ископаемых включает горючие полезные ископаемые (нефть, природный газ, уголь, горючие сланцы, торф) и твердые радиоактивные – уран и торий.

Такие полезные ископаемые как нефть, природный газ и уголь составляют основу энергетики. Доля этих источников энергетики в мировом потреблении (в 2000 г.) составляет: уголь – 28%, нефть – 43%, природный газ – 19%, атомная энергетика – 5%.

Нефть. Это горючая жидкость, называемая еще «черным золотом», имеет специфический запах. Плотность нефти от 0,65 до 1,05 г/см³. Большинство нефтей легче воды. Цвет нефти изменяется от почти бесцветного к черному. По химическому составу выделяют серную нефть и малосерную нефть. В состав нефтей входят: углерод (С) – 82,35 – 87%, водород (Н) – 11,5 – 14,5%, кислород (О) – 0,005 – 0,7%, сера (S) – 0,001 – 5,3%, азот (N) – 0,001 – 1,8%. Преобладает малосерная нефть. Мировые запасы нефти оценивают приблизительно в 200 млрд. тонн.

Распределение месторождений нефти и ее запасы по отдельным регионам мира неравномерно (табл. 2.4).

Максимальное количество месторождений нефти сосредоточено на Ближнем и Среднем Востоке (около 1/3 мировых запасов), в США, России, Африке. Месторождения нефти в Украине – в основном в Прикарпатье и в восточных областях (Полтавская, Черниговская, Харьковская и другие области).

Таблица 2.4. Распределение мировых запасов нефти

Регионы	Млн. тонн
Ближний восток	101752,0
Северная Америка	28240,0
Латинская Америка	18556,0
Западная Европа	2587,0
Восточная Европа	244,0
СНГ	24905,0
Африка	13400,0
Южная и Юго-Восточная Азия	3560,0
Австралия и Океания	651
В мире	200677,0

В отношении происхождения нефти существует ряд гипотез. Согласно одной из них, нефть имеет органическое происхождение и образовалась в результате глубокой переработки на определенной глубине земных недр разнообразных остатков, среди которых главное место отводится планктону. Другая гипотеза гласит, что формирование нефти состоялось в результате сложных химических реакций при высоких температурах и давлениях. Большинство современных ученых считают, что нефть имеет органическое происхождение.

Нефть в земной коре в основном сосредоточена в разнообразных осадочных толщах. Породы, содержащие в своем составе нефть, называют коллекторами. Нефть имеет большое народнохозяйственное значение. Нет такой отрасли промышленности, где бы не использовалась нефть и продукты ее переработки. В первую очередь, она ведущее сырье в энергетическом балансе мира. Из нефти получают керосин, бензин, разные масла, парафин, разнообразные ароматические вещества. Нефть является основным сырьем для нефтехимической отрасли промышленности.

Природный топливный газ. В его состав входят метан, этан, пропан и бутан. Месторождения природного газа залегают на глубине до 15 км. Примесями газа является пентан, гексан, азот, аргон, сероводород, углекислый газ и другие. Среди газовых месторождений выделяют чисто газовые и газоконденсатные типы. В газоконденсатных месторождениях содержание этана, пропана и бутана больше, чем в газовых.

Размещаются газовые месторождения во всех геологических структурах. Они образуются в результате катагенезисного превращения органических веществ осадочных горных пород. Залежи природных газов формируются в пластах на путях миграции газов, происходящей в результате статической (или динамической) нагрузки пород, которая выжимает газ, а также при свободной диффузии газа из областей высокого давления в зоны с меньшим давлением.

Все газовые и нефтяные месторождения принадлежат к газонефтеносным осадочным бассейнам. В последние годы все больше месторождений природного газа открывают в зоне шельфа и мелководных бассейнов.

Мировые геологические запасы топливных газов на континентах, в зоне шельфа и мелководных морей по прогнозным оценкам составляют 160 трлн. м³ и распределены по отдельным регионам (табл. 2.5).

Таблица 2.5. Запасы газа в регионах мира

Регион	Запасы, трлн. м ³	Доля в мире, %
Северная Америка	7,55	4,9
Центральная и Южная Америка	7,16	4,6
Европа	4,86	3,1
Страны СНГ	56,14	36,2
Ближний Восток	55,91	36,1
Африка	11,18	7,2
Азиатско-Тихоокеанский регион	12,27	7,9
Вместе	155,7	100

Наиболее крупные месторождения сосредоточены в России (Уренгойское – 4 трлн. м³, Медвежье – 11 трлн. м³), в США (8,3 трлн. м³), Алжире (4 трлн. м³) и Иране (3,1 трлн. м³).

Природные топливные газы – это высоко экологическое топливо теплотворностью 7 800 ккал/м³ и выше, широко используемое в качестве топлива на электростанциях, в черной и цветной металлургии, при производстве цемента, стекла, строительных материалов и в быту для отопления. Кроме того, эти газы используются для получения спиртов, кислот, этилена, пропилена, сажи и ацетона. На базе производных природного топливного газа получают разнообразные пластмассы, синтетический каучук, искусственные волокна и другие продукты.

Нефть и природный газ – это жидкие и газообразные энергетические полезные ископаемые, с которыми мы с вами познакомились.

Рассмотрим теперь твердые полезные ископаемые. Эта группа полезных ископаемых включает твердые радиоактивные полезные ископаемые (уран и торий) и горючие топливные полезные ископаемые – (уголь, горючие сланцы, торф).

Уголь. Уголь – продукт органического происхождения. Миллионы лет тому назад, под действием солнца и воды, лесные массивы отмирали, превращаясь в болотистую биомассу с последующим преобразованием в торф и далее торф превращался в бурый уголь, каменный уголь, антрацит, графит (рис. 2.2). Этот процесс превращения угля и его переход из одной

формы в другую продолжался много миллионов лет. Так, для бурого угля этот период составляет 50 миллионов, для каменного – 300, для антрацита – 400 лет.

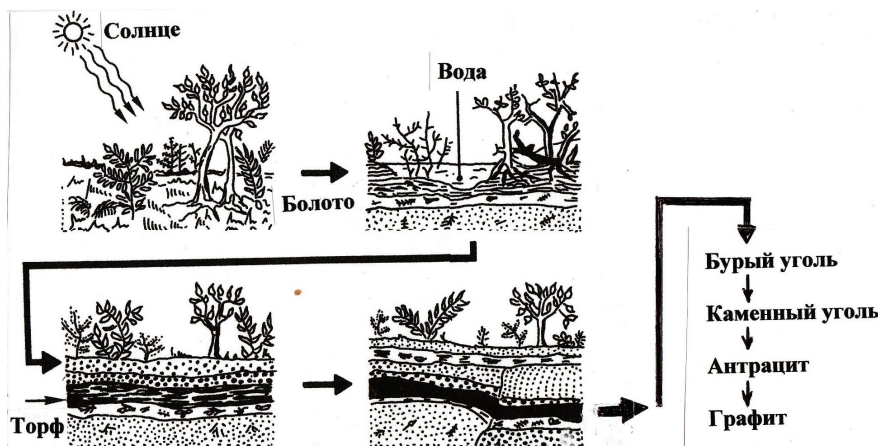


Рис. 2.2. Процесс образования угля

По характеру исходного материала уголь разделяется на три группы: гумусовый, сапропелевый и гумусово-сапропелевый. Гумусовый уголь – это уголь торфяного происхождения. Он представляет собой остатки наземной растительности – зеленых мягких тканей, древесины, коры, пыльцы, спор.

Сапропелевый уголь образуется при нагромождении органического вещества с примесями неорганического материала (глина, мелкий песок) в условиях открытых застойных водоемов, при недостаточном доступе кислорода или полном его отсутствии. И, наконец, гумусово-сапропелевый – это смешанный тип угля.

Переход торфа в бурый уголь происходит в процессе углефикации на небольших глубинах. Переход бурого угля в каменный – процесс более сложный и связан с более глубокими зонами земной коры, где главными факторами становятся температура и давление. При формировании антрацитов (рис. 2.3) в действие вступают метаморфические факторы – каменный уголь поступает в зоны регионального и контактного метаморфизма, где при высоких температурах происходит его дальнейшая углефикация с возможным переходом угля в графит.

Мировые запасы всех типов углей составляют сотни миллиардов тонн.

В табл. 2.6 представлены данные о доли стран в мировой добыче угля (в %).



Рис. 2.3. Антрацит

Таблица 2.6. Доля стран в добыче угля

Страна	Доля добычи, %
Китай	28,8
США	20,5
Россия	5,2
ЮАР	4,6
Германия	4,3
Украина	1,7
Индия	7,4
Австралия	7,0
Польша	5,4

Первое место по запасам угля занимают США (15% общемировых), второе – Россия. До 2020 года согласно прогнозам такие страны, как США, Китай, Индия сохранят свои позиции самих мощных стран по добыче угля. В Европе уголь добывают в Германии (Рурский бассейн, Тюрингия), Польше (Верхнесилезский бассейн), Англии, Чехии, России, Украине. В России примерно 2/3 ископаемых углей составляют каменные, 1/3 – бурые. Самые крупные каменноугольные бассейны России: Кузнецкий, Ленский, Иркутский, Минусинский, Карагандинский и др.

Угольная промышленность Украины имеет топливно-сырьевую базу, представленную Донбассом, Днепровским и Львовско-Волынским бассейнами. 90% угля добывается в Донбассе. Глубина разработки угля на угольных шахтах достигает 1 200 м.

Используется уголь в первую очередь для отопления помещений, а также для работы тепловых электростанций (рис. 2.4).

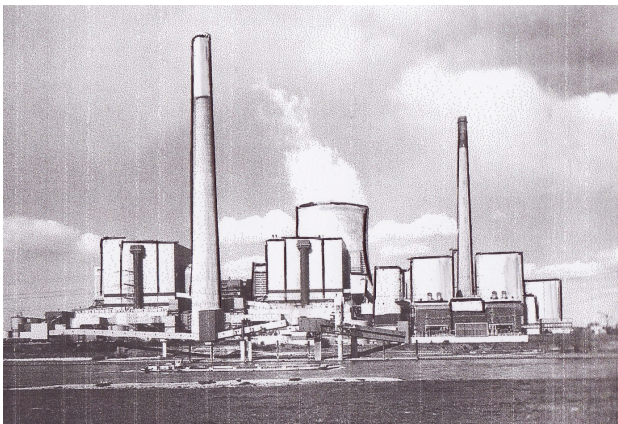


Рис. 2.4. Тепловая электростанция, работающая на угле

Значительная часть угля перерабатывается на кокс, используемый в металлургической промышленности для выплавки разных металлов, а также для получения разнообразных смол и других химических компонентов.

Горючие сланцы – это осадочная органиоминеральная порода, вмещающая в себе в концентрированной форме (20-70%) сапропелевое органическое вещество (продукт превращения растительных и животных организмов), которое при сухой перегонке дает значительное количество смолы, близкой по своему составу к нефти (рис. 2.5).



Рис. 2.5. Горючие сланцы

Горючие сланцы присутствуют практически во всех вековых геологических системах, их мировые запасы составляют триллионы тонн, из них смолы – 550 млрд. тонн. Сланцы известны на всех континентах. Промышленная добыча проводится в КНР (10 млн. т. в год), Эстонии (16 млн. т. в год), России (4 млн. т. в год). Наиболее крупные месторождения горючих сланцев размещены в Эстонии, Белоруссии, Украине, России, США, Канаде, Китае, Бразилии и др.

В основном, сланцы используются в качестве топлива на тепловых электростанциях, в котельных, а также как химическое сырье для получения фенолов, пластификаторов, клея и других препаратов.

Торф. Это горючее вещество, образуемое в процессе естественного отмирания и неполного распада болотных растений в условиях избыточной влаги и недостаточного доступа воздуха. Торф имеет чрезвычайно сложный химический состав. В комплексном составе органической массы содержание водорастворимых веществ 1 – 5%, битумов 2 – 10%, легко-гидролизных соединений 30 – 40%, целлюлозы 4 – 10%, гуминовых кислот 15 – 50% и лигнита 5 – 10%. Месторождения торфа на планете многочисленны и они занимают около 350 млн. гектаров, из которых около 100 млн. гектаров имеют промышленное значение. Месторождения торфа есть во многих регионах планеты (Азия, Европа, Северная Америка, и др.). В Украине наиболее крупные месторождения торфа сосредоточены в северо-западном регионе.

Используется торф в основном в быту для отопления помещений. Значительная часть торфа используется в качестве органического удобрения в сельском хозяйстве, а также для получения топливного газа, производства воска, спирта, фурфурола, тепло- и звукоизоляционных торфяных плит и др.

Ознакомление с группой естественных энергетических полезных ископаемых мы завершим месторождениями радиоактивных элементов (уран, торий), на которых базируется атомная энергетика.

Уран. Промышленные месторождения урановых руд представлены гранитными пегматитами, гидротермальными жилами, осадочными отложениями с асфальтовым веществом, метаморфизованными конгломератами (рис. 2.6).

Самые крупные и наиболее известные на сегодняшний день – это месторождения Украины (Желтые Воды), России (Урал), США (Морисбейл и Амброзия-Лейк), Конго (Шинкалобве), Канады (Бивергодш), стран Средней Азии. В Казахстане сосредоточено 15,5% мировых запасов урана, в Узбекистане – 3,5%.



Рис. 2.6. Урановая руда

Мировые запасы урановых руд достаточно значительны и составляют почти 3 млн. тонн. Их добыча резко увеличилась, когда начала развиваться атомная энергетика. Производство урана в концентратах в 2002 году составило 32 тыс. т. Основные страны, добывающие уран: Канада – 10,7 тыс. т., Австралия, – 7,6, Нигерия – 2,9, Намибия – 2,7, Узбекистан – 2,35, Россия – 2,0.

Ядерное топливо на основе урана используется почти шесть десятилетий и сегодня ядерная энергетика развивается быстрыми темпами (рис. 2.7). Кроме АЭС уран используется в военной технике.



Рис. 2.7. Панорама атомной электростанции (Германия)

Торий находится в таких минералах как торит, мокацит, ториант и др. Главные месторождения тория представлены магматическим, скарновым, гидротермальным, осадочно-растворимым и метаморфическим типами. Наиболее крупные месторождения тория сосредоточены в Индии, Цейлоне, Австралии, США, Канаде, Нигерии, Кении и др. Торий используется в ядерной энергетике, его мировые запасы составляют несколько сотен тысяч тонн.

2.2.4. Резервы энергетических источников недр Земли

Мы с вами уже знаем, что нефть и газ – основные энергетические полезные ископаемые подземных недр. Но запасы нефти и газа не безграничны, много месторождений истощены, а приращение запасов энергетического сырья, увеличения его добычи, невозможно без осуществления технологического прорыва, поисков новых источников энергетике.

Хотя катастрофические сценарии нефтяного кризиса появляются ежегодно, наша планета еще далека до полной исчерпаемости углеводородного сырья, потому что в недрах Земли есть еще энергетические ресурсы: битумы, сланцы, угольный метан, газовые гидраты, водород, тепло Земли.

Ниже рассмотрим эти резервы. Что же может быть альтернативой для пополнения энергетических источников?

Прежде всего – это **горючие сланцы**, о них мы с вами уже немного знаем. Они могут значительно обновить энергетический баланс, ведь в недрах Земли их сосредоточено более чем 550 млрд. тонн. Будущее горючих сланцев – это их переработка в синтетическое жидкое топливо. Основные ресурсы (более чем 80%) сосредоточены в США, Бразилии, России. В настоящий момент разрабатываются новейшие технологии сжигания сланцев в специальных газогенераторах и ретортах.

Битуминозные породы. Они находятся в земной коре в разных формах: в рассеянном состоянии, в виде незначительных смесей и в виде скоплений, где битум пропитывает породы и формирует мощные пояса битумонакопления. В отличие от нефти для естественных битумов используют в основном другие методы разработки – карьерный, шахтный или внутрипластовые технологии (селективные растворители, закачивание пара и др.). Мировые геологические ресурсы битумов оцениваются в 600 млрд. тонн, что позволит, при соответствующей технологии, обеспечить потребность мира в энергии на многие десятки лет.

Наиболее мощные месторождения битумов находятся в Канадской провинции Альберта, где на начало XXI столетия было добыто 70 млн. т.

битумов. Канада занимает второе место в мире (после Саудовской Аравии) по запасам битумов. Мощные запасы битумов есть в Венесуэле, где в 2001 году добыто 15 млн. тонн.

Битум, добываемый в Канаде, перерабатывается на канадских нефтеперерабатывающих заводах, или транспортируется в США. Из 1 тонны битума при достаточно глубокой переработке можно получить до 500 кг нефти.

Газовые гидраты – это скопления газа (чаще метана), который на молекулярном уровне связан с водой. Специалисты считают, что газовые гидраты в будущем могут быть главным альтернативным источником энергии, а их промышленное освоение – одна из главных задач XXI столетия.

Газовые гидраты представляют собой кристаллическое вещество, напоминающее по виду снег, или лед. В результате молекулярного уплотнения один кубометр естественного метаногидрата в твердом состоянии имеет в своем составе около 164 м³ метана в газовой форме. Кристаллы возникают под действием низких температур и большого давления. Газовые гидраты распространены в регионах вечной мерзлоты и в глубинных водах на дне Мирового океана в виде скоплений протяженностью в десятки километров. Установлено, что зона стабильности газогидратов в условиях открытого океана начинается с глубины 450 м и глубже и достигает толщины нескольких сотен метров. Потенциальные ресурсы метана находятся не только в зоне стабильности в твердом виде, но и под ней – в естественном газовом состоянии.

Наиболее мощные скопления газовых гидратов размещены на юго-восточном побережье США. Там, в виде протяженного поля на глубине до 3,5 км может содержаться около 30 трлн. м³ метана.

Впервые кристаллы метана были обнаружены еще в 1980 году, но как источник энергии, замороженный метан не завоевал популярности в результате сложных технологических проблем, возникающих в процессе добычи.

Первая перспективная добыча газового гидрата была осуществлена в 1964 году в России на месторождении Массояха в Западной Сибири.

По последним оценкам специалистов мировые запасы газогидратного сырья составляют около 265 000 трлн. м³, что вдвое больше запасов коксующего угля, нефти и обычного природного газа. Вся Сибирская природа – это гигантский резервуар, наполненный замороженным топливом. Под дном Черного моря скрыты гигантские месторождения гидратов, запасов которого, по расчетам ученых хватит на многие сотни лет.

Как мы видим, месторождений газогидратов есть много, но есть и проблемы в их добыче. Самая сложная проблема, которую надлежит решить специалистам при добыче природного газа из газогидратных залежей, это удержание естественного температурного режима в процессе бурения ледяного пласта. И еще одна проблема – извлечение кристаллов на поверхность, чтобы они были цели. Дело в том, что при незначительном повышении температуры и падении давления, снегоподобное вещество разлагается на газ и воду.

Сегодня в ряде развитых стран ведутся научно-поисковые работы по проблемам разработки технологии добычи газогидратов и получения из них природного газа.

Над этой проблемой работают ученые и специалисты России, Японии, Канады, Китая, США, Индии. США планируют начать промышленную эксплуатацию собственных гидратных ресурсов уже до 2015 года. В 2003 году Япония провела первые эксперименты по добыче метана из глубины моря. В южных и центральных районах Тихого океана было осуществлено бурение 20 скважин до глубины 1 089 м, а до 2011 года будет предпринята промышленная добыча метана из морского дна. Разрабатываются технологии добычи газовых гидратов в России. Таким образом газ из газовых гидратов – это топливо недалекого будущего.

Угольный метан. Вторым источником метана может стать угольный метан. Метан имеется в сорбированном виде в угольных пластах, где он содержится в толще минерала. Хотя все угольные пласты удерживают определенное количество метана, экономически выгодными являются не все угольные залежи. В США расчетные запасы метана угольных залежей приближаются к величинам запасов обычного природного газа.

В мировой практике существуют разные методы добычи угольного метана. Наиболее часто используются следующие: вертикальные скважины для дегазации угольного массива к началу шахтной добычи; вертикальные газовые скважины в пустой породе; вертикальные газовые скважины независимо от угледобычи.

Проекты бурения скважин для добычи газа попутно с добычей угля на шахте возникли с целью сведения к минимуму риска взрыва метана при добыче угля.

Опыт осуществления дегазации шахт в последнее время привел к разработке проектов добычи газа независимо от работы шахт.

Ресурсы метана в угольных бассейнах мира большие. В угольных бассейнах России они составляют: в Кузнецком – до 13 трлн. м³, Печерском – до 2 трлн. м³, метана много и в угольных бассейнах Украины.

В скором будущем планируется создание опытно промышленных полигонов извлечения метана из угольных пластов в Украине и России.

Газообразный водород. По-видимому читателю уже известно о применении водорода в двигателях автомобилей. Водородный двигатель – это на сегодня наиболее перспективная альтернатива. Американская фирма General Motors потратила почти 55 млн. долларов на его разработку и уже в 2000 году был продемонстрирован первый автомобиль на водородном двигателе. Но такая машина на сегодня – лишь рекламная акция, потому что ездить на водороде, полученном расщеплением воды, слишком дорого.

Как же получить водород, да еще дешевый? На этот вопрос дает ответ доктор геолого-минералогических наук Сергей Ларин, разработавший метод получения дешевого водорода.

В недрах Земли залегают громадные количества магния. Если пробурить к этим залежкам скважину и залить туда воду, мы получим окись магния, а также массу тепла и газообразный водород. Этим дешевым водородом можно заправлять все, что движется, летает и вращается.

На планете существует несколько уже известных зон, где магниевые слои подходят близко к земной поверхности. Достаточно пробурить две скважины (глубиной 4 – 6 км) и в одну из них подавать воду, а из второй – можно извлекать водород. Большие скопления водорода существуют в подводных рифтовых зонах. Здесь каждый килограмм породы может дать около 1 200 литров водорода.

Действующим источником водорода могут стать вулканы. Например, газ вулкана Этна имеет в своем составе 17% водорода. А газы вулканов Курильской гряды могут давать 100 тонн водорода в год. На планете много вулканических областей и вклад вулканизма в получение водорода может быть заметным.

Как нам видится, проблема получения водорода и его применение найдут свое положительное решение.

Тепло Земли. Тепло Земли представляет собой мощный энергоресурс, базирующийся на использовании естественной теплоты Земли, освоение которого дает удешевление энергии в сравнении с современной тепловой энергетикой. Еще в 1914 г. К.Е. Циолковский, а в 1920 г. В.О. Обручев высказали идею об извлечении геотермальных ресурсов, находящихся в недрах Земли. Позже эта идея была реализована в первых геотермальных циркуляционных системах (ГЦС). Во многих странах мира основные ресурсы вкладываются в создание геотермальных электростанций (ГЕОТЭС). Опыт подтверждает, что при наличии в недрах неглубоких коллекторов естественного пара, строительство ГЕОТЭС представляет собой наиболее выгодный вариант использования геотермальной энергии. Но месторождения пара – редкость, его прогнозируемые и известные месторождения небольшие. Наиболее распространены месторождения геотермальной (теплоэнергетической) воды.

Энергия геотермальной воды (с температурой до 200 °С) широко используется в промышленности, сельском хозяйстве, медицине. «Подземные котельные» подают по скважинам горячую воду для отопления домов.

Практическое использование геотермальной энергии возможно прежде всего в районах повышенной вулканической активности. Так, в России таким районом является Камчатка. Здесь в 1967 году на базе Паужетских источников была построена первая геотермальная электростанция.

Уже в 1984 году общая мощность систем геотермального тепла в обеспечении 14 стран мира достигла 2,4 млн. кВт. Извлечение энергии горячих горных пород из недр Земли с помощью циркуляционных систем (геотермальная технология) – наиболее перспективное направление добычи тепла из недр.

Система разработки геотермального месторождения характеризуется взаимным расположением, методом подготовки и последовательностью введения в эксплуатацию добычных и нагнетательных скважин, коллекторов, зон теплообмена.

Искусственный коллектор на подземном участке горячих пород образуется путем бурения в них комплекса вертикальных и наклонных скважин с последующим гидроразрывом пород между этими скважинами для образования трещин и увеличения поверхности съема тепла.

На геотермальной циркуляционной станции в коллектор по нагнетающим скважинам закачивается теплоноситель и потом, уже нагретый горячими породами, он откачивается из коллектора по добывающим скважинам. Применяются разные методы разрушения естественного массива для образования фильтрационных каналов.

Темпы строительства геотермальных электростанций с каждым годом растут. В 2002 году ГЕОТЭС работали в 15 странах мира, обеспечивая производство 52 ГВт электроэнергии. Ведущими странами по извлечению геотермальной энергии являются Китай (10,5 ГВт), Япония (7,5 ГВт), США (5,64 ГВт), Испания (5,6 ГВт) и Россия (1,7 ГВт). Добыча тепла из недр Земли – мощный экономический резерв энергетического сырья.

Таким образом, мы с вами ознакомились с тем, что таят в себе недра нашей планеты Земля. А теперь, нас ожидает встреча с горным делом. Мы узнаем, как добываются полезные ископаемые.

Раздел 3

ДОБЫЧА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ – ГОРНОЕ ДЕЛО

3.1. Развитие горного дела

Горное дело – отрасль деятельности человека в освоенных недрах Земли. Она издавна считалась искусством, поскольку требует высокого мастерства, больших знаний и творческого подхода при взаимодействии человека с природой с учетом всей сложности, постоянного развития во времени и в пространстве горных выработок, подземных сооружений и коммуникаций.

Очень метко сказал о горном деле академик В.В. Ржевский: «В наше время под «горным делом» понимают область науки и техники, производства, которая относится к способам и средствам трудовой деятельности при разведке, разработке месторождений полезных ископаемых, их первичной переработке, а также при строительстве горных предприятий и подземных сооружений разного назначения».

Горное дело зародилось вместе с человеческим обществом в глубокой давности, в разных частях планеты. Еще в VII –V веках до н.э. человек научился добывать руды цветных металлов (медь, золото, олово), в IX–VIII веках до н. э. – железные руды, в средние века – горючие полезные ископаемые (нефть и уголь), в XX веке – радиоактивные руды.

С давних времен человек заметил, что изменения времен года, тепла и холода разрушают породы: в трещины проникает влага, а при ее замораживании стенки трещин резко раскрываются, горные породы растрескиваются и разрушаются. Люди заметили также, что и при нагревании горные породы растрескиваются или размягчаются. Поэтому для примитивной технологии добычи полезных ископаемых в древние времена применялись костры и замораживание (рис. 3.1).

Существенным этапом в развитии добычи полезных ископаемых было внедрение металлических инструментов. Появились топоры, клинки, молоты, кайла. Теперь можно было устанавливать в трещины клинья, забивать их молотом и отделять куски породы от массива (рис. 3.2).

До изобретения письменности, горное дело уже делало первые шаги. На территории СССР были обнаружены следы древних рудников бронзового века. В Центральной Европе от этого периода остались выработки со следами креплений, лестниц и т.п. Задолго до нашей эры горное дело существовало в Китае и Японии.

В рабовладельческом обществе велась разработка медных и оловянных руд, золота и серебра. Решающее значение для развития производительных сил в античном мире имело производство железа. На

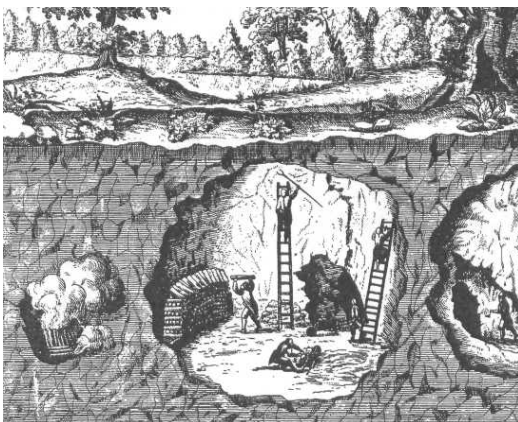


Рис. 3.1. Добыча руды с предварительным нагреванием



Рис. 3.2. Отбойка руды металлическими клиньями

горных работах использовался труд огромного числа рабов. С распадом рабовладельческого строя и крушением Римской империи горное дело в течение нескольких веков переживало глубокий кризис.

В эпоху феодализма в горном деле происходят значительные сдвиги. В XI–XIII вв. горное дело широко развивается в Центральной Европе, возникает ручная отбойка горных пород. В XV–XVI вв. для подъема руды наверх начали применять конный привод и водяное колесо. На рис. 3.3 показано приспособление для откачки воды из шахты. Водяное колесо приводило в действие скрепленные цепью черпаки, что позволило вести горные работы на глубине до 150 м.



Рис. 3.3. Первое приспособление для откачки воды из шахты (гравюра XVI в.)

Около 700 г. н.э. на Ближнем Востоке медь и золото выплавляли в продуваемых горнах из огнеупорного материала, внутрь которых помещали руду и древесину. Индейцы на севере Мичигана, задолго до первых белых поселенцев, выплавляли руды, используя в качестве топлива дрова.

С формированием феодальных отношений возобновились разработки в Альпах, Трансильвании, Северных Балканах, северных районах Европы.

Еще древние греки и римляне, в том числе Страбон и Плиний Старший, описывали методы горных работ. Одним из первых источников информации о горном деле, как искусстве, был труд немецкого ученого Георга Агриколы “О горном деле и металлургии” (1550 г.), который до XVIII века служил основным пособием по геологии, горному делу и металлургии (рис. 3.4).

История горного дела – это история постепенной передачи машинам и приборам функций человека. Современные методы горного дела многими особенностями отличаются от методов, применяемых в прошлые века. В своем развитии горное дело прошло длинный исторический путь на основе совершенствования горной техники.

Этапы и эволюция горной техники связаны, главным образом, с использованием разнообразных энергетических источников. Еще в восьмидесятых годах прошлого века ученые А.И. Арсентьев и В.А. Падуков выделили четыре этапа в развитии горной техники: биоэнергетический, машинного производства, электрификации, автоматизации.

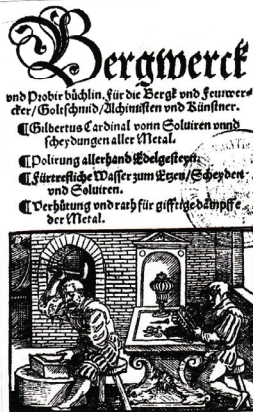


Рис. 3.4. Г. Агрикола и его трактат, посвященный горному делу

Биоэнергетический этап (человек – инструмент – предмет труда) связан с использованием мускульной силы человека и животных.

Этап машинного производства (человек – машина – инструмент – предмет труда) связан с изобретением и использованием паровой машины, развитием машинного производства.

Этап электрификации позволил интенсифицировать производство, повысить производительность машин и оборудования.

Этап автоматизации характеризуется передачей функций управления горной техникой специальным устройствам.

Современный уровень развития горного дела связан с внедрением новых технологических поточных процессов, роботов, манипуляторов, широким использованием физических и химических процессов, геотехнологических методов добычи полезных ископаемых, эффективных средств сбора информации, усовершенствованием системы управления вместе со средствами электроники и микроэлектроники. Все это направлено на создание реальных условий, облегчающих труд человека, а иногда и на то, чтобы выводить рабочих из зон непосредственного проведения горных работ в экстремальных условиях.

Горное дело развивалось периодами. Так, отрасли горного производства начали свое развитие в XVI – XVIII вв. Промышленная революция конца XVIII – начала XIX в. дала толчок для увеличения добычи минерального сырья, в основном твердых полезных ископаемых. Однако, все горные процессы в этот период велись вручную (рис. 3.5).



Рис. 3.5. Разрез рудника и этапы горных работ (середина XIX века):

1 – добыча руды; 2 – транспортировка руды; 3 – крепление выработки; 4 – поднятие руды на поверхность; 5 – поднятие и опускание в шахту горняков

Огромные масштабы использования твердых полезных ископаемых на рубеже XIX и XX вв. привели к коренным изменениям в структуре мировой горной промышленности. С начала XX в. начинает бурно развиваться добыча нефти.

Развиваются разработки полезных ископаемых открытым и шахтным способами, скважинные методы добычи твердых полезных ископаемых, метод выщелачивания, гидравлические. С 50-х годов XX в. человек осваивает добычу полезных ископаемых в акваториях морей и океанов. Начиная с 70-х годов XX в. горное дело перерастает в гигантскую по масштабам отрасль производства. В мире ежегодно вынимается из недр Земли более 100 млрд. тонн горной массы, добывается около 300 млрд. тонн полезных ископаемых. За все историческое время в мире добыто 220 млрд. тонн угля, более чем 100 млрд. тонн нефти и около 40 трлн. м³ газа.

В Украине разведано более 80-ти видов полезных ископаемых. Нефть и газ находятся в трех регионах – Прикарпатском, Днепровско-Донецком и Южном; уголь – в Донбассе и на Волини; железные руды – в Криворожье; марганцевые руды сосредоточены в Никопольском горнорудном бассейне; месторождения титана – в Закарпатье и Приазовье; никелевые руды – в Побужье; ртутные руды – в Закарпатье. Месторождения свинцово-цинковых руд найдены в Закарпатье и Прикарпатье. Большие

месторождения апатитовых руд обнаружены в пределах Украинского кристаллического щита, калийные соли – в Прикарпатье, каменная соль – в Донбассе, Прикарпатье и Закарпатье, самородная сера – в Прикарпатье. Золотоносные породы имеются в Закарпатье и Побужье.

Развитию горного дела содействует и горная наука. Она представляет собой комплекс наук о составе полезных ископаемых и горных породах, их физико-механических свойствах, о технологии разработки горных массивов и полезных ископаемых, о строительстве подземных сооружений и обеспечении их прочности, стойкости, об использовании подземного пространства для жизненных потребностей человека.

3.2. Методы добычи твердых полезных ископаемых

Добыче полезных ископаемых предшествуют разведочные работы по поиску месторождений, определению количества и качества полезных ископаемых, установлению интервалов залегания их в недрах, характера и свойств пород, которые их окружают.

По полноте и детальности изучения месторождений полезных ископаемых разведочные работы подразделяются на предварительную, детальную и эксплуатационную разведки. При этом, во время добычи полезных ископаемых необходимо дополнительно уточнять отдельные элементы залегания или искать новые участки.

Когда обнаружены и утверждены запасы полезных ископаемых, а также техническая и экономическая целесообразность их использования, на основе утвержденного проекта приступают к строительству горного предприятия для разработки месторождения.

В практике горного дела применяются различные методы добычи твердых полезных ископаемых, среди которых: открытая добыча, шахтная добыча, скважинные методы добычи (выщелачивание, выплавка, гидравлический способ). Об этих методах и пойдет речь ниже.

3.2.1. Добыча полезных ископаемых открытым методом

Когда полезные ископаемые выходят на поверхность, или залегают под небольшим (до 80-120 м) слоем пустых пород, они разрабатываются открытым методом. Этот метод разработки широко применяют при добыче угля, руд черных и цветных металлов, горно-химического сырья и строительных материалов. В сравнении с подземным методом он обеспечивает более полное извлечение полезных ископаемых, высокую производительность труда, более широкие масштабы и объемы добычи, безопасные условия труда и благоприятные условия для внедрения высокопродуктивных машин и оборудования. Но одновременно при открытом методе добычи необходимо вынимать из недр Земли в несколько

раз больше пустых пород, чем полезных ископаемых, что наносит вред окружающей среде.

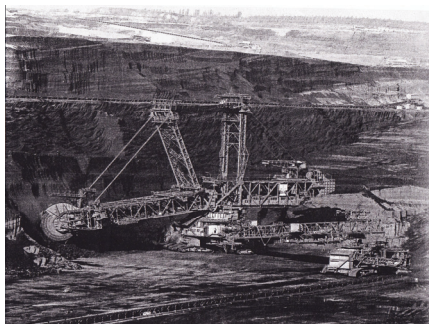
Все работы, связанные с добычей полезных ископаемых из земной поверхности, называются открытыми горными, а площадь, в пределах которой они ведутся – карьером. Основными этапами открытой разработки месторождений являются: подготовка поверхности, раскрытие и эксплуатация месторождения, восстановление земель, нарушенных горными работами (рекультивация).

Производство вскрышных и добычных работ на карьерах включает такие процессы: отбойка, погрузка, транспортировка и разгрузка пустых пород и полезных ископаемых.

Отбойка заключается в отделении породы или полезных ископаемых от массива с одновременным разрушением с целью их транспортировки. Этот процесс происходит с помощью взрывных работ, если порода (руда, уголь и другое) крепкие. Слабые породы могут разрабатываться с применением одноковшовых, или многоковшовых (роторных) экскаваторов. Так выглядит карьер по добыче угля (рис. 3.6).



а)



б)

Рис. 3.6. Открытая добыча:

а) – при помощи взрывных работ; б) – роторными экскаваторами

Карьеры характеризуются своими элементами и параметрами. Во многих случаях слои горных пород в карьере располагаются горизонтально. Иногда наклонную залежь разрабатывают наклонными слоями, а крутую залежь – крутыми слоями. Часть слоя горных пород, которая разрабатывается отдельно, называется уступом. На уступах осуществляется вынимание вскрышных пород или полезных ископаемых. Сегодня карьеры, как производственная единица, представляют собой сложные технологические и высокомеханизированные комплексы.

3.2.2. Шахтная добыча полезных ископаемых

При подземном способе разработки основные производственные процессы происходят в подземных горных выработках. Предприятие по добыче угля называют шахтами, по добыче руды – рудниками. Чтобы шахта или рудник стали высокомеханизированными, человечеству пришлось пройти длинный путь.

Как же осуществляется процесс добычи полезных ископаемых?

Полезное ископаемое чаще всего залегает под землей. Поэтому, чтобы приступить к его извлечению, необходимо осуществить комплекс работ: вскрытие, подготовка шахтного поля и очистной выемки. При строительстве шахт и рудников эти работы выполняются последовательно, в дальнейшем при эксплуатации их совмещают. Каждая из работ связана или требует проведения разных производственных процессов: отбойка, крепление выработок, проветривание и водоотлив, погрузка, перевозка подземным транспортом и поднятие полезного ископаемого на поверхность.

Для доступа к залежи ее вскрывают. Вскрытием называют процессы, обеспечивающие доступ с поверхности к месторождению (или его части) путем проведения горных выработок для создания условий подготовки к выемке полезного ископаемого. Для этого из поверхности проходят шахтный ствол, от которого проводят горизонтальные, наклонные и вертикальные выработки, разбивающие залежь или месторождение на этажи и горизонты. На рис. 3.7 схематически изображен комплекс горных выработок и технологические процессы на угольной шахте.

Горный процесс начинается с прохождения шахтного ствола. Глубина вертикальных стволов достигает 1 200 м и более. Поперечное сечение их бывает прямоугольной или круглой формы с диаметром до 8,0 м. Способ проходки стволов зависит от физико-механических свойств пород и геолого-технических условий сооружения. В практике существует два основных метода: с помощью взрывных работ и буровыми установками (буровыми агрегатами). При взрывном методе у забоя ствола бурятся скважины, в которых закладывается взрывчатка. После разрушения горной породы взрывом осуществляется выемка и транспортировка ее в специальных сосудах – бадьях. Погрузка породы в бадьи осуществляется с помощью грейферных погрузчиков (рис. 3.8).

Большим достижением в сооружении шахтных стволов была разработка конструкции буровых агрегатов, позволяющих разбуривать стволы диаметром до 8,0 м. Рабочий орган бурового агрегата представляет собой ротор, на котором размещены режущие коронки (рис. 3.9).

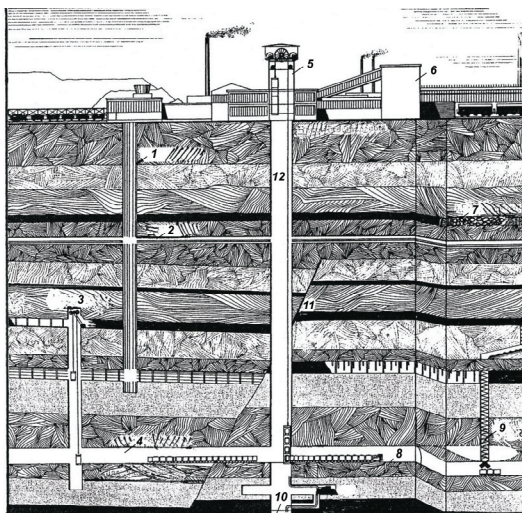


Рис. 3.7. Схема угольной шахты:

1 – вентиляционный ствол; 2 – вентиляционный штрек; 3 – слепой ствол; 4 – главный штрек, для транспортировки угля; 5 – надшахтный копер; 6 – пункт обогащения угля; 7 – закладывание породой отработанных участков; 8 – околоствольный двор; 9 – орт для отгрузки угля из верхних горизонтов; 10 – зумпф; 11 – водоотливная насосная камера; 12 – главный вертикальный шахтный ствол

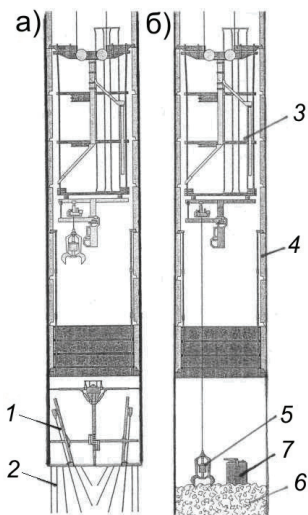


Рис. 3.8. Сооружение шахтного ствола взрывным способом:

а) – бурение скважин; б) – отгрузка разрушенной породы
1 – буровая машина; 2 – взрывные скважины; 3 – монтажная рама; 4 – тубинговое крепление;
5 – грейферный погрузчик; 6 – разрушенная взрывом порода; 7 – бадейка

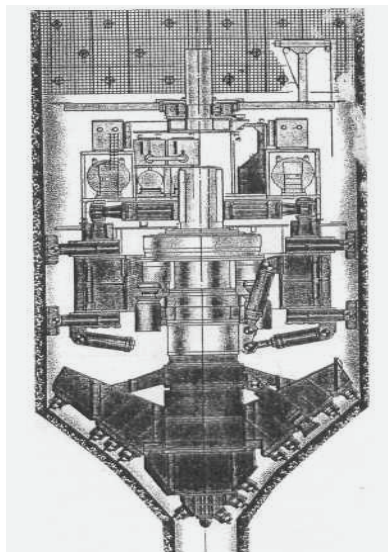


Рис. 3.9. Рабочая головка бурового агрегата

С помощью бурового агрегата работы ведутся в два этапа: сначала бурится пилотная скважина диаметром 1,4 м на всю глубину, а затем режущим ротором разбуривается ствол до нужного диаметра. По мере углубления ствола, стенки его закрепляются бетоном или тубингами. Когда ствол достигает намеченной проектной глубины, от него проходится комплекс выработок околоствольного двора для обслуживания подземного хозяйства.

Над стволом размещают копер, вблизи которого в специальном помещении установлена подъемная машина, которая перемещает по стволу сосуд – клеть, для опускания и поднимания людей, материалов, полезных ископаемых и тому подобное.

Горные выработки, которые проходятся при вскрытии полезного ископаемого, называются капитальными. В период эксплуатации по этим выработкам проводится транспортировка полезного ископаемого, пустых пород, людей, оборудования, материалов, а также проветривание производственных выработок и водоотлив.

После вскрытия шахтного поля, осуществляют проходку комплекса выработок по полезному ископаемому (штреки, уклоны, скаты, рудоспуски, бремсберги) с целью разделения шахтного поля на отдельные участки. Эти выработки называются подготовительными.

В зависимости от физико-механических свойств пород, их прочности, горные выработки (капитальные и подготовительные) проходятся

комбайнами, или взрывными работами. При взрывном способе проведения горных выработок отдельными производственными процессами являются: бурение шпуров, их заряджание, взрывание, погрузка горной массы, крепление горных выработок (рис. 3.10).

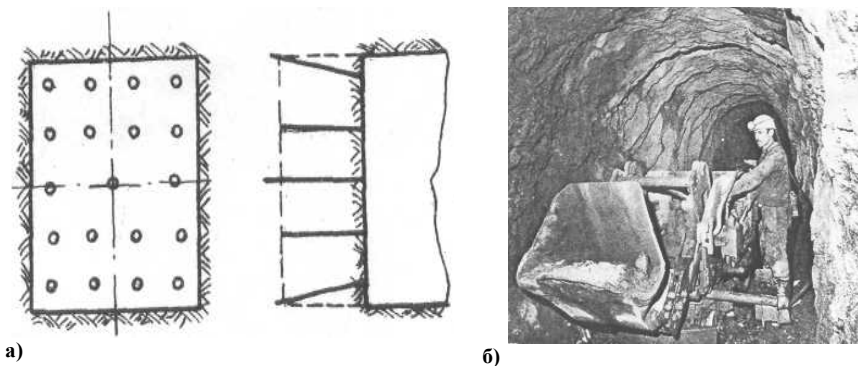


Рис. 3.10. Проходка выработок взрывными работами:

а) – бурение и взрывание шпуров; б) – погрузка породы

При комбайновом способе проведения выработок осуществляется разрушение забоя рабочим органом комбайна, погрузка горной массы, транспортировка и крепление выработок (рис. 3.11).

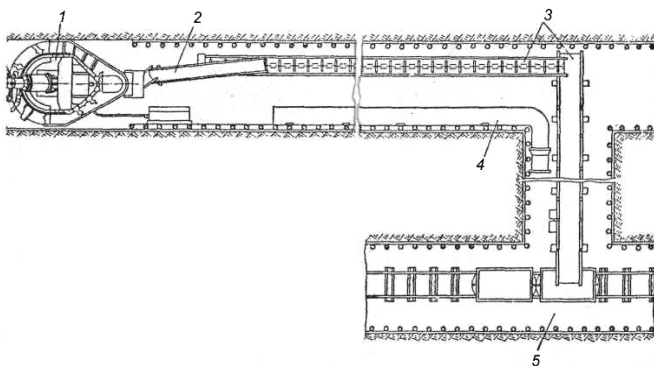


Рис. 3.11. Схема проведения штрека комбайном:

1 – комбайн; 2 – перегрузчик; 3 – конвейер; 4 – вентилятор; 5 – загрузочный пункт

Для проведения выработок большого поперечного сечения на калийных рудниках Украины и России применяются комбинированные схемы:

- прохождение штреков двумя ходами комбайна и взрыванием шпуров;
- прохождение штреков одним ходом комбайна и взрыванием шпуров;

- веерообразная схема взрывания шпуров из выработки, пройденной комбайном.

Один из комбинированных методов проходки выработок большого поперечного сечения изображен на рис. 3.12. Комбайном ПК – 6 проходят параллельно две выработки сечением $4,32 \text{ м}^2$. Целик, который находится между выработками, разрушается взрывным методом.

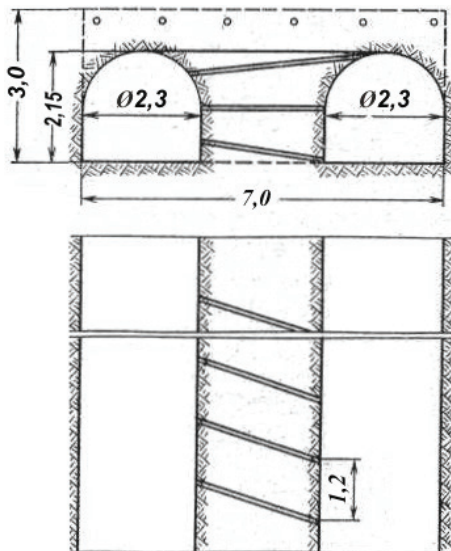


Рис. 3.12. Схема проходки штреков двумя ходами комбайна и взрыванием шпуров

Подготовительными выработками шахтное поле разделяется на этажи, панели, блоки. По завершению этих работ приступают к проведению очистных работ – комплексу работ по извлечению полезных ископаемых из очистных выработок.

На угольных шахтах к очистным выработкам относятся лавы и камеры. Лава – это выработка, имеющая забой значительной протяженности (до 200 м). Под забоем понимают поверхность полезного ископаемого, которая ограничивает лаву и перемещается в результате проведения горных работ. Схема добычи угля в лаве изображена на рис. 3.13.

При разработке пластовых месторождений угля тонкой и средней мощности (от 0,5 до 3,5 м), уголь вынимается сразу на всю толщину, а при мощности более 3,5 м – разработка пласта ведется послойно.

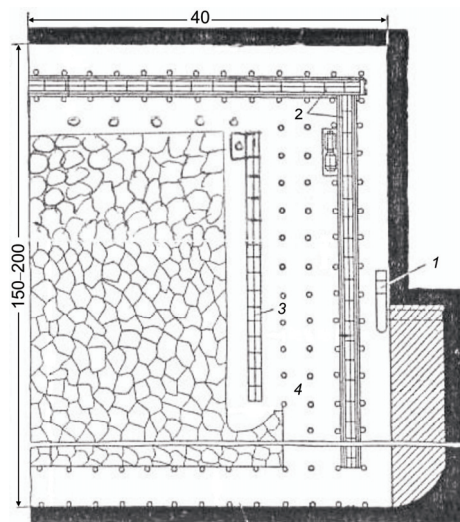


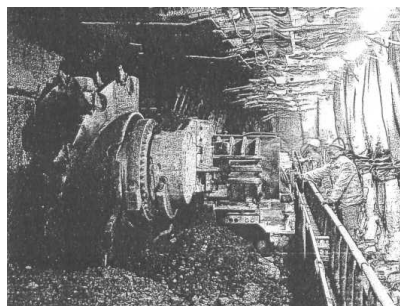
Рис. 3.13. Схема добычи угля в лаве:

1 – комбайн; 2 – конвейеры для транспортировки угля из лавы; 3 – конвейер для транспортировки породы в отработанное пространство лавы; 4 – крепление лавы

Работы по выемке угля в лаве можно разделить на следующие отдельные операции: зарубка, отбойка и погрузка, доставка из очистного пространства, крепление и управление горным давлением. При выемке угля из очистного забоя применяются комбайны или струги (рис. 3.14).



а)



б)

Рис. 3.14. Разработка угольного пласта:

а) – стругом; б) – комбайном

Принцип работы струга заключается в следующем: стальной резец – струг, который закреплен на цепях, прижимается к угольному пласту. С большой скоростью он движется вдоль лавы и “выструживает” уголь.

Уголь при этом разрушается и падает на ленточный конвейер, который транспортирует его в выработку – штрек.

По мере продвижения комбайна или струга проводится крепление пространства, образуемого от вынимания угля. Это крепление также продвигается (переставляется). Часть забоя, освобождаемого от угля и крепления, заполняется пустой породой, которая обваливается или закладывается.

При разработке железорудных месторождений, мощность залежей которых достигает до 100 м и более, применяются другие системы разработки и технология добычи. Шахтное поле разделяется на этажи, высота которых изменяется от 25 до 100 м. Ввиду того, что железные руды имеют высокую прочность, их добыча осуществляется исключительно с помощью взрывных работ. В зависимости от горнотехнических условий в мировой практике применяются разные методы и схемы отбойки руды (рис. 3.15).

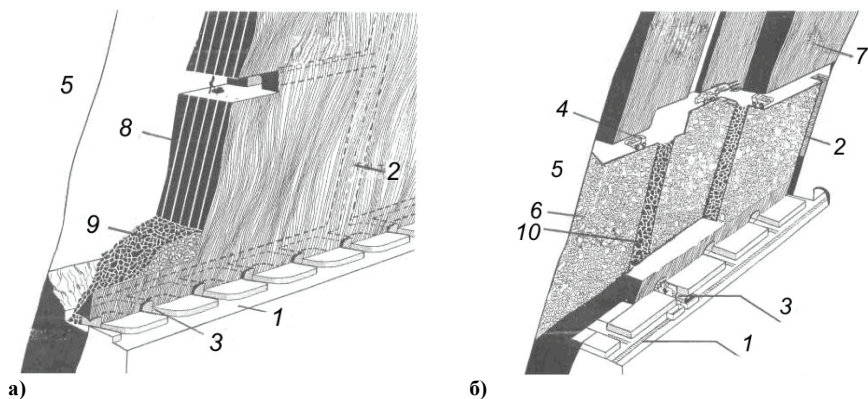


Рис. 3.15. Схема разработки железных руд:

- а) – вертикальными слоями; б) – горизонтальными слоями
 1 – транспортный (откаточный горизонт); 2 – вертикальная ходовая выработка;
 3 – откаточный штрек; 4 – буровые и транспортные машины; 5 – целик; 6 – закладывание
 пустой породой; 7 – железная руда; 8 – взрывные скважины; 9 – раздробленная руда после
 взрыва; 10 – рудоспуски.

На рис. 3.15, а отбойка руды осуществляется с помощью вертикальных, или наклонных глубоких скважин. Раздробленная взрывом руда попадает через бункера на откаточный горизонт, где погружается в вагонетки. На второй схеме (рис. 3.15, б) отбойка руды от массива осуществляется послойно – горизонтальными скважинами. Отбитая руда самоходными вагонами транспортируется к рудоспускам, по которым она попадает на откаточный штрек.

Поддержание очистного пространства при разработке рудных месторождений осуществляется с помощью целиков (столбов) руды, которые остаются во время очистных работ.

Учитывая разнообразие условия залегания месторождений полезных ископаемых в практике их добычи, существует много разновидностей систем разработок. Так, каменная соль обычно залегают в виде штоков значительных размеров, или мощных пластов. Такие месторождения разрабатываются камерной системой. Ширина камер составляет 15 – 30 м, длина 25 – 50 м и более. Высота камер может достигать 25 – 30 м и более. Между камерами, для поддержания толщи пород в кровле, оставляются целики соли шириной, приблизительно равной ширине камеры. Камерной системой разрабатываются месторождения соли в Украине, Белоруссии, России и др. Отбойка соли от массива осуществляется при помощи взрывных работ или комбайнами (рис. 3.16).



Рис. 3.16. Камера, отработанная комбайном (Артемовск, Украина)

Камерная система разработки полезных ископаемых применяется и при добыче калийных руд (солей) в Украине, Белоруссии, России, США, Канаде, ФРГ и других странах.

В Украине калийные руды представлены месторождениями Прикарпатья: Калуш-Гольнским и Стебниковским. На Калуш-Гольнском руднике добыча руды ведется с помощью взрывных работ с расположением скважин параллельно, или вееро-пучково (рис. 3.17).

Отбитая от массива руда отгружается из камеры скреперными лебедками. Камера обрабатывается в одну, или две стадии. В одну стадию, когда толщина пласта не превышает 3 – 4 м, или в две стадии при большей мощности пласта. При этом сначала осуществляется выемка нижнего слоя камеры высотой 3 м, а затем разрабатывается верхний слой.

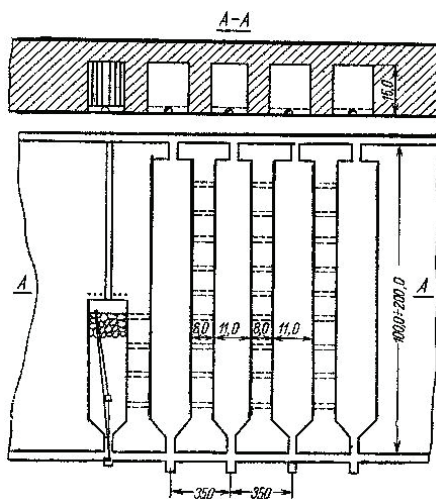


Рис. 3.17. Камерная система разработки на Калуж-Гольском руднике

На Стебниковском калийном месторождении калийные руды имеют значительную толщину. Здесь применяют камерную систему разработки с обрушением руды глубокими скважинами. Камеры размещаются вкрест простиранию залежей. Основные параметры системы: ширина камеры 8 – 15 м, ширина целиков 6 – 12 м, длина камеры составляет 30 м. Обойка руды осуществляется системой веерообразных скважин (рис. 3.18).

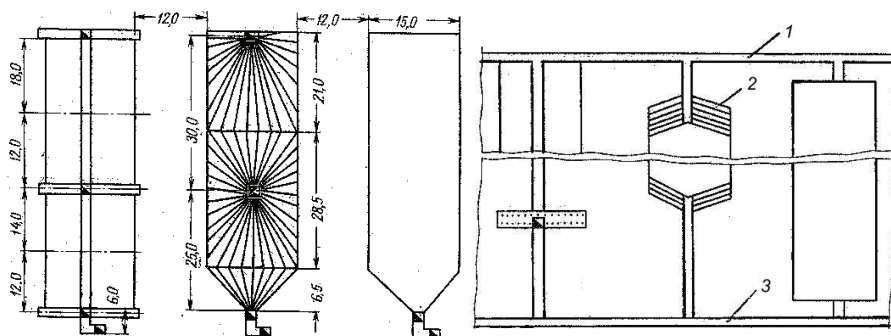


Рис. 3.18. Система разработки Стебниковского рудника:

1 – штрек всячего бока; 2 – буровые скважины; 3 – штрек лежащего бока

На калийных рудниках России при толщине пласта до 4,0 м применяется так называемый «штрековый» вариант камерной системы разработки (рис. 3.19).

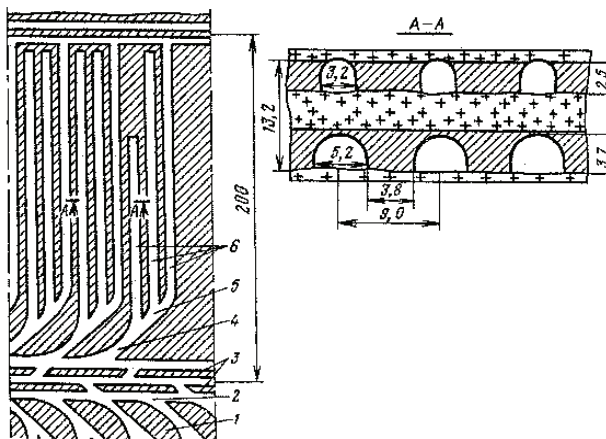


Рис. 3.19. Штрековая система разработки на Березниковском руднике (Россия):

1 – околоштрековый целик; 2 – сопряжение штрека; 3 – целик; 4 – горловина;
5 – сопряжение ходов; 6 – комбайновые ходы

Камеры проходят комбайнами «Урал 20 КС» и «Урал 10 КС». Руда из камер доставляется на транспортный штрек, а затем через рудоспускные скважины подается на панельный штрек. При толщине пласта более 4,0 м применяют двухслойную систему отработки камер комбайнами. При этом варианте, камеры разрабатываются двумя двухслойными выработками. Ширина камер – 12,4 м, междукamerных целиков – 10,6 м. Отработка каждой выработки осуществляется двумя ходами комбайна «Урал 20 КС». Транспортировка руды от комбайна осуществляется самоходными вагонами.

Наряду с разработкой калийных руд комбайнами широко применяются взрывные работы. На рис. 3.20 приведен вариант разработки камер с применением веерно расположенных скважин.

Такая схема внедрена на калийных рудниках Верхней Камы (Россия), при длине камер 150 – 200 м. При такой схеме сначала одним ходом комбайна ПК – 8 проходят по центру камеры нарезную выработку, а затем при помощи буровых агрегатов разбуривают камеру.

На калийных рудниках ФРГ камерная система разработки заключается в том, что камеру разбивают на две части: верхнюю и нижнюю. Верхнюю часть высотой до 3 – 4 м и шириной, которая равняется ширине камеры, проходят на всю ее длину узким забоем, а затем нижнюю часть высотой – 5 – 6 м отбивают параллельными скважинными зарядами. Бурение ведется самоходным буровым агрегатом (рис. 3.21). После отбойки руды, она погружается самоходным погрузчиком и транспортируется самоходными вагонами.

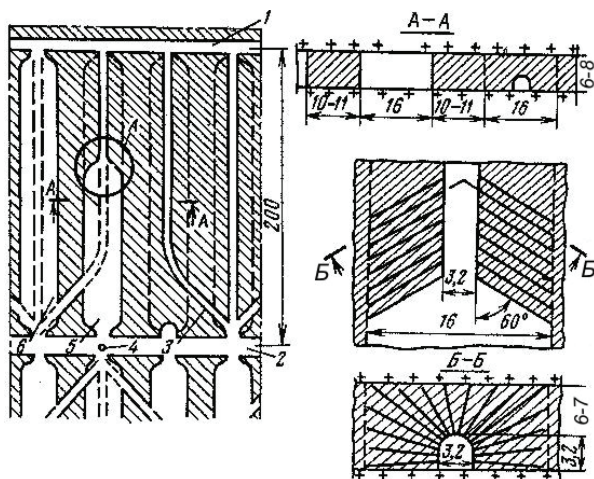


Рис 3.20. Камерная система разработки с применением верно расположенных скважин:
 1 – вентиляционный панельный штрек; 2 – откаточный панельный штрек; 3 – комбайновый ход в камере; 4 – рудоспускной гезенк; 5 – рабочая камера; 6 – отработанная камера

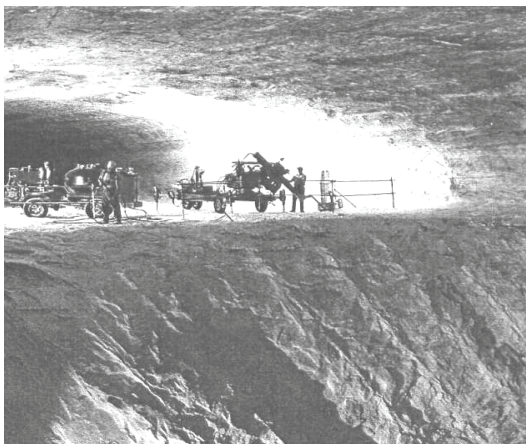


Рис. 3.21. Бурение скважин буровыми агрегатами

На рудниках США при камерной системе разработки месторождение разбивается на панели, размер которых, в зависимости от местных условий, изменяется от 150 до 200 м. Ширина камер 9 – 11 м, ширина целиков 10 – 14,6 м, длина 18 – 25 м. При такой системе разработки достигается высокий процент извлечения руды. После основных добычных работ в камера вынимаются и целики.

Камерная система разработки имеет свои положительные и отрицательные стороны. Положительные – небольшой объем подготовительных работ, высокая производительность подземных рабочих, хорошие условия вентиляции; отрицательные – высокие потери руды из-за того, что нужно оставлять столбы руды (целики) между камерами. Эти потери составляют до 50%.

Для повышения коэффициента исключения руды, уменьшения потерь в целиках на многих калийных рудниках разработку камер ведут с закладкой отработанного пространства пустыми породами, или отходами калийного производства. Это позволяет уменьшить размеры междукамерных целиков и повысить процент выемки руды.

Подземным методом добывается и целый ряд строительных материалов: ангидриты, гипсы, песчаники, ракушечники и др. На шахтах, в основном, применяются камерные системы разработки с выемкой полезных ископаемых уступами, а также послойная отработка пластов на всю их толщину (рис. 3.22).

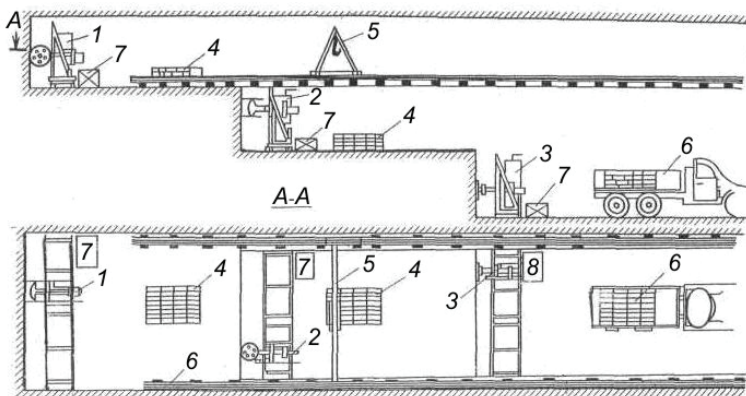


Рис. 3.22. Подземная добыча строительных материалов

Шахтное поле разбивается на столбы. Длина столба равняется длине шахтного поля, ширина составляет 180–250 м. Добычные работы ведутся с помощью камнерезных машин 1, 2, 3, которые выпиливают искусственные камни. Камни укладываются на поддоны – 4. С помощью тельферной балки – 5 поддоны доставляются на погрузочный пункт и погружаются в транспортные средства. Отходы от камнепиления, укладываются в контейнеры – 7 и 8 и с помощью тельферной балки, перегружаются в транспортные средства 6. Такая технология выемки камер применяется для разных горно-геологических условий, но наиболее эффективна при мощности пласта более 4 м.

Таким образом, мы с вами узнали, как добываются полезные ископаемые непосредственно под землей. Теперь их путь пролегает к земной поверхности. Они транспортируются в вагонетках, или транспортерами к главному стволу шахты или рудника и поднимаются «на гора» (на поверхность) клетями, или в больших металлических сосудах – скипах.

Поверхностный комплекс современной шахты представляет собой комплекс сооружений для переработки (обогащения) полезных ископаемых, обслуживания горняков и технического обеспечения подземных производственных процессов (рис. 3.23).

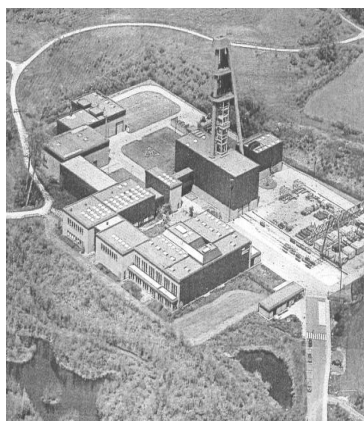
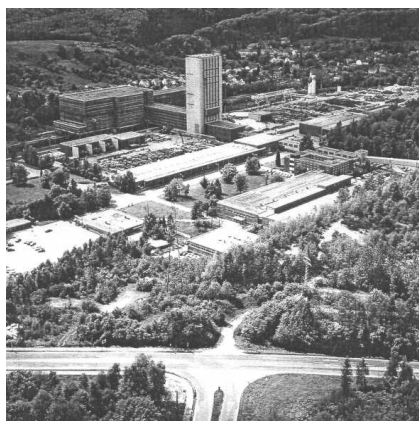


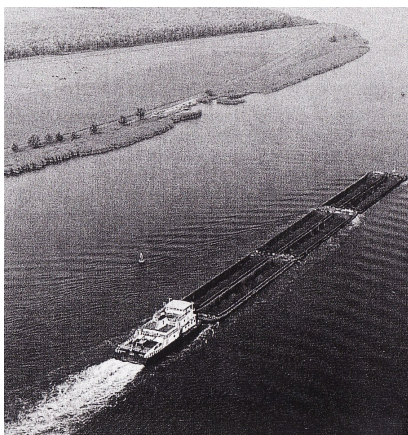
Рис. 3.23. Так выглядит поверхностный комплекс современной шахты и рудника

Полезные ископаемые, добытые из недр Земли, держат путь на перерабатывающие заводы и комбинаты, тепловые электростанции и предприятия. По железным дорогам и водным артериям транспортируются уголь, руды, строительные материалы, горнохимическое сырье (рис. 3.24).

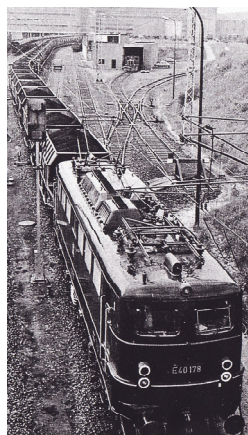
Добыча полезных ископаемых подземным методом – это сложный технологический процесс, происходящий в условиях, резко отличающихся от поверхностных. Во-первых, в подземных выработках накапливается вода. Она собирается в водосборниках, а затем поднимается на поверхность насосами, установленными в насосных камерах. Ежегодно из подземных выработок откачивается до 600 м^3 воды.

Во-вторых, для нормальной и безопасной работы под землей все подземные выработки должны быть обеспечены свежим воздухом. Это достигается применением специальных вентиляционных установок, нагнетающих воздух в подземное пространство. Отработанный воздух, насыщенный газом и продуктами взрывных работ, через вентиляционные

стволы удаляется на поверхность. Технологический процесс добычи требует подачи свежего воздуха в объеме 20–30 м³/мин.



а)



б)

Рис. 3.24. Транспортировка полезных ископаемых:
а) – водным путём; б) – железными дорогами

В-третьих, горное давление, сопровождающее весь технологический процесс, выдвигает проблемы в охране выработок от разрушения. Для этого применяются крепления горных выработок. Кроме того, охрана и стойкость очистных выработок обеспечивается оставлением целиков полезных ископаемых или закладкой вынутаго пространства пустыми породами.

И, главное, подземные работы связаны с определенной опасностью и не освобождают людей от тяжелого труда. Обеспечение безопасных условий труда горняков – важная задача. Недаром в мире труд шахтеров является почетной профессией.

3.3. Скважинные методы добычи твердых полезных ископаемых

Выше, мы вас ознакомили с традиционными методами разработки месторождений, основанных на механическом отрыве полезных ископаемых от массива, необходимости перемещения миллионов тонн пустых пород и переработки всей горной массы.

И вот человечество научилось, кроме шахтного метода, добывать полезные ископаемые из недр Земли другими безшахтными методами: путем подземного растворения солей, выщелачиванием руд некоторых металлов (уран), подземной выплавкой серы, подземной газификацией угля. Эти методы, позволяющие вести процесс добычи полезных

ископаемых непосредственно на месте залегания, называются геотехнологическими.

Геотехнологический способ разработки месторождений основан на переводе полезных ископаемых с помощью тепловых, гидродинамических и химических процессов прямо в недрах Земли из твердого в жидкое состояние, в результате чего они становятся пригодными для транспортировки в виде растворов или пульпы через скважины на поверхность земли.

Геотехнология родилась на стыке горного дела, металлургии, химии и биохимии. Она имеет ряд положительных качеств: не нуждается в сложных машинах, обеспечивает высокую производительность труда при добыче, мало нарушается земная поверхность и меньше вреда наносится окружающей среде. Геотехнология освобождает человека от труда под землей.

3.3.1. Подземное растворение солей

В мировой практике получили распространение скважинный метод добычи солей путем подземного растворения водой. Этот метод применяется для добычи каменной, калийной и урановых солей, сульфатов, соды и др. Рассмотрим этот метод на примере добычи каменной соли. Он был известен давно. Поваренную соль в Европе издавна испаряли из рассола, добываемого из колодцев или скважин глубиной до 60 – 70 м. В настоящее время методом подземного растворения добывают каменную соль в Украине, Белоруссии, России, Армении. Технологический процесс добычи соли растворением заключается в том, что в месте ее залегания пробуривают скважину. Скважину обустраивают и подают в нее воду, которая растворяя соль, превращается в рассол. Рассолопромысел представляет собой комплекс надземных и подземных сооружений (рис. 3.25).

В пробуренную и обсаженную в кровле соляной залежи скважину опускают водоподающую и рассолоподъемную колонны труб. Вода, подаваемая в пласт через скважину, растворяет соль, а полученный рассол под давлением нагнетаемой воды поднимается на поверхность. Методы подземного растворения солей разделяются на неуправляемые и управляемые. К первым относятся методы прямоточного и противоточного размыва (рис. 3.26). Растворение соли ведется по всей раскрытой толще соляной залежи, а скважины обустраиваются одной рабочей колонной труб. При прямоточном методе (рис. 3.26, а), вода подается прямым потоком к забою скважины, а рассол поднимается вверх между обсадной и водоподающей колоннами. При противоточном – вода подается по обсадной колонне, а рассол отбирается наверх через рабочую колонну труб (рис. 3.26, б).

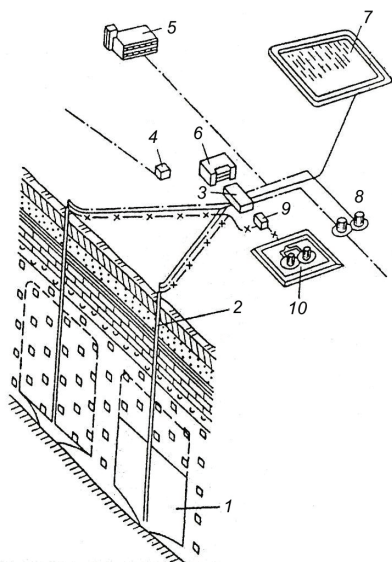


Рис. 3.25. Схема рассолопромысла:

1 – добычная камера; 2 – рассолодобычная скважина; 3 – контрольно-распределительный пункт; 4 – трансформаторная подстанция; 5 – завод-потребитель; 6 – административный дом; 7 – хранилище слабого рассола; 8 – резервуары воды и рассола; 9 – насосная станция нерастворителя; 10 – резервуары для нерастворителя

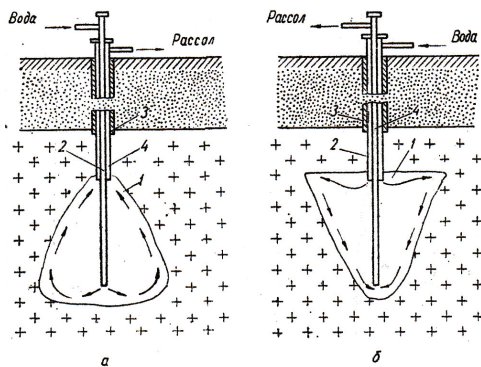


Рис. 3.26. Схема добычи каменной соли прямоточным (а) и противоточным (б) методами:

1 – камера размыва; 2 – водоподъемная колонна; 3 – тампонажный цемент; 4 – рассолоподъемная колонна

При управляемом методе размыва, для получения рассола промышленной концентрации (305–310 г/л) отработка продуктивной толщи ведется в камерах ступенями снизу вверх. К кровле камеры

подается нерастворитель (нефть, керосин, воздух), предохраняющий потолочину от растворения.

Нерастворитель легче рассола, поэтому он находится всегда в верхней части камеры размыва. Рассол под давлением извлекается по рассолоподъемной колонне на поверхность (рис. 3.27).

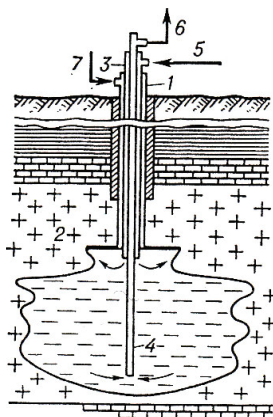


Рис. 3.27. Схема добычи каменной соли управляемым методом растворения:

- 1 – основная колонна; 2 – соляной пласт; 3 – водоподающая колонна;
4 – рассолоподъемная колонна; 5 – водопровод; 6 – рассолопровод; 7 – трубопровод нерастворителя

От скважины по трубопроводам рассол направляется через контрольно-распределительный пункт в резервуар некондиционного рассола, затем транспортируется к потребителю – солезаводу. Растворы, получаемые методом подземного растворения, являются исходным сырьем для извлечения пищевой соли, хлора, соды и других продуктов.

3.3.2. Подземная выплавка серы

Этот процесс основан на применении геотехнологических методов добычи с термическим действием на горные породы, в результате чего полезное ископаемое, в данном случае сера, переходит из твердого состояния в жидкое, то есть происходит процесс плавления. Тепловым агентом в этом случае является горячая вода.

Промышленные скопления серы находятся в известняковых рудах. Глубина залегания известняков с серой находится в пределах от нескольких метров до 450 м и более. Мощность этих пластов составляет от нескольких сантиметров до 20-25 м, содержание серы – от 2% до 30%. В Европе наиболее известные месторождения находятся в Прикарпатье (Украина) и на границе Польши и Украины (Яворивское месторождение).

Для добычи серы на месте залегания используют ее свойство плавиться при температуре $112,8 - 119 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Принципиальная технологическая схема добычи серы методом подземной выплавки показана на рис. 3.28.

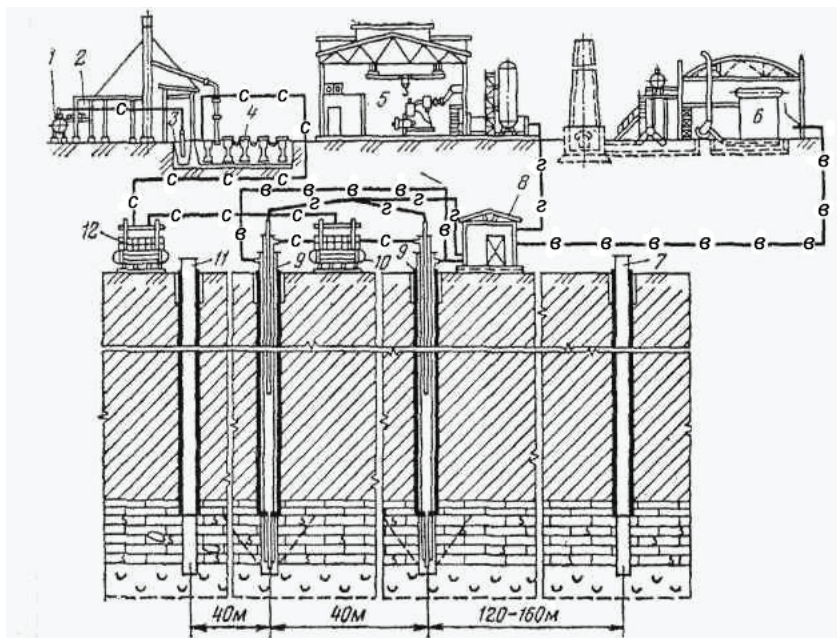


Рис. 3.28. Принципиальная технологическая схема добычи серы методом подземной выплавки:

- 1 – железнодорожная цистерна; 2 – нагружающая эстакада; 3 – насос для жидкой серы; 4 – подогреватели на складе жидкой серы; 5 – компрессорная; 6 – котельная; 7 – водоотливная скважина; 8 – пункт для измерения; 9 – добывающие скважины; 10 – станция переагрузки серы; 11 – отработанная добывающая скважина; 12 – участковая станция переагрузки серы; – с – пути серы; – в – пути воды

Добывающие скважины обсаживают колонной и цементируют их в кровле пласта, содержащего серу. После этого разбуривают весь продуктивный пласт и в скважину опускают три колонны – водоподающую, серную и воздушную диаметрами 168, 89, 34 мм. Горячая вода через фильтр попадает в серную залежь и разогревает серу. Расплавленная сера, как более тяжелая, стекает вниз и по серной трубе поднимается на высоту, равную гидростатическому давлению в пласте. Благодаря подаче сжатого воздуха сера эмульгируется и поднимается на поверхность через серную колонну. В дальнейшем расплавленная сера направляется через отстойные резервуары и фильтры для очистки на склад

готовой продукции. Все коммуникации, в которых циркулирует расплавленная сера, подогреваются.

3.3.3. Подземная газификация угля

К геотехнологии относится также подземная газификация угля (ПГУ). Еще в 1887 г. Д.И. Менделеев, изучая технологию добычи угля и данные о пожарах в шахтах Донбасса и Урала, пришел к выводу о возможности газификации угля на месте его залегания путем сжигания угля под землей и выведения продуктов сжигания на поверхность (посредством скважин) в виде газов для последующего их использования. В 1888 г. он писал: «Настанет, вероятно, со временем даже такая эпоха, что уголь из земли вынимать не будут, а там в земле, его сумеют превратить в горючие газы и их по трубам будут доставлять на далекие расстояния».

И уже в конце XIX века искусственный газ, добываемый из угля, широко использовался для отопления и освещения более чем в 40 странах мира. В настоящее время проявляют интерес к технологии подземной газификации угля в Китае, где в последние годы построено 10 промышленных станций ПГУ. В 2003 году вступила в строй крупная станция в Австралии, ведутся работы в этом направлении в Индии, КНДР, Южной Корее.

Россия обладает передовыми позициями в мире в области ПГУ. В этой стране в течение 40 лет (с 1955 г.) эксплуатировалась Южно-Абинская станция ПГУ. Сегодня в России разрабатываются новые технологии газификации угольных пластов с целью получения горючих газов со значительно большей теплотворной способностью.

Внедрение подземной газификации угля способствует более полному использованию угольных ресурсов и увеличению коэффициента извлечения запасов за счет введения в эксплуатацию некондиционных и многозольных пластов.

Подземная газификация – это получение газа из угля. Та часть пласта, в которой происходит процесс газификации, называется «подземный газогенератор». На рис. 3.29 показана технологическая схема подземной газификации угля, предложенная английским химиком В. Рамзеем.

Важным элементом подземного газогенератора являются каналы газификации, образующиеся по простиранию или по падению пластов. В эти каналы к угольным пластам поступает кислород, подаваемый с поверхности. Входя в канал газификации, кислород прогревается. Двигаясь дальше, он вступает в реакцию с углеродом угля, образуя окись и двуокись углерода. Образованная двуокись углерода, а также водяной пар, поступающий из угольного пласта, обмывают его поверхность и частично возобновляются углеродом до окиси углерода и водорода.

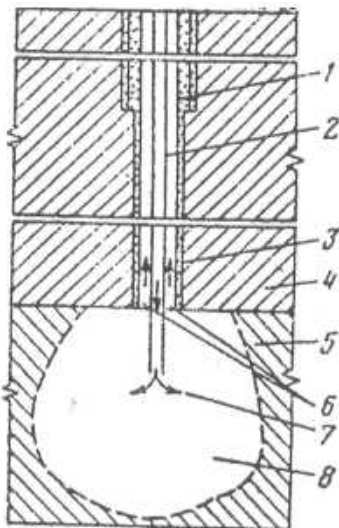


Рис. 3.29. Схема подземной газификации угля (по В. Рамзею):

1 – обсадная колонна; 2 – колонна для дутья; 3 – цементное кольцо; 4 – кровля; 5 – уголь;
6 – газ; 7 – дутье; 8 – загазованное пространство

При последующем движении через канал горючие газы нагревают уголь, в результате чего происходит термическое разложение его горючей массы с выделением летучих составляющих, поступающих в газовый поток. Далее эта смесь, имеющая еще достаточно высокую температуру, обмывает остальную поверхность канала, подсушивая уголь. Таким образом, процесс газообразования в канале газификации условно разделяют на четыре зоны: окисления или горения, возобновления, термического разложения угля и осушения.

Методом подземной газификации угля можно надежно, в любое время года, без применения труда шахтеров под землей, получать энергетический газ в промышленных масштабах и полностью заменить в котельных твердое и жидкое топливо энергетическим газом. Кроме того, коэффициент полезного действия газового топлива на 20 – 25% выше, чем твердого.

Сегодня во многих странах мира работают электростанции на газе, полученном от подземной газификации и создаются горно-энергетические комплексы (рис. 3.30).

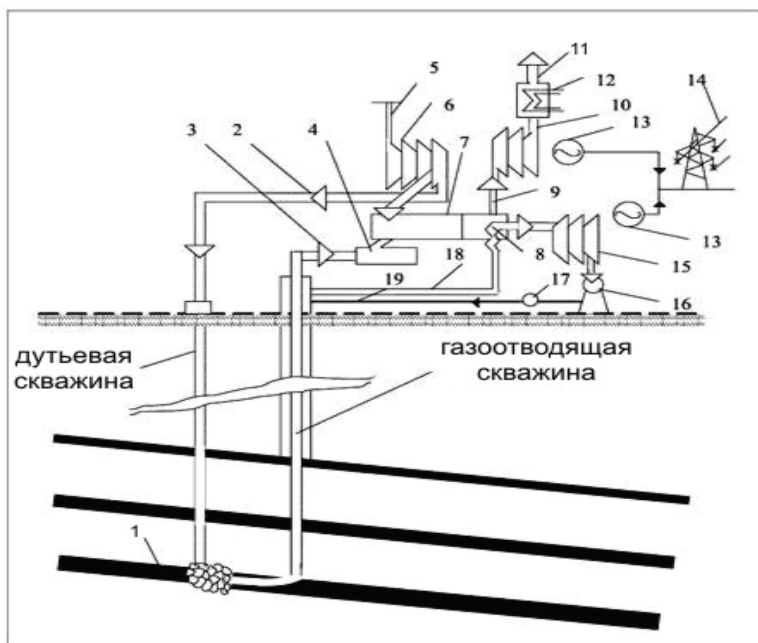


Рис. 3.30. Принципиальная схема автономного горно-энергетического комплекса на базе подземной газификации угля:

- 1 – подземный газогенератор; 2 – сжатый воздух; 3 – низкокалорийный газ; 4 – установка очистки газа; 5 – воздух; 6 – компрессор; 7 – камера сгорания; 8 – паропрогреватель; 9 – дымовые газы с температурой 800-850 °С; 10 – газовая турбина; 11 – вытяжная труба; 12 – экономайзер; 13 – генератор переменного тока; 14 – электросеть; 15 – паровая турбина; 16 – конденсатор; 17 – насос; 18 – пар с температурой 250 °С; 19 – вода

3.3.4. Подземная переработка сланцев

Горючие сланцы используются в качестве энергетического и технологического сырья. Технологическое использование сланцев основано на их свойствах при нагревании выделять значительно больше, чем любой другой вид топлива, высокосортных жидких и газообразных продуктов. Подземная газификация сланцев хорошо отработана в Эстонии, ФРГ, Швеции, США, Канаде.

Эта технология заключается в подготовке подземных камер, бурении скважин и их соединении. Сланцы сначала нагревают посторонним источником энергии, потом нагревание прекращают. Подается воздух и происходит термическое сгорание остаточного углерода и части сланцевой смолы. В процессе переработки можно выделить четыре основных зоны. Первая – зона предварительного нагревания, в которой исходный газ нагревается за счет контакта с горячим отработанным сланцем. Потом газ

проходит ниже, в зону сгорания остаточного углерода (при этом потребляется кислород, который содержится в газе, подаваемом к пласту). Здесь сгорает также часть жидких и газообразных углеводородов. Ниже располагается зона перегонки – термического разложения органических веществ сланца с получением жидких и газообразных углеводородов. В последней зоне газы и продукты сгорания охлаждаются, вода и жидкие компоненты частично конденсируются и стекают на дно, откуда они откачиваются на поверхность.

3.3.5. Подземное выщелачивание полезных ископаемых

Подземное выщелачивание полезных ископаемых – метод добычи руд путем их растворения химическими реагентами в рудном теле на месте залегания с извлечением на поверхность.

Этот метод для добычи цветных металлов известен с XVI столетия. В XX столетии этот метод был освоен в крупных промышленных районах на медных рудниках в Мексике (1924 г.), медноколчедановых рудниках Урала (1939–1942 гг.). В настоящее время он применяется в России, США, Португалии, Австралии, Мексике, Японии, ФРГ и других странах.

При подземном выщелачивании проницаемых рудных тел, месторождение вскрывается системой скважин. В скважины подают растворитель, который фильтруясь по пласту, выщелачивает полезные компоненты. Продуктивный раствор откачивается через другие скважины.

Особенностью месторождений, пригодных для подземного выщелачивания, является наличие минералов, вмещающих металл, способный легко разрушаться рабочим раствором. Вмещающие породы должны быть инертными к рабочим растворам, а руды иметь естественную или искусственную проницаемость. Схема разработки пластового месторождения методом выщелачивания через скважины показана на рис. 3.31.

В практике подземного выщелачивания, в зависимости от состава вещества руд, используют водные растворы минеральных солей, солей карбонатов щелочных металлов и растворители на базе серной кислоты.

С 1957 года подземным выщелачиванием в ряде стран начали разрабатывать месторождения урана. При этом технологический процесс подземного выщелачивания урана проводится в несколько стадий: закисление (осуществляется более слабыми растворами до появления промышленной концентрации урана); обработка руд рабочими растворами; вытеснение растворов из пласта водой (рис. 3.32).

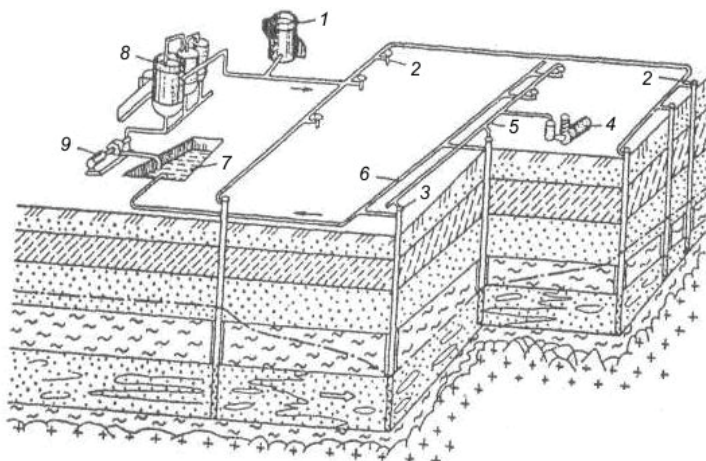


Рис. 3.31. Схема разработки пластового месторождения выщелачиванием через скважины:

- 1 – узел приготовления раствора; 2 – нагнетательная скважина; 3 – дренажная скважина;
 4 – компрессор; 5 – воздухопровод для эрлифта; 6 – коллектор для продуктивных растворов;
 7 – отстойник; 8 – установка для переработки раствора; 9 – насос

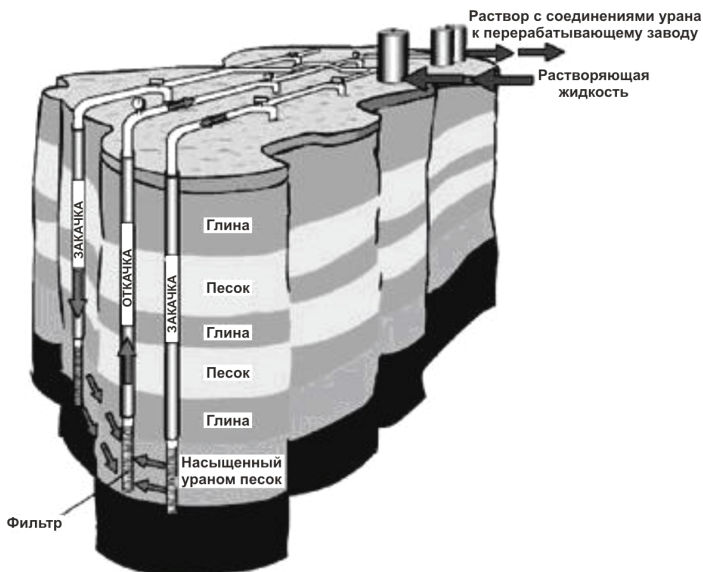


Рис. 3.32. Схема добычи урана подземным выщелачиванием

3.3.6. Добыча полезных ископаемых гидравлическим способом

Способ основан на процессе гидравлического разрушения горных пород, при котором нарушаются связи в горной породе и образуется дисперсная система, в которой дисперсная фаза представлена рудой грубого гранулометрического состава, а дисперсная среда – рабочим агентом (жидкостью). На рис. 3.33 показана принципиальная схема скважинной добычи твердых полезных ископаемых гидравлическим способом.

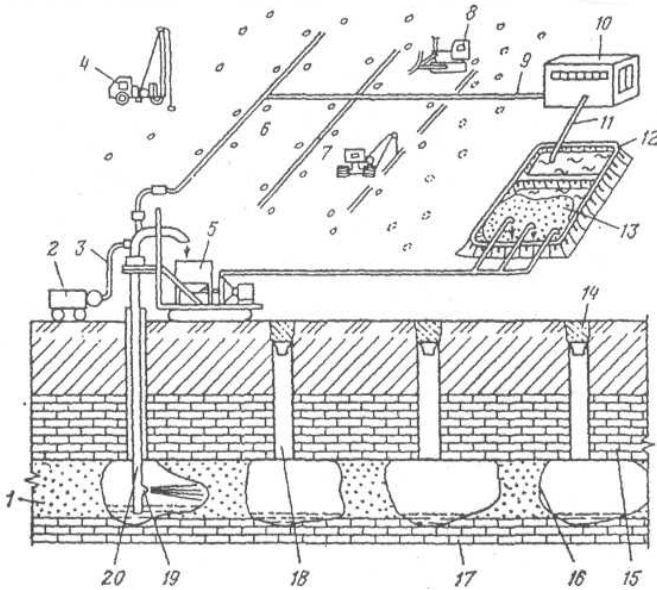


Рис. 3.33. Принципиальная технологическая схема скважинной гидродобычи:

- 1 – рудный пласт; 2 – компрессор; 3 – воздухопровод; 4 – буровой станок;
- 5 – добывающий агрегат; 6 – добывающее поле; 7 – трубоукладчик; 8 – бульдозер;
- 9 – водовод; 10 – насосная станция; 11 – всасывающая станция; 12 – бассейн с водой; 13 – карта намыва руды; 14 – тампонажные трубки; 15 – кровля пласта; 16 – целик;
- 17 – почва пласта; 18 – добывающая скважина; 19 – гидромонитор; 20 – эрлифт

К рудному телу бурятся скважины диаметром 250 – 500 мм.

Способ заключается в приведении руды на месте ее залегания в подвижное состояние путем гидромеханических воздействий и поднятия ее в виде гидросмеси на поверхность с дальнейшим транспортированием на обогатительную фабрику. Наиболее целесообразно разрушать связанные породы струей воды, создаваемой гидромонитором.

Раздел 4

О НЕФТИ И ГАЗЕ

Из предыдущего раздела мы с вами узнали о том, как под землей добывают твердые полезные ископаемые: уголь, железную руду, цветные и драгоценные металлы, каменную и калийную соли, строительные материалы. Но Земля прячет в своих недрах и жидкие и газообразные сокровища – нефть и газ.

Нефть – это подарок природы людям. Сегодня – это пока основное энергетическое богатство. В начале XX века о нефти говорили, что «тот, кто будет владеть нефтью, тот будет владеть миром». Это высказывание не потеряло своего значения и по сегодняшний день.

Горит свет, льется из крана горячая вода, движутся машины, плывут пароходы, летают самолеты и направляются ввысь ракеты и космические корабли. И все это связано с нефтью и газом (рис. 4.1).

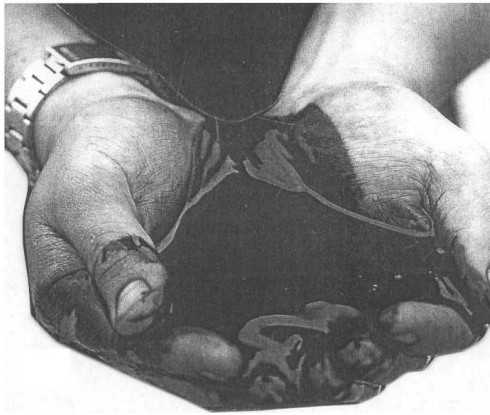


Рис. 4.1. Вот оно «черное золото» Планеты

4.1. Нефтегазовая хронология

История нефти и газа на Земле началась в те далекие периоды, когда в недрах нашей планеты начали формироваться месторождения углеводородов. Из темной пещеры ледникового периода отправился человек в длинный путь через страны и континенты в поисках света и энергии.

Известно, что более чем 5 000 лет тому назад, в одном из древних государств, шумеры использовали естественный битум в качестве связывающего материала при кладке кирпича и смолении лодок. Находка в

долине Инда, где цивилизация существовала в III – II тысячелетиях до н.э., указывает на то, что битум применялся для обеспечения водонепроницаемости бассейнов в селении Махенджо-Даро, расположенном в Шумере.

О битуме и его применении вспоминается в Библии. Так, при строительстве Вавилонской башни, сооружение которой относится ко II тысячелетию до н.э., применяли битум для связывания кирпича.

А вот другой пример. Согласно Библейскому писанию, для спасения от Всемирного потопа Бог дал совет Ною, чтобы тот сделал ковчег из дерева и обработал его внутри и с внешней стороны смолой.

Есть все основания говорить о том, что битум добывался в районе Мертвого моря. Как свидетельствует Библия, смолу добывали в ямах. Когда цари Содомы и Гоморры проиграли бой и вынуждены были убежать, эти ямы стали их могилами. О битуме знали и в Древнем Египте. Его использовали для смоления лодок, которые строились из камыша (рис. 4.2).

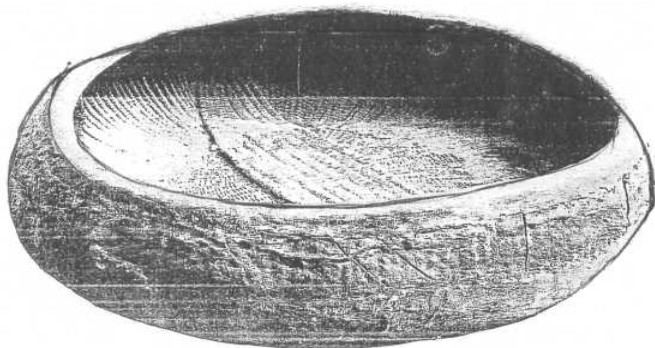


Рис. 4.2. Так выглядела лодка из тростника, обмазанная битумной смолой

Интересно и следующее: мать младенца Моисея, для того, чтобы его спасти, взяла корзину, сплетенную из камыша, осмолила ее асфальтом и смолой, положила туда младенца и поставила в камыши на берегу реки.

В Древнем Египте асфальт применяли для бальзамирования мумий и в качестве лекарственных средств.

О нефти хорошо знали и на Ближнем Востоке. В этих сейсмических регионах она постоянно вытекала из разломов, трещин в слоях горных пород и накапливалась в естественных углублениях. Окисляясь, она постепенно превращалась в густую массу, которую называли горной смолой, битумом, асфальтом. В Египте пол в хранилищах для зерна покрывали битумом для защиты от влаги и крыс.

В древние времена асфальтом скрепляли каменные стены в Урарту, Персии, Хорезме, Вавилоне и во многих других странах. В Вавилоне и Египте асфальтом заливали пол, в Персии из него лепили посуду и скульптуры и даже скрепляли драгоценные камни в украшениях.

За многие века до “нефтяной лихорадки”, страны Древнего Востока пережили настоящий “асфальтовый бум”, вызванный крупномасштабным строительством храмов (рис. 4.3), дворцов, дорог и других сооружений. И все потому, что асфальт был буквально под ногами.



Рис. 4.3. Ворота храма богини Иштар в Вавилоне, сооруженные около 570 г. до н.э. из глазурованных кирпичей, скрепленных асфальтом

В древние времена главное применение нефти – освещение и отопление. При раскопках египетских храмов были найдены светильники, заполненные битумной массой, напоминающей нефть. Иногда контакт с нефтью имел трагические последствия. В памяти человечества сохранились катастрофы, связанные с нефтью. По данным ученых, извержение грязевого вулкана и нефтяной пожар, стали причиной гибели библейских городов Содома и Гоморры.

В Вавилоне (VI в. до н.э.) нефть была известна, она использовалась для отопления и не вызывала у местных жителей никакого священного страха.

На Ближнем Востоке, вследствие дефицита дерева, местные жители были вынуждены пользоваться для освещения и обогрева помещений нефтяными светильниками и печами. Издавна нефть использовалась в

качестве лекарственных средств, греческие и византийские писатели называли ее «фармакон», то есть «лекарство». У знаменитого греческого врача, основателя античной медицины Гиппократата, было много рецептов лекарств, изготавливаемых из смеси нефти с разными веществами.

Лечились нефтью и коренные жители Южной Африки. Европейцы также знали о целебных свойствах «каменного масла». Нефть, которую добывали в Тегернском озере в Баварии, называли «маслом святого Квирина» и применяли против многих заболеваний.

И невзирая ни на что, в течение тысячелетий нефть оставалась для наших предков «каменной смолой», «горячей живой водой», а газ – «вечным» и «священным» огнем, «духом демонов».

До конца Средневековья человек почти не добывал нефть в современном понимании этого слова, а только собирал ее в местах естественных выходов. Чаще ее собирали на поверхности воды, где она накапливалась. Примитивный способ сбора нефти на поверхности в местах обнажения нефтеносных пород сохранился у некоторых народов почти до XIX века.

Со времен античности появился новый способ добычи «горного масла» (как называли нефть) с помощью неглубоких ям. Впервые о добыче нефти с помощью ям ученые узнали во время раскопок в Крыму в 1957 г. на Керченском полуострове, когда на метровой глубине археологи нашли 15-литровую глиняную амфору с нефтью, возраст которой был 2 000 лет.

Ямы для добычи нефти были и в других нефтеносных районах Ирака, Ирана, Средней Азии, Азербайджане. Постепенно, по мере потребления нефти, ямный способ добычи был заменен колодезным (рис. 4.4).

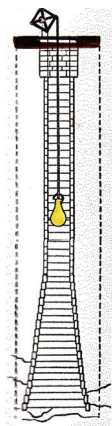


Рис. 4.4. Вертикальный разрез нефтяного колодца на Бакинских промыслах, из которого нефть добывалась ручным способом

Для вычерпывания нефти над колодезем устанавливали ручной коловорот. Стенки неглубоких колодезем обкладывались камнями. Форма колодезем была круглая или квадратная.

Разработка нефтяных месторождений в Европе в XVII – XVIII вв. также велась кустарным методом, путем собирания и вычерпывания нефти из ям и колодезем. Кустарным методом добывали нефть в Германии в княжествах Брауншвейг и Ганновере, а нефтяные залежи в Витце эксплуатировались еще с 1670 года.

В XVII в. нефть начали добывать в Польше. Кустарным методом добычу нефти вели крестьяне Прикарпатья и некоторые монастыри. В 1885 году в Галиции эксплуатировалось около 3 500 нефтяных колодезем с ежегодной добычей нефти 50 тыс. тонн. Еще в 1771 году на территории Надвирнянского района Ивано-Франковской области (Украина) был основан первый нефтяной промысел, но примитивные методы добычи удовлетворяли лишь скромные потребности крестьян.

Положение изменилось лишь после 1852 года, когда польский провизор из Львова Игнат Лукасевич разработал способ перегонки нефти и изобрел керосин и керосиновую лампу. Это в значительной степени стимулировало поиски нефтяных месторождений с применением более прогрессивных методов бурения в Галичине. В 1886 году было открыто крупное на то время в Европе Бориславское месторождение на Львовщине, из которого в 1909 году было получено около 2 млн. тонн нефти (рис. 4.5).



Рис. 4.5. Нефтяные промыслы в Галиции

Добывалась нефть и на территории Азербайджана, особенно на Апшеронском полуострове. В России первые разработки нефти были осуществлены в районе р. Ухта. Первые шаги к освоению нефтяных месторождений Сибири были предприняты русскими промышленниками в середине XVII ст.

В 1859 году открытием промышленной нефтедобычи в Пенсильвании (США) началась настоящая эпоха нефти. Добыча нефти и возрастание добычи приняли невероятно быстрые темпы. Если в 1860 году во всем мире было добыто всего 72 тыс. тонн нефти, то к 1900 году эта цифра выросла до 20,5 млн. тонн, а к 1924 году – до 57 млн. тонн.

В этот период совершенствовались методы бурения скважин: ударное бурение постепенно заменялось на ударно-поворотное и роторное, для добычи применялись глубинные насосы. Значительные изменения произошли и в отрасли хранения и транспортировки нефти. На смену деревянным бочкам пришли канистры и железные цистерны, затем – нефтеналивные танкеры. До 1914 года 60% нефти, продаваемой в мире, перевозилась нефтеналивными судами. В 1865 году был построен первый деревянный нефтепровод, в 1879 году – металлический. До 1914 г. общая протяженность нефтепроводов в мире достигла 30 тыс. км, почти все они находились в двух крупных нефтедобывающих странах – США и России. С 1895 по 1903 гг. Россия занимает первое место в мире по добыче «черного золота».

В конце XIX века началась промышленная добыча природного газа, связанная с использованием его в промышленности и быту.

В период между Первой и Второй мировыми войнами нефть продолжала оставаться одним из главных звеньев мировой экономики. Начала развиваться нефтехимия. Расширилась география добычи нефти – в этот период были открыты мощные нефтяные месторождения в таких регионах, как Ближний Восток, Мексика, Венесуэла и Волго-Уральский район (Россия). Мировая добыча нефти достигла в 1945 году отметки 430 млн. т. После Первой мировой войны в США добывалось 67% мировой нефти.

Роль нефти, которая стала особенно заметной в годы Второй мировой войны, еще больше выросла в послевоенный период, когда развитые страны приступили к масштабному восстановлению и реконструкции экономики. Сначала в США, а затем и в Западной Европе, наступил промышленный подъем, сопровождавшийся значительным ростом потребления энергоресурсов.

С 1945 по 1960 гг. мировая добыча нефти увеличилась с 430 до 1 026 млн. тонн, природного газа – с 173 до 478 млрд. м³.

Во всех регионах мира проводились активные поиски месторождений углеводородов. Общие запасы нефти за этот период выросли в 3,5 раза, прежде всего, за счет Ближнего Востока.

Быстрому росту объемов добычи нефти после 1945 г. способствовало внедрение турбинного, электрического и других методов бурения, разработка морских месторождений с платформ.

В США в 1960 г. на морском шельфе добывалось почти 15% нефти. В СССР морское бурение начало осуществляться в 1949 г. на уникальном месторождении Нефтяные Камни на Каспии.

В 1950 году в мире началось широкое практическое использование природного газа в промышленности и быту. В 1950 году доля газа в мировом энергетическом балансе составила 9%, в 1960 г. она увеличилась до 14%.

В 50-х годах XX века были открыты и сданы в эксплуатацию месторождения нефти в Украине: Полтавской, Сумской, Харьковской и Черниговской областях. Если в конце 50-х годов XX века добыча нефти в восточных областях составляла 7% от общей добычи в Украине, то к 1965 году она достигла 72%.

Период 1960-1990 гг. характерен неуклонным повышением уровня добычи нефти в мире. За это время были открыты крупные нефтяные месторождения в СССР (Западной Сибири, Прикаспии, на Европейском Севере). Открытие новых нефтяных и газовых месторождений в Украине за этот период дало возможность получить в 1972 г. максимальную годовую добычу нефти в объеме 14,4 млн. тонн, газа 68,7 млрд. м³.

В 90-х годах XX в. газ из России начал экспортироваться в страны Западной Европы, что дало возможность ряду стран обеспечить одну треть своей потребности. Были открыты мощные месторождения в акватории Северного моря, Мексике, Австралии и в других регионах. В результате, доля стран ОПЕК в мировом экспорте снизилась с 75% до 45%.

Последнее десятилетие XX века мировая нефтегазовая отрасль начала с проблем: первая – истощение запасов углеводородов на существующих месторождениях, вторая – зависимость развитых стран от экспорта нефти и газа из Ближнего Востока и других политически нестабильных регионов.

Рядом с увеличением потребления углеводородов наметился спад добычи нефти и газа в СССР и странах Восточной Европы. Потребление нефти и газа за десятилетие выросло с 3 137 до 3 510 млн. т, газа – с 2 007 до 2 405 млрд. м³.

Однако были открыты новые нефтегазовые месторождения в Канаде, Венесуэле, Аргентине, Катаре, Анголе.

Нефтяные месторождения разрабатываются в 96 странах мира.

Осваиваются акватории морей и океанов. 35 стран ведут добычу нефти и газа на морских шельфах, при этом в 1998 г. объем нефти составлял 37% мировой добычи, газа – 28%.

В начале третьего тысячелетия нефть и природный газ, как и ранее, остаются основой энергетики почти всех стран мира. Это наглядно видно из табл. 4.1. Сжигая уголь, нефть и газ, люди используют вековые запасы энергии, полученной от Солнца в недрах Земли в виде угольных, нефтяных и газовых месторождений. Но эти запасы не вечны, потому что темпы их добычи и использования постоянно растут.

Таблица 4.1. Доля отдельных источников энергии в мировом энергобалансе (%)

Периоды	Мускульная энергия человека	Органические вещества	Древесина	Уголь	Нефть	Природный газ	Водная энергия	Атомная энергия
5000 до н.э.	100	—	—	—	—	—	—	—
2000 до н.э.	70	25	—	—	—	—	—	—
1000 до н.э.	10	20	5	—	—	—	—	—
1900		16	70	—	—	—	—	—
1935		13	16	65	3	—	—	—
1972			8	55	16	3	5	—
2000			10	32	34	18	5	1
2002			1	28	43	19	4	5

Мировое потребление нефти, согласно прогнозам, не уменьшится. Наибольшими темпами будет расти потребление природного газа. До 2025 года оно почти удвоится и вырастет до 4,9 трлн. м³. Однако наука не стоит на месте. В энергетику в XXI веке будут включаться новые технологии, новые источники энергии, находящиеся в недрах Земли.

4.2. Как добывают нефть и газ?

Прошли столетия, когда человек добывал нефть из ям и колодцев. Сегодня нефтяные и газовые месторождения залегают глубоко под землей в разных геологических структурах и, чтобы добраться к ним, нужно бурить скважины.

4.2.1. Бурение скважин

Бурение скважин – это единственный способ поиска, разведки, прироста запасов и добычи нефти и газа. Скважиной называют цилиндрическую горную выработку большой длины и малого (в сравнении с длиной) диаметра, сооружаемую с помощью специальных инструментов и механизмов. Начало скважины на поверхности называют устьем, а дно –

забоем. Там, где должна буриться скважина, оборудуется буровая вышка с комплексом механизмов и оборудования (рис. 4.6).

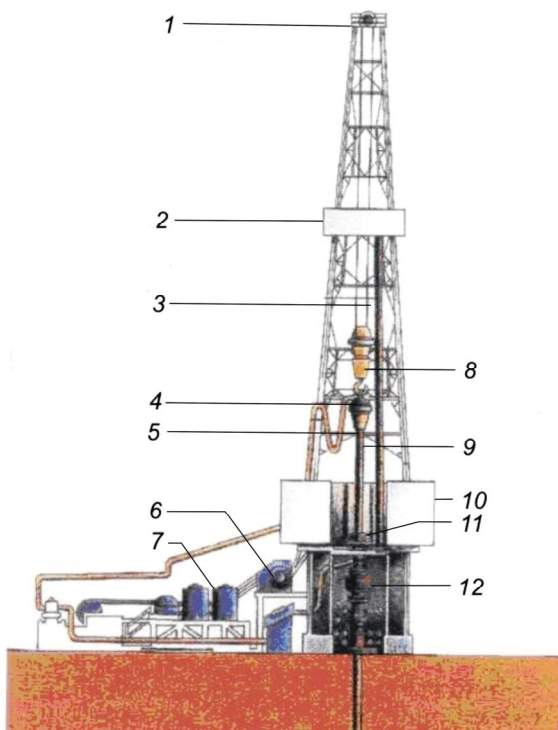


Рис. 4.6. Схема буровой вышки:

1 – кран-блок; 2 – буровая площадка; 3 – буровые трубы; 4 – промывочная головка; 5 – грязевой промывочный шланг; 6 – лебедка; 7 – привод; 8 – талевая система; 9 – ведущая бурильная труба; 10 – индикатор веса; 11 – роторный стол; 12 – заслонка

Скважины выполняют широкую гамму функций: открытие новых месторождений и новых залежей, изучение геологического строения, условий залегания пластов, оконтуривания месторождений, эксплуатация месторождений на полностью подготовленных площадях.

Важными функциями скважин являются также захоронение промышленных отходов, ликвидация открытых фонтанов нефти и газа, подготовка структур для подземных хранилищ газа. Эти функции выполняют специальные скважины.

Как мы с вами узнали, чтобы начинать добычу нефти или газа нужно провести большую подготовительную работу, связанную с оборудованием буровой площадки, самой буровой и бурением скважины.

Существуют разные способы бурения скважин, зависящие от принципа разрушения горных пород: механический, гидродинамический, термический, электрофизический и химический.

Основной способ бурения – механический. При этом способе горная порода разрушается механическим действием породоразрушающего инструмента. Механические способы бурения включают в себя: ударное бурение, когда горная порода разрушается периодическим действием ударов породоразрушающего инструмента; вращательное бурение – когда горная порода разрушается за счет непрерывного вращения породоразрушающего инструмента с прилагаемой к нему осевой нагрузкой; и ударно-вращательное бурение – при котором горная порода разрушается за счет непрерывного действия ударов и вращения породоразрушающего инструмента.

Наиболее широкое промышленное применение при сооружении нефтяных и газовых скважин нашли способы вращательного бурения. Ударное и ударно-вращательное бурение используют, в основном, при бурении неглубоких скважин.

Вращение породоразрушающего инструмента осуществляется приводом. В зависимости от привода различают роторный способ бурения и бурение с помощью забойных двигателей (турбобуров, электробуров).

При роторном бурении породоразрушающий инструмент вращается вместе с бурильной колонной с помощью роторного механизма бурового станка. Роторный способ бурения с промыванием забоя циркулирующим потоком жидкости широко распространен в мировой практике. Этот метод бурения впервые был применен в США в 1905 году. Он постоянно совершенствуется.

Турбинный способ бурения скважин был разработан в СССР. В 1923 году М.А. Капелюшников создал турбобур с одноступенчатой осевой турбиной и уже в 1924 году в Азербайджане была пробурена первая скважина с помощью этого турбобура. Позже были созданы многоступенчатые турбобуры.

Турбинный способ бурения более прогрессивный, чем роторный, поскольку бурильная колонна не вращается, что обеспечивает высокий коэффициент передачи мощности от источника энергии (турбины) к породоразрушающему инструменту.

Следующим этапом в совершенствовании процессов бурения была разработка конструкции забойного двигателя – электробура, разработанного в 1937–1940 гг. в СССР А.П. Островским, Н.Г. Григорьяном, А.А. Богдановым.

Преимущества электробуров по сравнению с гидравлическими забойными двигателями (турбинами) – независимость параметров режима

бурения, возможность контроля процесса работы двигателя с поверхности, наличие электрического канала связи между забоем скважины и поверхностью.

Рядом с механическими методами бурения разрабатывались и исследовались другие методы. Перспективным считается термический способ, при котором горная порода разрушается тепловым действием с помощью лазеров. Лазеры – это квантовые генераторы в оптическом участке спектра, работающие по принципу излучения. Активными веществами в лазерах могут быть разные диэлектрические кристаллы, стекло, газы, полупроводники, плазма. Большая мощность лазеров с высокой плотностью излучения достаточна для расплавления горных пород.

Какие же виды работ включает бурение скважин? Все виды работ разделяются на группы:

1. Подготовительные работы по монтажу бурового оборудования (планирование и обустройство площадки под буровые, сооружение подъездных дорог, проведение водопровода, электролинии, телефонной связи, обеспечение буровой бурильными трубами, оборудованием, инструментами).

2. Монтаж буровой вышки, бурового оборудования и наземных сооружений.

3. Подготовительные работы для бурения скважин (установление направления оснастки талевой системы, проверка и испытание бурового оборудования, приготовление бурового раствора).

4. Бурение скважин, крепление их стенок и разграничение пластов.

5. Испытание продуктивных горизонтов, освоение скважин и сдача их в эксплуатацию.

6. Демонтаж бурового оборудования.

Основным заданием буровых работ является доведение скважин до проектной глубины и выполнение всех технических частей проекта. Трубы, которые соединены и принимают участие в процессе бурения, называются колоннами. Первая колонна, устанавливаемая в горловине скважины, является направляющей. Она устанавливается строго вертикально, ее высота составляет 5 – 10 м. Заколонное пространство цементируется. Первая колонна предназначена для направления потока бурового раствора, используемого для разрушения и выноса выбуренной породы из скважины в желобную систему, она также оберегает скважину от размыва потоком раствора.

Следующей колонной является кондуктор, опускаемый в скважину в зависимости от геологической обстановки на глубину 100 – 500 м. Он предназначен для предотвращения загрязнения питьевых водных

горизонтов фильтратом бурового раствора и защиты скважины от возможных осложнений.

За кондуктором в скважину опускается эксплуатационная колонна. Такая конструкция скважины считается одноколонной.

При сложных условиях залегания пластов и прочности горных пород в скважину могут опускаться, кроме эксплуатационной, две и более промежуточные (технические) колонны. Тогда конструкции считаются дву- триколонные и более.

Горная порода при бурении разрушается породоразрушающими инструментами – буровыми долотами (рис. 4.7, а).

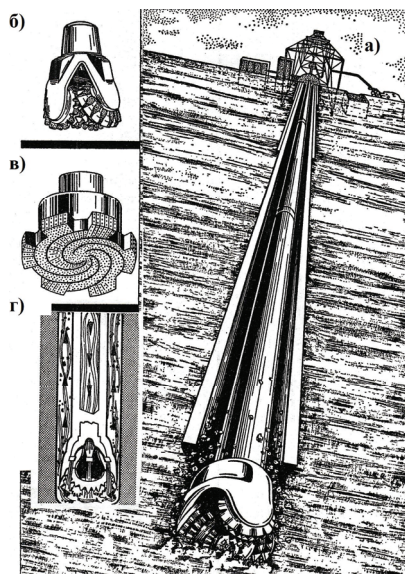


Рис. 4.7. Технологические элементы бурения скважин:

а) – разрушение породы при бурении; б) – буровое долото шагочесного типа; в) – долото алмазное; г) – подача бурового раствора в забой скважины

При взаимодействии долота и породы образуется цилиндрическая горная выработка. Долото вращается при осевой нагрузке на забой вместе с бурильной колонной (при роторном бурении), или вместе с валом забойных двигателей (турбобуров, электробуров). В зависимости от прочности горных пород, хрупкости, абразивности используются разные типы буровых долот (рис. 4.7, б, в).

Мы уже упоминали о том, что в скважину во время процесса бурения подается буровой промывочный раствор (рис. 4.7, г). К нему предъявляются определенные требования: способствовать разрушению

пород, очистке забоя и транспортировке породы на поверхность, поддержанию прочности стенки скважины, невозможности процесса осадения обломков породы в стволе скважины.

Буровые растворы могут быть разного состава и изготовлены на разных основах: водной, нефтяной и газообразной. В состав буровых растворов входят естественные минералы (глины, гидрослюда), а также различные химические реагенты.

Современная техника позволяет применять разные виды бурения в зависимости от технических и геологических условий: вертикальное, наклонно-направленное, горизонтальное, кустовое, бурение на акваториях (морское бурение). Наиболее распространенным видом бурения является бурение вертикальных скважин. За последние годы распространение получает и горизонтальное бурение, вызванное интенсификацией добычи нефти, повышением нефтеотдачи пластов, уменьшением количества скважин. Первые скважины такой конструкции были пробурены в СССР в 1941 г. С 70-х годов прошлого века этот метод интенсивно развивается.

В связи с освоением морских нефтегазовых месторождений получило широкое внедрение бурение на акваториях. Для этого сооружаются дамбы, эстакады и платформы, погруженного или полупогруженного типов. На таких сооружениях монтируется буровая вышка с оборудованием для бурения скважин разной глубины и разного назначения (рис. 4.8).



Рис. 4.8. Буровая платформа на море

Впервые морское бурение было внедрено в 40-х годах XX века в районе острова Артем (Азербайджан). Перспективы этого вида бурения предопределены значительными запасами нефти и газа в шельфовых зонах.

Сегодня в мире насчитывается более 200 шельфовых бассейнов, где до этого времени не проводились поисково-разведочные работы на газ и нефть. По геологическим прогнозам в шельфовых зонах Черного и Азовского морей сосредоточено около 60% разведанных запасов нефти и газа в Украине.

По окончании бурения скважины проводится комплекс работ по ее исследованию геофизическими и гидродинамическими методами. Геофизическими методами изучается геологический разрез скважины, поиск производительных горизонтов, изучается техническое состояние скважины. Гидродинамическими методами изучаются характеристики пластов-коллекторов, а именно, эффективная толщина пластов, границы их распространения, коллекторские параметры пластов, их температурный режим, физико-химические параметры пластовых флюидов.

Таким образом, скважина пробурена, исследована и далее ее сдают в эксплуатацию.

4.2.2. Методы добычи нефти и газа

Когда скважина пробурена, ее устье оборудуют колонной головкой, назначение которой – обеспечение необходимой герметизации затрубного пространства между эксплуатационной и промежуточной колоннами, удержание в подвешенном состоянии насосно-компрессорных труб, находящихся в скважине. Колонная головка монтируется на весь период эксплуатации. Опущенные в скважину насосно-компрессорные трубы, предназначены для поднятия нефти и газа на поверхность. В зависимости от способа эксплуатации скважин эти трубы называют фонтанными, компрессорными, насосными и подъемными. Насосно-компрессорные трубы имеют диаметр от 33 до 104 мм при толщине стенок от 4 до 7 мм. Длина труб от 5 до 9,5 м. Трубы имеют на конце резьбу и соединяются с помощью специальных резьбовых муфт.

Рассмотрим способы эксплуатации нефтяных скважин.

Процесс эксплуатации нефтяных скважин заключается в поднятии нефти от уровня продуктивных пластов на поверхность земли. На практике эксплуатация нефтяных скважин производится тремя способами: фонтанным, газлифтным и насосным (механическим). Выбор способа эксплуатации определяется пластовым давлением. Пластовое давление – это давление, под которым находится нефть на нефтяных месторождениях в тонких каналах – капиллярах.

Фонтанный способ добычи нефти был широко распространен в XIX веке. Долгое время он не нуждался в дополнительных технических средствах. Нефть била фонтаном из скважины, образуя нефтяные озера. Это приводило к большим потерям нефти, наносило вред

окружающей среде, иногда приводило к пожарам на нефтепромыслах (рис. 4.9).

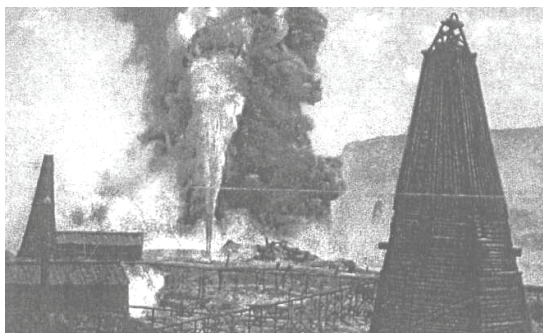


Рис. 4.9. Нефтяной фонтан и пожар на нефтепромысле

С годами нефтяники научились руководить нефтяными фонтанами и укротили энергию пластового давления. При этом способе на колонную головку скважины монтируют фонтанную арматуру, предназначенную для контроля и регулирования режима эксплуатации нефтяной скважины. Фонтанную арматуру называют «елкой» за подобие ее контура с елкой. Задвижки, установленные на ветвях фонтанной елки, дают возможность направить поток нефти из скважины в одну или другую линию промыслового трубопровода. В случае необходимости можно перекрыть подачу нефти из скважины. Фонтанная арматура выпускается на давление 70 и 105 МПа. Для контроля давления на устье скважины на фонтанной елке устанавливают манометры.

Когда уровень пластового давления является недостаточным для поднятия нефти на поверхность, переходят к механизированным способам эксплуатации нефтяных скважин – газлифтному или насосному.

Газлифтную эксплуатацию нефтяных скважин осуществляют путем закачивания в скважину газа (или воздуха) с поверхности под давлением, создаваемым газлифтными компрессорными станциями. При этом, пластовое давление дополняется давлением сжатого газа и происходит искусственное фонтанирование нефтяной скважины.

Насосный способ добычи нефти применяют после прекращения фонтанирования скважины и снижения уровня нефти в скважине к пределу, когда использование газлифтного способа эксплуатации является неэкономичным. Насосная эксплуатация скважин осуществляется с применением насоса. При насосном способе используют разные типы насосов: штанговые, погружные. Наиболее часто применяют штанговые скважинные насосы (рис. 4.10).



Рис. 4.10. Общий вид насосного способа добычи нефти

Установка включает штанговый насос и станок-качалку, которая является приводом установки. Штанговые насосы имеют определенные недостатки. Основной из них – ограниченность глубины и малая выдача нефти из скважины (от 0,5 до 50 т/сут.). Наиболее экономичными и эффективными являются погружные центробежные электронасосы. Это насосы с приводом от электродвигателя, размещаемые вместе с электродвигателем в скважине на необходимой глубине (рис. 4.11).

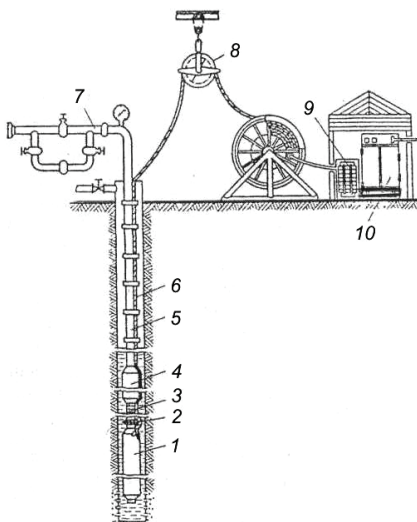


Рис. 4.11. Установка погружного центробежного электронасоса:

- 1 – погружной электродвигатель; 2 – протектор; 3 – фильтр-сетка; 4 – центробежный насос;
 5 – подъемные трубы; 6 – бронированный кабель; 7 – устьевая арматура; 8 – кабельный барабан; 9 – автотрансформатор; 10 – станция управления

Погружные насосы подвешивают на насосно-компрессорных трубах, в последнее время – на специальных кабельных канатах. Насосы обеспечивают подачу нефти от 40 до 700 т/сутки. Для эксплуатации скважин с аномальными условиями (высокой температурой и вязкостью, большим содержанием газа и песка) используют насосно-эжекторные установки. В Украине разработчиком таких установок является Ивано-Франковский Национальный технический университет нефти и газа.

Разработка нефтяных месторождений не обошлась и без шахтного метода. Впервые этот метод в промышленных масштабах нашел применение во Франции (Эльзас). Здесь в 1917 году на Пешембронском месторождении началась добыча нефти из дренажных штреков. На начало 1920 года таким методом здесь было добыто 295 тонн нефти. В 1930 году в этом районе были построены три шахты на глубине 150–250 м с длиной горных выработок около 100 км.

В 1920 году началась шахтная добыча нефтяного месторождения около Ганновера (Германия), в 1930 году на месторождении Сарата-Монтеору (Румыния).

В Германии добыча нефти велась с помощью дренажных штреков, в Румынии с помощью галерей. На рис. 4.12 показаны элементы шахтной добычи нефти. Перпендикулярно главной галерее проходились поперечные галереи. Нефть стекала по канавам галереи. В галерее в нефтяном пласте на расстоянии 10 м один от другого выкапывали колодцы (рис. 4.12, а). Нефть откачивалась из них с помощью ручных насосов в общий жолоб из разрезанных стальных труб.

В 1932 году был применен комбинированный способ шахтной эксплуатации, заключающийся в том, что из забоев поперечных галерей бурились горизонтальные скважины с применением вращательного метода (рис. 4.12, б).

Более известна в мире система Райта (рис. 4.12, в), суть которой заключается в прокладке шахты через всю толщу продуктивных пластов и бурении длинных радиальных скважин во всех направлениях для дренирования отдаленных участков пласта. Добытая нефть собирается в коллекторе и откачивается на поверхность. Скважины бурятся диаметром 50–75 мм и длиной – 800 м.

Шахтным методом ведется добыча нефти в России на Ярегском месторождении (Республика Коми), которое разрабатывается с середины 30-х годов прошлого столетия. Шахтная добыча нефти возможна лишь в условиях низких пластовых давлений.

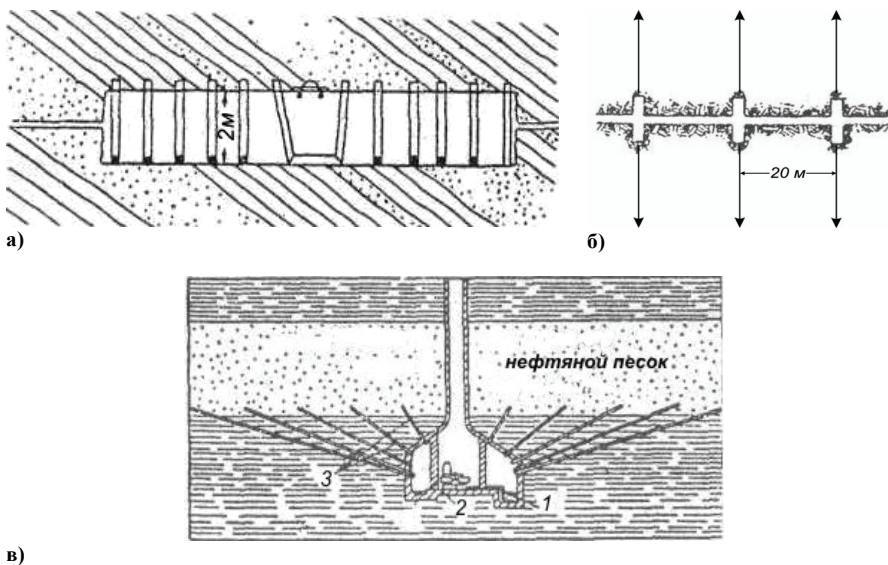


Рис. 4.12. Схема шахтной добычи нефти:

а) – профиль галереи, б) – поперечные галереи с горизонтальными скважинами; в) – схема добычи по Райту: 1 – коллектор для нефти; 2 – насосы; 3 – пробуренные наклонные скважины

Далее ознакомим читателя с методами добычи газа и газового конденсата.

Газовые месторождения разделяются на две группы: чисто газовые и газоконденсатные. На газовых месторождениях из скважин поступает чистый газ, его называют природным газом. Природный газ состоит в основном из легкого углерода – метана (94–98%), который не конденсируется при изменении пластового давления.

Чистые газовые месторождения встречаются очень редко. В состав газоконденсатных месторождений входят не только легкий углеводород, но и более тяжелые углеводороды парафинового ряда. При этом содержание метана в газе снижается до 70–90% по объему. Углеводороды, тяжелее чем метан, при изменении пластового давления переходят в жидкое состояние (конденсируются), образуя так называемый конденсат.

На многих месторождениях газы вмещают достаточно большое количество сероводорода и углекислого газа, так называемых вредных примесей. Вместе с газом и конденсатом из забоя скважины поступают вода и твердые частицы механических примесей. От твердых и вредных примесей и воды газ очищается в устройствах очистки газа.

Основной метод добычи газа и газового конденсата – фонтанный, поскольку газ в продуктивном пласте имеет достаточно большую энергию, обеспечивающую его перемещение капиллярными каналами пласта к забоям газовых скважин. Как и при фонтанной добыче нефти, газ поступает с забоя к устью скважины по колонне фонтанных труб.

Если газовая скважина эксплуатируется на месторождениях с газами, вмещающими большое количество сероводорода и углекислого газа, возникает необходимость защиты обсадных и фонтанных труб и оборудования от коррозии.

В практике для защиты труб применяют разные методы: применение ингибиторов коррозии, использование в процессе производства труб легированных эрозийно-стойких сталей и сплавов, использование электрохимических методов защиты от коррозии, использование специальных технических режимов эксплуатации оборудования.

4.2.3. Последующий путь нефти и газа

Таким образом, нефть и газ из подземных пластов очутились на поверхности земли. Теперь перед тем, как подать их в магистральные газонефтепроводы, нужно нефть и газ собрать и подготовить к длинному пути от газонефтепромыслов к потребителям.

На всех новых нефтяных промыслах используют централизованную схему сбора и подготовки нефти. От каждой скважины по индивидуальным трубопроводам нефть вместе с газом и пластовой водой поступает на автоматизированные замерные установки (АЗУ). На АЗУ проводят учет точного количества нефти, поступающей от скважин и осуществляют частичное отделение от нефти пластовой воды, нефтяного газа и механических примесей. По этой схеме сбор нефти осуществляется от группы скважин. Выделенный газ направляют газопроводами на газоперерабатывающие заводы (ГПЗ).

Частично очищенная нефть поступает в сборный коллектор и далее на центральный пункт сбора (ЦПС). Преимущественно на одном нефтяном месторождении обустраивают один ЦПС. Но когда разрабатывается несколько месторождений, то на одном из больших обустраивают ЦПС, а на других могут сооружаться комплексные пункты сбора (КПС), где частично проводится обработка нефти.

На ЦПС сосредоточены установки по подготовке нефти к транспортировке, их называют установками по комплексной подготовке нефти (УКПН). Здесь осуществляется обезвоживание, обессоливание и дегазация нефти. После очистки и подготовки, конечного контроля, нефть поступает в резервуары товарной нефти. Затем на главную насосную станцию магистрального нефтепровода, по которому нефти надлежит

пройти длинный путь от нефтепромысла к нефтеперерабатывающему заводу (рис. 4.13), где из нефти будет получено много ценных продуктов и, прежде всего, разные марки бензина.

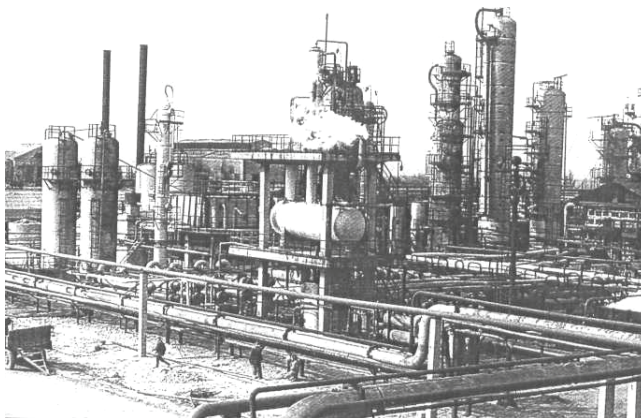


Рис. 4.13. Общий вид нефтеперерабатывающего завода

На газопромыслах каждая газовая скважина соединяется с газосборными коллекторами с помощью газопроводов – шлейфов. На месторождениях с повышенным содержанием сероводорода, газ перед поступлением в магистральный газопровод очищается от сероводорода. После очистки газ поступает на главную компрессорную станцию магистрального газопровода.

Далее путь газа пролегает по магистральным газопроводам к газораспределительным пунктам, на которых происходит снижение давления газа и далее газ поступает на металлургические и химические заводы, электростанции, котельни для отопления предприятий и жилых домов.

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

ПОДЗЕМНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА

Раздел 5

ПОДЗЕМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Мировая практика, современный уровень техники и технологии, позволяют создавать под землей большие полости для размещения энергетических объектов: тепловых, гидро- и атомных электростанций. В таких полостях (камерах), имеющих высоту 10 – 50 м, ширину 15 – 20 м, длину 50 – 250 м, размещают силовые и насосные станции, машинные залы гидротурбинного, гидромеханического и электрического оборудования, реакторы АЭС.

Сегодня во многих странах мира – в Австралии, Канаде, Японии, России, Швеции, Норвегии, Франции, эксплуатируются электростанции, размещенные под землей. Мировой опыт размещения под землей тепловых электростанций незначительный. В основном под землей размещают гидро- и атомные электростанции.

5.1. Подземные гидроэлектростанции

Человечество давно научилось использовать энергию воды, воплощая ее в работу гидроэлектростанций – ГЭС. Запасы воды на земле колоссальные – ведь около $\frac{3}{4}$ поверхности планеты покрыта водой. В 2002 году с помощью ГЭС в мире было выработано 2,6 млрд. кВт/час, что составило около 7,0% общего производства электроэнергии. Расходы на строительство ГЭС большие, но они компенсируются тем, что не приходится платить за источник энергии – воду. Строительство дамб, сети напорных трубопроводов, большие объемы бетонных работ характерны при строительстве ГЭС. Вот почему в мире рядом с наземными ГЭС, строятся и эксплуатируются подземные ГЭС.

Первая подземная гидроэлектростанция была построена в Швеции. В настоящее время наибольшее количество подземных ГЭС имеется в Норвегии – 150, Швеции – 40, что позволило на 53% увеличить энергетический потенциал этих стран. От Швеции не отстала Испания, где на подземных электростанциях производится почти до 30% всей электроэнергии. В России работает пять подземных ГЭС. В середине 90-х годов прошлого века количество подземных ГЭС в мире составляло 350 с общей мощностью $4 \cdot 10^4$ МВт.

Сооружение подземных гидроэлектростанций было большим достижением в горном деле. Появилась возможность применять мощные горные машины, поточную технологию, что обеспечивало более интенсивное ведение горных работ и сокращение сроков строительства подземных сооружений.

В СССР строительство подземных гидроэлектростанций приобрело широкий размах. В основном они сооружались в горных районах и были связаны с большим объемом горнопроходческих работ. Так, при строительстве Ингурской ГЭС (Грузия) объем скальной породы, вынудой во время сооружения, составил – 3,2 млн. м³. На рис. 5.1 показана схема развития горных работ при сооружении машинного зала Ингурской ГЭС.

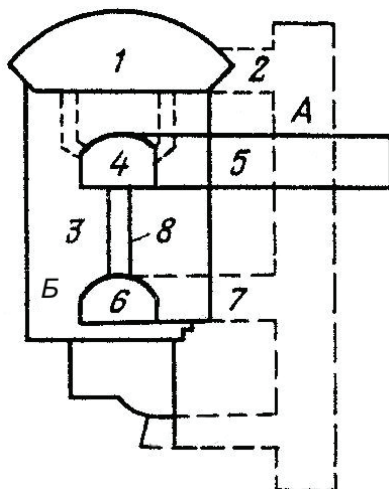


Рис. 5.1. Схема развития горных работ при сооружении машинного зала Ингурской ГЭС:
А – ствол; Б – машинный зал

Сооружение машинного зала проходило в два этапа: сначала разрабатывалась верхняя часть (сводовая), а затем сам зал. Сводовая часть 1 разрабатывалась через горизонтальную выработку 2 и ствол А, центральная часть 3 – через подходную выработку 4 и штольню 5. Нижнюю зону камеры разрабатывали через выработку 6, подходную выработку 7 и ствол А с перепуском породы из уступов по вертикальным выработкам – гезенку 8. Раздробленная порода погрузалась в автосамосвалы и выдавалась через подходную штольню на поверхность.

При сооружении машинного зала Кольмской ГЭС (рис. 5.2) были пройдены горизонтальные подходные выработки.

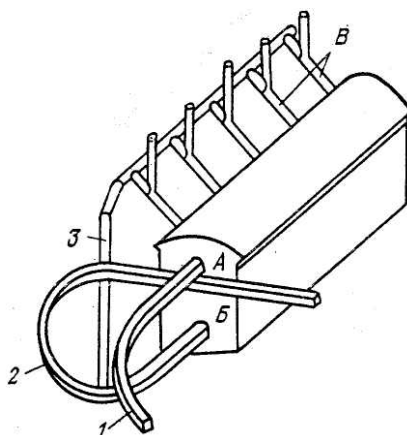


Рис. 5.2. Схема развития горных работ при сооружении Колымской ГЭС:
 А – сводовая часть машинного зала; Б – центральное ядро зала; В – турбинные водоводы;
 1, 2 – подходные выработки; 3 – коллектор

Для разработки сводовой части зала А использовалась подходная выработка 1 с выходом на земную поверхность. Центральное ядро зала Б разрабатывалось через подходную выработку 2 с выходом в нижнюю часть и на поверхность. Далее сооружались турбинные водоводы В, которые были собраны в коллектор 3 и входили в подходную выработку 2.

Схема разработки ядра камеры машинного зала Рогунской ГЭС (Россия) приведена на рис. 5.3.

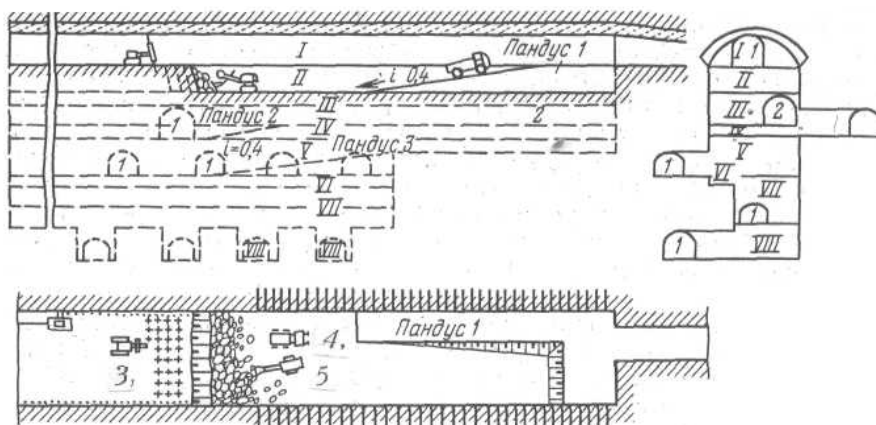


Рис. 5.3. Схема разработки ядра камеры Рогунской ГЭС:
 1 – подходные выработки; 2 – транспортные выработки; 3 – буровая машина; 4 – самосвал;
 5 – экскаватор; I – VIII – уступы

Горные работы проводили в следующем порядке: разработка сводовой части, разработка основной части камеры (ядра камеры). Камера разрабатывалась уступами сверху вниз с последующим обрамлением стенок. Высота уступов изменялась в пределах от 4 до 26 м.

Каждый уступ (I – VIII) связан с подходной выработкой. Разработка уступов проводилась с помощью взрывных работ. При использовании метода уступа поперечное сечение камеры разделялось на отдельные элементы. На строительстве подземных ГЭС в СССР (Нурекской, Чарвакской, Токтогульской и других) разработка камер проводилась способом нижнего уступа. Нижний уступ разрабатывался бурением и взрыванием вертикальных или наклонных скважин. Обустройство забоя верхней части выработки проводилось бурильными молотками, скважины нижнего уступа бурились буровыми установками.

В зарубежной практике применяют разные схемы и методы сооружения камер большого поперечного сечения для подземных сооружений ГЭС. На рис. 5.4 показано размещение подходных выработок машинного зала ГЭС «Боргунд» (Норвегия).

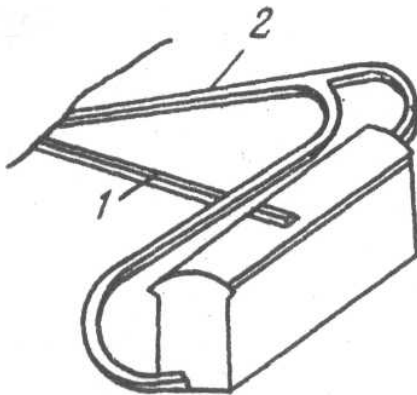


Рис. 5.4. Схема размещения подходных выработок на сооружении машинного зала ГЭС «Боргунд» (Норвегия):

1 – наклонная выработка; 2 – горизонтальная выработка

В машинном зале два строительных подхода: подход 1 в виде наклонной выработки для разработки сводовой части и подход 2, представляющий собой горизонтальную выработку 2, которая имеет петлевую форму в плане с выходом в нижнюю и сводовую части машинного зала.

При строительстве сооружений (камер, тоннелей) для подземной ГЭС особое внимание уделяется сводовой части. В этом случае применяются

разные схемы и определяется поэтапный порядок ведения работ, обеспечивающий стойкость горных выработок.

На рис. 5.5, а показана схема разработки сводовой части машинного зала ГЭС «Ревен» (Франция).

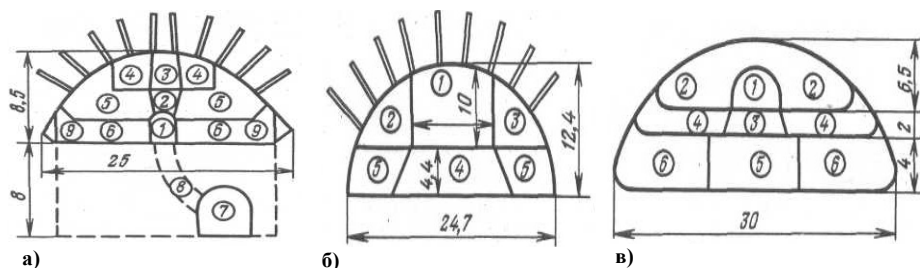


Рис. 5.5. Схемы разработки сводовой части подземных ГЭС:
а) – «Ревен» (Франция); б) – «Черчилл Фолз» (Канада); в) – Вальден – II (ФРГ)

Сводовая часть камеры имеет размеры: высоту 8,5 м, ширину 25 м. Сооружение этой части начиналось с прохождения штольни 1, потом разрабатывалась часть 3 с помощью пандусов 2. Разработка непосредственно сводовой части велась отдельными фазами (4–8). В последней фазе производилась выемка породы в секторе 9. Как временное крепление применялись анкеры длиной 4 м.

При разработке сводовой части 1 машинного зала ГЭС «Черчилл Фолз» (Канада) (рис. 5.5, б) в первую очередь на всю длину камеры проводились выработки площадью поперечного сечения 80 м^2 , затем по очереди боковые проходки 2 и 3 площадью по 60 м^2 . Далее через пандус 4 разрабатывался нижний слой свода 5. Сводовая часть имеет размеры: высота 12,4 м, ширина 24,7 м.

На рис. 5.5, в показана схема разработки сводовой части машинного зала ГЭС «Вальден – II» (ФРГ). Как видно из схемы, нижняя часть свода разрабатывалась в два приема (центральная часть 5 и боковые участки 6).

В Канаде, где ГЭС, в основном, размещаются под землей, размеры выработок достигают значительных размеров. Так, главный зал электростанции Кемано имеет размеры: длину – 342 м, ширину 25,0 м и высоту – 42,0 м, размеры лишь одного трансформаторного зала составляют $256 \times 15 \times 17 \text{ м}$.

Опыт строительства подземных гидростанций в Японии показывает, что сооружение камер больших размеров в скальных массивах начинается с вынимания пород в верхней сводовой части с установлением анкеров и закреплением свода набрызгбетоном. Сама камера послойно разрабатывается сверху вниз с покрытием стен набрызгбетоном и

установлением в них анкеров. После выемки пород в камере от ее днища к кровле устанавливаются бетонные стены.

Широкие перспективы открываются перед подземными гидроаккумулирующими электростанциями глубокого заложения. Они предназначены обеспечить потребителей электроэнергией в «часы пик». Машинные залы этих станций предусматривается размещать в массиве горных пород на глубине около 1 км от поверхности земли.

На такой же глубине оборудуется водохранилище. При избытке электроэнергии мощные насосы будут перекачивать воду на верхний уровень, а при недостатке будут включаться в работу турбины, которые размещены на глубине. Таким способом можно будет добиться высокой производительности турбин при небольших затратах воды.

Если посмотреть на географию размещения ГЭС, то мы увидим, что они строились и строятся, в основном, в горных районах.

Основными преимуществами подземных ГЭС является улучшение объемно-планировочного решения за счет уменьшения длины напорных трубопроводов, независимость строительных работ от климатических условий; обеспечение защиты сооружений от лавин, обвалов, камнепадов; сокращение на 30-40% расходов бетона за счет использования несущей возможности массива горных пород; использование горной породы, изымаемой при прохождении тоннелей и камер для сооружения дамб.

5.2. Подземные атомные электростанции

Ядерное топливо на основе урана используется человечеством почти шесть десятилетий. Сегодня ядерная энергетика продолжает развиваться быстрыми темпами. За тридцать лет общая мощность ядерных блоков атомных электростанций (АЭС) выросла из 5 тысяч до 23 миллионов киловатт. В 2006 году в мире работало 68 атомных электростанций. Современные АЭС имеют мощность около 4 000 МВт, что отвечает месторождению нефти с изъятими запасами в 30 млн. тонн.

Хотя сегодня отрасль сталкивается с серьезными проблемами экологического и политического характера, атомная энергетика постепенно будет возрастать и ее доля в энергобалансе до 2020 года увеличится до 9%.

Известно, что при использовании ядерного топлива в реакторах накапливается большое количество радиоактивных веществ. Прорыв радиоактивного топлива реактора может состояться в результате его перегрева, вызванного повреждением в системе охлаждения. Американские специалисты подсчитали, что вероятность аварии на АЭС, построенных в США, составляет 10^{-9} , то есть считается почти невозможной.

Однако в марте 1975 года на электростанции Браунс Ферри в штате Калифорния, самому насыщенному атомными электростанциями, где живет около 20 млн. человек, произошла авария. После многочисленных протестов жителей, власть вынуждена была принять ряд законов по жесткому контролю за обеспечением безопасности как самих АЭС, так и окружающей среды.

В 1986 году мы стали свидетелями крупномасштабной катастрофы на Чернобыльской АЭС (Украина). В результате взрыва на ЧАЭС во внешнюю среду было выброшено более 50 млн. кюри разных радионуклидов.

Ученые и специалисты пришли к выводу о возможности использования подземного пространства для размещения АЭС, так как подземные АЭС более безопасны в сравнении с наземными. Сейсмические воздействия на подземные АЭС в 2 и более раз меньше, чем на АЭС, размещенных на поверхности земли.

В наше время в мировой практике получило развитие строительство подземных атомных электростанций (ПАЭС). Первая промышленная ПАЭС на урановом топливе была построена в Швеции около Стокгольма. Ее мощность небольшая – всего 10 МВт, но сам факт строительства такой станции подтвердил, что это реально. Позже был накоплен более чем тридцатилетний опыт эксплуатации подземных АЭС в США, Швеции, Франции, Норвегии, который показал, что подземная компоновка обеспечивает высокую степень защиты технологического оборудования, обслуживающего персонала, населения и окружающей среды.

Подземные АЭС размещают в подземных горных выработках, преимущественно в скальных породах, или в открытых котлованах последовательным засыпанием и обвалованием сооружения почвой. В подземных горных выработках размещают реактор, машинный зал и емкости для захоронения отходов. Для этого в гранитах и других изверженных породах проектируют громадные помещения с арочным сводом шириной до 30,5 м, длиной до 150 м и высотой до 40 м. Их закрепляют железобетоном или анкерным креплением и облицовывают стальными листами. Общий объем комплекса подземных горных выработок такой ПАЭС составляет приблизительно 2 млн. м³, из которых 1 млн. м³ – для камер и 1 млн. м³ – для тоннелей.

В США подземные АЭС мощностью до 1 000 МВт размещают в скальных породах на глубине 135 м, сами реакторы размещают в камерах шириной 24 м, высотой 58–70 м, длиной до 170 м. Помещения для АЭС находятся на разных уровнях. Машинный зал находится на втором уровне – на глубине от 45 до 80 м. Реакторы размещены в стальных оболочках

высотой 30 м. Биологическая защита обеспечивается скальной породой с железобетонной отделкой.

Одна из наиболее мощных подземных АЭС во Франции Чуз размещена в сланцевом массиве на глубине 50 м. Реактор с водой под давлением установлен в подземной камере размером 18×42 м. Камера облицована железобетоном и стальными листами. Особенность компоновки станции в том, что турбогенератор и часть вспомогательного оборудования размещены на земной поверхности, что дало возможность сократить расходы на сооружение АЭС.

В Японии разработаны научно-технические основы проектирования и строительства подземных атомных электростанций, предусматривающие применение технологии сооружения камер большого сечения при следующих условиях: ширина отдельной камеры должна быть не менее 30 м, расстояние между камерами 60 м и покрывающая толща пород – не менее 100 – 150 м.

В Японии также разработан проект ПАЭС глубинного заложения, в основу которого положен модульный принцип строительства для районов побережья с ярко выраженным горным рельефом. Основные модули ПАЭС включают реакторное отделение, машинный зал, вспомогательные системы реакторного отделения и транспортируются к месту сооружения ПАЭС на баржах морским или речным путем.

За годы строительства и эксплуатации подземных АЭС сформировались основные направления конструктивных решений реакторных отделений и общих объемно-планировочных работ.

Объемно-планировочное решение ПАЭС ориентируется на подземные горные выработки, размещенные в скальных породах, и тоннели, связывающие выработки. Как правило, в результате ограниченных размеров горных выработок, главные элементы АЭС размещаются в трех или четырех основных выработках большого сечения.

При проектировании и сооружении ПАЭС под землей размещают: реакторное отделение, которое «одето» в противоаварийную оболочку в виде вертикального цилиндра с купольным перекрытием или подковообразным сечением, диаметром – 70,0 м и высотой – 65 м; подземный зал для машин, размещенный в выработке с арочным сводом шириной – 30,5 м, высотой – 40,0 м и длиной – 122 м; подземное помещение для хранения топлива и радиоактивных отходов; помещения для щита управления, резервного дизель-генератора, выключателей и другие помещения. Как правило, подземные выработки комплекса ПАЭС параллельны и размещаются или вертикально (одна над другой), или горизонтально.

Конструктивные решения реакторных отделений ПАЭС могут быть следующими: не облицованные камеры (выработки), закрепленные анкерным креплением; с закреплением массива скальных пород глубинным цементированием; одинарные защитные оболочки комбинированного типа с отделкой; двойные защитные оболочки со свободным и заполненным кольцевым пространством; размещение реакторного оборудования в отдельных горных выработках.

Наиболее пригодным вариантом считается вариант с двойными подземными оболочками с заполнением свободного кольцевого пространства заполнителями (пенобетоном, пеноцементом). Для сооружения подземных АЭС специалисты выбирают надежные горные породы, детально изучают их физико-механические и теплофизические свойства.

Весьма сложную проблему представляет собой безопасное захоронение возрастающих запасов отработанного топлива и ядерных отходов, часть которых сохранит радиоактивность до конца третьего тысячелетия. Эта проблема решается разработкой надежных методов утилизации ядерных отходов в подземных полостях. Об этом и пойдет речь ниже.

5.3. Подземное захоронение радиоактивных отходов АЭС

Мы с вами уже знаем, что рядом с нефтью и газом энергетическая проблема человечества решается также ядерной энергетикой. К концу 2007 года в мире действовало 439 ядерных энергетических реакторов. На сегодня в мире строится 42 новых АЭС и на очереди 81. Еще 40 стран официально заявили о своем намерении создать ядерный сектор в своей национальной экономике.

Атомные электростанции работают на ядерном топливе. Во время работы ядерных реакторов состав топлива, которое есть в нем, изменяется, появляются и постепенно накапливаются “искусственные” трансурановые элементы и продукты их распада, мешающие последующему протеканию цепной реакции. Через определенное время, отработанное топливо вынимается из реактора и загружается новым – свежим. Свежее ядерное топливо практически безопасно, проработав некоторое время, оно становится облученным и получает качество радиоактивно опасного материала. Вот почему отработанные ядерные отходы АЭС, а конкретно их утилизация и захоронение – являются главной проблемой не только настоящего времени, но и будущего.

За последние полвека на земле накопилось десятки миллиардов кюри радиоактивных отходов. Только на конец 2000 года в мире было накоплено почти до 200 000 тонн отработанного ядерного топлива АЭС. Как

подсчитали специалисты, до 2010 года реакторы на урановом топливе нарабатывают более 300 000 тонн отходов.

Радиоактивные отходы по установленным нормативным актам разделяются на три категории: высокоактивные, среднеактивные и низкоактивные. Ученые работают над проблемой, как изолировать радиоактивные отходы от биосферы на длительный период времени: их захоронять, или хранить для последующей переработки. От положительного решения этой проблемы в значительной мере зависят масштабы и динамика развития ядерной энергетики.

На сегодняшний день всеми странами, в том числе и МАГАТЭ, признано, что наиболее эффективным и безопасным решением проблемы окончательного захоронения радиоактивных отходов является их захоронение в могильниках на глубине не менее 500 м в глубинных геологических формациях, с обязательным переводом радиоактивных отходов из жидкого состояния в затвердевшее и обеспечением многобарьерной защиты. Такое хранилище включает в себя тоннели и камеры, пройденные в горных породах, в которых размещаются упакованные отходы (рис. 5.6). В некоторых случаях, когда горная порода влажная, контейнеры с отходами окружаются цементом или бентонитовой глиной.

Исследования, проведенные в ряде стран мира, показали, что хранилища РАО можно создавать в таких горных породах, как глины (аллювий), скальные породы (гранит, базальт, туф, порфирит), каменная соль. Все эти породы в геологических формациях имеют широкое распространение, достаточную площадь и мощность залежей.

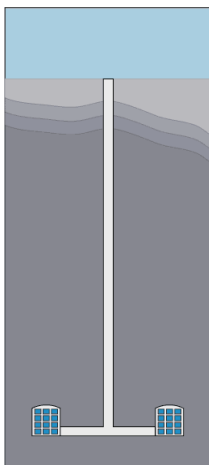


Рис. 5.6. Схема подземного хранилища радиоактивных отходов

Пласты каменной соли могут служить объектом для строительства глубинных пунктов захоронения даже высокоактивных РАО. Особенности соляных массивов являются высокая теплопроводность, отсутствие в них мигрирующих вод и почти полное отсутствие включений газообразующих примесей.

Глины более пригодны для оборудования приповерхностных хранилищ или пунктов захоронения низкоактивных и среднеактивных отходов. Преимуществом глин является низкая водопроницаемость и высокая сорбционная емкость по отношению к радионуклидам. Недостатком является высокая стоимость сооружения горных выработок в связи с необходимостью их крепления, а также пониженная теплопроводность.

Скальные породы охватывают широкий спектр горных пород: кристаллических, вулканических, изверженных. Их преимуществом является высокая прочность, стойкость, повышенная теплопроводность. Горные выработки, пройденные в скальных породах, могут хранить свою стойкость в течение практически неограниченного времени.

Глубокое геологическое захоронение отработанного ядерного топлива на сегодняшний день является предметом научных исследований, экспериментальных работ и промышленного использования во многих странах мира. Этому способу отдают предпочтение в Аргентине, Австралии, Бельгии, Финляндии, Японии, Голландии, Германии, России, Испании, Швеции, Швейцарии, США, Канаде, Великобритании.

В Германии концепция глубокого геологического захоронения всех типов РАО была разработана еще в начале 1960 годов. Здесь надежной геологической средой для изоляции радиоактивных отходов считается каменная соль. В бывших соляных рудниках в Ассе, Морслебене на глубине 300 м размещено хранилище отработанного ядерного топлива разного уровня активности (рис. 5.7). В настоящее время там продолжены работы по геологическим, геофизическим и геомеханическим исследованиям. На шахте Ассе, где разрабатывались калийная и каменная соли, начато складирование низкоактивных отходов. Полное заполнение этого могильника намечено на 2013 год.

В бывшей шахте Морслебен размещено около 37 тыс. м³ РАО и продолжают исследования геомеханической стойкости соляного массива и надежности хранилища. Правительство Германии работает над созданием еще одного хранилища в выработках шахты Конрад на глубине 1 000 метров.

В Швеции хранилища РАО размещаются в скальных массивах гранитов Скандинавского щита. Здесь с 1980 года на глубине 50 метров действует могильник низко- и среднеактивных отходов АЭС. С 2002 года

проводятся работы на двух участках, предназначенных для сооружения двух новых хранилищ РАО в гранитах. В хранилищах отработанное топливо будет размещаться в медных контейнерах с металлической вставкой. Сами контейнеры будут окольцованы буфером из бентонитовой глины.



Рис. 5.7. Подземное хранилище ядерных отходов в соляном руднике (ФРГ)

В Финляндии с 1990 года функционирует хранилище в кристаллических породах. Бельгия, Франция, Голландия, Италия работают над созданием хранилищ РАО в глинах. Бельгийская концепция извлечения отработанного ядерного топлива предусматривает его помещение в стальные контейнеры, которые будут установлены в тоннелях, пройденных в глинах.

В США 43 тыс. тонн ядерных отходов хранятся во временных хранилищах. 103 ядерных реактора страны производят ежегодно 3 тысячи тонн ядерных отходов. Американские ученые и проектировщики работают над созданием национального хранилища под горой Юкка, расположенной в 160 км от Лас-Вегаса. На глубине, более чем 300 м ниже поверхности горы, будут сооружены тоннели диаметром 7,6 м и общей длиной около 100 км. Уже пройдены с помощью тоннелепроходческого щита ТВМ первые тоннели (рис. 5.8).

Породы, в которых будет построено хранилище, представлены слоями вулканического туфа. Общая площадь хранилища составит 500 гектаров. Отходы, направляемые в хранилище, будут проходить несколько стадий упаковки. Хранилище может принять на хранение до 70 тыс. тонн высокорadioактивных ядерных отходов с полной гарантией безопасности.

Американские специалисты считают, что хранилище под горой Юкка, является одним из грандиозных инженерных проектов человечества.

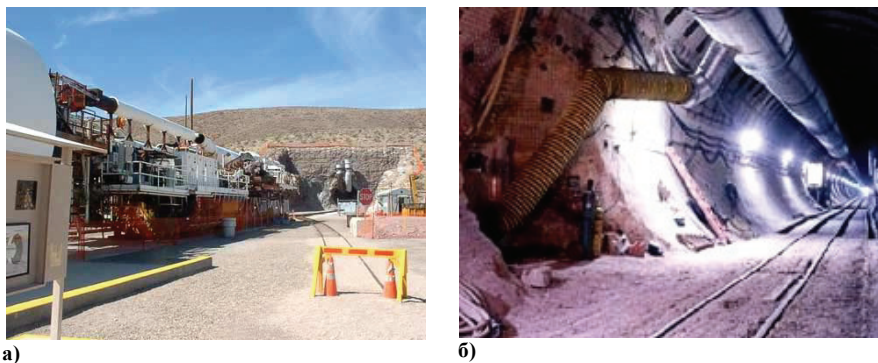


Рис. 5.8. Сооружение хранилища под горой Юкка (США):
а) – тоннелепроходческий щит; б) – первые километры пройденного тоннеля

В России по сегодняшний день работает предприятие “Маяк”, на котором ведется переработка и хранение отработанного ядерного топлива АЭС. Одновременно проводятся интенсивные работы по выявлению перспективных площадей и геологических формаций для сооружения новых хранилищ РАО. Франция сооружает подземную лабораторию на глубине 500 м для исследований водопроницаемости перлитовых залежей и молекулярной диффузии радионуклидов.

Итак, безопасное захоронение ядерных отходов – мировая проблема. И сегодня ученые работают над тем, как уменьшить отходы ядерного топлива.

Раздел 6

ТОННЕЛИ

6.1. Общие сведения о тоннелях

Тоннель (английское слово tunnel) – это горизонтальное или наклонное подземное сооружение, предназначенное для транспортных целей, перемещения воды, прокладки подземных коммуникаций. По назначению тоннели подразделяются на железнодорожные (рис. 6.1), автодорожные, судоходные, гидротехнические, коммунальные (для городских сетей водопроводов, канализации, теплогазоснабжения и др.), специального назначения (входящие в состав подземных сооружений ГЭС), тоннели метрополитенов и тоннели для прокладки магистральных газонефтепроводов.

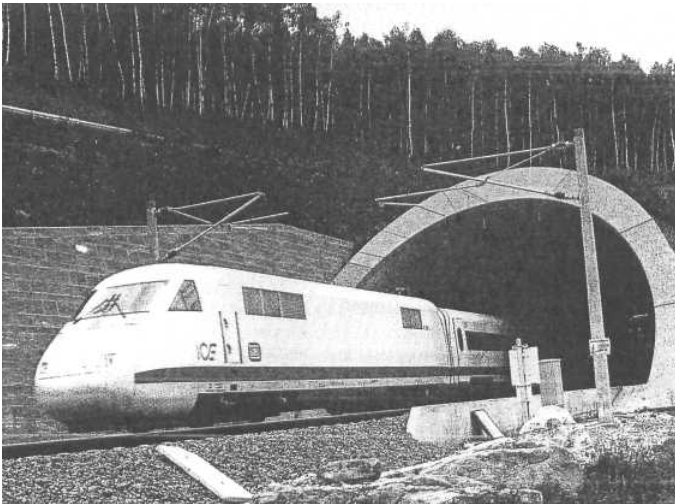


Рис. 6.1. Железнодорожный тоннель (ФРГ)

По месту расположения (рис. 6.2) тоннели подразделяются на горные (проложенные в горных районах через горные перевалы, водоразделы и отдельные возвышения), подводные и равнинные, или городские (например, тоннели метрополитенов).

Сегодня тоннели, как неотъемлемая составная часть транспортных артерий государств и континентов, пересекают горные массивы, реки, озера, проливы, труднодоступные места.

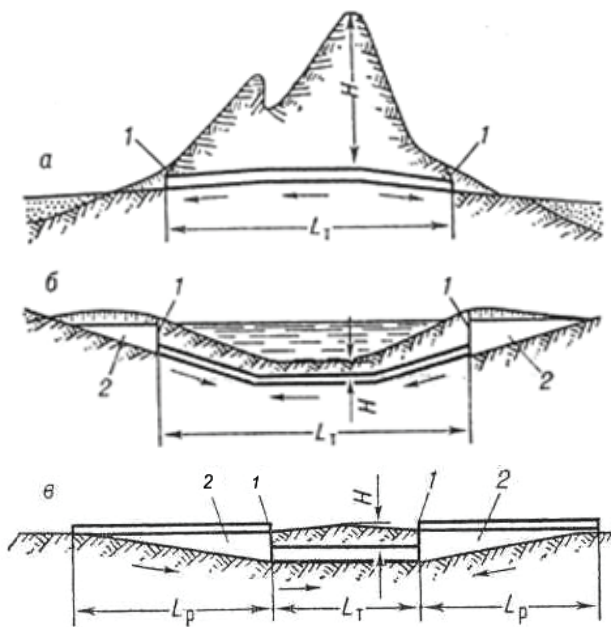


Рис. 6.2. Схема расположения тоннелей:

а – горный тоннель; б – подводный тоннель; в – городской транспортный тоннель
 1 – портал; 2 – рампа; L_T – длина тоннеля; L_P – длина рампы; H – глубина заложения тоннеля

Прошли тысячелетия с того времени, когда человек примитивным способом начал прокладывать тоннели. Они стали развитием пещерного строительства. Тоннели начали строить в глубокой древности. В 2180 г. до н.э. в Вавилоне под р. Евфрат был построен пешеходный тоннель длиной 920 м. В 700 г. до н.э. на острове Самос в Эгейском море построили тоннель для водоснабжения длиной 1 600 м. В Вавилоне, Египте, Греции и Риме подземные работы проводились сначала при добыче полезных ископаемых, сооружении храмов, захоронений, а затем для сооружения тоннелей. Они строились для наблюдения за реками, которые через почву протекали в землю, и течение рек продолжалось по полостям в известняках. Так на острове Мальта, в наше время, можно встретить подземные тоннели, высеченные в твердых известняках 5 тысяч лет тому назад.

Умелыми строителями тоннелей были римляне. Они использовали тоннели для дренажа, водоснабжения и транспорта. Дорожные, водопроводные и дренажные тоннели сооружались, преимущественно сводовой формы, в стойких скальных породах без крепления. Проходческие работы велись примитивными орудиями.

После падения Римской империи в строительстве тоннелей наступил период застоя. Тоннели сооружались преимущественно для военных целей. В связи с расширением международных связей началось строительство судоходных тоннелей, соединяющих водные пути сообщения. Этому предшествовало применение черного пороха для взрывания скальных пород.

С конца 17 в. началось строительство судоходных, в середине 19 в. – железнодорожных, а с начала 20 в. – автодорожных тоннелей. Первый горный железнодорожный тоннель длиной 1 190 м был построен в Англии на линии Ливерпуль – Манчестер в 1826–1830 гг. (рис. 6.3).

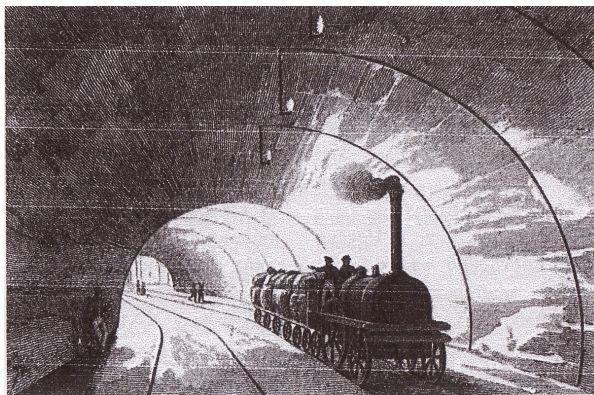


Рис. 6.3. Ливерпульский тоннель (1831 г.)

Первый железнодорожный тоннель во Франции был построен в 1826–1829 гг. Строительство тоннеля было сопряжено с большими сложностями, так как он пересекал старые шахты. В 1849 году бельгийский инженер Маусс сделал предложение построить в Западных Альпах тоннель Мон-Сени, что для того времени было смелым шагом. При сооружении этого тоннеля были применены взрывчатые вещества и механические буровые машины (рис. 6.4).

Изобретение пироксилина и динамита, а также успешное применение в горном деле буровых машин, обеспечило возможность сооружения больших альпийских тоннелей между Францией, Италией и Швейцарией. Наибольшую протяженность имели, сооруженные в конце XIX и в начале XX вв., железнодорожные тоннели в Альпах: самый длинный в то время в мире Симплонский (19 780 м), соединяющий Италию со Швейцарией, Сен-Готтардский (14 984 м), Мон-Сенинский (12 850 м), Большой Апеннинский (18 510 м) на линии Флоренция – Болонья (Италия), а также Ронский тоннель на водной магистрали Марсель – Рона (Франция).

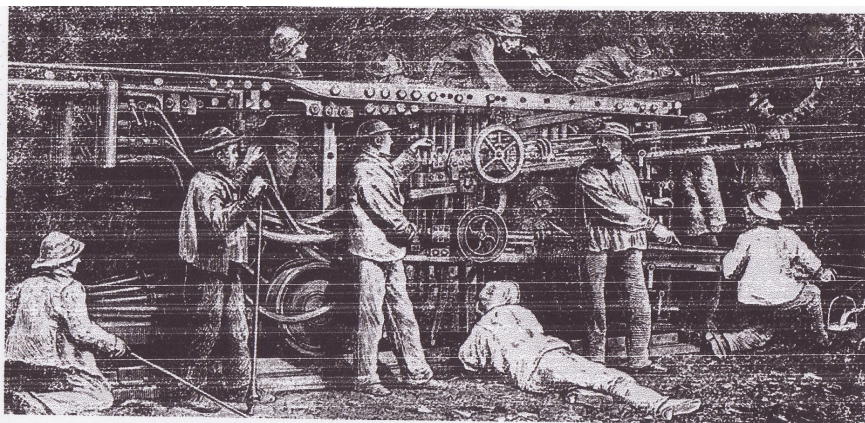


Рис. 6.4. Строительство туннеля Мон-Сени

В России первый железнодорожный двухпутный Ковенский туннель длиной 1,28 км был построен в 1862 году. В конце XIX в. в России начинается строительство железных дорог в горных районах Кавказа, Крыма, Урала, Сибири, где повсеместно возникает необходимость строительства туннелей. В этот период был построен самый протяженный двухпутный Сурамский туннель на линии Поти – Тбилиси. Постройка этого туннеля длиной 3 998 м за четыре года (1886–1890 гг.) была образцом инженерного искусства. При строительстве Великого Сибирского пути (Транссибирской железнодорожной магистрали) было сооружено 49 туннелей.

Рядом с горными туннелями развивалось строительство и подводных туннелей. Это произошло благодаря применению проходческих щитов. Щитовым методом было построено несколько больших подводных туннелей: под рекой Гудзон (США) длиной 2,5 км, под Симоносекским проливом (Япония), под рекой Амур вблизи г. Хабаровска (Россия).

XX век был веком развития туннелестроения. В 1994 году был сдан в эксплуатацию один из самых длинных туннелей Европы – «Евротоннель» между Францией и Великобританией, длина которого составляет 49 км, из них 37,5 м проложено под Ла-Маншем (рис. 6.5).

В СССР туннелестроение набрало широкого размаха, этому способствовало интенсивное строительство железных дорог, автомагистралей, создание сети ГЭС, сооружение метрополитенов. Большое число туннелей было построено при прокладке Байкало-Амурской магистрали. В период с 1932 по 1985 гг. было сооружено 100 км железнодорожных туннелей.

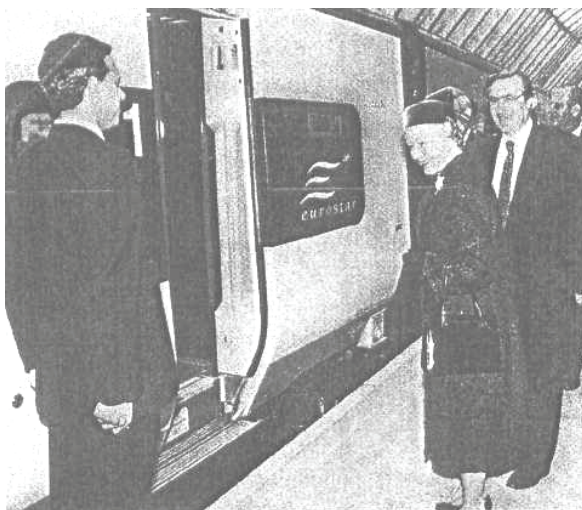


Рис. 6.5. Открытие Евротоннеля. Королева Елизавета отправляется во Францию на скоростном поезде

Сегодня в Европе тоннели пересекают горные массивы Альп, Апеннин, Урала, Кавказа, Карпат (рис. 6.6). В Украине через Карпаты проложено 11 железнодорожных тоннелей. В 2007 году закончилось строительство железнодорожного тоннеля в Швейцарии длиной 34,6 км, пересекающего Альпы.

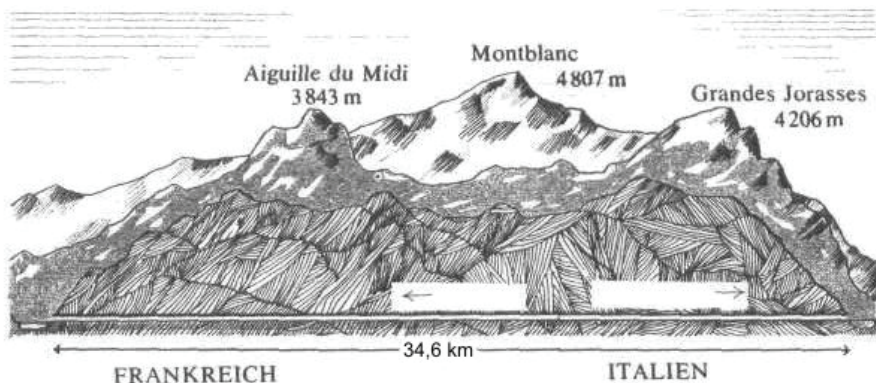


Рис. 6.6. Тоннель между Францией и Италией, проложенный под Монбланом

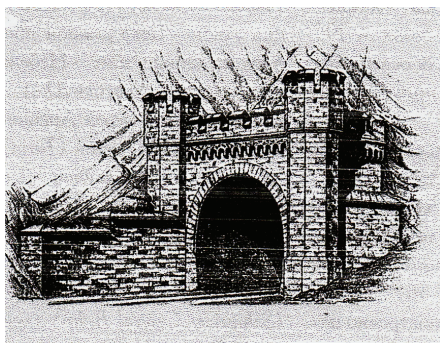
Много тоннелей построено в Азии. В Японии создана целая система транспортных тоннелей, соединяющая острова Японского архипелага.

Самый длинный в Азии автомобильный тоннель проложен в горных массивах Циньминь в Китае. Длина Сейканского тоннеля 54 км.

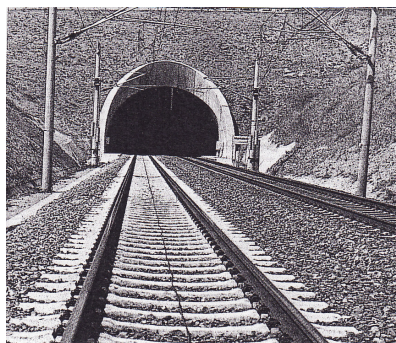
За 1900–2000 годы в мире построено около 1 млн. км тоннелей различного назначения. Сегодня планируется создание крупных подводных тоннелей под проливом Босфор (12 км), Гибралтар (50 км). С позиций развития техники на сегодняшний день почти реален проект тоннеля под Беринговым проливом. Получают распространение двух- и трехъярусные транспортные тоннели.

6.2. Как сооружают тоннели

Для сооружения тоннеля необходима выработка – полость, искусственно создаваемая в земной коре с помощью горных работ. Главная часть тоннеля (рис. 6.7) называется порталом, он обеспечивает стойкость лобового и боковых откосов и придает архитектурное оформление входа в тоннель.



а)



б)

Рис. 6.7. Архитектурное оформление входов (порталов) тоннеля:
а) – XIX в.; б) – XX в.

Важным этапом в строительстве тоннеля является его проектирование. Глубина заложения тоннеля, его длина, размещение в плане, форма поперечного сечения зависят от назначения тоннеля, топографических, геологических и климатических условий. При проектировании и сооружении тоннеля выполняется комплекс геофизических работ по выбору и закреплению осей тоннеля в плане и по профилю. По трассе тоннеля проводят инженерно-геологические изыскания для установления геологического строения горного массива, физико-механических свойств пород, гидрологического режима и химического состава подземных вод, наличия газов, ожидаемого горного давления, температуры пород.

В зависимости от глубины заложения тоннеля, для его сооружения применяют открытый или закрытый способы работ. В первом случае на поверхности земли роют котлован, в котором монтируются конструкции тоннеля, а затем выполняют засыпку грунтом с восстановлением нарушенной поверхности. При закрытом (подземном) способе, проходка тоннелей осуществляется через вертикальные стволы, или входные участки тоннеля (порталы).

Сооружение тоннеля горным способом включает следующие этапы: разработка и извлечение породы, монтаж постоянного крепления и отделка выработки.

Вертикальный ствол шахты сооружается в том случае, когда тоннели находятся на значительной глубине от поверхности и имеют значительную длину (рис. 6.8).

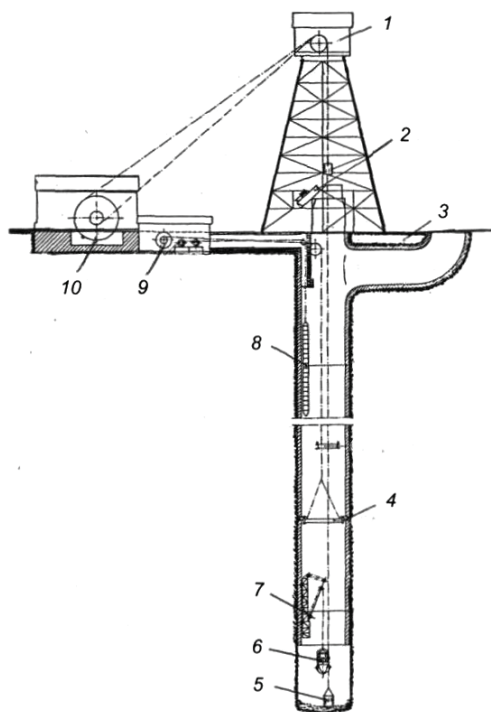


Рис. 6.8. Схема ствола шахты тоннеля:

1 – надшахтный копер; 2 – узел разгрузки породы; 3 – вентиляционный канал; 4 – подвесная полка; 5 – бадья для породы; 6 – грейферный погрузчик; 7 – оборотный кран; 8 – аварийный подъемник; 9 – лебедка для удержания аварийного подъемника и крана; 10 – главная подъемная машина

При проходке ствола по крепким породам, применяются взрывные методы. У забоя ствола с применением буровых машин бурят шпуры, затем проводится зарядание шпуров взрывчаткой и осуществляется их взрывание. Разрушенная горная порода погружается грейферным погрузчиком 6 в грузовой сосуд (бадью) 5 и поднимается на поверхность подъемной машиной 10, где разгружается в узле 2.

Сооружение самого тоннеля проводится по двум схемам: частями, или за один прием.

В мягких и полускальных породах сечение выработки разбивается на отдельные части, закрепляется временным (преимущественно деревянным) креплением, исключая обрушение породы.

Установка постоянного крепления (отделка тоннеля) проводится или одновременно с прохождением выработки, или по мере ее продвижения. Основные материалы для отделки – монолитный бетон, монолитный и сборный железобетон, чугун и сталь. Их выбор зависит от условий района строительства и метода ведения тоннельных работ. Монолитный бетон и железобетон применяются главным образом при прокладке тоннелей в мягких и слабых породах. Более прогрессивным является применение элементов крепления и отделки заводского изготовления (чугунных тубингов, железобетонных блоков сплошного или ребристого сечения).

При сооружении тоннелей по частям через горный перевал сначала сооружается опережающая штольня. Затем проводится поэтапное расширение сечения выработки. По мере продвижения выработки осуществляется бетонирование стенок. Временное крепление устанавливается лишь за контуром выработки.

Разработка крепких пород осуществляется, чаще всего, взрывным методом с применением бурильных машин большой мощности, механизации погрузки и транспортировки пород. Для бетонирования стенок тоннеля используют передвижные металлические опалубки, обеспечивающие возможность применения бетоноукладочных машин.

В устойчивых скальных породах при сооружении тоннелей применяют способ сплошного забоя, когда выработка проходится сразу полным сечением. При этом используют специальное горнопроходческое оборудование – буровые подмости, самоходные буровые рамы, установки и агрегаты. Разрушение породы осуществляется с применением взрывных работ. При этом у забоя выработки бурятся шпуры, производится их наполнение взрывчатым веществом с дальнейшим взрыванием. Бетонирование выработки проводят с помощью бетононасосов или бетоноукладчиков (рис. 6.9).

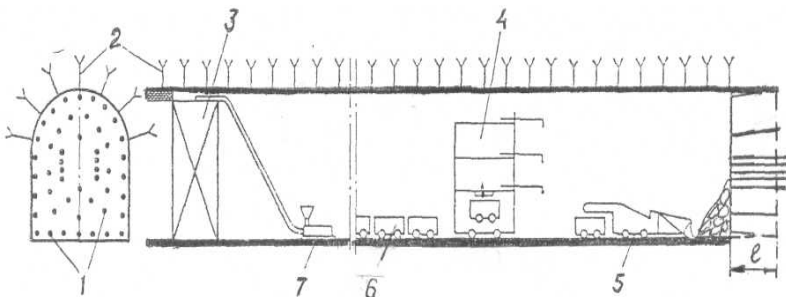


Рис. 6.9. Сооружение тоннеля способом сплошного забоя:

1 – шпур; 2 – анкерное крепление; 3 – передвижная опалубка; 4 – буровая рама с перестановщиком вагонеток; 5 – породопогрузочная машина; 6 – вагонетки; 7 – бетононасос; l – глубина продвижения забоя за один взрыв

При строительстве тоннелей в достаточно устойчивых породах применяется способ свода. Согласно этому способу раскрытие выработки проводится частями. Сначала сооружается бетонный свод, который опирается на породу, затем по мере разработки частей сечения, возводят стены монолитного бетона.

При сооружении тоннелей в слабых и неустойчивых породах широкое распространение получил щитовой способ. Он основан на применении в качестве временного крепления тоннельного (проходческого) щита (рис. 6.10).

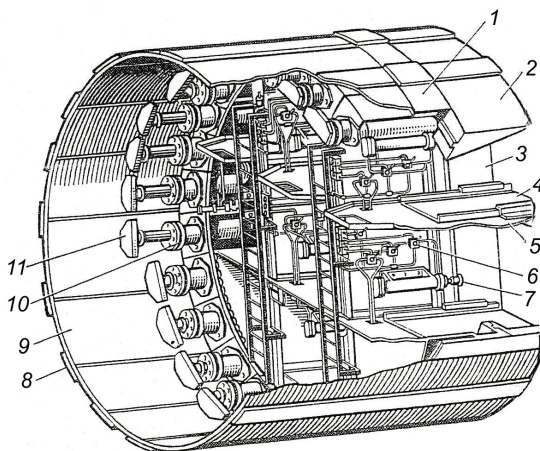


Рис. 6.10. Тоннельный проходческий щит:

1 – опорное кольцо; 2 – ножовое кольцо; 3 – вертикальная перегородка; 4 – выдвигная платформа; 5 – горизонтальная перегородка; 6 – платформенный домкрат; 7 – забойный домкрат; 8 – накладка; 9 – оболочка; 10 – щитовой домкрат; 11 – опорная пята

Впервые проходческий щит был применен в Великобритании при постройке в 1825 году тоннеля под рекой Темза. С тех пор щитовой метод сооружения тоннелей стал широко применяться во многих странах мира.

Щит представляет собой передвижную стальную цилиндрическую оболочку, под защитой которой выполняются основные технологические операции – разработка породы и сооружение постоянного крепления, как правило, сборной круглой формы. Щиты классифицируются по размерам сечения: большие – 8,5 – 9,75 м, средние – 5,7 – 6,7 м и малые – 2,6 – 3,6 м.

Щит состоит из таких основных частей: корпуса, механизма разрушения горной породы, механизма погрузки, блокоукладчика, щитовых домкратов, пульта управления с гидрокоммуникациями и электрооборудованием. Перемещается щит с помощью домкратов. Одновременно с механизированным разрушением горных пород и перемещением щита, осуществляется монтаж отделки из тубингов или железобетонных блоков с помощью специальных устройств. Монтаж отделки тоннеля может проводиться и за пределами проходческого щита с применением специальных передвижных конструкций (рис. 6.11).

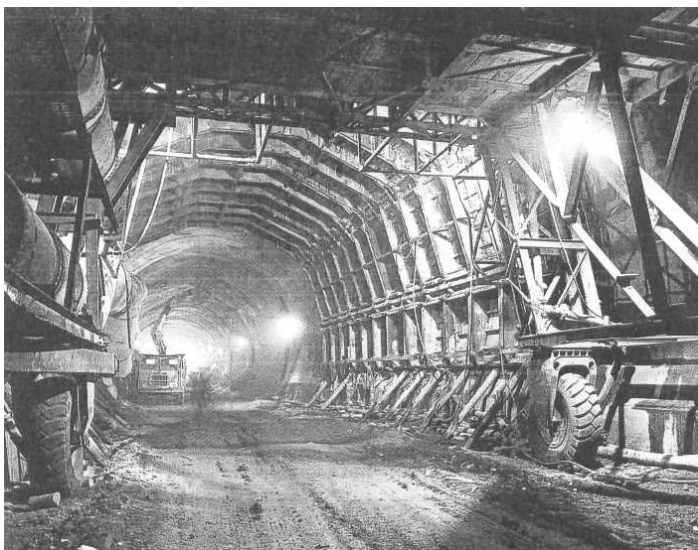
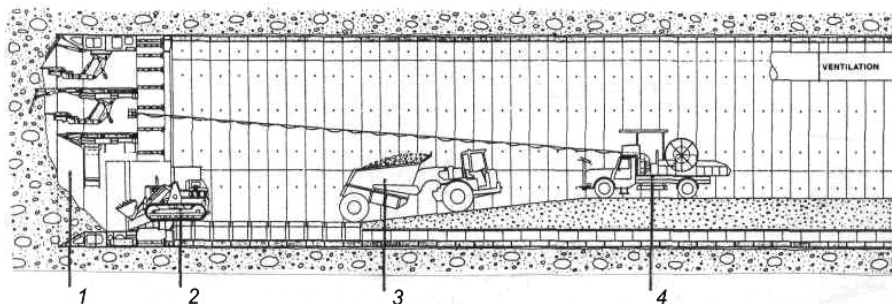
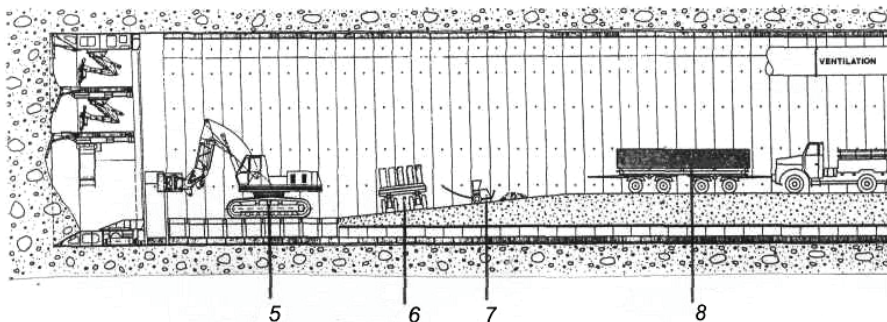


Рис. 6.11. Сооружение тоннеля Рим – Флоренция (Италия)

На рис. 6.12 приведена технологическая схема комплексной механизации работ по сооружению тоннеля с помощью тоннельного проходческого щита, применяемая во многих странах Европы.



а)



б)

Рис. 6.12. Схема комплексно-механизированной технологии сооружения тоннеля с применением тоннельного проходческого щита:

а) – вынимание почвы; б) – монтаж блоков

1 – узел разрушения почвы; 2 – погрузочная машина; 3 – транспортировочная машина; 4 – узел управления гидравлической системой щита; 5 – тьюбинго-блокоукладочная машина; 6 – пакет блоков (тьюбингов); 7 – шприцбетонный узел; 8 – транспортировка блоков (тьюбингов)

Щитовая проходка дает возможность сооружать выработки в разных породах и обеспечивает полную механизацию всех процессов тоннельных работ при высоком качестве их выполнения и больших скоростях проходки. В СССР этот метод широко использовался при строительстве метро.

При строительстве тоннелей в прочных и устойчивых породах в странах СНГ, применяется способ ступенчатого забоя с разработкой породы тоннелепроходческим комбайном избирательного действия типа ТПМ. Для разработки грунта комбайн оснащен механическим рабочим органом, системой ковшовых устройств и транспортеров, по которым грунт удаляется за пределы машины и перегружается в транспортные средства (рис. 6.13).



а)



б)

Рис. 6.13. Проходка тоннеля комбайном ТПМ:

а) – общий вид комбайна; б) – разрушение грунта рабочим органом

В устойчивых грунтах применяется двухступенный способ, при котором верхний уступ опережает нижний на 30–50 метров. При этом способе организовывается два независимых уступа, в каждом из которых работает комбайн ТПМ, средства погрузки и транспортировки.

Значительным прогрессом в тоннелестроении было применение тоннелепроходческих комбайнов бурового типа, позволяющих значительно повысить темпы проходки тоннелей, их устойчивость и прочность (рис. 6.14).

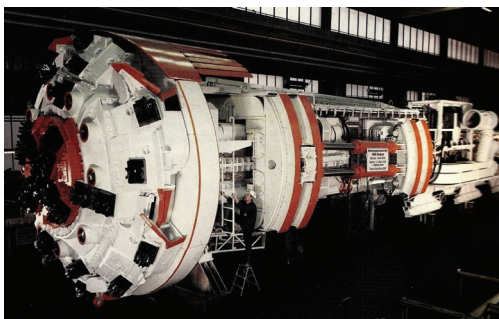


Рис. 6.14. Общий вид тоннелепроходческого комбайна (ФРГ)

Разрушение породы комбайном осуществляется с помощью режущего вращающегося рабочего ротора. На роторе закреплены резцы, изготовленные из твердых сплавов. Диаметры выработок, проходимые комбайном, составляют от 6,0 до 9,0 м в зависимости от типа и модели (рис. 6.15). Комбайны бурового типа были применены при строительстве тоннелей во многих странах мира. Этими комбайнами пройдены сотни километров тоннелей, которые пересекли горные перевалы Альп, Кавказа, Карпат, Апеннин, Балкан в Европе и на других континентах.

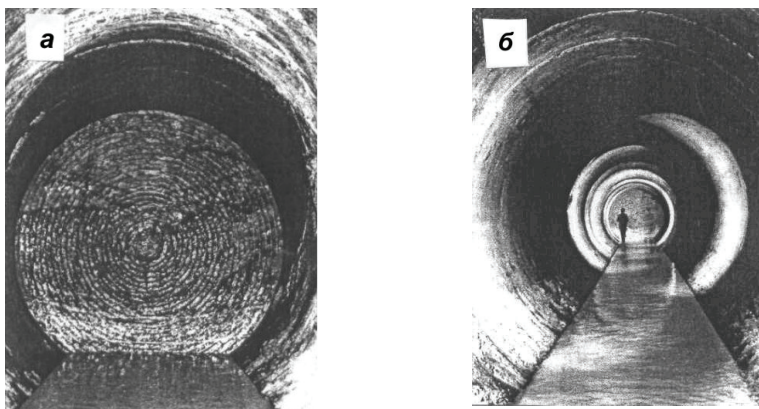


Рис. 6.15. Форма сечения, пройденного тоннелепроходческим комбайном:
а) – забой; б) – тоннель

Мы уже вспоминали о том, что в 1994 году был пущен в эксплуатацию Евротоннель. Пассажир садится на Лондонском вокзале и через три часа выходит на платформу в Париже. Это уникальное сооружение в Европе, хотелось бы рассказать о его строительстве.

Строительство подводного железнодорожного пути между Великобританией и Францией началось в 1988 году с проходки двух вертикальных тоннельных стволов, соединяющихся с центральным служебным помещением. Общая протяженность транспортной артерии составляет 49 км (рис. 6.16).

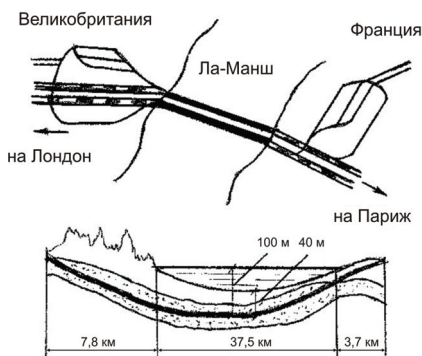


Рис. 6.16. План и профиль «Евротоннеля»

Основные тоннели диаметром 7,8 м пройдены в меловых мергелях на глубине 40 м под морским дном. Вертикальные стволы дали возможность осуществить строительные и монтажные работы. 37,5 км тоннеля

пройдено под водой. Система тоннелей состоит из двух главных, диаметром по 7,8 м каждый и вспомогательного – 4,8 м, расположенного между основными. Вспомогательный тоннель строился с опережением основных на 100 м и использовался во время строительства для изучения пород по трассе (рис. 6.17).

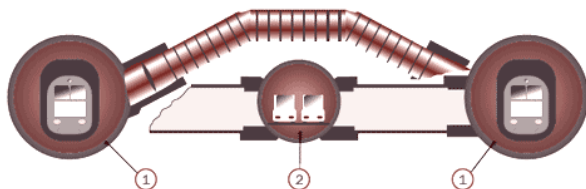
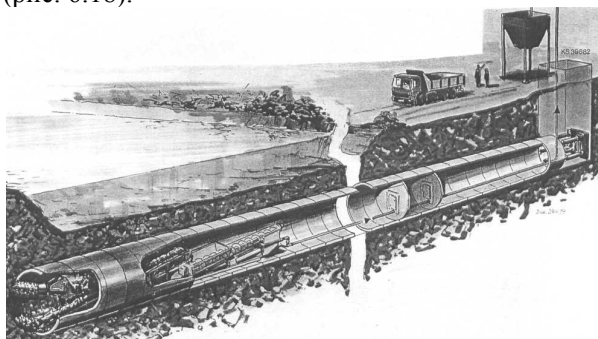
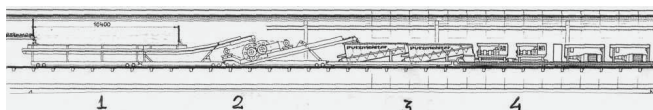


Рис. 6.17. Транспортная схема Евротоннеля:
1 – транспортные тоннели; 2 – вспомогательный тоннель

На сложных участках пород с множеством разломов и складок применялись земснаряды. Для стабилизации и укрепления пород проводилась цементация трещин и полостей. Порода разрушалась струей воды и в виде пульпы откачивалась из забоя по замкнутому трубному контуру. Кроме земснарядов, проходка тоннелей осуществлялась комбайнами (рис. 6.18).



а)



б)

Рис. 6.18. Сооружение участка Евротоннеля комбайном:
а) – общая технологическая схема; б) – транспортировка породы из забоя
1 – транспортер; 2 – измельчитель; 3 – станция смешивания породы с водой;
4 – насосы для откачивания пульпы на поверхность

Принцип работы комбайна (рис. 6.18, а) основан на разрушении породы зубцами, расположенными на роторе. Разрыхленная порода (рис. 6.18, б) попадает на ленточный транспортер 1, далее на измельчитель 2 и станцию смешивания породы с водой 3. Раздробленная и увлажненная порода в виде пульпы насосами 4 по трубопроводам откачивается на поверхность.

По мере продвижения проходческого агрегата, тоннель облицовывается чугунными тубингами толщиной 360 мм (рис. 6.19).

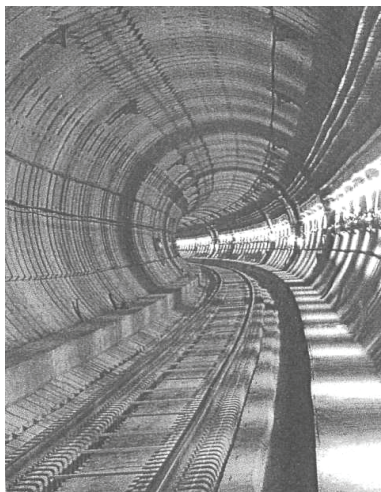


Рис. 6.19. Тубинговое крепление Евротоннеля

Ежегодно по Евротоннелю путешествуют от 7 до 8 млн. пассажиров, перевозится более 2 млн. легковых автомобилей, 1 млн. грузовиков и до 100 тыс. автобусов. В 2001 г. Американское Общество инженеров-строителей включило Евротоннель в число 10 наиболее значительных сооружений столетия.

В Азии в 90 годах прошлого столетия с помощью тоннелепроходческих комбайнов был построен уникальный железнодорожный тоннель «Сейкан» (Япония). Его длина составляет 54 км, 23 км из которых тоннель проходит под Сангарским заливом на глубине 240 м от поверхности воды. Высота тоннеля составляет 9 м.

Большие препятствия приходится преодолевать магистральным газонефтепроводам. Много стальных магистралей пересекают горные перевалы Урала, Карпат, Альп и др. В зарубежной практике нашел применение метод прокладки трубопроводов в тоннелях. Этот метод был широко применен на Кавказе при строительстве газопровода

Орджоникидзе – Тбилиси, а также продуктопровода Шесхарис – Новороссийск и участков Транссибирского газопровода (рис. 6.20).

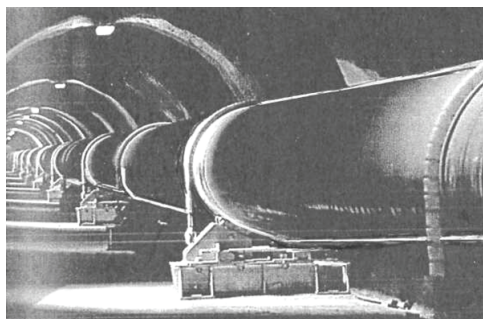


Рис. 6.20. Прокладка Транссибирского газопровода в тоннелях

Строительство тоннелей для прокладки трубопроводов позволяет намного сократить длину трубопровода без нарушения естественного равновесия склонов и улучшить условия его работы. На рис. 6.21 показаны участки рационального размещения тоннелей для прокладки трубопроводов.

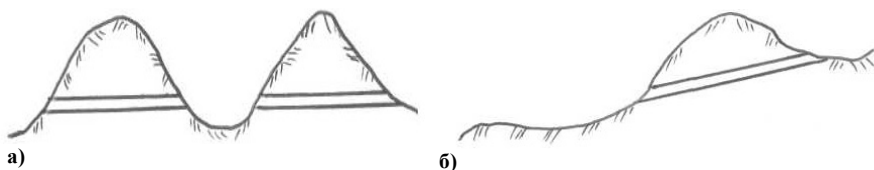


Рис. 6.21. Схемы тоннелей при горизонтальном (а) и наклонном (б) их размещении

Тоннели для трубопроводов имеют меньшие размеры, чем транспортные. Так, для труб диаметром 1 420 мм достаточно иметь тоннель сечением 2,5×2,5 м. В отличие от транспортных тоннелей, тоннели для трубопроводов могут иметь продольный уклон 15°, а также крутые повороты в плане. Такие тоннели не нуждаются в бетонной отделке. Стены тоннеля цементируются лишь в местах трещин и свода для предотвращения обвалов горной породы.

Сооружение тоннелей проводится преимущественно с помощью взрывных работ. Основное требование к технологии проведения этих работ – обеспечить устойчивость тоннеля. Для этого применяется контурное взрывание. Оно осуществляется шпуровыми зарядами, размещаемыми по контуру выработки на небольшом расстоянии один от другого. Такие заряды называются контурными. Центральная часть разрушается с помощью врубовых и отбойных шпуров (рис. 6.22).

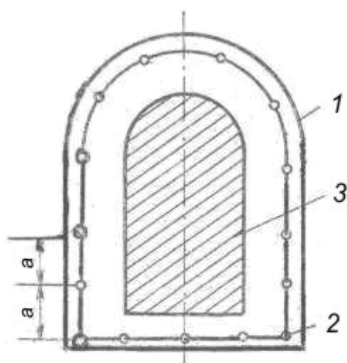


Рис. 6.22. Схема размещения шпуров при сооружении тоннеля с применением контурного взрывания:

1 – контур выработки; 2 – контурные шпуры; 3 – объем породы, разрушенной взрывом врубных шпуров; а – расстояние между контурными шпурами

При сооружении Северо-Западного трубопровода в Великобритании применялась схема с разгрузочными (не заряженными) шпурами, между которыми размещались шпуровые заряды (рис. 6.23). Шпуры бурились на глубину 2,0 м. Диаметр взрываемых шпуров составлял – 28 мм, не заряженных – 38 мм. Шпуровые заряды взрывались методом короткозамедленного взрывания. При этом шпуры с 1-го по 16-тый взрывались с замедлением 6 – 10 мс, а шпуры с 15-го по 18-тый – с замедлением 500 мс.

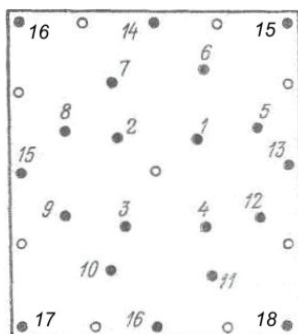


Рис. 6.23. Схема размещения и взрывания шпуров при сооружении тоннеля в Великобритании:

● – шпуры, которые заряжаются; ○ – не заряженные шпуры

При такой схеме взрывания и размещения зарядов достигается высокий уровень разрыхления скальных пород без разрушения стенок выработки, что обеспечивает эксплуатационную надежность тоннеля.

Раздел 7

МЕТРО

7.1. Метро «шагает» по планете

Сегодня современный большой город трудно представить без такой транспортной подземной магистрали, как метрополитен. Росло городское население, градостроение охватило большие площади, возникли города-великаны, возникли и транспортные проблемы и вот появилось метро.

Метро, метрополитен (французское – metropolitain, дословно – столичный, от греческого metropolis – главный город, столица), городская подземная железная дорога для массовых скоростных перевозок пассажиров. Название метро было принято в СССР. В разных странах мира подземная транспортная магистраль имеет разное название: “Metro”, “T-Bahn”, “U-Bahn” (немецкое); “Underground” («подземка» – английское); “Subway” (американское); “City-Tunnel”, “Light Rail”.

Метро отличается большой пропускной способностью, высокой эксплуатационной скоростью и регулярностью движения. Линии метро могут быть подземными (в тоннелях), наземными и надземными (на эстакадах). Подземные линии метро получили наибольшее распространение, так как они не нарушают сложившееся историческое планирование городов и движения городского наземного транспорта, способствуют уменьшению шума и вибрации в зданиях от движения составов.

На рис. 7.1 показано пересечение линий метро.

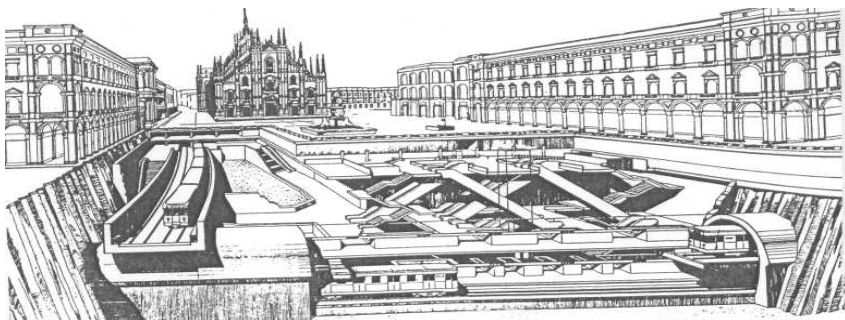


Рис. 7.1. Система подземного метро в Милане (Италия)

Наземные линии метро, как правило, сооружаются в районах городов с относительно невысокой плотностью застройки. Надземные линии на эстакадах сооружаются на отдельных участках с учетом рельефа

местности, главным образом при пересечении автомобильных и железных дорог, водных и других препятствий (рис. 7.2).



Рис. 7.2. Надземная прокладка метро на эстакадах (Копенгаген)

Метро – скоростной транспорт, который не вредит уличной дорожной сети и не имеет пересечений на одном уровне. Его строительство осуществляется в большей степени в городах с численностью населения более чем 1 млн. человек.

Вначале ознакомимся с историческими фрагментами строительства метро.

История сооружения метро начинается с XIX века, когда в Лондоне фирмой «Метрополитен рейлуей» в 1860 – 1863 годах была построена первая подземная железная дорога длиной 3,6 км на паровой тяге. Старейший участок этой линии был сооружен открытым способом (рис. 7.3).



Рис. 7.3. Строительство первой линии метро в Лондоне

10 января 1863 года по этой дороге прошел первый поезд (рис. 7.4). В этом же году лондонский метрополитен перевез 9,5 млн. пассажиров, в 1866 г. – 21,3 млн., в 1869 г. – уже 36,9 млн. пассажиров.

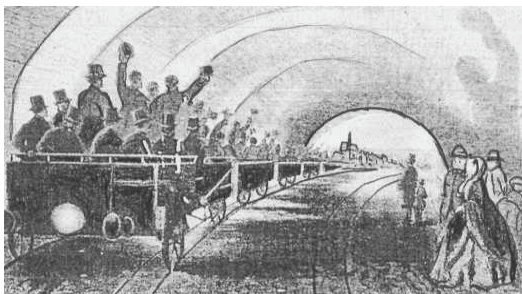


Рис. 7.4. Первая подземная железная дорога в Лондоне, оснащенная паровозами (1863 г.)

Эксплуатация первых железных дорог значительно усложнялась большим задымлением. Отвод дыма из тоннелей было одной из сложных проблем. Отдельные участки строились открытыми, а там, где это было невозможным, оборудовались вентиляционные люки. В течение 27 лет метро эксплуатировалось на паровозной тяге. С 1890 года в Лондоне началось сооружение тоннелей метро глубокого заложения. Подземная магистраль была переведена на электрическую тягу, что освободило тоннели от дыма и улучшило условия эксплуатации (рис. 7.5).



Рис. 7.5. Так размещались пассажиры в подземном поезде Лондонского метро

После Лондонского старта, метро начало свой путь по странам и континентам. В 1868 году в Нью-Йорке была открыта городская подземная железная дорога на канатной тяге, которая была в 1871 году заменена на

паровую, а в 1890 – на электрическую. По протяженности и количеству станций метро Нью-Йорка занимает ведущее место в мире.

Старейшими на Европейском континенте являются метро Будапешта, построенное в 1896 г., а также метро Парижа, пуск первой линии которого был посвящен открытию Всемирной промышленной выставки в 1900 году.

Позже, почти ежегодно в больших городах мира вводятся в эксплуатацию подземные магистрали. С 1902 года в Берлине началось строительство открытым способом отдельных линий метрополитена в густонаселенных районах.

Трасса метро пролегла под улицами практически у самих подвалов близлежащих домов, а также проходила под руслом реки Шпрее (рис. 7.6).

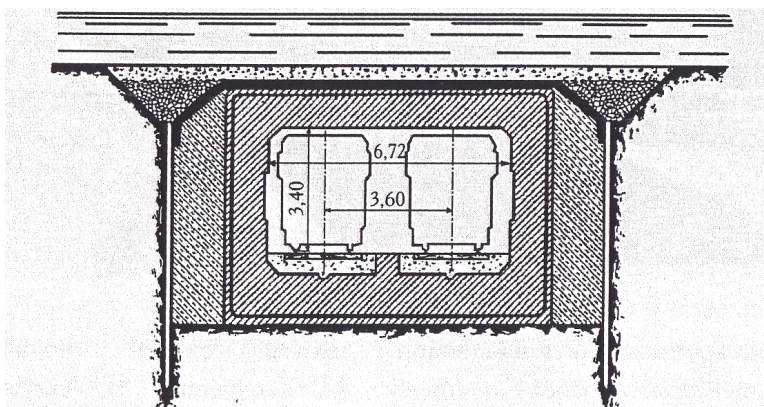


Рис. 7.6. Тоннель под рекой Шпрее Берлинского метрополитена (1902 г.)

Начиная с XX века география строительства метро расширялась: Мадрид, Барселона, Афины, Токио, Рим, Франкфурт на Майне, Прага, Каир и другие города.

В СССР метро развивалось быстрыми темпами с разработкой и внедрением новых технологий, машин, оборудования, позволивших стране занять передовые рубежи в мировом метростроении. Первое метро было построено в Москве. Первая линия Московского метро общей протяженностью 12 км с 13 станциями и комплексом сооружений была сдана в эксплуатацию 15 мая 1935 года. Московское метро сегодня – это 12 линий общей протяженностью 275 км, 170 станций и более 3,9 млрд. ежегодно перевозимых пассажиров.

Опыт строительства метро в Москве был использован при строительстве в городах: Киеве, Санкт-Петербурге, Тбилиси, Баку, Ташкенте и других.

Первое метро в Украине было построено в Киеве в 1960 году. При строительстве Киевского метро применялась новая горнопроходческая техника и современные прогрессивные конструкции. Оно стало неотъемлемой частью города. Трудно представить себе Киев без седого Днепра, без каштанов, без Владимирской горки и Подола, но не менее трудно представить себе в настоящий момент столицу Украины без метро. Сегодня метро действует также в Харькове и Днепропетровске. По качеству сооружения, поражающей архитектуре, комфортабельности и технической оснастке метро Москвы, Киева, Санкт-Петербурга, Харькова, не уступают метро ведущих стран мира. В начале XXI века метро действовало в 1 127 городах мира, протяженность линий составила свыше 3 300 км (табл. 7.1).

Таблица 7.1. Характеристика метрополитенов ряда городов разных стран мира

Страна	Город	Год введения в эксплуатацию	Длина линий, км	Число станций	В стадии строительства	
					Длина линий, м	Число станций
1	2	3	4	5	6	7
Украина	Киев	1960	55,0	42	7,4	4
	Харьков	1975	33,0	26	6,1	5
	Днепропетровск	1995	7,1	6	11,8	9
	Донецк	2007			13,0	6
	Одесса	2010			12,0	8
Россия	Москва	1935	252	148	22,4	10
	Санкт-Петербург	1955	102	55	22,0	16
	Нижний Новгород	1985	9,6	8	13,0	9
	Новосибирск	1986	8,8	7	3,2	4
	Свердловск	1990	8,16	6	3,37	3
США	Нью-Йорк	1868	385,0	463	4,0	-
	Бостон	1901	125,5	84	-	-
	Чикаго	1892	157,5	143	-	-
	Филадельфия	1907	39,0	53	-	-
Великобритания	Лондон	1863	392,0	248	-	-
	Глазго	1896	10,45	15	-	-
ФРГ	Берлин	1905	134,5	159	-	-
	Франкфурт на Майне	1925	50,9	72	10,0	13
	Дортмунд	1983	8,4	12	7,0	-
	Дюссельдорф	1981	7,8	10	3,0	-
	Мюнхен	1971	62,6	66	18,0	18
	Гамбург	1912	95,7	84	2,4	3

Продолжение табл. 7.1

1	2	3	4	5	6	7
Франция	Париж	1900	199,0	298	10,0	10
Япония	Токио	1927	153,7	140	18,5	-
	Осака	1933	99,1	93	6,7	6
	Нагоя	1957	60,2	61	8,6	-
Италия	Рим	1955	25,5	33	11,5	14
	Милан	1964	55,9	66	12,7	17
Греция	Афины	1925	25,7	20	-	-
Испания	Мадрид	1919	112,6	117	8,8	10
	Барселона	1924	70,8	88	4,8	6
Канада	Монреаль	1966	55,2	65	41,0	-
	Торонто	1954	56,9	59	35,0	-
Белоруссия	Минск	1984	10,36	9	14,1	10
Азербайджан	Баку	1967	25,7	15	8,4	7
Португалия	Лиссабон	1959	16,15	24	6,7	9
Австрия	Вена	1898	41,0	49,0	-	-
Норвегия	Осло	1966	49,84	44	2,4	-
Швеция	Стокгольм	1950	110,0	99	-	-
Грузия	Тбилиси	1966	27,39	221	8,6	7
Аргентина	Буэнос-Айрес	1913	39	63		
Мексика	Мехико–Сити	1969	126,8	118	9,9	7
Венгрия	Будапешт	1896	22,6	27	4,3	4
Чехия	Прага	1974	39,3	40	10,9	10
Армения	Ереван	1981	11,0	8	3,5	2

7.2. Метро – комплекс подземных сооружений

Проектирование основных направлений развития метро проводится на основании генерального плана развития городов. В зависимости от характера эксплуатации метро проектируется с независимым движением составов, не связанными между собой линиями (Москва, Санкт-Петербург, Киев), с переходом части составов из одной линии на другую (Лондон, Нью-Йорк) и в виде комбинированных сетей. Метро удобно для пассажиров, осуществляющих далекие поездки, поэтому расстояние между станциями в городах иногда достигает 1 – 2 км (Москва, Киев). Среднее расстояние между станциями метро Берлина, Мадрида, Милана, Торонто, Буэнос-Айреса и некоторых других городов Европы и Америки составляет 500 – 800 м. В ряде городов (Париж, Сан-Франциско, Нью-Йорк) эксплуатируются линии скоростного метро (метро-экспресс), на которых станции размещаются через 3 – 6 км.

Глубина заложения линий метро, типы тоннельных сооружений и методы проведения работ, устанавливаются на основании детальных градостроительных, инженерно-геологических, технико-экономических и других исследований.

Наиболее экономичным является сооружение линий метро неглубокого заложения. Тоннели линий неглубокого заложения размещаются на глубине 10–15 м от уровня земли. Линии глубокого заложения (30–50 м) прокладываются преимущественно в районах с плотной многоэтажной застройкой и развитым подземным хозяйством, а также при неблагоприятных геологических и гидрологических условиях для строительства. Сооружение тоннелей глубокого заложения практически не нарушает нормальной жизни и не влияет на стойкость зданий и подземных коммуникаций (рис. 7.7).



Рис. 7.7. Общий вид тоннеля метро глубокого заложения

Ширина колеи метро в мире разная. В городах Москва, Киев, Баку, Ташкент, Ленинград ширина колеи 1 520 мм. Во многих других городах мира наиболее распространена ширина – 1 435 мм. В Японии ширина колеи принята 1 067, 1 372, 1 435 и даже 2 180 мм.

Метро включает большой комплекс сооружений. Особенное место занимают станции, вестибюли, пересадочные узлы, непосредственно связанные с обслуживанием пассажиров. Рядом с выполнением основных своих функции они должны обеспечивать безопасность пассажиров и комфорт.

В основном станции метро и переходы оборудуются эскалаторами для поднятия пассажиров на высоту более, чем 21,5 м. При высоте более 7 м предусматриваются эскалаторы и для спуска пассажиров. В некоторых странах применяют подъемники лифтового типа с кабинами вместимостью до 130 человек (рис. 7.8).

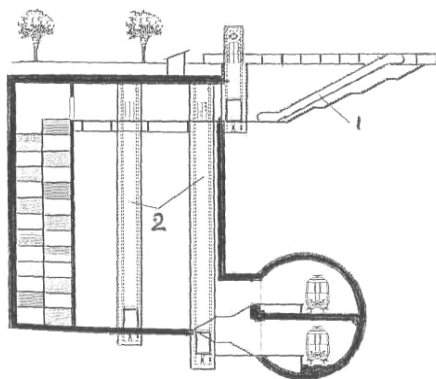
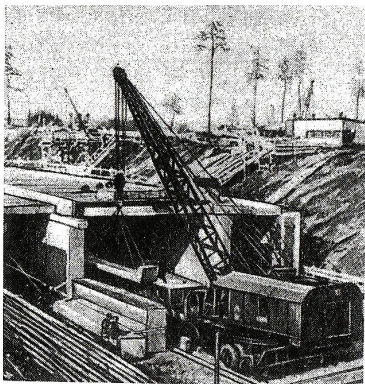


Рис. 7.8. Схема станции метро (Барселона) с подъемниками:
1 – эскалатор; 2 – лифтовый подъемник

Станции метро в зависимости от физико-механических свойств пород, условий гидрогеологии и прохождения трассы, бывают глубокого и неглубокого заложения.

Станции неглубокого заложения сооружаются главным образом с раскрытием поверхности (рис. 7.9). При этом используют балочные конструкции с одним, двумя или несколькими рядами опор, или сводовые конструкции, рассчитанные на нагрузку от массы земли толщиной 1,0 – 2,5 м и уличного транспорта, движущегося по поверхности.



а)



б)

Рис. 7.9. Сооружение станций метро открытым способом:
а) – с балочными конструкциями (Киев); б) – со сводовыми конструкциями (Мадрид)

Станции глубокого заложения представляют собой два, три или несколько тоннелей с монолитными, сборными отделками,

выдерживающими давление пород, залегающих над ними. Они разделяются на пилонные и колонные (рис. 7.10).

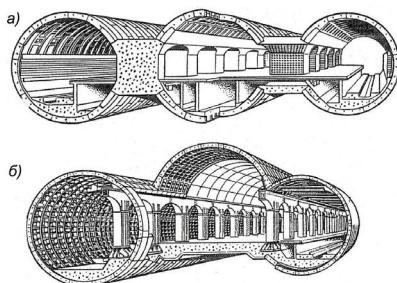


Рис. 7.10. Конструкции станций метро:

а) – пилонного типа с отделкой стенок железобетонными тубингами; б) – колонного типа с увеличенным прогибом среднего зала

В пилонных станциях метро (рис. 7.10, а) опорами перекрытия являются массивные пилоны, состоящие из 2 – 4 или большего количества тубинговых колец. Колонные станции (рис. 7.10, б) смонтированы из стальных или железобетонных колонн.

Первые станции лондонского метро сооружались под проезжей частью улиц и имели сводовое перекрытие из кирпича с вентиляционными решетками. Путь размещался по центральной продольной оси станции метро, а по сторонам путевого полотна находились две боковые пассажирские платформы шириной 1,5 – 3,0 м.

В дальнейшем при строительстве в Лондоне станций метро глубокого заложения начали применять конструкции кольцевого сечения из чугунных тубингов, облицованных керамической плиткой. Большинство станций Парижского метро имеют одинаковую односводовую конструкцию из кирпича, облицованную глазурованной плиткой, с центральным размещением пути и боковыми пассажирскими платформами.

Большое внимание уделяется оснастке станций метро. Его архитектуре начали уделять внимание лишь во второй половине XX века. С этого времени в Европе начали применять новые конструкции строительных и отделочных материалов. Особенно это коснулось станций линии «Восток – Запад» в Будапеште и линии «Север – Юг» в Мюнхене.

В СССР с начала строительства метро его станции создавались как протяженный архитектурный комплекс монументальных сооружений. Архитекторы и дизайнеры пытались не только создать комфортные условия для пассажиров, но и придать каждой станции метро индивидуальный архитектурный вид. Станции метро в Киеве, Москве,

Санкт-Петербурге – это плод новаторских архитектурных решений и художественного искусства.

В оформлении станций и наземных вестибюлей использовались мозаика, живопись, скульптура, декоративно-прикладное искусство. Станции метро Украины облицовывают красным, белым мрамором, серым гранитом, металлическими элементами, скульптурными ансамблями (рис. 7.11).



Рис. 7.11. Станция метро Украины

Позже в оформлении станций метро на смену архитектурным и художественным формам пришло новое направление с использованием современных материалов: стекла, металла, пластика.

Произошли изменения и в самих строительных конструкциях, применяемых при сооружении станций метро. Важным достижением была разработка сборных железобетонных конструкций (рис. 7.12).

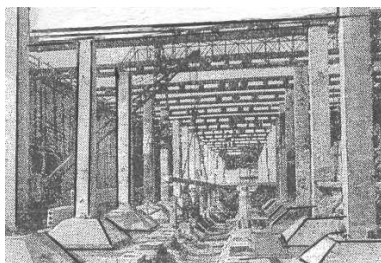


Рис. 7.12. Монтаж сборных железобетонных конструкций при строительстве станций Киевского метро

7.3. Способы сооружения тоннелей метро

Строительство главных сооружений метро – перегонных тоннелей имеет некоторые особенности. О них далее и пойдет речь. Тоннели метро сооружаются двумя способами: открытым и закрытым. При сооружении тоннелей неглубокого (мелкого) заложения закрытым способом

принимаются меры, предупреждающие оседание поверхности, повреждение сооружений и городского подземного хозяйства, расположенных вблизи зданий.

При открытом способе работ поверхность улиц раскрывается и тоннельные конструкции монтируются в котловане с креплением или с откосами. Движение наземного городского транспорта «отводится в сторону», или пропускается по временному мосту через котлован. Фундаменты зданий, размещенные вблизи трассы, при необходимости, закрепляются.

Большая часть трассы линий метро проходит под землей и сооружение тоннелей вводится закрытым способом (рис. 7.13). При глубоком залегании метро на первом этапе строительства проходят шахтные стволы. Их размещают в стороне от трассы и соединяют с тоннелями подходными выработками, которые на период строительства используются для транспортных целей, а по окончании сооружения – для размещения вентиляционного оборудования. Через вертикальные стволы и подходные выработки начинаются горные работы по сооружению тоннелей метро.

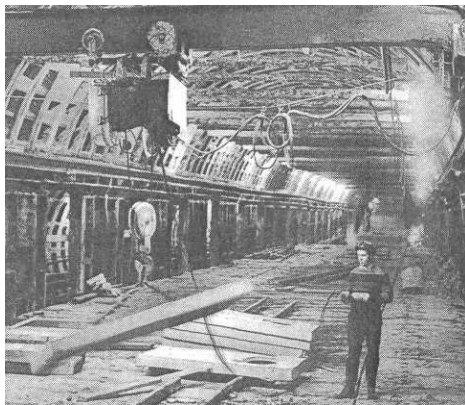


Рис. 7.13. Сооружение Московского метро

О тоннелях мы с вами уже знаем из раздела «Тоннели». Технология сооружения перегонных тоннелей метро имеет особенности, связанные с тем, что они сооружаются в пределах городской застройки не так глубоко и часто в сложных инженерно-геологических условиях: напластованиях пород, пльвунах, трещиноватых и сыпучих породах.

Сооружение тоннелей метро осуществляется проходческими щитами, взрывными работами, комбайнами. В тяжелых инженерно-геологических условиях (водоносные почвы, пльвуны) применяют специальные методы.

Сооружение тоннелей с помощью механизированных проходческих щитов нашло широкое применение в практике метростроения. Впервые о применении тоннелепроходческих щитов в мире узнали, когда началась прокладка первой линии метро в Лондоне закрытым способом. Здесь, в 1830 году для прохождения тоннеля был применен буровой щит цилиндрической формы, разработанный инженером Грейхедом. И сегодня, разработанные в те времена конструктивные основы щитов, широко используются в разных щитовых модификациях.

В СССР первые щиты начали применять в 1932 году. На сооружении линий Московского метро работало 40 щитов, которыми достигались высокие темпы проходки выработок (120 м в месяц).

При строительстве Киевского метро впервые был применен механизированный горнопроходческий щит «Киевский», сконструированный и изготовленный в Украине и позволяющий в короткие сроки и с высокой производительностью пройти станции глубокого заложения: Вокзальную, Университет, Крещатик, Арсенальную.

Опыт прохождения тоннелей с помощью механизированных щитов был применен при строительстве линий метро в Санкт-Петербурге, Минске, Новосибирске, Баку и других городах. Механизированные щиты с успехом применялись и в некоторых европейских странах (ФРГ, Чехия, Венгрия, Италия, Болгария, Польша, Испания).

При строительстве Пражского метро механизированные щиты хорошо себя показали на участке первой линии в районе реки Влтава и исторического центра города, где нужно было организовывать взрывные работы и избежать проседания горных пород. Диаметр тоннеля составлял 5,1 м (рис. 7.14).

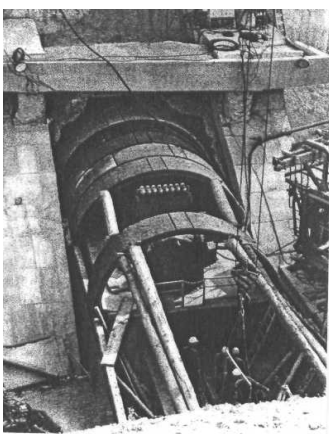


Рис. 7.14. Сооружение Пражского метро с помощью проходческого щита

В мировой практике используют механизированные щиты разных типов и конструкций. В зависимости от свойства пород, их прочности, рабочие органы щитов могут быть: роторными, качающимися, планетарными, комбинированными (рис. 7.15).



Рис. 7.15. Рабочая головка роторного типа проходческого щита (Мюнхен)

При строительстве тоннелей метро в Москве, Нижнем Новгороде, Минске, Киеве, Санкт-Петербурге применялись разные типы механизированных щитов. Так, проходческий комплект ТШБ – 7 обеспечивал сооружение тоннеля с монолитно-передвижной отделкой, главным образом в песках с размером включений 200 мм. Основа агрегата комплекса – проходческий щит диаметром 5,9 м. Принцип работы комплекса основан на сочетании вдавливания в забой ножевой части корпуса щита и одновременным прессованием в хвостовой части оболочки бетонной смеси с помощью 25 щитовых гидроцилиндров. Технология позволяет сооружать тоннели со скоростью 1,8 м в час и не нуждается в сборных железобетонных блоках, вместо них используется монолитный бетон.

В 1982 году был испытан и запущен в эксплуатацию на строительстве одной из линий Московского метро механизированный комплекс КМ–42. Тоннельный комплекс КМ–42 со щитом ЩНЕ–1 предназначен для сооружения перегонных тоннелей метро со сборной отделкой диаметром 5,1 м в песчаных, глинистых и смешанных песчано-глинистых породах. На щите размещены два экскаваторных органа с телескопической стрелой и поворотным ковшом, позволяющие полностью механизировать разработку и погрузку породы со средней скоростью проходки 3 м/сутки.

Комплекс Кт1-5,6 Д2 предназначен для механизированного сооружения перегонных тоннелей, как неглубокого, так и глубокого заложения, с монтажом сборной железобетонной и чугунной отделки.

Инженерно-геологические условия применения комплекса следующие: при работе с экскаваторным органом – суглинки, глины с включением гравия, гальки; при работе с фрезерным органом – плотные глины, известняки, с прочностью на одноосное сжатие от 80 до 50 МПа. Диаметр сооружаемого тоннеля – 5,1 м, ширина кольца сборной отделки тоннеля – 1,0 м, внешний диаметр щита – 5,63 м. Комплекс состоит из проходческого щита, укладчика блоков и транспортного моста.

Наряду с использованием на сооружении тоннелей метро механизированных щитовых комплексов в мировой практике широко применяются комбайны. Комбайн, как комбинированная машина, одновременно с разрушением породы осуществляет выгрузку горной массы из забоя и погрузку ее в вагонетки. Внедрение комбайна при сооружении тоннелей Московского метро показало возможность разработки забоя перегонного тоннеля диаметром 5,6 м. В комплекс комбайна 4ПП–2 входит передвижная опалубка ОМП–2 и бетоноукладочная установка БУК–2.

В последние годы техника сооружения тоннелей усовершенствовалась. Появились высокомеханизированные проходческие комплексы, обеспечивающие высокие темпы прокладки тоннелей. Примером может быть сооружение городского тоннеля (City-Tunnel) в г. Лейпциг (ФРГ). Протяженность тоннеля – 3,9 км, глубина заложения – от 17 до 22 м. На этом расстоянии будет размещено 4 станции. Линии метро, пуск которого намечен на 2010 год, будут иметь два параллельных тоннеля, пройденных механизированным комплексом (Tunnelbohrmaschine) с роторным исполнительным рабочим органом диаметром 9,0 м (рис. 7.16). Порода разрушается резцами, размещенными на роторе, растворяется водой и в виде пульпы по трубам транспортируется на поверхность.



Рис. 7.16. Общий вид механизированного комплекса «Tunnelbohrmaschine»

На рис. 7.17 показаны пройденные параллельные тоннели “City-Tunnel”, строящегося в Лейпциге.



Рис. 7.17. Общий вид тоннелей “City-Tunnel” в Лейпциге

При прокладке тоннелей по крепким скальным породам, применяется взрывной метод. У забоя выработки бурятся шпуров, заряжаются взрывчаткой и взрываются. Современная буровая техника представляет собой специальные установки, оснащенные манипуляторами, на которых размещены буровые машины (рис. 7.18).

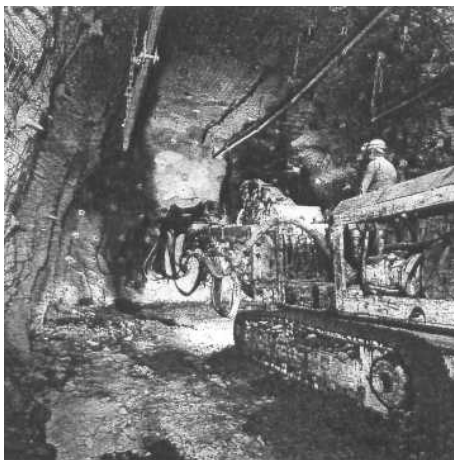


Рис. 7.18. Бурение шпуров в забое при сооружении тоннеля взрывным методом

Мощные буровые установки вращательно-ударного действия позволяют ускорить и облегчить одну из наиболее тяжелых операций на проходческих работах – бурение шпуров. Раздробленная взрывом порода погружается в вагонетки погрузочной машиной, или экскаватором и транспортируется к главному стволу (рис. 7.19).

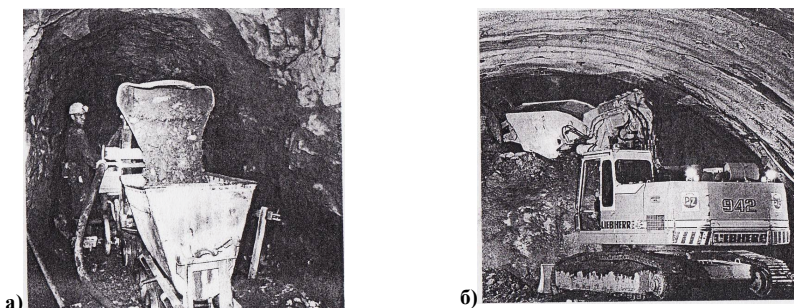


Рис. 7.19. Погрузка породы в забой:
а) – машиной; б) – экскаватором

Часто в практике сооружения перегонных тоннелей метро применяют метод «стенка в почве». Это – прогрессивный метод, с помощью которого, открытым способом глубиной до 30 м обеспечивается, кроме тоннелей, строительство станций и притоннельных сооружений. Этот метод нашел применение при сооружении метро в Киеве, Минске и других городах мира и позволил в 1,5 раза уменьшить объем земляных работ и сроки строительства, а также исключить возникновение шумов и вибраций, что особенно важно при работе вблизи зданий и сооружений.

Метод заключается в том, что в узкой глубокой траншее, как в земляной опалубке, сооружается бетонная стенка. Напротив, на некотором расстоянии – вторая. Потом, между стенками, вынимают почву, устанавливают в нижнюю часть тоннеля – лоток, а в верхнюю – перекрытие. При высоте тоннеля 10 м, верхняя часть может использоваться для размещения гаражей, составов, торговых сетей (рис. 7.20).

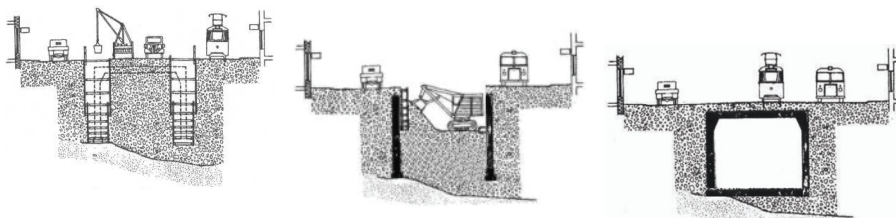


Рис. 7.20. Сооружение тоннеля метро методом «стенка в почве» (Стокгольм)

В местах пересечения рек перспективным является способ, когда разрабатывают траншею на дне, водным путем транспортируют готовые тоннельные секции, их опускают под воду, укладывают в траншею и стыкуют. Там, где трасса проходит вблизи строений, или пересекает

железнодорожные пути, применяют метод продавливания, когда с помощью мощных домкратов тоннельные секции устанавливают в образованную полость.

При сооружении метро в сложных условиях (водоносных почвах и породах, пльвунах) применяют разные методы закрепления почв и пород и снижения уровня грунтовых вод. Среди них: искусственное понижение грунтовых вод, искусственное замораживание, кессонный способ, химическое закрепление почв и др.

Искусственное понижение грунтовых вод применяется при прохождении тоннелей открытым и закрытым способами, при прохождении шахтных стволов, при понижении напора и уменьшении притока воды в выработки. Его суть заключается в том, что за периметром осушаемого участка, бурятся водопонижающие скважины, из которых постоянно откачивается вода. При этом образуются депрессионные воронки, позволяющие снизить уровень грунтовых вод к заданным отметкам.

Искусственное замораживание применяется при прохождении подземных выработок в разных водоносных почвах и породах. Этот способ является наиболее универсальным и надежным. Суть искусственного замораживания почв заключается в создании временного крепкого и водонепроницаемого крепления выработок из замороженной почвы (ледогрунтового ограждения). Для строительства такого временного крепления по контуру будущей выработки бурят скважины. В эти скважины опускают замораживающие трубы (колонки), по которым циркулирует раствор хлористого кальция, имеющий отрицательную температуру. Хлористый кальций снижает температуру почвы, находящейся вокруг замораживающей колонки, и почва постепенно замораживается.

Впервые метод замораживания почв был применен при сооружении Московского метро. Позже этот метод был усовершенствован и в виде контурного замораживания с водопонижением был применен при строительстве метро в Санкт-Петербурге, Баку, Киеве и других городах.

Кессонный способ применяется при прохождении горизонтальных и вертикальных выработок в пльвунах и водоносных почвах. Суть его заключается в искусственном создании избыточного давления (0,2 – 0,25 МПа) в зоне забоя для отвода грунтовых вод от места производства работ. Давление воздуха выбирают в зависимости от глубины выработки и гидростатического напора. Этот метод успешно был применен при прокладке тоннеля метро в Баку в сложных горных условиях. Давление подземных вод в зоне прохождения тоннеля превышало 0,4 МПа. Впервые здесь был применен комбинированный метод, кессонный способ в

сочетании с глубоким водопонижением. При строительстве тоннеля метро в Париже под рекой Сеной было применено закрепление почвы кессонным способом для уменьшения проседания почвы при работе проходческого щита.

Способы химического закрепления почвы основаны на нагнетании в них растворов, состоящих из одного или нескольких компонентов. В качестве химических закрепляющих растворов применяют растворы силиката натрия (жидкое стекло) и смолы, в качестве затвердителей – кислоты и соли.

Важной технологической операцией при сооружении перегонных тоннелей метро является отделка тоннелей. Основные требования при их сооружении: сокращение сроков строительства, экономия материалов, водонепроницаемость, надежность и высокое качество.

Отделка тоннелей бывает разной конструкции: из чугунных блоков, сборная из железобетонных блоков, торкретбетонная, монолитно-прессованная и секционная.

Впервые отделки из чугунных тубингов, собранные на резьбовых соединениях, были применены в 1870 году при строительстве метро в Лондоне. Тубинги получили свое название от слова «туб» (труба). В 1937 году чугунная тубинговая отделка была использована при строительстве тоннелей второй очереди Московского метро. Отделка из чугунных тубингов имела внешний диаметр 6,0 м (рис. 7.21).



Рис. 7.21. Отделка тоннеля метро чугунными тубингами

Сборная отделка из железобетонных блоков имеет разные конструкции: ребристого и сплошного сечения. Отделка из железобетонных блоков в системе метростроения в мире считается наиболее экономичной и совершенной. С целью механизации проходческих работ разработаны конструкции сборной железобетонной

отделки. Кольцо отделки состоит из восьми блоков. Отделки собирают и монтируют укладчиками, входящими в состав щитового комплекса.

Торкретбетонная отделка также считается одним из эффективных способов. Применяется этот метод в широком диапазоне от скальных до слабых пород. Отделка из торкретбетона активно взаимодействует с породой, резко ограничивает деформацию контура выработки и обеспечивает совместную работу системы «отделка – порода». Торкретбетон наносится на анкеры, арки, или металлическую сетку. От вида крепления зависит и толщина отделки (рис. 7.22).

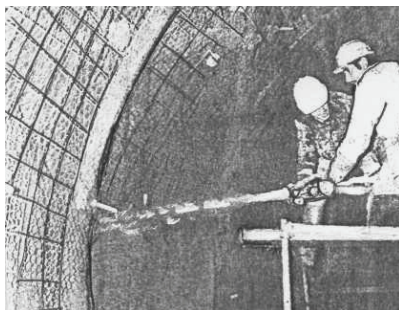


Рис. 7.22. Нанесение торкретбетона на металлическую сетку (Марсель)

Разработаны конструкции передвижных установок, позволяющие механизировать весь технологический процесс. Применение торкретбетона при строительстве тоннеля метро в Мюнхене (Германия) дало возможность перекрыть одной арочной конструкцией трехпутевой тоннель с площадью сечения 150 м^2 (рис. 7.23).

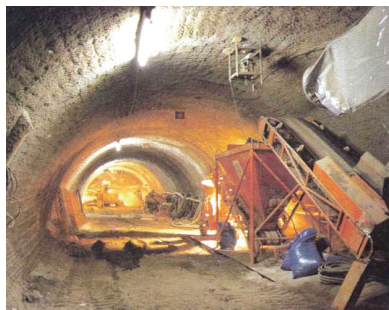


Рис. 7.23. Отделка тоннеля торкретбетоном с механизацией работ (Мюнхен, ФРГ)

Монолитно-прессованная отделка формируется из бетонной смеси давлением, создаваемым проходческим щитом во время его продвижения

вперед. Цикл работы начинается с установки в автономной части щита очередной секции опалубки. Затем в пространство за опалубкой подается бетонная смесь, щит продвигается вперед и усилиями щитовых домкратов прессует смесь. Одновременно с прессованием демонтируется задняя секция опалубки. Толщина отделки составляет 3 – 40 см. Монолитно-прессованная отделка была с успехом применена при сооружении метро в Москве, Минске, Тбилиси и Нижнем Новгороде.

Сплошная секционная отделка применяется при сооружении тоннелей открытым способом. Она представляет собой замкнутую железобетонную раму. Каждый элемент сплошной секционной отделки – готовый участок однопутевого тоннеля длиной 1,5 м. При сооружении тоннеля метро в Ташкенте успешно была освоена сейсмостойкая сплошная секционная отделка.

При сооружении метро возникают сложности и проблемы. Одна из них – оседание поверхности земли в результате гидростатического сжатия песчаных пород и уплотнения глинистых водоупоров. Так, в Москве при строительстве тоннеля метро в известняках карбона, уровень подземных вод был снижен на 17 м, оседание поверхности при этом составило 15–28 м. Развитие геологических процессов в выработках метрополитена сопровождается сдвигом горных пород, образованием мульд оседания, трещин и провальных воронок на поверхности, приводящим к деформациям зданий и сооружений.

Мульды оседания формируются вдоль подземных трасс почти всех метрополитенов мира. Ширина мульд над станциями метро изменяется от 160 до 300 м, над перегонными тоннелями – от 40 до 200 м. Глубина мульд оседания достигает в Киеве – 43 см, Москве – 100 см, Санкт-Петербурге – 88 см, Баку – 25 см.

Факторы, влияющие на размеры оседания – это, прежде всего, геологические условия: состав, состояние, свойства пород, их обводненность. Практика строительства Московского и Киевского метрополитенов показывает, что оседание над тоннелями, пройденными в песках, в 3 – 5 раз больше, чем над тоннелями, сооруженными в крепких известняках. Если сравнить два способа сооружения тоннелей – щитовой и горный, то горный способ дает большую деформацию и оседание поверхности. Щитовой способ обеспечивает большую скорость прохождения и надежное крепление выработок.

Метро продолжает свой путь, начатый в 1863 году. Оно совершенствуется, на смену старым технологиям приходят новые машины, новые автоматические и телемеханические системы.

Таким образом, мы с вами ознакомились еще с одним подземным сооружением – метро.

Раздел 8

ПОДЗЕМНЫЕ МАГИСТРАЛЬНЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ

Сегодня в мире по трубам перекачивается нефть, нефтепродукты, природный газ, химическое сырье и продукция из него, вода, пар, угольная суспензия, рудный концентрат, отходы руды, серы, магнетита, известняков. Как видим, почти в каждой отрасли промышленности, применяется трубопроводный транспорт.

Из этого арсенала транспорта мы решили рассказать читателю о магистральных газонефтепроводах.

8.1. Этапы развития

Как только была найдена нефть, для ее промышленного использования возникла проблема с доставкой ее на рынок. Сначала это были бочки, укладываемые на подводы, или плоты для перевозки реками.

Трубопроводы были известны еще в древнем мире. Уже в IV веке до н.э. китайцы использовали бамбуковые трубопроводы для подачи природного газа в помещения.

Прошло много лет, пока человек научился строить металлические трубопроводы. Так, по предложению выдающегося российского ученого Д.И. Менделеева, братья Нобель в 1878 году строят первый металлический нефтепровод длиной 12,5 км в районе Баку. Позже, в 1887 г., первый магистральный нефтепровод большой длины был построен у реки Делавер (США) (рис. 8.1).



Рис. 8.1. Строительство первого в мире трубопровода большой длины (США)

В конце 1890 г. в районе Бакинских нефтяных промыслов уже эксплуатировалось 38 нефтепроводов общей протяженностью более чем 300 км. В 1906 г. был проложен первый магистральный трубопровод для газа Баку – Батуми диаметром 203 мм.

XX век был пиковым в строительстве магистральных газонефтепроводов в мире. Это было обусловлено открытием мощных нефтяных и газовых месторождений. Еще в 50-е годы прошлого века началось сооружение международных магистральных газонефтепроводов, обслуживающих несколько стран.

В Западной Европе были проложены основные системы нефтепроводов: Южно-Европейская – длиной 782 км, Центрально-Европейская – длиной 931 км, Трансальпийская – длиной 460 км и Рейнско-Дунайская – длиной 432 км.

На начало 1980 г. общая протяженность сети магистрального трубопроводного транспорта в СССР составляла 271 тыс. км. За период 1980–1986 гг. в США и других странах было построено 260 тыс. км магистральных и морских трубопроводов.

На конец 1972 года в мире эксплуатировалось более чем 1,6 млн. км трубопроводов, из них 70% – газопроводы, 20% – нефтепроводы и 10% – продуктопроводы. В течение 80-х годов прошлого века протяженность нефтегазовых магистралей в мире увеличилась на 20%, объем транспортировки на 25%.

Развитую газотранспортную систему имеет и Украина. В 1948 году с введением в эксплуатацию газопровода Дашава – Киев протяженностью 512 км столица Украины получила газ Прикарпатья, который потом дошел до Брянска и Москвы. Здесь впервые на строительстве газопровода была применена автоматическая сварка труб под слоем флюса, разработанная в Институте электросварки им. Е.О. Патона Академии наук Украины.

В Украине в 1949–1954 г. были открыты ряд новых газовых месторождений, от которых проложены магистральные газопроводы Шебелинка – Харьков, Шебелинка – Днепропетровск. На этих стройках были применены трубы диаметром 720 мм, механизация работ составляла 65%.

Открытие нефтяных залежей в 60-х годах в Татарии и Куйбышевской области СССР стало началом строительства одного из мощных по протяженности (5 500 км) Трансевропейского нефтепровода «Дружба», по которому в 1964 году через Украину нефть была подана на нефтеперерабатывающие и нефтехимические комбинаты Чехословакии, Венгрии, Польши и ГДР. По масштабам проведения строительномонтажных работ нефтепровод «Дружба» был одним из крупнейших сооружений в мире.

С открытием Оренбургского газового месторождения (Россия) и подписанием договора между странами СЭВ в 1975 году было начато строительство газопровода «Союз» в направлении Оренбург – Западная граница СССР. Уже в 1978 году оренбургский газ получили Венгрия, Болгария, Польша, Румыния, ФРГ. Этот трансконтинентальный газопровод прошел через всю территорию Украины. Трасса прошла через реки Днепр и Днестр и Карпатские горы (рис. 8.2).

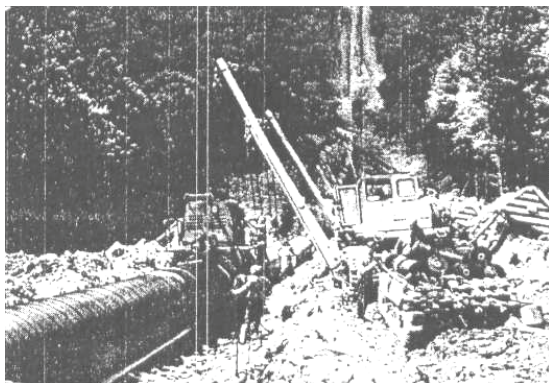


Рис. 8.2. Строительство газопровода «Союз» в Карпатах

Газопровод «Союз» был построен из труб большого диаметра 1 420 мм общей протяженностью 2 750 км с производительностью 28 млрд. м³ в год.

В 1982 году было начато строительство сверхмощного газопровода Уренгой–Помары–Ужгород длиной 4 450 км, на трассе которого было построено 41 компрессорную станцию (рис. 8.3).



Рис. 8.3. Строительство газопровода Уренгой–Помары–Ужгород

Этот газопровод был новым шагом научно-технического прогресса в области транспорта газа. Строительство экспортного газопровода, по которому газ транспортируется в Германию, Францию, Италию, Австрию, впервые в мировой практике было завершено в рекордно короткие сроки.

В 1988 году было завершено строительство еще одного мощного газопровода «Прогресс», проложенного через Украину. Этот газопровод связал газовое месторождение Ямбургское (Заполярье) с западной границей СССР. Этот уникальный газопровод имеет протяженность 28,7 тыс. км.

В 1991 году Украина стала самостоятельным независимым государством. И невзирая на то, что объемы строительства трубопроводов резко сократились, экономический кризис коснулся практически всех отраслей топливно-энергетического комплекса, газотранспортная система, хотя и незначительными темпами, продолжала развиваться. За последние годы были построены газопроводы Джанкой–Феодосия–Керчь, Симферополь–Севастополь, Краматорск–Донецк, Хуст–Сату-Маре; вторая очередь газопровода Донецк–Мариуполь; нефтепровод Одесса–Броды.

Сегодня в Украине действует наибольшая в Европе газотранспортная система. Она включает 37 тыс. км газопроводов, 121 компрессорную станцию, в которых установлено 800 газоперекачивающих агрегатов. Через газотранспортную систему Украины ежегодно перекачивается в страны Западной Европы более чем 100 млрд. м³ российского газа.

Система нефтепроводов Украины включает около 4,0 тыс. км магистральных нефтепроводов и 31 перекачивающую станцию, по которым ежегодно перекачивается более чем 65 млн. т нефти – почти 40% общего объема экспорта российской нефти.

Трубопроводный транспорт имеет высокие технико-экономические показатели. Так, себестоимость 1 т/км перекачивания нефтепродуктов трубопроводами в 3 раза ниже себестоимости перевозки железной дорогой и в 1,5–2 раза ниже себестоимости перевозки их водным транспортом, а для транспортировки природного газа – это главный вид транспорта.

8.2. Магистральный трубопровод. Что это за сооружение?

К магистральным трубопроводам принадлежат трубопроводы и отводы от них диаметром до 1 420 мм включительно с избыточным давлением не более 10 МПа. Они предназначены для транспортировки природного газа из районов добычи (газопромыслов) к местам потребления (городам и населенным пунктам) и транспортировки нефти с районов добычи к местам ее переработки (нефтеперерабатывающим заводам) и к местам потребления (портам, нефтебазам, перевальным базам,

пунктам топлива). Кроме того по магистральным трубопроводам транспортируется сжиженный газ, искусственные углеводородные газы.

Магистральный трубопровод имеет определенное название в зависимости от продукта, который перекачивается: газ – газопровод, нефть – нефтепровод, нефтепродукт – нефтепродуктопровод. Магистральный трубопровод включает в себя систему сооружений. На рис. 8.4 и 8.5 показаны схемы магистрального газопровода и нефтепровода.

Основными сооружениями газопровода являются главные сооружения (на которых газ подготавливается к последующей транспортировке), линейная часть (сам газопровод), компрессорные станции (КС), газораспределительные станции (ГРС) и подземные хранилища газа (ПХГ) (рис. 8.4).

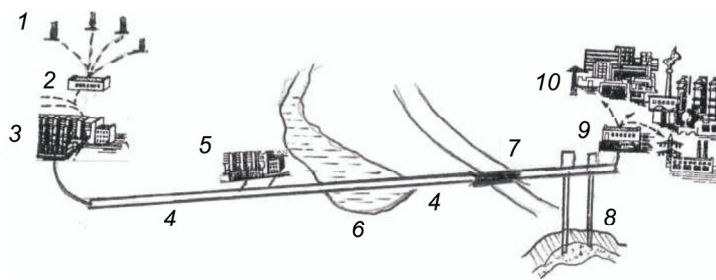


Рис. 8.4. Схема магистрального газопровода:

- 1 – газопромysel; 2 – газосборный пункт; 3 – главная компрессорная станция (КС);
- 4 – линейная часть газопровода; 5 – промежуточная КС; 6, 7 – переходы через реку, дорогу;
- 8 – подземное газохранилище; 9 – конечная газораспределительная станция (ГРС);
- 10 – потребители газа: промышленные объекты, электростанции, жилые массивы

В комплекс главных сооружений входят установки очистки газа от пыли и механических примесей, осушки и одоризации, главная компрессорная станция, находящаяся в исходной точке газопровода. Линейная часть – основная составная часть магистрального газопровода. Она является непрерывной нитью, сваренной из отдельных труб.

Компрессорные станции предназначены для повышения давления газа с целью подачи его на большие расстояния. В систему магистрального газопровода входят главная и промежуточные КС.

Газораспределительные станции (ГРС) являются конечными объектами магистралей или отводов от них. Они предназначены для снижения давления газа до уровня, необходимого потребителям газа (от 0,3 до 1,2 МПа). Для обеспечения надежного снабжения газом потребителей, с учетом сезонной неравномерности его потребления мощными промышленными центрами и крупными городами, создаются подземные газохранилища большой вместимости.

Магистральный нефтепровод включает в себя следующие комплексы: главные сооружения, линейную часть (сам нефтепровод), перекачивающие насосные станции, конечные распределительные пункты (рис. 8.5).

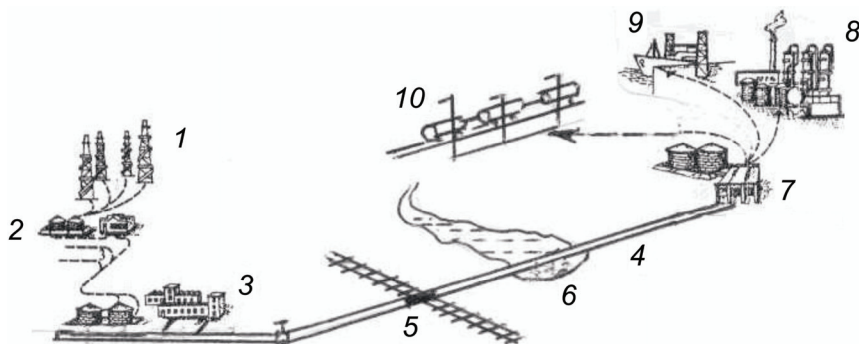


Рис. 8.5. Схема магистрального нефтепровода:

1 – нефтепромысел; 2 – нефтегазосборный пункт; 3 – главные сооружения, 4 – линейная часть нефтепровода; 5, 6 – переходы через железную дорогу, реку; 7 – конечный распределительный пункт; 8, 9, 10 – пункты потребления и перегрузки нефти; 8 – нефтеперерабатывающий завод; 9 – порт; 10 – железная дорога

На главной перекачивающей станции (ГПС) осуществляется принятие (сбор) нефти, поступающей из нефтепромысла, для дальнейшей ее транспортировки по трубопроводам. На главной перекачивающей станции размещается резервуарный парк, основная и подпорная насосные станции. Линейная часть нефтепровода и нефтепродуктопровода является основной составляющей системы. Конечными распределительными пунктами нефтепроводов и нефтепродуктопроводов являются приемные резервуарные емкости нефтеперерабатывающих заводов и нефтебаз.

8.3. Как сооружается подземный магистральный газонефтепровод?

Во-первых, это сложный технологический процесс, включающий выполнение большого комплекса работ: подготовительных, транспортных, земляных, сварочно-монтажных, изоляционно-укладочных, очистку полости и испытание готовых участков трубопровода.

Во-вторых, трубопроводы – ответственные сооружения, работающие под высоким давлением (до 10 МПа) и перекачивающие огне- и взрывоопасные продукты: газ, нефть, нефтепродукты. Поэтому к качеству строительства этих объектов предъявляются повышенные требования.

Магистральный трубопровод сооружается: подземным, наземным и надземным способами. Подземная укладка трубопроводов наиболее

распространенный способ в мировой практике. Она составляет почти 98% от общего объема линейной части, которая сооружается. При такой схеме трубопровод укладывается под землю в траншею и засыпается почвой.

О сооружении подземных трубопроводов и пойдет речь ниже.

Все перечисленные работы по сооружению выполняются в пределах строительной полосы (земельного отвода). Ширина строительной полосы зависит от диаметра трубопровода и назначения земли (земли сельскохозяйственного назначения с рекультивацией и земли без рекультивации). Ширина этой полосы колеблется в пределах 28–45 м.

На землях, пригодных для сельскохозяйственного производства, работы ведутся с рекультивацией. До проведения подготовительных работ снимается плодородный слой почвы и размещается в соответствующей зоне строительной полосы. После укладки трубопровода в траншею и его засыпки, плодородный слой почвы возобновляется.

После проведения ряда подготовительных работ, включающих расчищение строительной полосы от кустов, валунов, леса, снятия плодородного слоя, приступают к основным технологическим операциям по строительству.

Они начинаются с того, что выполняется большой объем погрузочно-разгрузочных и транспортных работ. Основной объем этих работ включает операции с трубами. Только для строительства магистрального трубопровода диаметром 1 420 мм и длиной до 100 км, доставляется на трассу до 87 800 т труб.

Трубы и другие грузы доставляются железнодорожным или водным транспортом на пристанционные или припортовые площадки.

Существует несколько схем транспортировки труб. Наиболее распространена трёхступенчатая доставка труб: станция разгрузки – трубосварочная база – трасса магистрального трубопровода.

Следующий этап в технологии строительства подземных трубопроводов заключается в проведении сварочно-монтажных работ. Эти работы проводятся по двум схемам в зависимости от условий строительства. Первая схема называется сварочно-базовой, вторая – трассовой. При проведении работ по первой схеме, которая встречается чаще всего, трубы сначала поступают на трубосварочную базу, где отдельные трубы (2–4) свариваются в секции длиной до 48 м (рис. 8.6). Сварка отдельных труб в секцию осуществляется автоматической сваркой под флюсом.

Далее трубные секции продолжают свой путь на трассу, где они раскладываются параллельно осевой линии трассы и соединяются с помощью ручной электродуговой сварки в нить.

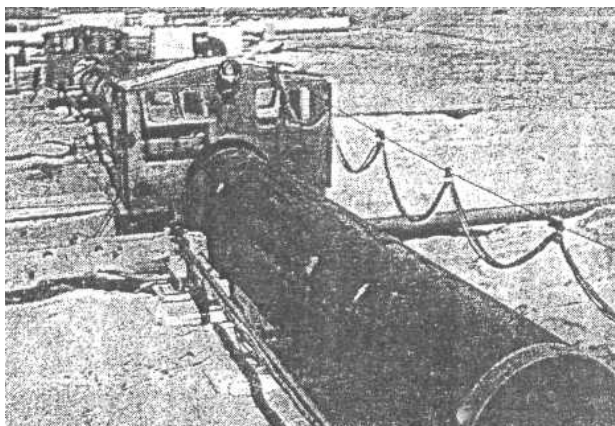


Рис. 8.6. Сварка труб большого диаметра на трубосварочной базе

Вторая схема – трассовая. Она применяется при сооружении трубопроводов в сложных условиях (горная местность, болота). По этой схеме, отдельные трубы от пункта разгрузки доставляются непосредственно на трассу, где свариваются в нить.

Что представляет собой процесс сварки труб?

При сооружении магистральных трубопроводов применяют в основном, электродуговые виды сварки (ручная, автоматическая под слоем флюса) и электроконтактная сварка. Ручная электродуговая сварка – процесс получения неразъемного соединения элементов стальных конструкций, в том числе и трубных, за счет расплавления элементов теплом электрической дуги и последующего образования сварочного шва за счет затвердения расплавленного металла. Ручным такой метод сварки называют потому, что все операции по перемещению и поддержанию горения дуги выполняют вручную.

Автоматическая электродуговая сварка была впервые разработана в Украине в 30-е годы под руководством академика Е.О. Патона и с 1948 года применяется при сооружении магистральных трубопроводов. Автоматической эта сварка называется потому, что основные процессы сварки – подача проволоки в зону дуги и поддержание необходимой длины дуги выполняются автоматически, без вмешательства оператора-сварщика. Вторая особенность этого вида сварки связана с тем, что дуга горит под слоем специального флюса, то есть сварка ведется закрытой дугой, которая обеспечивает качество сварочного шва, качественное формирование поверхности шва при высокой скорости сварки до 60–100 м/час. Автоматическая сварка под слоем флюса применяется при сварке отдельных труб в секции на трубосварочных базах.

Электроконтактная сварка оплавлением относится к сварке давлением. В отличие от электродугового метода, при сварке давлением, сварной шов формируется при обязательном сближении путем осадки (сжатия) свариваемых труб. Преимуществом электроконтактной сварки оплавлением является ее высокая производительность. Это объясняется тем, что сварное соединение при электроконтактной сварке образуется сразу же по всей площади кольцевого сечения труб.

Электроконтактная сварка труб осуществляется как в базовых условиях, так и непосредственно на трассе в полевых условиях. Для сварки труб магистральных трубопроводов диаметром 1 420 мм в СССР был разработан и успешно применен передвижной комплекс типа «Север». С применением этого комплекса были сварены тысячи километров труб магистральных газопроводов «Союз», «Уренгой–Помары–Ужгород», «Прогресс».

Ответственной операцией при сварочно-монтажных работах является контроль сварных соединений. Для выявления дефектов в сварных соединениях широко используют неразрушающие методы контроля: просвечивание рентгеновскими или гамма-лучами, магнитографический и ультразвуковой контроль.

Траншея является основным земляным сооружением при строительстве трубопроводов. Глубина и ширина траншеи зависят от диаметра трубопровода и вида почвы (скальные, песчаные, торфяные). Работы по сооружению траншей выполняются роторными или одноковшовыми экскаваторами.

Подземные магистральные трубопроводы из стальных труб поддаются интенсивной грунтовой коррозии, скорость и характер которой зависят от агрессивности почв. Поэтому поверхность стальных труб очищают, а затем изолируют. В качестве изоляционных материалов применяют битумно-резиновые мастики, защитные обертки, полимерные ленты. Процесс очистки поверхности трубы и ее изоляция механизирован. Для этого созданы высокопроизводительные самоходные очистительные и изоляционные машины.

Работы по очистке, изоляции и укладке совмещаются в одном технологическом потоке и проводятся механизированной изоляционно-укладочной колонной (рис. 8.7). В состав колонны входит несколько трубоукладочных, очистных и изоляционных машин. Количество трубоукладчиков в колонне зависит от диаметра трубопровода.

После укладки трубопровода на дно траншеи производится засыпка трубопровода и рекультивация земли. Почву из отвала перемещают в траншею с помощью бульдозеров или специальных машин для засыпки траншей.



Рис. 8.7. Изоляционно-укладочная колонна

Трубопровод уложен в траншею и засыпан. Далее приступают к заключительной операции – очистке полости и испытанию трубопровода. Для этого под давлением не менее 0,6 МПа, создаваемым сжатым воздухом, по полости трубы пропускают очистительный поршень, после чего приступают к испытанию трубопровода.

Трубопровод испытывают на прочность и герметичность пневматическим (воздухом или газом) или гидравлическим (водой) способами. Выбор способа испытания зависит от назначения трубопроводов, а также от географических, гидрогеологических и климатических условий.

Испытательное давление составляет 1,1 Р (Р – рабочее давление). Так, при рабочем давлении в трубопроводе 75 МПа, давление при испытании поднимается до 82,5 МПа. Выдержав испытание, трубопровод сдается в эксплуатацию.

И теперь нефть и газ по стальным подземным магистралям, преодолевая тысячи километров, поступает от нефтегазопромислов к потребителям: нефтеперерабатывающим заводам, нефтебазам, подземным хранилищам, промышленным комплексам, электростанциям и населенным пунктам.

Раздел 9

ПОДЗЕМНЫЕ ГАЗОНЕФТЕХРАНИЛИЩА

9.1. Основные сведения и назначение

Мы привыкли к тому, что нефть, нефтепродукты, сжиженные газы хранятся в стальных резервуарах и газогольдерах. Однако, хранение нефти и нефтепродуктов в традиционных емкостях – стальных резервуарах, связано с большими потерями углеводородов от малых и больших «дыханий», отказами сооружений, высокой пожаро-, взрыво-экологической опасностью, большими площадями застройки и значительными расходами на ремонт. Интенсивное развитие добычи нефти и газа в XX веке требовало увеличения резервуарных парков для нефти, нефтепродуктов и создания газохранилищ большого объема.

Вот почему в 50 – 60 годах XX века в мировой практике начал внедряться, а затем приобрел широкое развитие, прогрессивный метод хранения нефти, нефтепродуктов, сжиженных и природных газов – подземный. В сравнении с наземными нефтебазами подземные нефтехранилища имеют ряд значительных преимуществ: они менее металлоемкие, при их строительстве уменьшаются в 3 – 5 раз капитальные вложения, в 30 – 70 раз размеры земельных отводов, практически отсутствуют потери продуктов при хранении, значительно улучшается экология окружающей среды.

Подземное хранилище – это комплекс сооружений в толще полезных ископаемых, или горных породах, включающее одну или несколько естественных или искусственных полостей и наземное технологическое оборудование, обеспечивающих принятие, хранение и отбор продукта. Продукты в подземном хранилище могут быть как в газообразном, так и в жидком состояниях.

К горным породам, вмещающим подземные хранилища, выдвигаются особые требования. Они должны быть практически непроницаемыми, химически нейтральными к хранимым продуктам, их прочностные характеристики не должны изменяться во времени при долговременном контакте с продуктом. К таким породам относятся: каменная и калийная соли, гипсы, ангидриты, известняки, доломиты, граниты, глинистые сланцы, а также вечномерзлые породы.

Подземные газонефтехранилища, используемые в мировой практике, по способу сооружения емкостей для хранения нефти, нефтепродуктов и сжиженных газов, классифицируются по типам: образованные в залежах каменной соли геотехнологическим методом путем растворения соли через буровые скважины; образованные в крепких плотных породах (шахтным

методом) или в выработках отработанных рудников; ледогрунтовые; хранилища, сооружаемые глубинными (камуфлетными) взрывами; подземные изотермические.

Подземные хранилища для природных газов сооружаются в истощенных (отработанных) нефтяных и газовых месторождениях, а также в пористых водоносных пластах.

Проблемой подземного хранения углеводородов в мире заинтересовались не так уж давно. Первое подземное хранилище, образованное растворением каменной соли, было использовано для хранения жидких топлив в 1916 году немецким акционерным обществом, и только через 34 года в США была построена подземная емкость объемом 120 м³.

Первая подземная емкость шахтного типа для хранения нефти появилась в 1949 году в Швеции, а первое подземное хранилище для сжиженного газа пропана – в 1950 году в США. В 1915 году в Канаде было построено первое подземное хранилище для хранения природного газа.

В СССР вопрос о применении подземных выработок для хранения нефтепродуктов был поставлен профессором В.Н. Черникиным. Позже, в 60-х годах XX века, было создано опытное хранилище для хранения моторных топлив.

С годами подземные хранилища приобретали широкое распространение. Если к середине 50-х годов XX века они эксплуатировались только в Швеции, США и Канаде, то в последующий период такие сооружения были построены в ФРГ, Англии, Франции, Бельгии, Норвегии, Швеции, Финляндии, Италии, странах СНГ, Алжире. К началу XXI века подземные газонефтехранилища эксплуатировались в 30 странах мира, количество их превышало 1 000.

Подземные газохранилища создаются для покрытия сезонной неравномерности газоснабжения. Летом избыток газа направляют в хранилище, зимой – созданный за лето запас газа, тратится для покрытия его недостатка.

Подземные хранилища для нефти и нефтепродуктов предназначены для создания больших товаросырьевых парков нефтеперерабатывающих заводов и нефтехимических комплексов, распределительных и перевальных баз хранения, накопления аварийного запаса.

Как же сооружаются и эксплуатируются подземные хранилища – эти сложные инженерные сооружения? Об этом речь пойдет ниже.

9.2. Подземные хранилища природных газов

Подземные хранилища природных газов сооружаются в истощенных нефтяных и газовых залежах и в водоносных пластах. Главное, чтобы

породы были пористыми, чтобы они как губка (впитывали) всасывали газ. На долю хранилищ, образованных в истощенных пластах нефтегазовых месторождений, приходится основной объем газа. Расходы на создание и эксплуатацию газохранилищ в истощенных пластах приблизительно в 1,5–2 раза меньше, чем затраты на газохранилища в водоносных пластах. Это связано с тем, что истощенные нефтяные и газовые месторождения полностью разведаны и оборудованы, а создание хранилищ в водоносных пластах сопровождается проведением целого комплекса мероприятий по геологической разведке, промышленному освоению и эксплуатации хранилища.

При сооружении газохранилищ используются скважины, которые реставрируются. Наземная газовая сеть сооружается заново. Давление газа в подземном газохранилище зависит от геологии пласта, глубины его залегания и может достигать 15,0–20,0 МПа.

Основными сооружениями подземного газохранилища являются эксплуатационные и контрольные скважины, компрессорный цех для закачивания газа в пласт и подачи его потребителям при отборе, установки для очистки и осушки газа, системы борьбы с гидрообразованиями, технологические трубопроводы, система КИП и автоматики, газосборный коллектор (рис. 9.1).

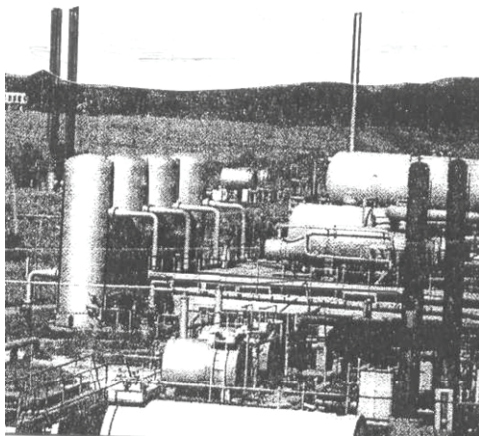


Рис. 9.1. Общий вид надземных сооружений подземного газохранилища

Подземные газохранилища, сооружаемые в истощенных газовых и нефтяных месторождениях, широко распространены во многих странах мира: ФРГ, США, России, Франции и других. Началом подземного хранения газа в Украине был 1964 год, когда впервые в Опарское подземное хранилище было закачано 87 млн. м³ газа. Сегодня в 43

подземных хранилищах Украины, из которых 70% приходится на западные регионы, содержится 43 млрд. м³ газа.

Подземные газохранилища в водоносных пластах создаются при выдавливании пластовой жидкости из пор породы и закачивании газа под непроницаемую кровлю. Наиболее пригодные для создания подземных газохранилищ пористые пласты, имеющие антиклинальную куполообразную форму. Сооружение газохранилища заключается в нагнетании газа в свободную часть структуры и выжимании воды в область стока за счет упругости системы или в сочетании с отбором части воды через разгрузочные скважины, расположенные по контуру поднятия (рис. 9.2).

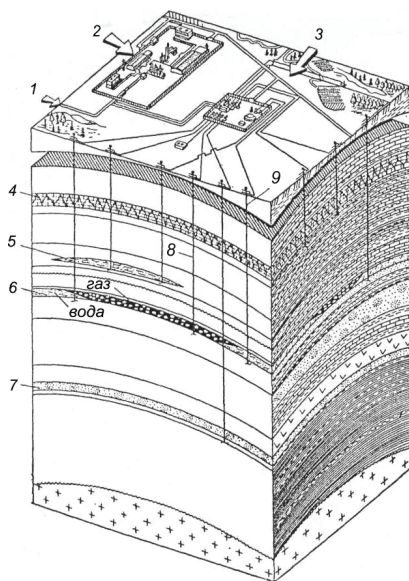


Рис. 9.2. Подземное хранилище природного газа в водоносных пластах:

- 1 – газ из магистрального газопровода; 2 – компрессорная станция; 3 – газораспределительный пункт; 4 – карбонатный пласт; 5 – песчаная линза; 6, 7 – песчаные пласты; 8 – эксплуатационные скважины; 9 – разгрузочные скважины

В состав подземного хранилища входят компрессорные цеха, блоки очистки газа, газораспределительные пункты (ГРП), эксплуатационные и разгрузочные скважины.

Как работает подземное хранилище в водоносном пласте? Газ подается в хранилище по отводу из магистрального газопровода (рис. 9.3), проходит очистку в пылеуловителе 1 и направляется к компрессорному цеху 2 на компримирование до давления 12 – 15 МПа.

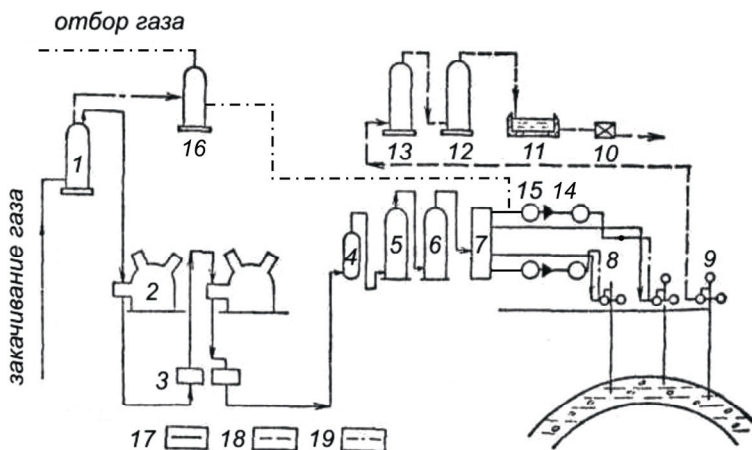


Рис. 9.3. Технологическая схема закачивания и отбора газа из подземного хранилища в водоносном пласте:

- 1 – пылеуловитель; 2 – газомоторный компрессор; 3 – холодильник; 4 – циклонный сепаратор; 5 – угольный адсорбер; 6 – керамический фильтр; 7 – газораспределительный пункт; 8 – эксплуатационные скважины; 9 – разгрузочная скважина; 10 – насос; 11 – бассейн; 12 – трап низкого давления; 13 – трап высокого давления; 14 – редуцирующий штуцер; 15 – газосепаратор; 16 – установка осушки газа; 17 – закачивание газа; 18 – откачивание воды; 19 – отбор газа

Поскольку при сжатии газа температура резко растет, то он охлаждается в воздушном холодильнике 3, после чего поступает на очистку от компрессорного масла. Очистка проводится по нескольким ступеням: циклонный сепаратор 4, угольный абсорбер 5 и керамический фильтр 6. После охлаждения и очистки от масла газ по газосборному коллектору поступает на ГРП 7, где направляется по отдельным шлейфам в скважины ПСГ с измерением количества газа, закачиваемого в каждую скважину.

При отборе газ из эксплуатационных скважин поступает по индивидуальным шлейфам. Редуцируют (снижают) давление газа с помощью штуцеров редуцирования 14. Газ, выходящий из скважины, выносит с собой песок и влагу, отделяемые в сепараторе 15. После сепаратора газ поступает на установку осушки 16 и далее направляется в магистральный газопровод. При закачивании газа вода, которая выжимается, направляется в трапы высокого 13 и низкого 12 давлений и далее в бассейн 11, после чего под давлением, создаваемым насосом 10, направляется для закачивания через поглощающие скважины в более отдаленные пласты.

На сегодняшний день подземные газохранилища построены во многих странах мира, их общий объем превышает $5 \cdot 10^{12} \text{ м}^3$.

9.3. Подземные газонефтехранилища в соляных структурах*

С каменной солью мы связываем всю свою жизнь. К тому как говорят «хлеб – всему голова» можно прибавить, что «хлеб и соль всему голова». Соль добывали, соль транспортировали, за соль обменивали оружие, продукты питания, за соль строили.

И наступил такой период, когда каменная соль стала средой в которой начали хранить нефть, нефтепродукты, сжиженные газы. Все это благодаря ее свойствам. Главное свойство каменной соли – хорошая растворимость. В 1 м³ воды при 20 °С может раствориться до 356 кг соли. Каменная соль практически непроницаема для нефтепродуктов и сжиженных газов, плотность ее составляет 2,1 – 2,3 г/см³, граница прочности на сжатие колеблется от 20 до 38 МПа. Это и обусловило использование соляных структур для создания подземных хранилищ методом растворения.

Среди подземных хранилищ всех типов, сооружаемых в горных породах, хранилища, образованные в каменной соли геотехнологическим методом имеют наибольшее распространение – до 90%. В США объем подземной вместимости, образованной в солях, достиг 200 млн. м³, в ФРГ – 40 млн. м³, во Франции – свыше 10 млн. м³. Такие хранилища эксплуатируются в России, Украине, Белоруссии.

Процесс сооружения хранилища в соляной структуре начинается с бурения скважины 9, которая оборудуется обсадной колонной с цементацией 8 затрубного пространства (рис. 9.4). В скважине монтируются три колонны труб: водоподающая 4, рассолоподъемная 5 и колонна для подачи нерастворителя 6. По колонне 4 из поверхности подают пресную воду 11, которая циркулирует в замкнутом пространстве и растворяет массив соляных пород. Насыщенный раствор 10 поднимается по колонне 5 на поверхность. В результате, непрерывной циркуляции воды в соляном массиве постепенно образуется полость. Процесс растворения осуществляется до тех пор, пока не будет создана подземная емкость 3 проектной конфигурации и объема.

Для растворения емкости надежной формы по колонне 6 подают нерастворитель 12 для удержания верхней части полости от растворения. Рассол, образованный во время сооружения емкости, сбрасывают в поглощающие горизонты или подают по трубам на солеварные заводы.

Таким образом создается база подземного хранения, включающая в себя несколько (а иногда и несколько десятков) емкостей, в которых хранят разные виды углеводородов: нефть, нефтепродукты, сжиженные

* Подраздел написан совместно с А.Ю. Кондратенко

газы. Так, в Маноске (Франция) подземное хранилище имеет 90 соляных полостей общим объемом 16 млн. м³. В ФРГ вблизи Вильгельмстафена подземное хранилище в солях имеет 52 емкости объемом 17 млн. м³.

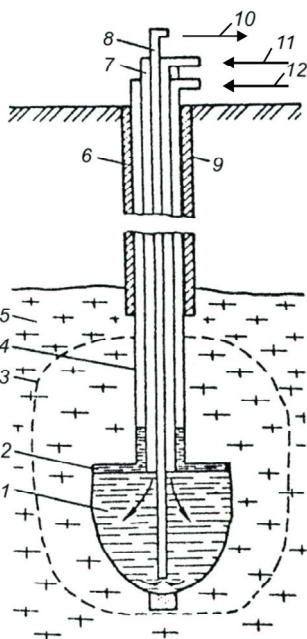


Рис. 9.4. Технологическая схема управляемого циркуляционного метода сооружения подземной емкости в соляной залежи:

- 1 – емкость; 2 – нерастворитель; 3 – контуры емкости по проекту; 4 – водоподводящая колонна; 5 – рассолоподъемная колонна; 6 – колонна для подачи нерастворителя; 7 – каменная соль; 8 – бетонная оболочка; 9 – скважина; 10 – откачивание рассола; 11 – закачивание воды; 12 – закачивание нерастворителя

Подземное хранилище, построенное в солях, эксплуатируется по схеме «замещения одного продукта другим». На рис. 9.5 показана технологическая схема хранилища нефтепродуктов, состоящего из двух емкостей: для хранения дизельного топлива и бензина. При разгрузке цистерн и заполнении емкости 1, включается насос высокого давления 7 или 8. Нефтепродукт вытесняет рассол, который по рассольной колонне 3 подается в рассолохранилище 4. При откачивании нефтепродукта из емкости, включается насос 5, который подает рассол в емкость, при этом нефтепродукт поступает или в буферную емкость 6, или в буферную емкость 9 (в зависимости от вида нефтепродукта), или в железнодорожные цистерны.

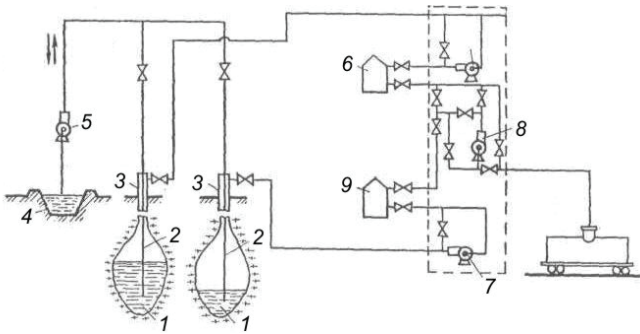


Рис. 9.5. Технологическая схема подземного хранилища нефтепродуктов:

1 – подземные емкости; 2 – рассольные колонны; 3 – скважина; 4 – рассолохранилище; 5 – насос для рассола; 6 – буферный резервуар для дизельного топлива; 7, 8 – насосы для закачивания нефтепродуктов; 9 – буферный резервуар для бензина

9.4. Подземные хранилища шахтного типа

Такие хранилища предназначены для хранения нефти, нефтепродуктов и сжиженных углеводородных газов (СУГ). Как и все подземные сооружения, хранилища шахтного типа сооружаются горнопроходческими методами, которые не отличаются от горных работ при разработке полезных ископаемых, сооружений метро, тоннелей.

Подземная часть хранилища состоит из системы горных выработок: вскрывающих (штольни, вертикальные и наклонные стволы) и горизонтальных выработок-емкостей. Схема подземного шахтного хранилища приведена на рис. 9.6.

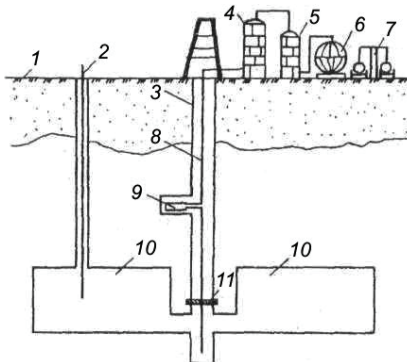


Рис. 9.6. Схема подземного хранилища шахтного типа:

1 – поверхность; 2 – трубопровод для закачивания продукта; 3 – ствол; 4 – колонна для фракционирования; 5 – дегидратор; 6 – промежуточный резервуар; 7 – наливная эстакада; 8 – трубопровод для откачивания продукта; 9 – насосная; 10 – подземный резервуар; 11 – герметическая перемычка

В мировой практике подземные хранилища шахтного типа оборудуются в отработанных горных выработках шахт и рудников.

Первое подземное нефтехранилище было построено в Швеции в 1949 году. Позже такие сооружения появились во многих странах мира. Они с успехом эксплуатируются в США, России, ФРГ, Франции, Финляндии, Швеции, Норвегии, Великобритании и других странах. Суммарный объем действующих шахтных хранилищ для сжиженных углеводородных газов составляет в США свыше 2,0 млн. м³. Здесь, в 17 штатах – около 60 шахтных хранилищ. Во Франции эксплуатируется 3 шахтных хранилища СУГ объемом 200 тыс. м³, Бельгии – 60 тыс. м³, Италии – 50 тыс. м³. Суммарный объем шахтных хранилищ СУГ в Скандинавских странах составляет около 10 млн. м³. Такие хранилища сооружаются и для хранения нефти и нефтепродуктов. Так, в Швеции, Финляндии, Норвегии эксплуатируется более чем 200 подземных хранилищ, в которых хранится от 30 до 40 млн. т нефти и нефтепродуктов.

Опыт строительства подземных шахтных хранилищ был накоплен и в СССР. Эксплуатация хранилищ для хранения нефтепродуктов в сульфатных породах показала, что стенки хранилищ достаточно герметичны, потери нефтепродуктов незначительны, качество топлива при долговременном хранении не изменяется.

Глубина заложения подземного хранилища шахтного типа определяется, в первую очередь, существованием достаточно мощного слоя газонепроницаемых горных пород. Практически минимальная глубина заложения хранилищ принимается из расчета, что 0,1 МПа максимального рабочего давления уравнивается давлением толщи над полостью мощностью 6 м.

Минимальная глубина заложения подземных хранилищ составляет: для хранения нефти и нефтепродуктов 20–40 м, пропана – не менее 90 м, бутана – не менее 100 м.

Вы уже знаете, как ведутся работы по сооружению горных выработок из предыдущих разделов, но интересно ознакомиться с технологией сооружения выработок-емкостей на одном из крупных нефтехранилищ около Гетеборга (Финляндия). Здесь вблизи нефтеперерабатывающего завода построен комплекс горных выработок (горизонтальных тоннелей), рассчитанных на хранение от 2,6 до 4,0 млн. м³ нефти.

Комплекс этого хранилища состоит из подземных емкостей тоннельного типа шириной 20 м, высотой 30 м и длиной до 850 м (рис. 9.7).

Суммарная площадь комплекса 90 тыс. м², длина 4,4 км. Вместимость каждого хранилища 400 тыс. т. Емкости хранилищ соединены между собой выработками для размещения распределительных трубопроводов.

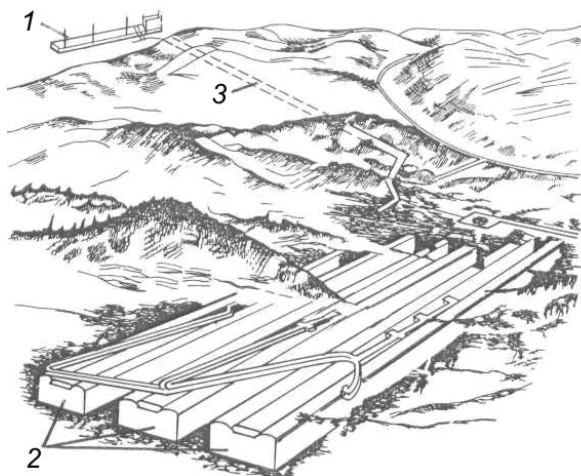


Рис. 9.7. Общий вид подземного нефтехранилища в Финляндии:
1 – морской терминал; 2 – камеры-хранилища; 3 – нефтепровод

Строительство хранилища осуществлялось методом горизонтального прохождения подземных горных выработок в скальных породах с применением взрывных работ. Учитывая большую площадь поперечного сечения емкостей, проходка их осуществлялась в три этапа с механизацией производственных процессов (рис. 9.8).

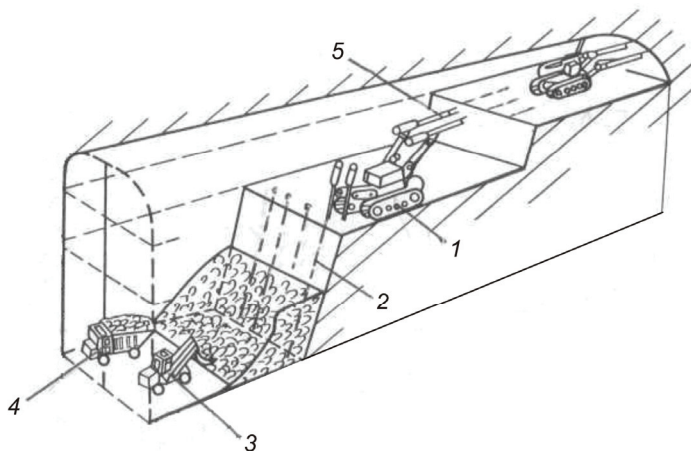


Рис. 9.8. Схема проведения горных работ при сооружении нефтехранилища:
1 – буровая машина; 2 – вертикальные скважины; 3 – погрузчик; 4 – автосамосвал;
5 – горизонтальные скважины

На первом этапе осуществлялась проходка на глубину 7 м (верхняя часть емкости), потом проходка на глубину 8 м. На этих двух этапах осуществляли горизонтальное бурение скважин на всю длину хранилища. На третьем этапе (глубиной 15 м) бурились вертикальные скважины. Отбитая взрывом горная масса, погружалась в автосамосвалы и транспортировалась на расстояние до 2 км.

Интересным является хранилище топлива, построенное в США. Оно представляет собой комплекс, состоящий из 20 цилиндрических шахт, пройденных в лавовой породе. В эти шахты закладывались стальные цилиндры диаметром 30 м и высотой 75 м.

В мировой практике накоплен значительный опыт использования подземного пространства отработанных выработок шахт и рудников для создания хранилищ углеводородов. Такие хранилища эксплуатируются во Франции, ФРГ, США, Англии и других странах.

Так, во Франции в шахте, где когда-то добывалась железная руда, было оборудовано подземное хранилище нефтепродуктов вместимостью 5 млн. м³. Это хранилище представляет собой систему вертикальных и горизонтальных выработок шириной 5 – 6 м, высотой до 100 м и глубиной от 250 до 400 м. Переоборудование шахты было начато после длительных поисков, вследствие которых, была установлена удовлетворительная устойчивость выработок и низкая проницаемость пород.

В США с 1960 года эксплуатируется газохранилище в отработанной угольной шахте, объем полостей в которой составляет 4,25 млн. м³.

В ФРГ действует подземное хранилище для нефти емкостью 500 тыс. м³ в отработанной шахте на глубине 600 м, а также газохранилище в выработках калийного рудника, объем подземного пространства которого составляет 4,8 млн. м³. Активный объем газа в хранилище – 2,3 млн. м³ при максимальном давлении 4 МПа.

В Англии спроектировано подземное хранилище для хранения нефтепродуктов в отработанной ангидритовой шахте. Вместимость такого хранилища составляет 9 млн. м³, глубина – 280 м.

При использовании для размещения газонефтехранилищ подземного пространства отработанных рудников, затраты средств на 25% меньше в сравнении со стоимостью тех хранилищ, которые строятся с применением горно-проходческих работ.

В Украине имеются геологические структуры, пригодные для строительства подземных хранилищ шахтного типа. В первую очередь, это гипсоангидритовые породы, расположенные в западной части Украины. Вторым районом является степная часть Крыма и местность «Старого Донбасса», где перспективными являются мергели верхнемелового

возраста и кристаллические породы Украинского кристаллического щита, расположенные на глубине 100–200 м.

Учитывая мировой опыт, следует считать перспективным для размещения подземных хранилищ шахтного типа использование отработанных камер калийных, каменносоляных и гипсоангидритовых рудников Украины.

9.5. Ледопородные газонефтехранилища

Во второй половине XX века началось освоение газонефтяных месторождений, расположенных за Полярным кругом. Здесь, в условиях вечной мерзлоты, сильных морозов, при температуре до $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ началась добыча нефти и газа. В СССР, а затем России были освоены такие уникальные крупные месторождения: Уренгой, Саяногорск, Ямбург, Ямал. Отдаленность от основных промышленных районов обусловила необходимость строительства на месте добычи емкостей для хранения нефти, нефтепродуктов и сжиженных газов. Началось сооружение подземных хранилищ в вечной мерзлоте, называемых ледопородными (рис. 9.9).

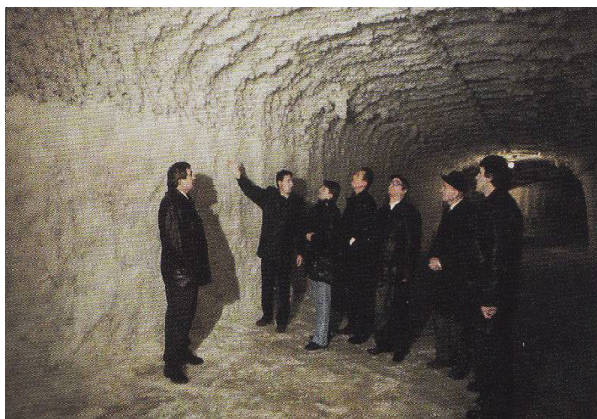


Рис. 9.9. Подземное хранилище углеводородов в вечномерзлых грунтах

Почвы, в которых предусматривается строительство подземных хранилищ, должны находиться в естественном твердомерзлом состоянии и быть непроницаемыми и химически нейтральными к хранимым продуктам.

В условиях вечномерзлых пород подземные хранилища сооружают двух типов: шахтные и траншейные с ледовым перекрытием в форме свода и ледяной облицовкой емкости (рис. 9.10).

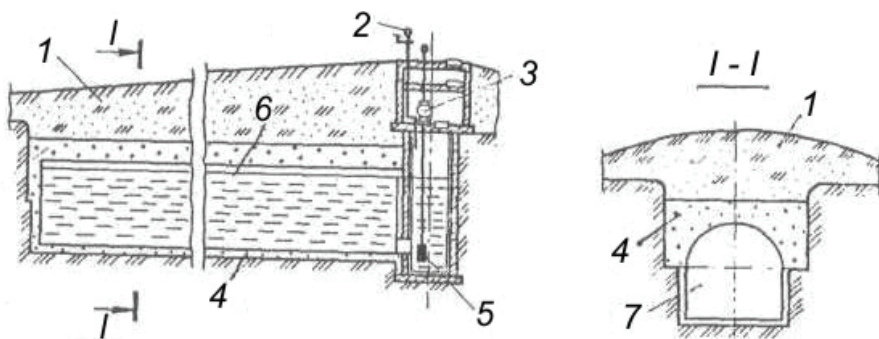


Рис. 9.10. Схема траншейного ледопородного хранилища:

1 – термоизоляционная засыпка; 2 – дышащий клапан; 3 – электродвигатель; 4 – ледяная облицовка; 5 – глубинный насос; 6 – уровень продукта в подземном хранилище; 7 – подземный резервуар

Мерзлые породы обеспечивают необходимую прочность и стойкость хранилища. Хранилище представляет собой протяженную горизонтальную выработку (траншею), сооружаемую открытым горным методом с оборудованием перекрытия. Внутреннюю поверхность хранилища облицовывают слоем пресноводного льда толщиной 0,05 м или льдом из морской воды. Облицовку стенок льдом и оборудование свода проводят при средней температуре воздуха не более $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Лед на стенки и своды емкости намораживают путем заливания воды в пространство между опалубкой и почвой. Продукт поступает в хранилище самотеком, а откачивается при помощи глубинного насоса.

Шахтные хранилища, состоят из подземной емкости, системы выработок, охлаждающих устройств, наземных сооружений, подъездных путей, инженерных коммуникаций и трубопроводов. В хранилищах такого типа давление насыщенных паров хранимых нефтепродуктов не должно превышать $9,31 \cdot 10^4$ Па, длина каждой выработки-емкости – 100 м.

Такие хранилища могут быть комплексными, иметь несколько горизонтальных выработок-емкостей и соединяющих выработок.

На рис. 9.11 приведена принципиальная схема подземного ледопородного хранилища шахтного типа.

В процессе намораживания облицовки стенок хранилища в камеру подают воздух. Для заливки воды применяют опалубку. Температура воды близка к нулю. Воду заливают частями, чтобы толщина намерзающего слоя была не больше 10 см. Для ускорения процесса намерзания и образования облицовки, между стенкой выработки и опалубкой, закладывают битый лед слоями толщиной до 10 см и заливают его водой

до полного насыщения. После замерзания очередного слоя, процесс намораживания повторяют.

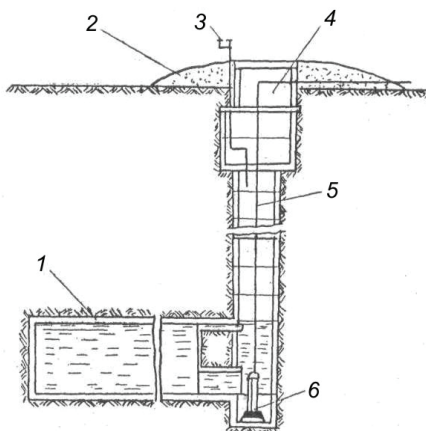


Рис. 9.11. Схема подземного ледопородного хранилища шахтного типа:

1 – ледяная облицовка; 2 – термоизоляционная засыпка; 3 – дышащий клапан; 4 – ствол;
5 – продуктопровод; 6 – глубинный насос

9.6. Подземные хранилища, образованные глубинными (камуфлетными) взрывами

Мы уже с вами узнали, что мирные взрывы позволяют нам разрабатывать полезные ископаемые, помогают сооружать подземные сооружения: метро, тоннели, газонефтехранилища и создавать подземное пространство. При этом, под действием взрыва твердая горная порода разрушается. А если взрыв происходит в пластичных глинах на глубине, то образуется полость.

Впервые энергию взрыва в пластичных глинах и суглинках для образования подземных хранилищ предложила в 1960 году группа специалистов из СССР. Технология сооружения подземной емкости в пластичных породах глубинными взрывами состоит из производственных процессов, выполняемых в два этапа. Первый – бурение скважины диаметром 300 – 400 мм до рабочей толщи пород с цементацией затрубного пространства (рис. 9.12). После цементации скважина диаметром 200 – 250 мм добурируется до центра размещения заряда. На втором этапе выполняются взрывные работы. Образование подземной ёмкости взрывным методом заключается в том, что в нижней части скважины в результате взрыва небольших прострелочных зарядов за счет сжатия породы образуется сферическая полость. В эту полость помещают основной заряд. При взрыве основного заряда пластичная

порода поддается пластическому течению и уплотняется с образованием шарообразной полости радиусом $R_{п}$ (с устойчивыми стенками), центр которой находится на расстоянии H от поверхности земли.

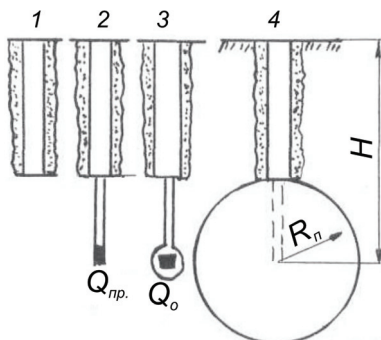


Рис. 9.12. Схема образования подземной емкости камуфлетным взрывом:

1 – бурение скважины начального диаметром; 2 – бурение скважины конечным диаметром и размещение прострелочного заряда массой $Q_{пр}$; 3 – размещение основного заряда массой Q_o ; 4 – полость, образованная после взрыва основного заряда

Технологическая схема функционирования подземного хранилища, образованного камуфлетным взрывом, приведена на рис. 9.13.

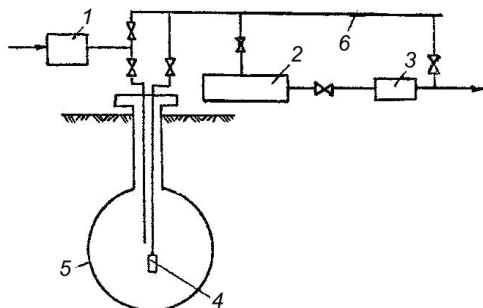


Рис. 9.13. Технологическая схема функционирования подземного хранилища, образованного камуфлетным взрывом:

1 – насос для закачивания продукта в подземную емкость; 2 – буферный наземный резервуар; 3 – насос для закачивания продукта в подземную емкость из буферного резервуара; 4 – глубинный насос для отбора продукта; 5 – подземная емкость; 6 – технологический продуктопровод

Хранилище состоит из подземной полости, скважины с глубинным насосом, технологическим трубопроводом и комплекса сооружений, размещенных на поверхности. Закачивание топлива, поступающего на хранение в подземное хранилище 5, осуществляется с помощью насоса 1, а

из наземного (буферного) резервуара 2 – насосом 3. Отбор топлива из подземного хранилища осуществляется глубинным насосом 4, который подает его в технологический продуктопровод 6 и далее непосредственно потребителю, или в буферный резервуар 2.

9.7. Изотермические хранилища

Для повышения эффективности и надежности систем газоснабжения и газопереработки во второй половине XX века начали сооружать товарно-сырьевые парки объемом свыше 200 тыс. м³ для хранения пропана, бутана, пентана, изобутана. Решить проблему хранения большого количества газа с помощью газгольдеров и стальных резервуаров малой вместимости стало невозможным и экономически невыгодным.

С целью укрупнения товарно-сырьевых парков, увеличения единичной вместимости резервуаров, учеными была разработана технология хранения газов в охлажденном, сжиженном состоянии. Такие углеводороды, как пропан, пропилен, бутан, изобутан, находящиеся при нормальных условиях в газообразном состоянии, при создании соответствующих температур и давления (или одного из этих факторов) сравнительно легко могут быть переведены в жидкое состояние. Способность газов переходить в жидкое состояние значительно облегчает их хранение. Для хранения углеводородных газов в жидком состоянии при атмосферном давлении необходимо поддерживать их температуру в пределах от -0,5 до -42 °С, то есть обеспечить низкотемпературное хранение. Для этих целей начали строить подземные изотермические хранилища.

Изотермические хранилища сооружаются в рыхлых водоносных, однородных, выдержанных по мощности почвах. Хранилище включает подземный резервуар и наземный холодильно-технологический комплекс. Котлованы под хранилища в водонасыщенных породах закладываются на глубину 15–40 м от поверхности, объем котлованов до 100 000 м³.

Процесс сооружения резервуара разбивается на следующие основные этапы: бурение скважин и установка замораживающих колонок; монтаж холодильной установки с технологическими трубопроводами; искусственное замораживание почвы для создания ледогрунтового ограждения будущего хранилища, выемка грунта в котловане будущего хранилища; монтаж блоков кровли; заполнение хранилища охлажденным продуктом и сдача его в эксплуатацию.

Основной технологической операцией строительства является бурение скважин и установка замораживающих колонок. После завершения работ по бурению скважин приступают к установлению замораживающих колонок для циркуляции хладагента и передачи холода окружающей почве. Для замораживания грунта применяют растворы хлористого

кальция с охлаждением его жидким аммиаком (при температуре $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$) или сжиженным пропаном (при температуре $-42\text{ }^{\circ}\text{C}$).

После достижения проектной толщины замороженной цилиндрической оболочки резервуара приступают к разработке грунта в середине котлована будущего хранилища (рис. 9.14).

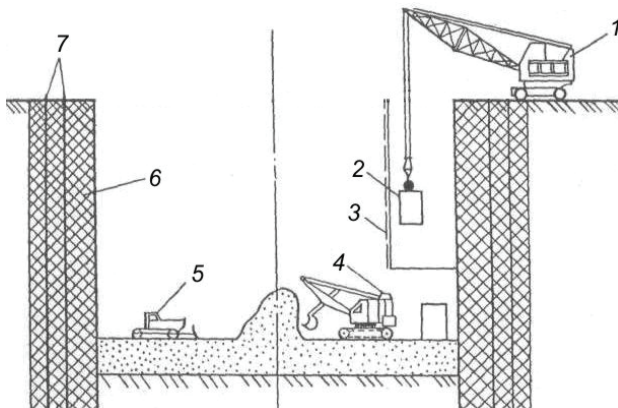


Рис. 9.14. Схема выемки грунта при сооружении подземного изотермического хранилища:

- 1 – самоходный стреловой кран; 2 – бада; 3 – отделение для бады; 4 – экскаватор;
5 – бульдозер; 6 – ледопородный цилиндр; 7 – замораживающие скважины

Для предотвращения притока тепла из окружающей среды на поверхности хранилища монтируется теплоизоляционное перекрытие.

Подземное изотермическое хранилище оборудуется: трубопроводами, средствами слива и налива сжиженных газов, запорной арматурой, приборами для измерения и контроля давления, уровня жидкостной и паровой фаз газа, предохранительными клапанами, люками-лазами (рис. 9.15).

Технологический комплекс работает таким образом. В подземный резервуар 1 сжиженный газ поступает из напорного резервуара 6, предварительно пройдя сепаратор 7, давление в котором снижено до $0,15\text{--}0,3\text{ МПа}$. Осушенный сжиженный газ дросселируется в подземный резервуар, а паровая фаза дросселируется до давления всасывания ($0,1\text{ МПа}$) на входе в компрессор 10. Сжатый в компрессоре газ проходит водяной конденсатор 11, рекуперативный теплообменник 9 и далее жидкий газ дросселируется в резервуар. Пары, образующиеся при дросселировании жидкого газа из сепаратора 7 и при испарении от теплопритоков к резервуару, также поступают через теплообменник 9 в компрессор.

Подача сжиженного газа из резервуара производится глубинным электронасосом 2.

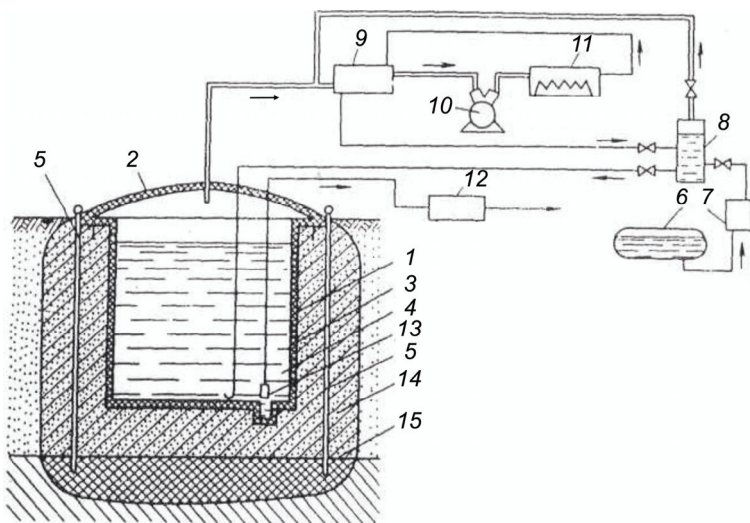


Рис. 9.15. Технологическая схема изотермического хранилища сжиженных газов, образованного в искусственно замороженных грунтах:

- 1 – подземный резервуар; 2 – перекрытие резервуара с теплоизоляцией; 3 – теплоизоляция стенок резервуара; 4 – сжиженный газ; 5 – замораживающие колонны; 6 – напорный резервуар; 7 – сепаратор; 8 – промежуточный сосуд; 9 – рекуперативный теплообменник; 10 – компрессор; 11 – водяной конденсатор; 12 – подогреватель; 13 – глубинный насос; 14 – зона замороженных пород; 15 – водоупор

Эффективность подземных изотермических хранилищ была признана многими странами: США, Франция, Япония, Алжир, Канада и СНГ. Успешно эксплуатируются подземные хранилища сжиженного газа в Квебеке, Монреале (Канада), в штатах Нью-Джерси, Юта, Нью-Касл (США), порту Арзев (Алжир) и др.

Подземное хранение углеводородов в больших масштабах получило широкое развитие в передовых странах мира. Подземные газонефтехранилища превратились в обязательный составной элемент систем нефте- и газообеспечения многих стран и их значение в жизни общества будет постоянно расти.

Раздел 10

ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Мировой опыт подземного строительства показал преимущества в размещении различных объектов под землей. Это связано с рациональным использованием поверхности Земли, заботой о защите окружающей среды, более высокой защищаемостью сооружений и объектов от внешних воздействий, повышенной виброустойчивостью и теплоизоляционными свойствами горных пород. Эти обстоятельства были использованы при сооружении ряда объектов специального назначения, и в первую очередь, для научных и оборонных целей.

Мы хотим ознакомить читателя с некоторыми уникальными сооружениями специального назначения, размещаемыми под землей.

10.1. Подземные научные центры

В XX веке человечество начало осваивать подземное пространство для размещения научно-исследовательских лабораторий, научных центров и целых научных комплексов.

Все начиналось с лабораторий. Так, в 80-годах в СССР в подземных горных выработках флюоритовой шахты на глубине 15 м действовала лаборатория Амдерминской научно-исследовательской станции по изучению мерзлоты, где прошли проверку многие научные идеи. Здесь изучались вопросы поведения строительных конструкций в условиях вечной мерзлоты. Рекомендации ученых нашли свое применение при строительстве городов и морских портов в условиях Арктики.

Подземные научные лаборатории и центры функционируют во Франции, США, Германии, России и других странах. Вот некоторые из них.

Синхрофазотрон. Развитие отраслей тяжелой промышленности, и в первую очередь атомной энергетики, обусловили создание крупных исследовательских центров в разных странах. В начале 50-х годов прошлого столетия для Физического института Академии наук СССР был сооружен синхрофазотрон. Синхрофазотрон – циклический резонансный ускоритель протонов с изменяющимся во времени магнитным полем и изменяющейся частотой ускоряющегося электрического поля.

До 1972 года Серпуховский синхрофазотрон был самым мощным ускорителем в мире, позволяющим получать высокие энергии частиц – до 50–60 Гэв. Это уникальное сооружение располагается в подземном комплексе, представляющем собой кольцевой двухэтажный тоннель

длиной 1 км на глубине более 8 метров от поверхности земли. При строительстве тоннеля было вынуто 384 тыс. м³ грунта (рис. 10.1).

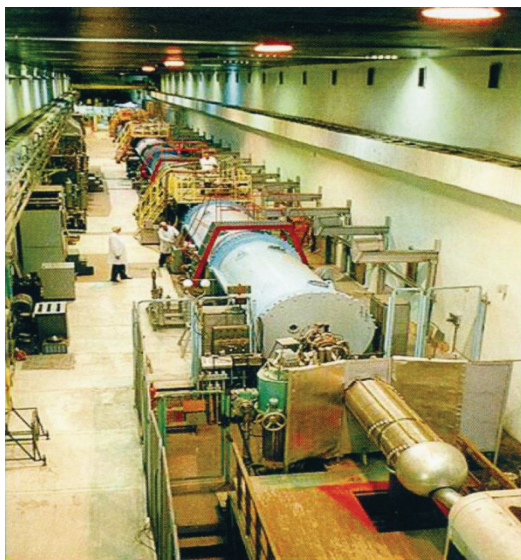


Рис. 10.1. Общий вид Серпуховского синхрофазотрона (Россия)

Во второй половине 80-х годов прошлого столетия было принято решение об увеличении мощности синхрофазотрона за счет последующего разгона частиц. Для этого был построен дополнительный магнитопровод протяженностью 20 км. Кольцевой тоннель диаметром 5,0 м сооружен щитовым методом. Для проходки тоннеля пройдено 20 шахт, диаметром 6,0 м, глубиной от 30–40 до 90–120 м. Внутренняя облицовка тоннеля выполнена из стальных листов толщиной 8–10 мм. В комплекс подземного сооружения входят кроме тоннеля, экспериментальный зал и множество вспомогательных помещений.

Исследования, проводимые этим центром, признаны мировой наукой.

Нейтринная обсерватория. В 1967 году в СССР (Кабардино-Балкария) было начато строительство подземной Баксанской нейтринной лаборатории для изучения редко встречающихся процессов в мире элементарных частиц. Лаборатория (рис. 10.2) разместилась в двух тоннелях и двух больших по размерам залах под горой Андырчи. Длина двух тоннелей составляет 3 670 м. В одном из залов расположен телескоп, оснащенный 3 200 детекторами. Во втором зале, находящемся в 3,5 км от устья штольни, на глубине 1 270 м от поверхности земли находится гелий-германиевый нейтринный телескоп.



Рис. 10.2. Подземная нейтринная лаборатория

На Баксанской нейтринной обсерватории впервые в мире был измерен интегральный поток частиц, рождающихся в недрах Солнца. Здесь ведутся совместные исследования ученых России, США и Японии.

Большой андронный коллайдер. И, наконец, мы хотим рассказать еще об одном научном комплексе – Большом андронном коллайдере (БАК), построенном в научно-исследовательском центре Европейского совета ядерных исследований на границе Швейцарии и Франции. Это ускоритель заряженных частиц на встречных пучках, предназначенный для разгона протонов, тяжелых ионов и изучения продуктов их соударения. На сегодняшний день БАК является самой крупной экспериментальной установкой в мире, позволяющей проводить эксперименты, недостижимые на современных ускорителях заряженных частиц и сделать новые открытия в области ядерной физики и астрофизики.

Ускоритель расположен в тоннеле, длина которого по окружности составляет 26,7 км. Глубина залегания тоннеля от 50 до 175 м. В кольцевом тоннеле установлено 1 624 сверхпроводимых магнитов, общая длина которых превышает 20 км.

11 августа 2008 года была успешно завершена первая часть предварительных испытаний. Во время испытаний пучок заряженных частиц прошел путь более трех километров по одному из колец БАКа. В сентябре 2008 года был произведен официальный запуск коллайдера.

10.2. Подземные комплексы для военных целей

Издавна человек использовал подземное пространство в военных и оборонительных целях. Под землей размещались пороховые склады, оборонительные сооружения, заводы по производству военной техники, комплексы крупнокалиберных батарей, и наконец, ракетные установки.

Уникальным подземным оборонительным сооружением XIX столетия можно считать военно-морскую крепость Владивосток. Ещё в 1860 году генерал-губернатором Восточной Сибири Н.И. Муравьевым был отдан приказ об основании военного поста в гавани Владивосток. С этого момента крепость усиливалась. В начале XX века в скальном подземном пространстве крепости на глубине несколько десятков метров были построены тоннели сечением 40–60 м² для пороховых погребов. Тоннели облицовывались блочной бетонной отделкой. Для противовзрывной защиты на небольшом расстоянии от основной облицовки сооружалась вторая легкая отделка.

Подземный комплекс для крупнокалиберных батарей был сооружен в 30-х годах прошлого столетия. Он представлял собой многоэтажные подземные сооружения глубиной 20–30 м. Для транспортировки военной техники в 1932–1935 годах был построен железнодорожный тоннель длиной 1 380 м (рис. 10.3).



Рис. 10.3. Бастионы военно-морской крепости Владивосток

Военно-морская крепость Владивосток – памятник военно-оборонительного зодчества, не имеющий аналогов в мире. Сегодня в его фортах и лабиринтах разместился Военно-исторический фортификационный музей.

В штольнях Инкермана (Крым) во время Второй мировой войны размещались хранилища боеприпасов для обороны Севастополя.

В период 1939–1945 годов в фашистской Германии под землей размещались секретные заводы вермахта по производству военной техники (завод Хейнкель).

В век ракетной техники потребовалась необходимость размещения под землей ракетных комплексов. А все начиналось со Второй мировой войны. В 1944 году крылатые ракеты вермахта ФАУ-1 и ФАУ-2 обрушились на Лондон. Это были первые ракетные удары и первая весточка о появлении нового грозного оружия.

Страны-победительницы, изучая путь, пройденный германскими конструкторами, приступили к разработке ракетного оружия. Для их запуска в США и СССР строились шахты и ракетные установки. Обычно шахты строились диаметром до 8,0 м, глубиной до 30–40 м (рис. 10.4).

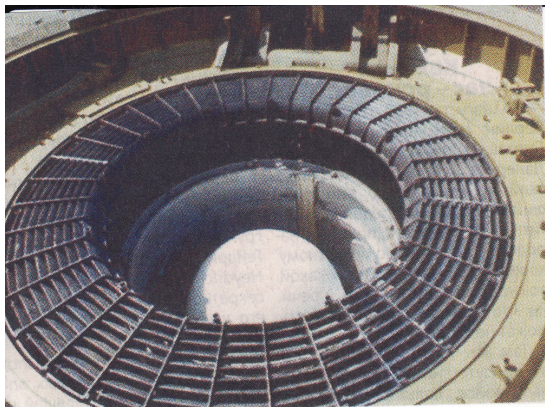


Рис. 10.4. Шахта для запуска ракет

Пятьдесят лет назад на полигоне Капустин-Яр впервые в СССР был произведен испытательный запуск ракеты из шахты глубиной 26 м. В дальнейшем ракетные шахты совершенствовались, как и ракеты.

Раздел 11

ПОДЗЕМНОЕ ПРОСТРАНСТВО В ИСТОРИИ И ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА

В предыдущих разделах мы вас ознакомили с крупномасштабными подземными сооружениями. Но подземное пространство образовалось не только в результате строительства таких сооружений как тоннели, метро, подземные электростанции и хранилища.

Большой объем под землей занимают пещеры, катакомбы, горные выработки отработанных шахт и рудников. И этот подземный мир не остался без внимания человека. Сегодня человек научился использовать его для потребностей жизни, создания инфраструктуры, появилось подземное пространство городов. Под землей начали размещать холодильники и склады, больницы, гаражи, зрелищные заведения: театры, кинозалы, картинные галереи, музеи, теплицы и оранжереи, спортивные комплексы, начали прокладываться туристические маршруты.

Подземное пространство считается национальным богатством страны. Использование земной коры для целей, не связанных с добычей полезных ископаемых, признается полноправным видом природопользования.

11.1. А все начиналось так...

В освоении подземного пространства человечество прошло большой путь. Человек издавна использовал полости в земле для жилья, захоронения мертвых, или в качестве хранилища. В доисторические времена, на заре цивилизации, человек обычно жил в пещерах, образованных в известняках за счет медленного, но непрерывного растворения карбоната кальция естественными водами. Эти простые геологические факторы определили места самых ранних поселений. Пещерный этап и стал периодом доисторического развития человека.

Преимущества пещер с их постоянной температурой и влажностью были понятны первобытным людям. Это свойство естественных пещер дало возможность человеку постепенно перейти от постоянного их использования к их расширению и углублению, а затем к созданию новых подземных помещений. Исторически известно много примеров. Один из них – старинный город Петра, находящийся в пустынной части Иордании в 480 км от Каира. Город Петра – преимущественно подземный город, его храмы и залы вырублены в красном песчанике. Более чем 1 000 лет этот подземный город служил жителям пустыни, а к началу новой эры стал религиозным центром (рис. 11.1).



Рис. 11.1. Подземный город Петра (Иордания)

Город Петра – не единственный пример такого рода. Мы с вами знаем, что долина реки Нил долгое время считалась одной из колыбелей цивилизации. Из многих подземных храмов, вырубленных в каменных породах, наибольшей известностью пользуется храм Симбела находящийся в 280 км от Асуанской плотины (рис. 11.2). Установленная перед храмом статуя Рамзеса II высотой 4 м позволяет ориентировочно считать, что этот храм существует приблизительно с XII ст. до н.э.



Рис. 11.2. Подземный храм Симбела

Большим событием считается находка рукописей в пещерах у Мертвого моря. Здесь археологические исследования и систематические

раскопки в пещерах района Вади-Сураббаа, что в 25 км от Иерусалима, дали возможность сделать вывод о том, что люди в них жили в разные периоды с IV в. до н.э. до IX – X вв. н.э.

Вернемся в Европу. Во многих регионах мы встречаемся с большим количеством подземных сооружений, используемых человечеством с древних времен и до наших дней.

В горных районах Закавказья в средние века подземные пещеры использовались не только как монастыри, но и как укрепление для защиты от вторжения врагов. Так возник “пещерный комплекс” Вардзия, расположенный в долине реки Куры в 70 км к югу от Боржоми. Это, по тем временам, мощное сооружение строилось в годы царствования Георгия III и его дочери царицы Тамары, той, о которой писал М.Ю. Лермонтов.

Пещерный комплекс Вардзия – это около 500 жилищных, культурных, военных, складских и других хозяйственных помещений, высеченных в скале из туфа. Помещения размещаются в 5 – 6 ярусов. Общая площадь сооружения настолько большая, что способна была разместить около 20 тыс. человек. Сегодня – это музей-заповедник (рис. 11.3).



Рис. 11.3. Пещерный комплекс Вардзия

Неподалеку от Тбилиси разместился еще один комплекс пещерных монастырей – Давид Гареджа. Он протянулся на расстояние 25 км и состоит из нескольких сотен выдолбленных в скалах помещений. Монастыри основаны в VI – XIII ст.

В Армении в массиве вулканического туфа в течение XII – XIII ст. был построен монастырь Гехард. В горных породах были вырублены кельи для монахов и разные культовые помещения.

Очень интересны подземные сооружения средневековья в Турции, возникшие в 728–845 годах. Здесь в 1963 году был найден подземный город. Со времени его открытия обследовано 8 этажей (с 20), размещенных на глубине 55 м. В этом подземном городе могли проживать около 50 тыс. человек.

Подземное строительство в средние века не ограничивалось лишь коренными (скальными) горными породами. Если в районе не было камней, приходилось строить и в рассыпчатых отложениях. Такими строениями, созданными в слабых породах, славится Киев. Всем известно, что в самом городе и его окраинах издавна размещено большое количество ходов и помещений. Горные выработки прокладывались обычно в склонах высокого правого берега Днепра на территории Киево-Печерской лавры – музея-заповедника. Общая протяженность подземных сооружений только на территории Лавры около 500 м. В некоторых местах они выполнялись на двух ярусах: верхний – на глубине 5–10 м, нижний – на глубине 20 м. Размеры подземных ходов являются такими, что по ним проходит человек – высота 2,0 м, а ширина 1,5 м. Сегодня – это исторический комплекс с церквями, монастырями и подземными кельями.

На территории Средней Азии находилась колыбель больших государств древности. Здесь на плато Устюрт, составленном известняками и мергелем, не так давно был найден пещерный город на 10 тыс. обитателей. Этот город был высечен в слое гипса толщиной 4 м и поднимался над окружающей местностью на 20 м.

В 1220 году Чингисхан завоевал Среднюю Азию и, в частности, г. Мерв. Он был очень удивлен тем, что не нашел в городе большую библиотеку, которую жители города спрятали в подземных хранилищах. И сегодня эта библиотека еще полностью не найдена.

Одним из видов подземных сооружений, использованных человечеством, являются катакомбы. Катакомбы – это лабиринт подземных ходов, подземных полостей, образованных в результате добычи естественных камней, из которых строились города.

Как же возникли катакомбы и как они использовались?

Еще на заре своего существования перед человеком появился вопрос, где безопасно жить и из чего строить жилье, склады, храмы и другие сооружения. Ответ не заставил себя долго ждать: ясно, там где есть достаточно крепкий материал, залегающий неглубоко под землей (или выходящий на ее поверхность) и легко обрабатываемый. Учитывая то, что в древние времена не было возможности возить камни за сотни

километров, город возникал там, где был материал для его строительства. Так строились Рим, Неаполь, города в Сицилии, Северной Африке, Малайзии, Европе (Париж, Будапешт, Одесса, Керчь).

Начнем с Украины – с катакомб Одессы. К добыче известняка-ракушечника в районе Одессы приступили в конце XVIII в., когда широко развернулось строительство порта и города. Разработка велась без плана и технического присмотра. Хаотическая выемка строительного камня приводила к оседанию поверхности и к разрушению строений. В пределах города известняк разрабатывался до начала XX в. За сто лет длина городских катакомб достигла 1400 км. Одесские катакомбы представляют собой сложную запутанную систему горизонтальных ходов и коридоров, проложенных на глубине 10 – 30 м, шириной до 3,5 м и высотой до 2,5 м. Одесские катакомбы заслужили хорошую славу. В годы Второй мировой войны в них размещались партизанские отряды.

Перенесемся в Париж. Его подземные лабиринты заслуживают внимания. Этим катакомбам 18 веков. 350 км паутины подземного лабиринта иногда называют “Париж – бес”. С катакомбами связана вся история французской столицы. Их возникновение, считают историки, стало возможным благодаря тому, что были найдены мощные слои известняка, гипса, мела, песчаника, залегающих горизонтально и неглубоко от поверхности земли. Подземная разработка строительных камней, начиная с римской эпохи, продолжалась до XIX в. Катакомбы занимают площадь около 7 200 гектаров, в том числе, 800 гектаров в пределах города. Сначала добываемую породу вывозили через штольню. Но постепенно ее протяженность настолько выросла, что пришлось проходить вертикальные стволы, которые постепенно очутились в центре города. Известняк и гипс разрабатывались в три яруса горных выработок глубиной до 35 м. Съёмка территории катакомб позволила составить атлас катакомб и оценить общий объем искусственных полостей, составляющий 8 – 12 млн. м³.

Парижские катакомбы не остались без внимания. Все революции, которые потрясали страну в XIX в., войны, которые вела Франция, так или иначе связаны с Парижскими катакомбами. Не стала исключением и Вторая мировая война. Во время освобождения Парижа в 1944 г. в одной из галерей катакомб размещался штаб сопротивления фашизму. Парижские катакомбы были и местом захоронения. В конце XVII в., когда Парижские кладбища были переполнены, король отдал распоряжение перенести человеческие останки из кладбищ в катакомбы. В них покоятся останки шести миллионов парижан, в том числе Рабле, Паскаля, Монтескье и фаворитки Людовика XV маркизы де Помпадур.

Катакомбы Парижа играли и другую роль. В бывшей шахте, находящейся под обсерваторией, размещены подземные лаборатории, в которых установлены высокочувствительные приборы. По горным выработкам катакомб проложены трубопроводы отопительных систем, канализации, телефонная связь. Они были использованы при строительстве метрополитена.

Парижские катакомбы упоминаются и в произведениях знаменитых писателей. Действия романов Э. Сю “Парижские тайны” и И.В. Гюго “Отверженные” протекают частично в катакомбах.

Подземные города встречаются и в других странах Европы. В некоторых венгерских городах – Егере, Печет, Сексарде и других – под весом грузовиков начали оседать кровли улиц. Специалисты установили, что причиной оседаний являются старые подвалы. Эти большие подвалы для хранения вина были выкопаны несколько веков тому и представляли собой целые подземные лабиринты. В 1526 – 1699 годах в период турецкого господства венгры прятались в этих лабиринтах. В разные годы и века эти подвалы засыпались, разрушались, укреплялись и возобновлялись. В некоторых из них снова и снова размещались хранилища и склады продуктов, в других устраивали кафе и клубы, выставочные залы, картинные галереи.

Спелеологи часто называют страны Восточной Азии “краем подземных картинных галерей”. В Бирме, Малайзии, Таиланде и других странах в пещерах находят стойбища древнего человека, начиная с эпохи давнего неолита. Первая подземная галерея настенных рисунков была найдена в 1879 году. Одна из крупнейших в мире карстовых пещер была открыта не так давно в северной части Омана. Размеры самого большого зала составляют: длина – 310 м, ширина – 225 м и высота 120 м.

Много интересного прячут в своих подземных полостях соляные шахты. В соляных шахтах Гунгене, находящихся севернее Франкфурта, во время Второй мировой войны были спрятаны ценные изделия искусства, в том числе известный бюст Нефертити. В Польше в г. Величка, находящемся вблизи Кракова, старые соляные шахты постоянно используются для картинной галереи.

Представляет интерес сооружение в каменной соли, находящееся в Колумбийской столице Боготе. Это подземный Кафедральный собор. Добыча каменной соли является важной отраслью для этого региона. В 1801 году соляные пещеры посетил известный немецкий ученый Александр Гумбольд, изучавший этот соляной район. Сегодня соляные пещеры пронизаны штольнями и тоннелями, длина некоторых из них достигает 21 км. Идея построить под землей в соляном пространстве Кафедральный собор родилась у самих шахтеров. Они решили посвятить

его мадонне Гуасса (католическое имя Росариа) – покровительнице шахтеров. Строительство началось в 1950 году. Большой кафедральный зал, площадь которого равняется парижскому Нотр-Даму, украшают толстые соляные колонны. Алтарь собора составлен с 16-тонного соляного блока. Собор действующий. Врачи прописывают посещение комплекса некоторым своим пациентам. Воздух в соборе насыщен солями, оказывающими исцеляющее действие на посетителей.

Таким образом, человек прошел большой путь от применения пещер и карстовых полостей для жизни к использованию подземного пространства, образованного искусственным или естественным способами, в широкомасштабном и разностороннем аспекте жизни.

11.2. Подземные больницы (спелеотерапия)

Издавна человек начал использовать подземные пространства для лечения. Спелеотерапия – один из методов немедикаментозной реабилитации и лечения органов дыхания, в основе которого лежит использование микроклимата подземных объектов (соляных шахт и карстовых пещер).

Еще в VI–V вв. до н.э. в Сицилии, во время ее колонизации древней Грецией, начали использовать пещеры для лечения. Так, в пещере города Кронио собирали в террикотовые вазы конденсатную влагу и использовали ее для лечения болезней. В 70-х годах XIX столетия, в гроте Масумого в Италии, начали использовать подземные озера с горячей водой для гидротерапии при ревматизме.

В наше время естественные и искусственные пещеры, а также соляные и другие шахты, используются для спелеотерапии в Германии, Польше, Румынии, Италии, Венгрии, Австрии, США, Чехии, России, Украине и других странах мира.

Особенный интерес представляют соляные шахты. Еще в середине XIX века врач Ф. Бочковский заметил целебное действие воздуха соляных шахт одного из самых старых соляных рудников “Величка” (Польша). Шахтеры, постоянно работающие в шахте, никогда не болели астмой, туберкулезом и другими заболеваниями дыхательных путей. На основании этих наблюдений было организовано лечение больных. В 1964 г. в шахте на глубине 200 м, где 700 лет добывали соль, был открыт подземный аллергологический санаторий.

В помещениях для больных, размещенных в соляных камерах, постоянная температура воздуха составляет 20–22 °С, специфический микроклимат бактериологической чистоты и высокой влажности – до 74–90%. Воздух шахты вмещает большое количество лечебного хлористого натрия, а также ионы магния, марганца и кальция. Климат горных

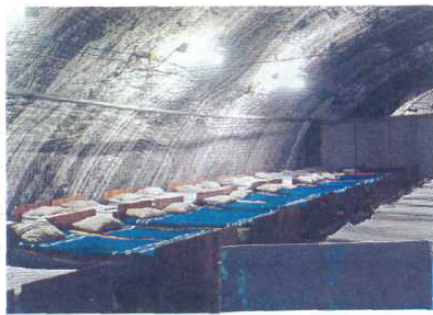
выработок не содержит традиционные аллергены, присутствующие на поверхности. В санатории “Величка” лечат больных, страдающих бронхиальной астмой, коклюшем, другими легочными заболеваниями, заболеваниями кожи и аллергией.

В 1978 г. соляные шахты “Величка” были включены в списки ЮНЕСКО как достопримечательности всемирного культурного достояния и в настоящее время являются одними из известных в Польше туристических маршрутов.

В Украине развитие спелеотерапии началось в 1968 г. с открытием больницы в г. Солотвино Закарпатской области. В 1976 г. она была реорганизована в Украинскую аллергологическую больницу, считающуюся одной из наибольших в мире. Здесь основным методом лечения – спелеотерапия, которая проводится в выработках (камерах) большого сечения, специально пройденных в соляном массиве на глубине 300 м от поверхности. Лечебный комплекс создан на базе действующей шахты Солотвинского солерудника. Больные доставляются в подземное отделение по вертикальному стволу шахты в специальных лифтах и проводят под землей по 7–12 часов (рис. 11.4).



а)



б)

Рис. 11.4. Подземная больница в соляной шахте (Солотвино, Украина):

а) – центральная галерея; б) – зал для спелеотерапии и отдыха

Микроклиматические условия отделения характеризуются параметрами: температура воздуха 20–22 °С, относительная влажность 20–60%, отсутствуют аллергены и вредные газы, сниженный до минимума радиационный фон и влияние электромагнитных полей, воздух насыщен биологически активным аэрозолем хлористого натрия. В украинскую аллергологическую больницу принимаются больные с бронхиальной астмой легкой и средней степени тяжести, хроническим бронхитом. Эффективность лечения составляет 80–86% среди взрослых и 90–95% среди детей. На протяжении года больница принимает 3 тысячи больных.

Широкую известность получил в последние годы спелеосанаторий “Соляная симфония”, расположенный в юго-восточном регионе Украины (г. Солидар Донецкой области). Подземное отделение расположено на глубине 280 метров в толще соляного пласта Артемовского месторождения соли, разрабатываемого с 1871 года. По химическому составу данная соль не имеет аналогов в мире, поскольку на 99% состоит из чистого NaCl и только 1–1,5% составляют примеси, не содержащие вредных элементов. Совокупность многих факторов оказывает эффективное лечебное воздействие на организм больного человека.

В России с 1977 г. действует первая в мире сильвинитовая спелеолечебница в калийном руднике на Верхнекамском месторождении калийных солей (г. Березняки Пермской области). Клиническая эффективность подземной спелеотерапии составляет 85,2%.

Специальные исследования показали пригодность калийных солей рудников Соликамска, Березняков (Россия), Солегорска (Белоруссия) для лечения больных сердечно-сосудистыми заболеваниями. Вдыхание аэрозолей калийных солей способствует перестройке организма и изменению функционального состояния тканей и органов.

Широкое применение спелеотерапия получила в Германии. В Зафельде в гроте Фейб (Тюрингия) в подземной выработке, где когда-то добывали квасцы, оборудована больница для больных коклюшем. Лечебному эффекту способствует относительно высокое гамма-излучение и движение влажного воздуха в штольне.

В Шенбеку, возле Магдебурга, в двух галереях соляной шахты на глубине 400 м действует подземный санаторий. Соляной воздух, не вмещающий бактерий, постоянная температура и повышенное атмосферное давление позволяют лечить болезни дыхательных путей и некоторые заболевания кожи.

Особой популярностью пользуется курорт в Берхтесгадене, расположенный в Баварии. Здесь находится уникальная соляная штольня (рис. 11.5).

Лечебная галерея была открыта в 1990 г. Специальный электропоезд доставляет посетителей вглубь горы. Через 750 м пути открываются деревянные ворота и мы попадаем в огромный зал площадью 850 м², находящийся в соляном пласте. Специальное освещение создает в зале атмосферу сказочного замка. Особый климат в соляной штольне вызывает положительный лечебный эффект при заболевании верхних дыхательных путей, аллергии, ревматизмах.

Перенесемся в Италию. Здесь с успехом используют для лечения подземные источники пещер. В пещере Аквананта вода источника имеет температуру 38,6 °С; вода сульфатная, хлоридная. Лечение заключается в

ингаляциях и пребывании в пещере, воздух которой имеет в своем составе сернистый газ с температурой 38°C . Здесь лечат артриты и ревматизмы, бронхиальную астму и гипертонию. В пещере Джуети, длина которой 300 м, проводят лечение паровыми ваннами. В пещере лечат подагру, ожирение, дерматозы, хронические нефриты, артрозы и ревматизмы.

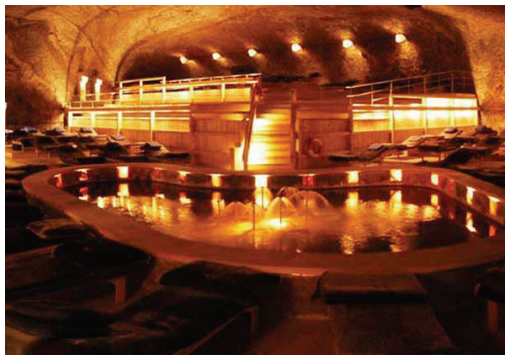


Рис. 11.5. Подземная лечебница в бывшем соляном руднике Берхтесгадене (Германия)

В Венгрии в пещере Тавас на курорте Мишкольц есть озеро глубиной 1,2 м с температурой воды $28\text{--}30^{\circ}\text{C}$ и высоким содержанием ионов железа, меди и тяжелых металлов. Воздух пещеры имеет температуру 30°C . Такой воздух положительно влияет на весь организм человека и, особенно, на дыхательные пути.

В Румынии первая солелечебница была построена в соляных коях Прайда на глубине 120 метров. В соляных гротах Тырну-Окна устроен самый большой санаторий в Европе. В огромных камерах обустроены палаты, кегельбан, спортивные площадки. В старой соляной штольне на глубине 210 м проводится лечение больных с заболеваниями органов дыхания.

В Чехии подземные лечебницы для детей с заболеваниями органов дыхания устроены в пещерах Моравского карста. Здесь в местечке Златы Горы с 1993 года действует санаторий “Едель” для детей с респираторными заболеваниями.

11.3. Подземные холодильники и склады

Специфические условия подземных горных выработок в наибольшей мере способствуют использованию их как объектов складского назначения: холодильников, фруктохранилищ, складов зерна, зернопродуктов, вин и других продовольственных и промышленных товаров.

Существуют подземные склады активного и пассивного складирования. При активном складировании ежедневно перерабатывается большое количество продуктов и материалов. Они необходимы для жизнедеятельности человека, имеют значительные по размерам разгрузочные и погрузочные площадки и непосредственную связь с железнодорожными коммуникациями. Для активного складирования эффективно, например, использовать горизонтальные выработки, которые остаются после извлечения известняков. Вот так выглядит промышленная площадка для холодильников, построенных в известняках (рис. 11.6).

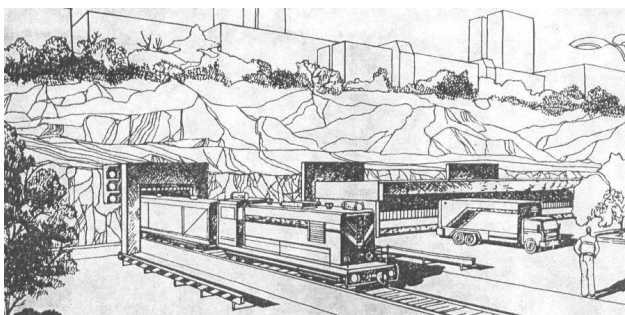


Рис. 11.6. Общий вид промплощадки, которая обслуживает ряд складских и холодильных объектов, расположенных в подземных выработках после выемки известняка

Во многих странах мира подземное пространство широко используется для размещения подземных холодильников, базисных подземных складов. Большой опыт сооружения подземных холодильников накоплен в США, Норвегии, Швеции.

Холодильник в г. Ниттядале (Норвегия) построен в специально пройденных горных выработках в скальном массиве. Он состоит из наземной и подземной частей. Основная подземная часть этого холодильника построена в граните на глубине от 16 до 25 м и имеет два грузовых зала, три выработки-шлюза и транспортную въездную штольню. Выработки имеют форму свода с высотой 7,7 м. Общая площадь холодильника более чем 1 500 м². Один из самых больших холодильников в Норвегии имеет объем 50 тыс. м³ и размещен в отработанных выработках известняковой шахты в г. Торгебергете.

В подземных горных выработках известняковых шахт размещают холодильники в США. Здесь в районе Канзас-Сити на глубине 50 м размещен холодильник для хранения замороженных продуктов при температуре -32 °С. Вместимость складских помещений составляет 25 000 т. Холодильники представляют собой систему камер с пролетом

10,5 м и высотой 4,0–6,0 м, поддерживаемых опорными целикками размером 6×6 м.

В Стокгольме (Швеция) построен подземный холодильник в скальном массиве на глубине 8,0 м вместимостью 3 500 т. Кровля и стенки подземных горных выработок закреплены торкретбетоном, почва – вакуумным бетоном. Транспортная штольня длиной 70 м позволяет авторефрижераторам заезжать непосредственно с улицы в подземный приемно-отправной зал объемом 10 тыс. м³. Пролеты залов составляют 20 м, длина 66 и 100 м, высота 7 и 9 м. Холодильник проветривается через две вентиляционные шахты. Запасным выходом служит вентиляционная штольня. Отработанное пространство шахт занято складскими помещениями и разделено на 16 камер, между которыми построены перемычки из бетонных блоков с теплоизоляцией. Кровля всех выработок закреплена анкерами. Стоимость строительства объекта составила около 10% от стоимости наземного холодильника такой же емкости (рис. 11.7).

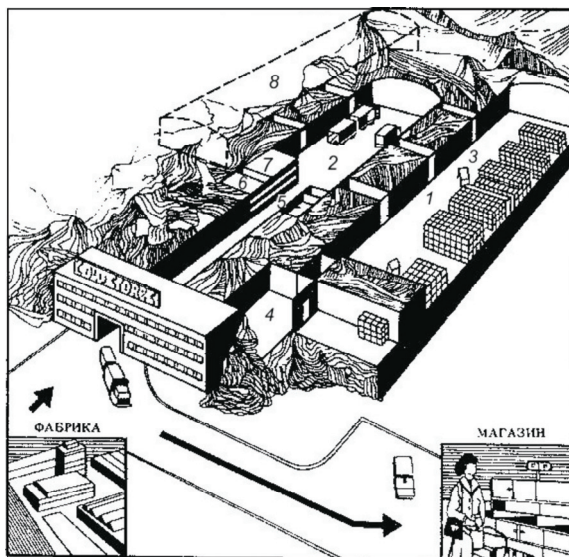


Рис. 11.7. Холодильник под землей (Швеция):

1 – зал-хранилище; 2 – транспортно-загрузочный зал; 3 – шлюзы – коридоры; 4 – запасной выход; 5 – диспетчерская; 6 – служебные помещения; 7 – машинное помещение; 8 – вторая очередь строительства холодильного зала

В СССР был накоплен значительный опыт сооружения холодильников и подземных складов в горных выработках известняковых и гипсовых шахт в разных регионах страны.

В наше время подземные холодильники и базовые склады имеются в России, Молдавии, Украине, Грузии. В гипсовых шахтах холодильники размещены в камерах с размерами: высота 3 – 4 м, глубина 5 – 12 м. Камеры имеют в кровле форму свода. Въезд в холодильник осуществляется через штольни. Кровля камер закреплена анкерами с сеткой 1×1 и 1,5×1,5 м. Поверхность стен кровли камер покрыта цементным и известковым раствором с добавкой фтористого натрия. Температура хранения разных продуктов изменяется от 0 до 20 °С. Для этого существуют мощные холодильные установки.

В северных районах России эксплуатируются холодильники для хранения рыбы, масла и мяса в вечномерзлых породах. Такие холодильники небольшой вместимости (100 – 150 т), оборудованы в подземных горных выработках на глубине 5 – 30 м. Параметры камер: ширина 2,5 – 3,0 м, высота 3,0 м.

В Аджарии (Грузия) в 80-годах прошлого столетия было построено Хелвацаурское овощехранилище на 10 000 т единовременного хранения.

Хранилище овощей под Евпаторией (Украина) размещено на глубине 4 – 12 м в старых известняковых выработках шириной 3 – 5 м, высотой 2,1 – 3,5 м и длиной 35 – 40 м. В таких хранилищах создан искусственный микроклимат.

По-видимому нет лучшего метода выдерживания и хранения вин, как подземный. Так, хранение вин в подземных подвалах Франции придает шампанскому неповторимый букет аромата. Винохранилища оборудуются, в основном, в тех подземных выработках, где когда-то добывались естественные строительные материалы.

В Молдавии эксплуатируется винохранилище, где сохраняются разные марки вин. Здесь все начиналось с разработки строительных материалов. Известняк мощностью 15 м залегал на глубине 10 – 60 м от поверхности. Разработка его велась камерной системой с опорными целиками. Небольшая прочность известняка давала возможность применять специальные камнерезные машины с дисковыми пилами.

Под землей в процессе разработки известняков остались большие объемы подземного пространства, имеющие правильные геометрические формы. Так появились подземные лабиринты. На Криковском винзаводе (Республика Молдова) – это настоящий подземный город с проспектами и улицами Фетяска, Каберне, Алиготе (рис. 11.8).

Вино перекачивается по стеклянным трубопроводам. По проспектам шириной около 7 м разъезжают грузовые и легковые машины, имеется дегустационный зал. Такие подземные хранилища для вин появились и в других регионах: в Закарпатье, Крыму (Украина), Грузии, Армении и др.

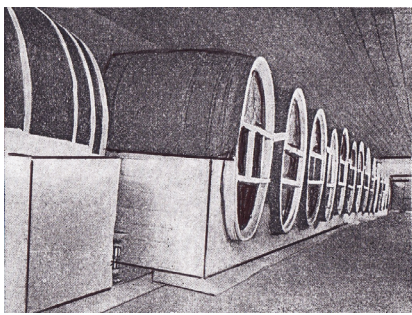


Рис. 11.8. Подземное винохранилище в Крикове (Республика Молдова)

Всем известно шампанское “Новый свет”, которое выдержало испытание временем и получило мировое признание. Еще в 1890 году, почти 120 лет назад, князь Л.С. Голицын построил в Крыму завод шампанских вин – первое подземное предприятие, работающее и в наши дни. Здесь все производственные объекты, включая дегустационный зал, размещены в горных выработках общей протяженностью около 5 км. При этом ширина выработок составляет до 5 м, высота – 6–7 м (рис. 11.9). Большая часть выработок не закреплена и в течение более 100 лет сохраняет устойчивость.



Рис. 11.9. Винные подвалы для хранения шампанского «Новый Свет» (Крым, Украина)

В Грузии в 80-годах прошлого столетия было построено Кварельское винохранилище емкостью 2 млн. декалитров. Хранилище представляет собой два транспортных тоннеля по 390 м и 13 перпендикулярных тоннелей длиной по 500 м каждый. Площадь поперечного сечения тоннелей 13 м^2 , суммарная протяженность тоннелей – 6 584 м. В состав хранилища входит шахта глубиной 40 м, обеспечивающая транспортную связь дегустационного зала, размещенного на поверхности, с подземным комплексом.

Во многих странах мира имеется многолетний опыт использования подземных горных выработок для хранения овощей, фруктов, зерна, сахара. Например, американские подземные комплексные хранилища продовольственных товаров размещены в известняковых шахтах в центре транспортных железнодорожных и автодорожных артерий и районах производства сельскохозяйственной продукции (штаты Нью-Йорк, Канзас, Миссури).

Так, для хранения зерна используются подземные выработки известняковой шахты площадью 4 тыс. м² на глубине 35 м. На поверхности забетонированы приемные воронки с решетками для разгрузки автомашин. Через пробуренные скважины, обсаженные стальными трубами, в подземное хранилище подается зерно, кукуруза, соя, пшеница. В Японии рис сохраняется в полиэтиленовых мешках в подземных горных выработках угольной шахты.

Как для холодильников, так и для складских помещений, с давних времен используются не только горные выработки, но и естественные пещеры и гроты. Небольшие гроты в районе Терне в Италии, в которых происходят сильные движения холодного воздуха, используются для хранения вин и других продуктов. Грот ди-Корпус, что на Сардинии, служит естественным холодильником, в котором хранят рыбу.

В Италии для того, чтобы сыры созревали, используют пещеры Маури-ди-Пастро, в которых происходит постоянное легкое движение воздуха. Во Франции в естественных пещерах-склепах города Рокфор созревают известные сыры «Рокфор».

11.4. Теплицы и оранжереи в подземном пространстве

В 1972 году вышла книга Д. Медоуза и др. «Цель роста». В ней приводятся данные о сокращении площадей пахотных земель, увеличении потребности в них в связи с растущей численностью населения.

В результате использования сельскохозяйственных земель под строительство городов и разных промышленных объектов, их площадь постепенно уменьшается, а потребность в землях растет. Эти обстоятельства обусловили некоторые волнения, что на конец XX века возможно осложнение с продуктами питания. Начались поиски резервов. И появились первые разработки и эксперименты относительно использования подземного пространства отработанных шахт и рудников для выращивания продуктов питания. Ученые доказали, что выращивание растений в закрытой почве с электрическим светом, вместо солнечного, дает высокие урожаи.

Первые исследовательские участки по подземному растениеводству были организованы в 1970 году на шахте «Гигант-глубокая» (г. Кривой

Рог, Украина). Первые опыты, проведенные на подземных грядках, дали основание утверждать, что подземное пространство можно использовать в практическом растениеводстве. Здесь на глубине 300 м долгое время выращивались огурцы и помидоры.

Ширина выработок составляла 4 м, высота – 3,5 м. Опыт подземного выращивания овощей в Кривом Роге был внедрен в Донбассе, Казахстане, Кемеровской, Новгородской областях и городе Арзамас (Россия). Вблизи города Арзамас организовано выращивание огурцов и лука в гипсовой шахте. Выработки размещаются на глубине 50 м, имеют ширину 8 – 10 м, высоту 3 – 4 м и общую площадь участка 4 000 м². Сравнение урожайности наземных (зимних) и подземных теплиц подтверждает преимущества последних, в которых за равный промежуток времени снимается биомассы в 1,5 – 2,0 раза больше.

Но здесь есть и проблемы, связанные с обеспечением подземных теплиц и оранжерей энергией. Поэтому ученые работают над тем, чтобы создать экономические и эффективные нагревательно-осветительные приборы и оборудование для освещения.

География использования подземных выработок для размещения теплиц и оранжерей значительно расширилась и достигла крайнего Севера. В России – это районы городов Воркута, Магадан, Сургут. Ученые Кольского филиала Российской академии наук доказали, что в отработанном пространстве северных шахт можно не только выращивать овощи, но и разводить цветы.

Стоит напомнить читателю и о шампиньонах, которые ценятся не ниже белых грибов. Шампиньоны состоят из 45% белка, что почти в два раза больше, чем в мясе, им не нужен свет. Они требуют умеренных условий: температура воздуха 12 – 14 °С при относительной влажности 80 – 95%. Это обычные условия отработанных выработок известняковых шахт. Не случайно наибольшее в мире грибное хозяйство, работающее с 1937 года, размещено в старой известняковой шахте американского штата Пенсильвания. Здесь протяженность выработок достигает 24 км, годовая производительность – свыше 6 тыс. тонн шампиньонов.

Во Франции 80% шампиньонов выращивается в известняковых шахтах, расположенных вблизи Парижа.

Шампиньоны выращиваются в подземном пространстве во многих странах мира. По потреблению грибов на душу населения на первом месте США, далее Франция, Венгрия, Румыния, Голландия, Узбекистан, ФРГ, Россия, Бельгия.

Отметим, что требования к подземным выработкам, в которых размещены теплицы и оранжереи, минимальные. Для выращивания овощей пригодны выработки в угольных, рудных и гипсовых породах.

Размеры подземных полостей практически не ограничены, что открывает широкие возможности для их использования.

11.5. Подземное пространство городов

На заре градостроения, когда рост населения еще не приобрел современных темпов, только центр в таких поселениях имел городской вид. Постепенно формировался архитектурный вид городов, которые занимали значительную площадь и были вытянуты вдоль долин, рек, магистралей, морского побережья. Такая конфигурация больших городов начала сдерживать их развитие и усложнять работу транспорта, прокладку и эксплуатацию инженерных коммуникаций, ухудшать условия жизни городского населения. Жилье начало все больше отдаляться от мест работы. Особенно этот процесс наглядно проходил в США. Миллионы американцев, оставив свои места, где они жили давно, потянулись к природе и свежему воздуху. За ними потянулись магазины, кафе, рестораны и другие сферы обслуживания. Город быстро наступал на природу. А миллионы машин направились в город, создавая заторы и парализуя на многие часы нормальную жизнь города. Машины начали занимать пешеходную часть улиц. Такую картину можно было наблюдать в Париже, Нью-Йорке, Лондоне, Москве. Улицы, созданные для пешеходов, перешли во владение автомобилистов. Возникли большие проблемы с размещением складов, рынков, гаражей, магазинов, коммуникационных путей.

Что же делать городу? Как вернуть ему компактность, сохранить бульвары, парки, создать более-менее комфортабельные условия для обитания? На этот вопрос был найден ответ – использовать подземное пространство.

Началось интенсивное освоение подземного пространства. Комплексная застройка подземного пространства больших городов позволяет рационально использовать наземную территорию, способствует рациональному обеспечению транспортного обслуживания населения и повышению безопасности движения, уменьшению уличного шума и загрязнения воздуха выхлопными газами автомобилей, повышению художественно-эстетического качества городской среды.

Городские подземные сооружения возможно условно объединить в группы: инженерно-транспортные – пешеходные и транспортные тоннели, автомобильные стоянки и гаражи, помещения вокзалов; сферы обслуживания – магазины, кафе, кинотеатры, выставочные залы, книгохранилища, архивы, холодильники, овощехранилища, автоматические телефонные станции и т. п.; промышленного назначения и энергетики – отдельные цеха, лаборатории, котельные, тепловые станции

и т. п.; инженерные сети и сооружения – газо- и трубопроводы, бойлерные, calorиферы, трансформаторные станции, канализационные системы и др.

Подземные сооружения – неотъемлемая часть больших городов. Подземное строительство позволило освободить значительную часть полезной наземной площади.

Особенное место в городском подземном строительстве занимают гаражи, которые могут вмещать несколько тысяч автомобилей, глубина их размещения достигла 30 м. С точки зрения экономии городских земель начали строиться многоярусные подземные гаражи. При размещении гаражей на двух ярусах нужно 15 м^2 на одно машиноместо, при трёх – 10 м^2 , при четырех – 8 м^2 , а при восьми – $4\text{--}5 \text{ м}^2$.

В современных условиях наиболее распространены гаражи-стоянки с частичным использованием подземного пространства, когда на шесть-восемь надземных этажей приходится один-два подземных яруса. Наиболее перспективными стали подземные и полуподземные гаражи в виде самостоятельных сооружений. Подземные гаражи – только небольшой штрих в арсенале комплексов больших городов и мегаполисов.

Подземные сооружения японской столицы Токио составляют 220 тыс. м^3 . Они примыкают к крупным вокзалам и пересадочным узлам метро и представляют собой систему сооружений для разных целей. Самый громадный комплекс Яесу имеет площадь 68 тыс. м^2 . В Яесу размещено 280 магазинов, много кафе и ресторанов, здесь имеют свои отделения банки и страховые компании. По всей Японии в городах Осака, Кобе, Нагоя, Йокогама, Саппоро и других насчитывается 76 подземных комплексов общей площадью 820 тыс. м^2 .

Городское подземное строительство широко развернуто в Скандинавских странах. В Финляндии, Швеции, Норвегии в подземных горных выработках большого сечения размещаются плавательные бассейны, гимнастические залы, теннисные корты, склады, гаражи. В СССР были разработаны схемы комплексного использования подземного пространства для таких больших городов как Москва, Ленинград, Киев, Ташкент, Алма-Ата, Баку, Тбилиси, Новосибирск и др. В этих схемах вопросы освоения подземного пространства были объединены в комплексы последующего развития генеральных планов городов.

Во многих городах с учетом этих планов и схем построены пешеходные переходы, магазины, кафе, рестораны и др. Настоящая подземная улица построена на Крещатике в Киеве. Общая протяженность перехода 110 м, который связан со всеми тротуарами, а также с кафетериями и торговыми заведениями. Не так давно на Крещатике начал действовать громадный подземный торговый комплекс «Метроград».

Подземное пространство городов насыщено еще инженерными коммуникационными системами. Строились и расширялись города, возникала необходимость в обеспечении населения водой, организации канализации. Эти проблемы решались путем сооружения городских тоннелей, которые имеют свою историю.

Первым крупным тоннельным объектом для водоснабжения был тоннель, построенный в России в конце XVII в. по распоряжению Екатерины II. Он предназначался для подачи воды в царскую резиденцию. Тоннель длиной около 700 м располагался в массиве скальных пород на глубине 10–15 м.

В конце XVII столетия для ликвидации катастрофического положения с водой в Москве был разработан проект, согласно которому, подрусловые воды р. Яузы забирались и подавались в центр г. Москвы по кирпичной галерее сечением 1×1 м и длиной 22 км. Стройка длилась 25 лет.

Москва – первый крупный город Российской империи, в центральной части которого с 1893 по 1898 гг. была построена современная система канализации с сетями большого диаметра. В её состав входил канализационный тоннель, облицованный кирпичом, и имеющий длину 480 м. В дореволюционный период тоннели небольшой длины входили в состав канализационных сетей Киева, Варшавы, Одессы, Ростова-на-Дону.

С 1937 г. в СССР городские подземные канализационные тоннели начали сооружаться с применением щитовых комплексов. Были внедрены в производство щиты диаметром 2,6 м, 3,0 м и 3,6 м. С каждым годом возрастала протяженность коммуникационных сетей городов.

Градостроители предусматривают, что в перспективе на 20-30 лет в подземном пространстве будет размещено около 70% всех гаражей, 80% складских помещений, 30% объектов культурно-бытового назначения и т.п.

Раздел 12

ЗЕМЛЮ НУЖНО БЕРЕЧЬ

Проникая в недра Земли и используя ее для своих потребностей, человек изменяет окружающую среду, вмешивается в естественные процессы, протекающие на земле и под землей, ускоряя или замедляя их, а в отдельных случаях, изменяет и придает им другое направление.

Шахты, рудники, карьеры, строительство подземных сооружений – метро, тоннелей, каналов, гидротехнических сооружений, подземных трубопроводов и хранилищ; деформация подземных массивов взрывом; бурение нефтегазовых скважин – все это связано с изменением естественного равновесия как под землей, так и на ее поверхности, что связано с перераспределением громадных масс горных пород. Амплитуда искусственного изменения рельефа достигает сегодня по вертикали почти 1 100 м.

Проблема сохранения Земли касается всех аспектов, которые мы с вами рассмотрели в этой книге “Обо всем, что под Землей” – добычи полезных ископаемых – строительства подземных сооружений – использования подземного пространства.

Если речь идет о добыче, то этот процесс связан с экологией горного производства и комплексным использованием недр. Еще большие потери остаются при добыче твердых полезных ископаемых: угля, руды, калийных солей. Под землей остается почти половина калийных солей, до 15 – 20 % добываемого угля, горючих сланцев, руд черных и цветных металлов.

Особенно теряются ценные компоненты при переработке добываемого минерального сырья, потери ценных компонентов при обогащении в 2 – 5 раз превышают потери при добыче. А что делать с отходами? Пока еще они используются недостаточно. Так, в черной металлургии объем необходимой утилизации горных пород, добываемых попутно, составляет 32 %; объем отходов обогащения железных руд – 10,2 %. В цветной металлургии только 3 – 4 % вскрышных пород направляется на производство щебня.

В этой проблеме важным является широкое применение систем разработки твердых полезных ископаемых с закладкой выработанных пространств “пустыми” породами, что обеспечивает снижение потерь полезных ископаемых и охрану земной поверхности. Только при разработке калийных солей с закладкой выработанного пространства эффективность добычи солей повышается на 30 %.

Вторая и не менее важная проблема – утилизация отходов горно-рудных предприятий. Уже сегодня утилизация отходов, направляемых в отвалы, дает возможность сократить их на 20 – 25 %. За счет этого можно получить значительную экономию финансовых средств, вкладываемых в индустрию строительных материалов при решении важной задачи уменьшения площадей, занятых пустой породой. Это значит, что тысячи и тысячи гектаров земли будут включены в производство сельскохозяйственной продукции. На освобожденных от горных работ землях создаются луга, сенокосы, проводится посадка леса и лесозащитных полос.

На землях, где когда-то велись горные работы, осуществляется рекультивация. В Украине она осуществляется в Днепропетровской области при добыче марганцевых руд, в Крымской автономии – железных руд, в Донбассе – угля и нерудных полезных ископаемых.

Главная задача горного дела – комплексное освоение месторождений полезных ископаемых. Комплексная переработка угля включает в себя не только получение высококачественного чистого топлива (твердого, жидкого, газообразного), но и ряда ценных продуктов (серы при сжигании сорбентов, углеграфитовых материалов). Отвалы обогатительных фабрик вмещают значительное количество серного колчедана. При комплексной переработке бурых железняков на заводе “Азовсталь” производят фосфатные шлаки, используемые в качестве удобрения. Из отходов флотационного обогащения, вмещающих серу до 5 %, на Раздольском ОАО “Сера” получают асбестоцемент и известняковые материалы.

Значительные техногенные нагрузки на объекты гидро-, лито- и биосферы создаются при добыче, транспортировке и хранении нефти и газа. В первую очередь это касается технологических процессов при бурении нефтяных и газовых скважин. Источником механических нарушений являются такие процессы, как строительство площадок под буровую и буровое оборудование, строительство земляных шламовых амбаров, снятие и складирование рабочего слоя земли и рекультивация территории буровой, засыпка землей шламов при их ликвидации.

Основным объектом загрязнения при бурении скважин является геологическая среда (подземные воды) и гидро- и литосфера (открытые водоемы, растительное покрытие грунтов).

Наибольший объем среди отходов принадлежит буровым стоковым водам, объем которых за сутки составляет 20–40 м³ на одну скважину. Опасными видами отходов бурения являются отработанный буровой раствор и шлам.

Для водоемов наибольшую опасность представляет нефть. В водяные объекты может попадать до 30 % нефти и нефтепродуктов, которые теряются в процессе строительства скважины.

В процессе бурения загрязняются почва и атмосфера. При бурении скважин соленасыщенными буровыми растворами площадь засоления территории достигает 4,5 гектаров. При попадании в почву минеральных солей формируются солончаки. Эти данные свидетельствуют о необходимости соблюдения строгих требований к технологическим процессам бурения скважин.

Обеспечение нормального качества естественной среды, поверхности Земли и земной коры при бурении скважин достигается применением: экологически чистых материалов и химических реагентов для буровых растворов, ликвидацией шламовых амбаров и рекультивацией земли, очисткой буровых стоковых вод, утилизацией отработанных буровых растворов.

Вред окружающей среде наносит также и добыча углеводородного сырья (нефти и газа) и продуктов их переработки. Только в России в 1985 – 2000 годах более чем 130 открытых нефтегазовых фонтанов привели к тяжелым экологическим последствиям. Приблизительно 55 из них сопровождалось пожарами, при которых потери попутного газа и конденсата составили около миллиарда кубических метров.

Поэтому вопросы охраны окружающей среды в процессе разработки нефтегазовых месторождений требуют особого внимания. В основном они заключаются в выборе систем разработки и внедрении эффективных методов повышения нефте-, газо- и конденсатоотдачи месторождений.

Важное значение имеет контроль за состоянием разработки месторождений и продвижением контуров нефтегазоносности, пластовым давлением, надежностью колонн эксплуатационных и нагнетательных скважин и гидродинамическими связями между пластами. Это достигается защитой колонн от коррозии и обеспечение их герметичности. Нарушение герметичности колонн может привести к образованию грифонов, межпластовых перетоков, открытого фонтанирования и других недопустимых последствий.

Наземное технологическое оборудование нефтепромыслов и газопромыслов должно обеспечивать сбор и подготовку к транспортировке или хранению не только основных полезных ископаемых (нефть и газ), но и продуктов (конденсат, сера, инертные газы, микроэлементы), добываемых попутно. Обеспечение надежности безаварийной работы этих систем имеет важное значение для предотвращения потерь добытых полезных ископаемых и, соответственно, охраны недр. Здесь главной

задачей является защита наземного нефтепромыслового оборудования, подземных коммуникаций и трубопроводов от коррозии.

Диапазон влияния на окружающую среду при строительстве и эксплуатации газонефтепроводов очень широкий. Трассы магистральных трубопроводов пересекают реки, лесные массивы, болота, вечную мерзлоту, национальные парки, автомагистрали, железные дороги, прокладываются по морскому дну. Поэтому такие сооружения, где внутреннее давление перекачиваемого продукта достигает 7,5 МПа, нуждаются в соблюдении высоких требований. В мировой практике случается много аварий, когда разрыв трубопровода сопровождается пожарами, разливами нефти и человеческими жертвами. Ежегодно в мире случается более 1 500 аварий на трубопроводах.

Строительство магистральных газонефтепроводов связано с нарушением поверхностного слоя земли, иногда и плодородного. Поэтому строительство ведется с рекультивацией земли и восстановлением ландшафта (рис. 12.1). Газонефтепроводы должны быть надежными, герметичными, защищенными от коррозии, деформации поверхности и других внешних факторов.



а)



б)

Рис. 12.1. Прокладка трубопровода:

а) – участок земли в период строительства; б) – участок земли после восстановления плодородного слоя

Транспортировка нефти осуществляется и нефтеналивными танкерами. При авариях современных большегрузных танкеров в акваторию океана выливаются сотни тысяч тонн нефти и нефтепродуктов, что приводит к массовой гибели рыб и морских животных. Подсчитано, что в XX столетии потерпели крушение более 2 000 нефтеналивных судов, в результате чего в воды мирового океана вылилось почти 10 млрд. тонн нефти (рис. 12.2).



Рис. 12.2. Сбор нефти после аварии танкера

При строительстве подземных сооружений и в процессе их эксплуатации геологические процессы, происходящие при этом, влияют на изменения геологической среды. Ухудшается состояние и физико-механические свойства пород под действием понижения или повышения уровня подземных вод, изменяется динамика и химический состав вод, приобретают развитие процессы сдвижения и образования мульд оседания земной поверхности.

Поэтому при строительстве подземных сооружений особенно актуальным является выбор комплекса средств и методов для повышения устойчивости подземных горных выработок большого поперечного сечения, обеспечение долговременного срока их эксплуатации, защиты от сейсмических волн, горного давления и влияния внутренней среды.

Рассматривая вопросы обо всем, что под Землей, использование ресурсов недр сейчас и в будущем должно предполагать не только собственно извлечение полезных ископаемых, но и преобразование недр в новый источник георесурсов. Решение этой двойной задачи – использование недр и их сохранение как видоизменяемого георесурса жизнеобеспечения общества – составляет идейное содержание горных наук, комплексного освоения недр и подземного пространства.

Мы с вами познакомились со многими факторами, от положительного решения которых зависит насколько рационально и комплексно мы используем подземное пространство, как охраняем недра Земли и земную

поверхность. В комплексе проблем, связанных с охраной Земли и окружающей среды, есть и глобальные.

Одной из наиболее существенных проблем человечества третьего тысячелетия остается потепление климата. В значительной мере возникновение этой проблемы связано с ростом концентрации парниковых газов в атмосфере (углекислый газ, окислы азота, метана, гексафторида серы). Доля отдельных стран и регионов в выбросах углекислого газа в 2002 году составила (в %): Северная Америка – 38,5, Латинская Америка – 3,6, Западная Европа – 12, страны СНГ – 9,5, Африка – 3, Китай – 13,1, Япония – 6,3, другие страны Азии – 9,2, остальные страны – 8,8. Экспертами подсчитано, что при условии сохранения существующих тенденций роста выбросов парниковых газов, в следующие 100 лет произойдет значительное потепление климата Земли на 2,5–3,0 °С. Это может вызвать повышение уровня Мирового Океана на 60–100 см и привести к затоплению многих прибрежных районов. Последующее потепление, по прогнозам ученых, потянет за собой таяние ледового щита Антарктиды с непредсказуемыми последствиями для климата планеты.

Выбросы химических веществ в атмосферу уже в настоящий момент оказывают крайне негативное влияние на мировую экологию. Избыток диоксида серы в атмосфере считается главной причиной кислотных дождей и парникового эффекта. В процессе использования, переработки и сжигания энергоносителей происходит загрязнение промышленными отходами воды и почвы. Главная причина такого загрязнения – аварии на трубопроводах, нефтеналивных танкерах, протекание в подземных хранилищах и резервуарах.

Борьба за экологическую безопасность современных производств невозможна без внедрения передовых технологий во всех аспектах жизнедеятельности человека: добыче полезных ископаемых, сооружении подземных объектов, приспособлении подземного пространства для решения проблем инфраструктуры, и главное, в энергетике. Почему мы выделяем энергетику, потому что около 98% выбросов парниковых газов приходится на сжигание органического топлива. Энергетика может внести значительный вклад в уменьшение выбросов за счет энергосбережения, развития атомной энергетики, использования нетрадиционных и восстанавливаемых источников энергии.

На Саммитах стран большой восьмерки, состоявшихся в июне 2007 года в Германии и в июле 2009 года в Италии, охрана окружающей среды была одной из главных тем. Итогом Саммитов стало то, что страны будут пытаться вдвое уменьшить выбросы углекислого газа до 2050 года.

Таким образом, напрашивается один вывод – Землю нужно беречь для нынешних и будущих поколений. Земля – это и есть жизнь.

Заключение

Проблема освоения Земли, ее недр и подземного пространства многогранная. Она не могла вместиться в одной книге. Мы ставили за цель ознакомить читателя с полезными ископаемыми планеты, как они добываются, что сооружается под землей, как используется подземное пространство.

Важно всегда помнить насколько необходимо продуманное, умное хозяйственное использование естественных сокровищ Земли – ее недр. Прогноз освоения недр и подземного пространства, как и другой прогноз в науке и технике, дело сложное.

Освоение земной коры, как среды для жизни и производственной деятельности человека, будет проходить на фоне всевозрастающей потребности в землях. Это значит, что и поверхность, и подземное пространство Земли, превращаются в полноправные природные ресурсы, не менее ценные для человека, чем минеральное сырье.

Комплексное использование недр Земли – полезных ископаемых, уменьшение потерь при их добыче, полная утилизация отходов горного производства – важнейшая на сегодняшний день задача.

Человек освоил технику и технологию бурения глубоких и сверхглубоких скважин для изучения недр Земли и добычи жидких и газообразных полезных ископаемых. Осваиваются акватории морей и океанов.

И дальше будет развиваться подземное строительство. Тоннели, метро, подземные электростанции и газонефтехранилища расширят свои объемы и географию. Необходимость транспортировки нефти и газа на большие расстояния дает новый толчок для сооружения подземных стальных магистралей, которые пересекут страны, регионы, континенты.

Использование подземного пространства для размещения объектов жизнедеятельности человека, подземное пространство городов и в дальнейшем будет привлекать внимание человечества.

Государства должны еще много приложить усилий во избежание естественных катаклизмов и катастроф, связанных с глобальным потеплением и процессами, происходящими в недрах Земли.

Эти проблемы всегда будут в центре внимания. Их будут решать. Если не мы, то наши потомки.

Список литературы

1. Арсентьев А.И., Падуков В.А. Беседы о горной науке. – Л.: Наука, 1981. – 161 с.
2. Спорудження нафтобаз і газосховищ/Бугай Ю.М., Глоба В.М., Нагорний В.П., Венгерцев Ю.О. – К.: ВІПОЛ, 2000. – 606 с.
3. Глоба В.М., Мартинюк О.Т. Основи будівництва трубопроводів. – Івано-Франківськ: ІФДТУНГ, 2000. – 156 с.
4. Дробовоз И. Ракетные войска СССР. – М.: АСТ “Харвес”, 2005. – 496 с.
5. Калиничев В.Р. Метрополитены. – М.: Транспорт, 1988. – 318 с.
6. Лубенец Г.К., Посяда В.С. Строительство подземных сооружений. – К.: Будівельник, 1970. – 418 с.
7. Мазур И. Нефть и газ. Мировая история. – М.: Изд. «Дом, Земля и человек. XXI век», 2004. – 896с.
8. Мостков В.М. Подземные сооружения большого сечения – М.: Недра, 1974. – 320 с.
9. Нагорный В.П., Глоба В.М., Денисюк И.И. Взрывные работы при добыче природных углеводородов, строительстве подземных трубопроводов и подземных хранилищ. – К.: Поліграфіст, 2009. – 330 с.
10. Носарев А.В. Мосты и тоннели на Великом Сибирском пути (включая БАМ). – М.: МГУ, 2002. – 288 с.
11. Петренко Е.В. Освоение подземного пространства. – М.: Недра, 1988. – 150 с.
12. Ржевский В.В. Горные науки. – М.: Недра, 1985. – 96 с.
13. Швецов П.Ф. Под землей, чтобы сберечь землю. – М.: Наука, 1983. – 144 с.
14. Яремийчук Р.С., Возный В.Р. Основы горного производства нефти, газа и твердых полезных ископаемых. К.: Кондор, 2006. – 376 с.
15. Atlas der Natur Katastrophen. – Munchen: 2001.
16. Daniel Riechters. Metros in Europa. – Stuttgart: Verlag GMBH – Co.1996. – 187 s.
17. Gunter Kuhn. Der maschinelle Tiefbau. – Stuttgart: B.G. Teubner, 1992.
18. Hans – Heinz Emons, Hans – Henning Walter. Mit dem Salz durch die Jahrtausende. – Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie. – 1984.
19. Herman Heinz Wille. Versto? ins Innere der Erde. – Urania – Verlag. Leipzig – Jena – Berlin. – 1978.
20. Martin Clement. Tausend Jahre Metallerbergbau in Mitteleuropa. – VGE, Essen, 1996.

21. Metros der Welt. – Berlin: Transpress, 1992. – 386 s.
22. Mineralien und Edelsteine. – Verlegt bei Kaiser, 2003.
23. Petra Damke, Markus Hoeft. Tunnel Graben Viadukte 100 Jahre Baugeschichte der Berliner U – Bahn. – Berlin: Kulturbild – Verl, 1998. – 237 s.
24. Robert Decker, Bavbava Decker. Vulkane. – Heidelberg: Verlag CmBH,1998.
25. K.Simmev. Grundbau, Teil 2. – Stuttgart – Leipzig: B.G. Teubrer, 1999. – 513 s.
26. Stefan Ueberhorst. Energietrager Erdgas. - Bonn, 1994.
27. Unseve Erde. Urania – Verlag – Leipzig – Jena – Berlin, 1974.
28. U – Bahnen gestern – heute – morgen von 1863 bis 2010. – Wien; Schmid Verlag, 2004. – 498 s.

Научно-популярное издание

**Нагорный Владимир Петрович
Глоба Владимир Моисеевич**

Обо всем, что под землей
(добывается, сооружается, размещается)

Под редакцией докт. техн. наук, проф.
В.П. Нагорного

На русском языке

Науково-популярне видання

**Нагорний Володимир Петрович
Глоба Володимир Мойсейович**

Про все, що під землею
(видобувається, споруджується, розміщується)

За редакцією докт. техн. наук, проф.
В.П. Нагорного

На російській мові

Підписано до друку 20.12.2009.
Формат 60×84/16. Папір офсетний.
Друк. арк. 12,42; умов. друк. арк. 10,87
(10,66 – текст, 0,21 – кольорові вклейки).
Замовлення № 4 від 14.01.2010. Наклад 250 прим.

Віддруковано у друкарні Тов. фірми «ЕСЕ»
Україна, 03142, м. Київ-142,
проспект Вернадського, 34/1