

Б.А. Лысиков

Подземные структуры

(Конспект лекций для студентов уровня

профессионального образования

«специалист» по специальности 21.05.04 «Горное дело»

специализации «Шахтное и подземное строительство»

всех форм обучения)



Составитель: Лысиков Борис Артемович – кандидат технических наук, профессор кафедры строительства зданий, подземных сооружений и геомеханики.

Конспект лекций по дисциплине «Подземные структуры» [Электронный ресурс] : для студентов уровня профессионального образования «специалист» специальности 21.05.04 «Горное дело» специализации «Шахтное и подземное строительство» всех форм обучения / ГОУВПО «ДОННТУ», Каф. строительства зданий, подземных сооружений и геомеханики; сост. Б.А. Лысиков. – Электрон. дан. (1 файл: 30,7 Мб). – Донецк:ДОННТУ, 2023. – 336 с. – Систем. требования: Acrobat Reader.

Приведено содержание всех лекций по дисциплине «Подземные структуры», перечень учебной литературы. Конспект лекций может быть полезен студентам всех форм обучения, изучающим предмет заочно или по индивидуальному графику со свободным посещением аудиторных занятий, а также преподавателям, занятым по данной дисциплине

ВВЕДЕНИЕ	8
Глава 1 ПОДЗЕМНЫЕ ХРАНИЛИЩА ПРИРО- ДООХРАННОГО НАЗНАЧЕНИЯ	10
1.1 Общие сведения	10
1.2 Изоляция углекислого газа	11
1.3 Складирование промышленных отходов.....	17
а) в отработанных шахтах	17
б) в соляных полостях	29
Глава 2 ГРАЖДАНСКИЕ СТРУКТУРЫ	35
2.1 Общие сведения	35
2.2 Общественные, религиозные и просве-	
тительские центры	35
а) общественные центры	35
б) религиозные центры	42
в) просветительские центры.....	42
г) библиотеки	46
2.3 Центры зрелищ и развлечений.....	56
а) музеи и выставочные залы	56
б) театральные объекты	66
2.4 Спортивные залы и бассейны.....	74
2.5 Автостоянки.....	82
2.6 Зоны торговли и обслуживания	89
2.7 Заглубленные дома	97
2.8 Склады и хранилища	104

а) хранение вина.....	104
б) хранение золота и ценностей	106
в) хранение документации и информаци- онных материалов.....	107
2.9 Аграрные объекты.....	114
2.10 Объекты инфраструктуры	116
Глава 3 ВОЕННЫЕ СТРУКТУРЫ	130
3.1 Общие сведения.....	130
3.2 Пусковые комплексы ракет.....	131
3.3 Штабные и управленческие комплексы	139
3.4 Укрытия гражданского населения.....	146
Глава 4 ЕСТЕСТВЕННЫЕ ПОДЗЕМНЫЕ СТРУКТУРЫ.....	153
4.1 Общие сведения.....	153
4.2 Жилые и туристические объекты	153
4.3 Нежилые структуры	155
Глава 5 ПОГРУЖНЫЕ ТУННЕЛИ.....	156
5.1 Общие сведения.....	156
5.2 Действующие погружные туннели	160
5.3 Планируемые погружные туннели.....	178
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	182
Библиография	205

ГЛАВА 1. ПОДЗЕМНЫЕ ХРАНИЛИЩА ПРИРОДООХРАННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

1.1 Общие сведения

Углекислый газ CO_2 – основной газ, вырабатываемый в процессе человеческой деятельности. Он ответственен за изменения климата, как один из главных парниковых газов.

Наибольшим источником выделения углекислого газа является производство энергии, 80% которой получают от ископаемых ресурсов нефти, угля и газа. Альтернативное крупномасштабное развитие гидроэлектроэнергетики и атомной энергетики ограничивается экономическими и политическими условиями. Большой потенциал имеет использование солнечной энергии, но пока она неприменима в промышленных масштабах из-за высокой стоимости. Даже при интенсивных поисках альтернативных источников энергии зависимость от ископаемого топлива в обозримом будущем не будет уменьшаться. Особенно большой рост потребления энергии ожидается в развивающихся странах и, например, в Китае или Индии он будет базироваться на имеющихся запасах угля.

Другим крупным источником выделения CO_2 является производство цемента. Оно выделяет около 2 млрд. тонн углекислого газа в год, что примерно равно количеству CO_2 , выбрасываемого в атмосферу от сжигания топлива.

В этих условиях важнейшей задачей является применение технологий, уменьшающих выделение углекислого газа. Так, переход от использования угля к газу существенно решит эту проблему, однако, только через сравнительно отдаленное время. Другие же меры не являются радикальными, требуют больших научно-технических усилий и могут быть осуществлены только через длительный срок.

Единственным выходом в обозримом будущем является улавливание CO_2 в ходе различных технологических

процессов и дальнейшая его утилизация или изоляция в больших и безопасных хранилищах.

1.2 Изоляция углекислого газа

Улавливание CO_2 производится при сгорании топлива на тепловых электростанциях, очистке этана и производства этилена, производстве цемента, декарбонизации (отделении углерода) метана. Темой дальнейшего рассмотрения, однако, являются только вопросы изоляции углекислого газа в подземных хранилищах, поскольку остальные технологии выходят за рамки данной книги.

Теоретически возможно разместить большое количество углекислого газа в глубинах океана (рис. 1.1 цв. вкл.). Если закачать его на глубину 3000 м и более, он станет более густой жидкостью, чем вода. Это сформирует подводные озера CO_2 , что позволит хранить углекислый газ долгое время. Такие глубины, однако, редко находятся вблизи от суши, где размещены производства. На глубинах же около 1500 м углекислый газ будет растворяться в воде, образуя нестабильные соединения, что потребует специальных исследований по возможности осуществления метода и его влиянию на морские организмы.

Различные способы подземной изоляции CO_2 показаны на рис. 1.2 (цв. вкл.).

Промежуточное положение между подводным и подземным способами изоляции CO_2 занимает решение, испытанное в Норвежском секторе Северного моря. Здесь в месторождении природного газа Слейпнер (Sleipner) последний содержит около 9% CO_2 . Его содержание должно быть уменьшено до 2,5%, чтобы он соответствовал требованиям экспорта. При сегодняшней добыче природного газа это требует удаления из него 1 миллиона тонн CO_2 в год, что увеличит общий выброс углекислого газа в целом по Норвегии на 3%. Чтобы избежать этого и соответствовать требо-

ваниям Киотского протокола, а также не платить высокий налог, компания, разрабатывающая месторождение, решила инъецировать углекислый газ в водоносный слой Утсира (Utsira), расположенный под дном моря. Для этого создана специальная установка весом 8200 т и размерами 50x20x35 м.

Специальная скважина, через которую инъецируется CO_2 достигает горизонтальной длины 4 км (рис. 1.3-1.7 цв. вкл.).

Формация Утсира – это песчаный массив мощностью 200 м, расположенный на глубинах 800-1000 м. Работы по инъецированию CO_2 начались в 2000 г. и после 5 лет нагнетания будет произведено изучение его результатов. Подобные водоносные слои горных пород расположены в большинстве осадочных структур и содержат воду с большим содержанием солей, которая не может быть использована в промышленных, сельскохозяйственных или бытовых целях. Приблизительно 2% общего объема таких водоносных слоев могут быть использованы для хранения CO_2 . Их верхняя отметка должна быть расположена, как минимум, на глубине 800 м, чтобы обеспечить надежную, без утечек изоляцию углекислого газа, который на этой глубине ведет себя, как жидкость с плотностью 700-800 кг/м³.

Когда CO_2 закачивается в подходящую водоносную горную породу, благодаря эффекту плавучести, газ поднимается и постепенно распространяется, формируя слой, расположенный под покрывающими горными породами. Часть закаченного газа (10-25%) с течением времени растворяется в подземных водах.

Учитывая высокую адсорбционную способность каменного угля, Европейским союзом в настоящее время осуществляется проверка возможности постоянного хранения CO_2 в неразрабатываемых угольных пластах. С этой целью в Силезском угольном бассейне Польши метан угольных пластов замещается закачиваемым углекислым газом, а вытесняемый метан улавливается и используется в качестве топлива (проект Рекопол (Recopol), рис. 1.8 цв. вкл.).

Углекислый газ привозится цистернами и хранится в месте использования в жидком виде (при температуре минус 20°C). Затем газ через скважины закачивается под землю в угольные пласты на глубину 1050-1090 м, т.е. на несколько сотен метров ниже самых глубоких шахт, работающих в Силезии. Углекислый газ адсорбируется в уголь, вытесняя одновременно метан, содержащийся в нем. Метан выкачивается вакуумными насосами на поверхность через вторую скважину (рис. 1.9). Всего планируется закачать в угольные пласты до 3000 т CO_2 .

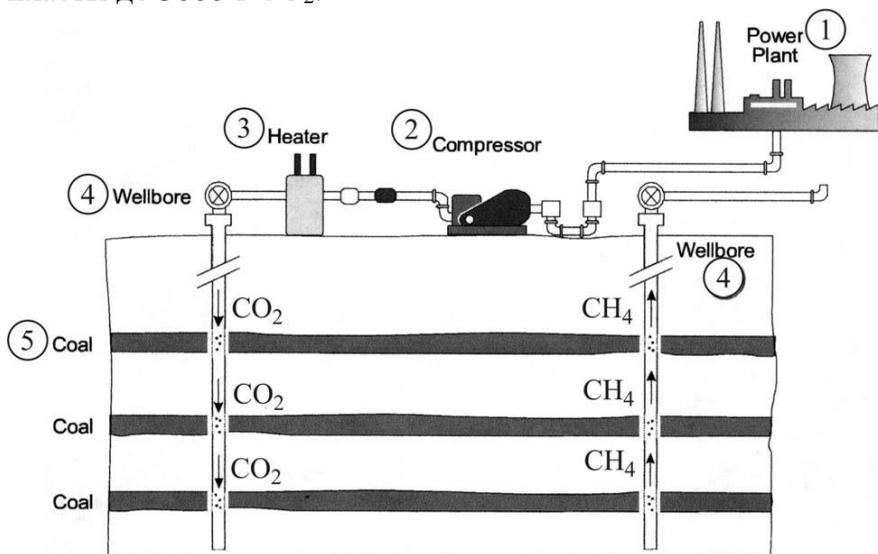


Рис. 1.9 Схема вытеснения метана углекислым газом

Для хранения углекислого газа могут использоваться естественные или искусственные подземные полости, в частности, соляные, создаваемые процессом растворения соли в месторождениях. Последние встречаются двух видов – соляных куполов и пластовых формаций.

Соляные купола – большие, почти однородные формации поваренной соли, хотя они могут содержать иные включения, например, ангидрид. Возраст формирования куполов – примерно 30 миллионов. Глубина таких куполов

может быть более чем 3 км, а ширина их вершины достигает 0,8-4 км. Покрывающие породы часто сформированы из гипса, известняка, других отложений. Пластовые формации соли перемежаются слоями таких осадочных пород, как ангидрид, сланец, доломит.

Для создания полости к соляному слою бурится скважина, по буровому ставу которой подается вода для растворения соли. Полученный рассол обычно откачивается по кольцевому зазору между буровой и обсадной трубами. Возможен также обратный метод, когда вода подается по кольцевому зазору, а рассол откачивается по буровому трубопроводу.

Полости могут быть объемом до 500 м³ и, поскольку соль непроницаема, это пространство может обеспечить долгосрочное решение по изоляции CO₂. Твердый углекислый газ (сухой лед) также может храниться подобным образом, окруженный термальной изоляцией, чтобы минимизировать передачу тепла и потерь газа.

Большие возможности для изоляции углекислого газа имеют также отработанные газовые и нефтяные месторождения. В таких резервуарах CO₂ может храниться практически неограниченно долго. Недавние исследования оценивают возможности Европы в хранении углекислого газа в геологических резервуарах в объеме равном 200-летнему выделению этого газа на современном уровне.

Изоляция CO₂ в подобных хранилищах представляется достаточно надежной. В самом деле, нефть и газ в их месторождениях надежно хранились миллионы лет и, если инъекция CO₂ не повредит слои перекрывающих пород, можно предположить, что и его хранение будет безопасным такое же время.

Закачивание CO₂ в отработанные газовые и нефтяные поля имеет еще одно преимущество: оно может вытеснить из них до 95% общего объема месторождения топлива (рис. 1.10 цв. вкл.), что делает этот способ наиболее ценным по

сравнению с другими. Такое закачивание восстанавливает до первоначального внутреннее давление в резервуаре, предотвращая тем самым возможное обрушение полостей и последующее влияние этого на состояние поверхности.

Возможно также хранение углекислого газа в старых угольных шахтах, что существенно отличается от описанных выше способов. Классические резервуары имеют обычно горизонтальные структуры, тогда как на шахте для хранения газа используются горные выработки, расположенные на различной глубине и разбросанные по простиранию месторождения. В шахте газ может храниться в свободном виде, растворенном в шахтной воде, адсорбированным в оставленных неотработанными угольных пластах. Однако, поскольку старая, закрытая шахта обычно не является герметически закупоренной структурой и имеет многочисленные связи с поверхностью или другими шахтами, хранение газа здесь может быть осуществимо только при низких давлениях, близких к атмосферному.

Изоляция CO_2 в закрытых угольных шахтах имеет сходство с хранением в них природного газа. Однако, в отличие от него углекислый газ должен здесь храниться в течение тысяч лет. В частности, специфическая опасность состоит в том, что приток подземных вод в старые шахты, постепенно сжимая газ, оттесняет его к кровле резервуара до тех пор, пока давление становится достаточно высоким, чтобы заставить газ вырваться в атмосферу.

Как много газа может быть размещено в шахте, зависит от его плотности, которая, в свою очередь, определяется давлением и температурой в месте хранения.

Углекислый газ имеет относительно высокую способность растворяться в воде и поэтому затопленные части шахты принимают значительное участие в общем объеме хранимого газа. Такой способ, однако, гораздо менее эффективен, чем хранение CO_2 в чистом виде. В обычных условиях при одинаковых объемах частей резервуара в затоп-

ленной части может храниться не более 10% газа, хранимого в сухой части.

Адсорбция углем углекислого газа также занимает существенное место в общем его хранении в шахте, так как поверхность угля представляет собой микропористую структуру. Адсорбция газа углем превышает 50% от общего объема хранения.

При хранении CO_2 в подземных структурах должно быть уделено внимание утечкам из трубопроводов и подземных резервуаров, особенно внезапно возникающим при сейсмической активности. Возможные утечки углекислого газа, закачиваемого в подземную структуру, показаны на рис. 1.11 (цв. вкл.).

Еще одним способом подземного хранения углекислого газа является его размещение в подземных геологических базальтовых формациях, которые содержат химические составляющие, вступающие во взаимодействие с CO_2 , изолируя его таким образом от атмосферы.

Достоинства хранения CO_2 в угольных шахтах могут дополняться возможностью использования при этом геотермальной энергии горных пород. Наиболее известные в настоящее время источники такой энергии – вода или пар из водоносных пластов, расположенных на большой глубине (рис. 1.12 а). Второй, разрабатываемый ныне способ, заключается в закачивании холодной воды в пористый породный слой и возвращение ее на поверхность после нагревания (рис. 1.12 б). Третий метод использует газ CO_2 , хранимый в закрытых угольных шахтах.

Подходящие условия для этого способа – достаточные глубина и вертикальный размер резервуара. Предполагается, что такой способ в несколько раз эффективнее геотермального получения тепла. В отличие от обычных геологических резервуаров, имеющих общую протяженность по горизонтали, отработанные шахты обычно имеют большой размер по вертикали, поскольку угольные пласты отрабаты-

ваются на различных горизонтах. Глубина этих шахт обычно превышает 800 м.

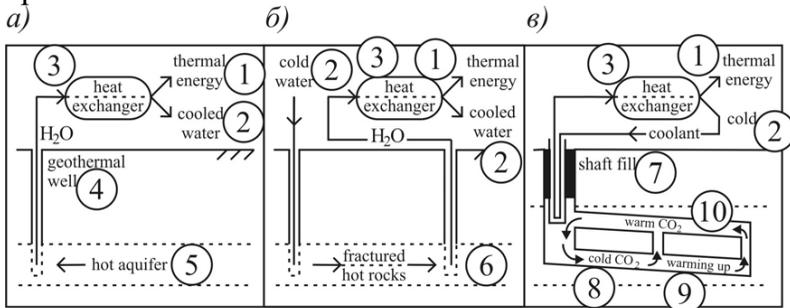


Рис. 1.12 Варианты использования термальной энергии

а) откачка горячей воды из водоносного слоя; б) закачивание и нагрев воды в пористом или несвязанном породном слое; в) циркуляция углекислого газа, хранимого в угольной шахте; 1 – термальная энергия; 2 – холодная вода; 3 – теплообменник; 4 – геотермальная скважина; 5 – водоносный слой с горячей водой; 6 – пористый породный слой; 7 – шахтный ствол; 8 – холодный CO₂; 9 – разогрев CO₂; 10 – теплый CO₂

При закачивании углекислого газа в такую шахту его часть, находящаяся на малой глубине и более холодная и поэтому более плотная, будет опускаться на дно резервуара, вытесняя более теплую и, следовательно, менее плотную фракцию наверх, к кровле резервуара. Эта конвекция фракций будет выносить тепло от более глубоких частей резервуара к мелким. Теплообменник, расположенный в кровле резервуара, будет извлекать из него тепло. Охлажденный CO₂ снова будет опускаться на дно, повторяя цикл (рис. 1.13).

1.3 Складирование промышленных отходов

а) В отработанных шахтах

Подземные структуры, сформированные как следствие человеческой деятельности – выработанные пространства

угольных, рудных и известковых шахт, полости в соляных месторождениях и др. – могут быть использованы повторно для складирования в них отходов производства. К последним относятся зола тепловых электростанций, хвосты процессов обогащения полезных ископаемых, порода от проведения вскрывающих выработок шахт, отходы бурения геологоразведочных и эксплуатационных скважин.

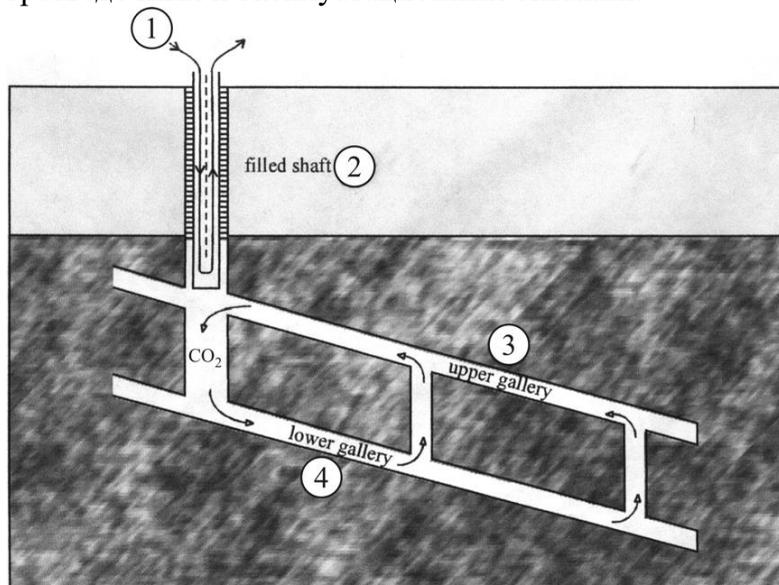


Рис. 1.13 Циркуляция углекислого газа в угольной шахте
1 – охладитель; 2 – шахтный ствол; 3 – верхняя выработка; 4 – нижняя выработка

Зола – несгорающий остаток, образующийся из минеральных примесей топлива при сгорании. Ее содержание в каменных и бурых углях находится в пределах от 1% до 45%. Зола состоит, главным образом, из сплавленных микроскопических сферических частиц, сформированных из глин, глинистых сланцев, известняка и доломитов. Согласно исследованиям, эта зола имеет цементирующие свойства. Она похожа на вулканическую золу, которая использова-

лась в качестве цемента еще 2300 лет назад в итальянских городах.

В настоящее время зола тепловых электростанций используется как добавка к цементу при производстве бетона, в частности, при строительстве дорог, плотин и т.д. Кроме экономических и экологических преимуществ, использование золы улучшает качество бетона.

Однако, несмотря на эти достоинства, даже в США, где уровень такого использования золы самый большой в мире, из примерно 90 млн. т только 19 млн. т золы используется, как замена портландцемента в бетоне. Оставшееся количество складывается на поверхности земли и в водохранилищах, создавая большие экологические проблемы.

Хвосты – пустая порода, остающаяся, как после первичной обработки минерального сырья, так и после процесса обогащения руды, в составе которой находится ценное полезное ископаемое. Для отделения нужного минерала от пустой породы руда дробится и измельчается. При ее обогащении применяется обычно процесс флотации, когда в смеси воды и химических ингредиентов минерал отделяется от породы за счет их разной плавучести. После этого концентрат минерала и хвосты – пустая порода – разделяются, причем, подобно золе, хвосты направляются в отвалы, занимая огромные территории на поверхности земли, сбрасываются в морские или речные воды.

Третий крупный источник экологической нагрузки на окружающую среду – отвалы пород, сопровождающие добычу полезного ископаемого. Порода, извлекаемая при открытом способе добычи угля или руды в карьерах (так называемая «вскрыша»), или в шахтах при проведении горных выработок, также складывается на поверхности. Здесь она представляет собой источник пылеобразования, окисления дождевых потоков, стекающих по склонам отвалов, а также самовозгорания остатков горючих подземных ископаемых.

Экологические проблемы, связанные со складированием золы, хвостов и пустых пород на поверхности земли, могут быть решены их размещением в выработанных пространствах старых шахт. Попутно, благодаря этой же технологии, предотвращаются проседания земной поверхности, подработанные шахтами. При выемке угля и обрушениях кровли вслед за подвиганием забоев наиболее разрушительные деформации поверхностных зданий, сооружений, водных объектов происходят непосредственно над обрушающимися зонами подземных полостей. Однако, этим разрушения не ограничиваются и распространяются на значительно более обширную площадь.

Так называемые короткозабойные системы отработки угля применяемые, в основном, в США с оставлением целиков угля для поддержания рабочего пространства способствуют охране поверхности от тяжелых последствий подработки, хотя и не предотвращают их полностью. Недостатком таких схем являются большие (до 50%) потери угля. Схемы со сплошной выемкой угля, так называемые длиннозабойные, применяемые, как правило, в Европе и иногда в США, еще более опасны для объектов поверхности (рис. 1.14, 1.15).

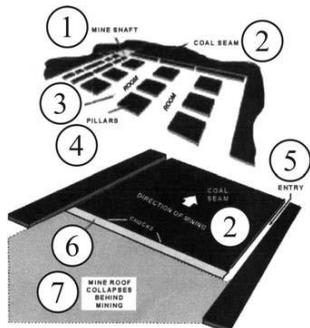


Рис. 1.14 Схемы образования выработанного пространства при различных системах разработки

а) короткозабойная система; б) длиннозабойная система; 1 – шахтный ствол; 2 – угольный пласт; 3 – выемочная выработка; 4 – целик угля; 5 – участковая выработка; 6 – забой; 7 – выработанное пространство

С целью предотвращения их подработки предложены методы заполнения подземных пустот и создания искусственных опор для поддержания кровли. Для этого в шахту через скважины или стволы различными способами (рис.

1.16-1.19) закачиваются скрепляющие растворы, использующие промышленные отходы.

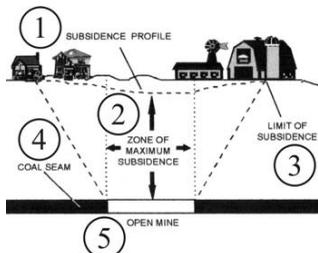


Рис. 1.15 Схема оседания поверхности над выработанным пространством шахты

1 – профиль оседания поверхности; 2 – зона максимальных оседаний; 3 – граница зоны оседания; 4 – угольный пласт; 5 – выработанное пространство

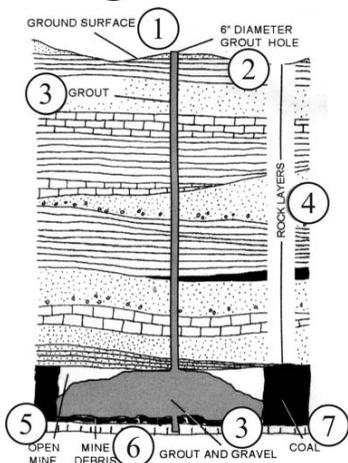


Рис. 1.16 Схема закладки выработанного пространства

1 – поверхность земли; 2 – скважина; 3 – закладочный материал; 4 – слой породы; 5 – выработанное пространство; 6 – обломки обрушенной кровли; 7 – угольный пласт

В штате Северная Дакота, США находится более 600 закрытых отработанных бурогольных (лигнитовых) шахт, которые со временем из-за обрушения пород в выработанном пространстве стали причиной появления провалов на поверхности. Такие провалы очень опасны, особенно, если они происходят в жилых или коммерче-

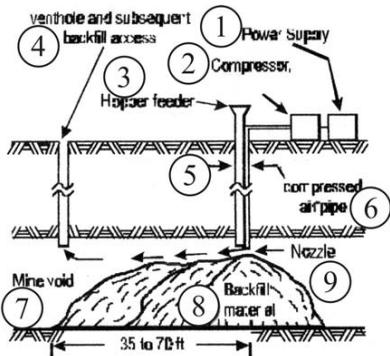


Рис. 1.17 Схема пневматической закладки шахтных пустот

1 – электроподстанция; 2 – компрессор; 3 – приемная воронка; 4 – вентиляционная скважина; 5 – воздухоподающая скважина; 6 – закладочный трубопровод; 7 – выработанное пространство; 8 – закладочный материал; 9 – выпускное отверстие

ских районах и на общественных дорогах. Для предотвращения этого с 1980-х гг. в штате были предприняты попытки заполнения выработанного пространства старых шахт песчано-водяной суспензией через скважины, пробуренные непосредственно в подземные пустоты. Поскольку их заполнение происходило только за счет силы тяжести, результаты были неудовлетворительны из-за плохого проникновения гидросмеси в пустоты, если старые горные выработки были частично обрушены. Кроме того, такая суспензия не имела способности к связыванию с окружающими породами и была склонна к текучести, твердая фракция не задерживалась в нужном месте после просачивания воды.

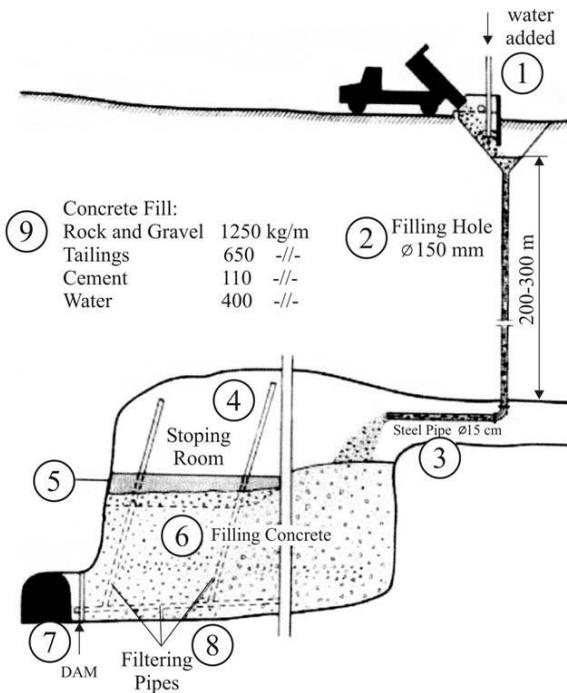


Рис. 1.18 Схема гравитационной закладки шахтных пустот (меднорудная шахта)

1 – добавление воды; 2 – закладочная скважина; 3 – стальная труба; 4 – добычный участок; 5 – вода; 6 – закладочный материал; 7 – перемычка; 8 – фильтрующие трубы; 9 – состав закладочного материала (гравий и порода, отходы обогащения, цемент, вода)

Начиная с 1991 г., в шахтах Северной Дакоты производилась напорная цементация подземных пустот. Недостатком этого способа являлась высокая стоимость портландцемента, который был основным элементом закачиваемой

взвеси. Поэтому в 1995 г. было принято решение о замене части цемента золой от сжигания угля в тепловых электростанциях, что, во-первых, позволило на 18% удешевить работы по предотвращению оседания поверхности, а во-вторых, освободить от отвалов золы обширные территории на электростанциях, решив тем самым одновременно две сложные экологические проблемы.

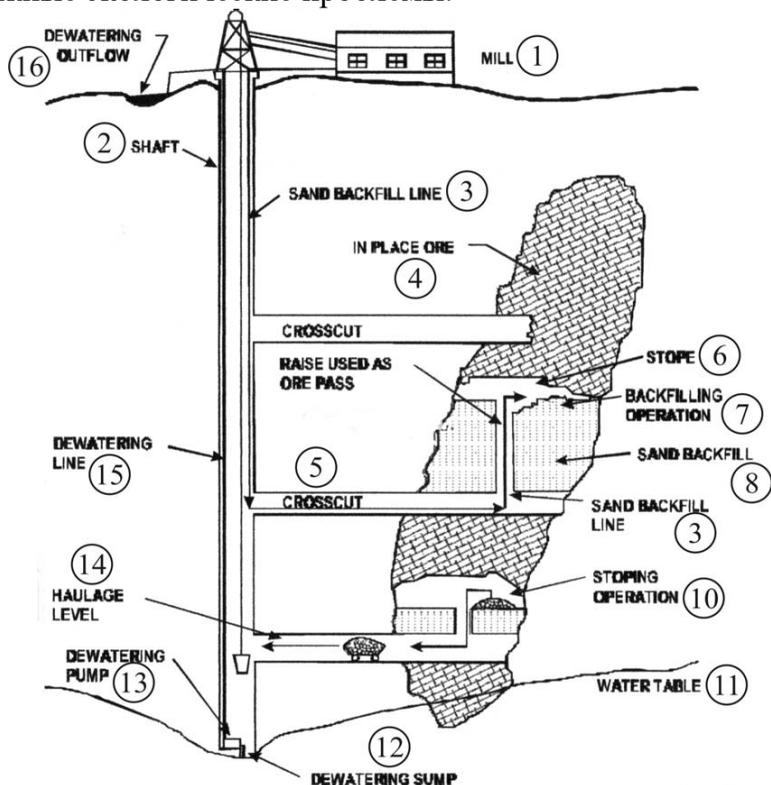


Рис. 1.19 Схема гидравлической закладки шахтных пустот
 1 – дробильная установка; 2 – шахтный ствол; 3 – закладочная линия; 4 – рудное тело; 5 – участковая вскрывающая выработка; 6 – выемочный участок; 7 – закладочные работы; 8 – закладочный материал; 9 – вспомогательная подъемная установка; 10 – отбойка руды; 11 – уровень воды; 12 – приемный колодец; 13 – водоотливной насос; 14 – откаточный горизонт; 15 – водоотливный трубопровод; 16 – сброс шахтных вод

Подобный же опыт имеется по заполнению шахтных пустот хвостами обогащения, которые при этом обычно смешиваются со связывающими материалами, например, цементом и затем закачиваются в подземную структуру рудных шахт, где проблема хвостов наиболее актуальна. Поскольку при этом повышается устойчивость горных выработок, появляется возможность, как и при угледобыче, уменьшить целики, оставляемые для поддержания кровли, и увеличить таким образом площадь извлечения руды.

Технология подачи хвостов в шахту заключается в следующем. Гидромонитор водой под большим давлением размывает секциями отвал хвостов. После отделения крупных фракций хвосты поступают в отстойник и далее в сгуститель и установку подачи в шахту. Эта технология была применена на золотодобывающей шахте Кэйтэйлс (Kaltails), Западная Австралия. Операции начались в 1999 г. и будут продолжаться свыше 10 лет.

В штате Иллинойс, США имеется опыт заполнения выработанного пространства угольной шахты смесью из шахтных отвалов, которая содержала породу от проведения горных выработок. Высокая концентрация твердых фракций в смеси позволила ее применить в условиях шахт Иллинойса, где слабые вмещающие породы очень чувствительны к воздействию воды. Были проведены исследовательские работы, показавшие, что можно добиться хорошей способности к закачиванию смеси с содержанием твердого компонента до 70-90% при создании пасты однородной концентрации. При этом в составе последней должна участвовать зола (до 67%) и шахтная порода (33%). При испытаниях под землю было закачено более 9200 т пасты, причем оказалось, что ее можно закачивать, как в действующие, так и в отработанные панели шахт, позволяя на 5-8% увеличить вынимаемую площадь угля. Паста усиливает целики, оставленные для поддержания рабочего пространства и поверхности.

В шахте Краун III (Crown III) объединенной угольной компании Фримэн в штате Иллинойс, США были проведены эксперименты по размещению в отработанном участке угольного пласта № 6 пасты, содержащей продукты сгорания угля, отходы его обогащения и породу (соответственно 14%, 53% и 33%) в смеси с водой (рис. 1.20 цв. вкл.).

Целями эксперимента является также изучение возможности снижения потерь угля в оставляемых целиках с 64% до 56% и уменьшение сдвижений поверхности над отработанными зонами.

Пласт мощностью 2,1 м залегает на глубине 90-110 м и отрабатывается по камерной системе разработки с основными выемочными выработками шириной 6 м, расположенными на расстоянии 18-24 м друг от друга (между центрами). В кровле пласта залегает слабый аргиллит мощностью 0,6-1,4 м. Для увеличения степени выемки угля триряда целиков в панели, заполняемой закладочной пастой, были частично извлечены заходками шириной 5,5 м и глубиной внедрения 6 м.

С поверхности были пробурены две скважины для подачи пасты в выработанное пространство и сооружена установка для получения закладочной пасты.

Ее общий объем, спущенный в шахту по скважинам, составил 9,3 тыс. т при скорости закладки 79 т/час (54 т/час твердой фракции и 25 т/час воды).

Наблюдения за состоянием выработанного пространства показали общую конвергенцию кровли и почвы в центре выемочного участка равную 5 см. В некоторых пересечениях выемочных выработок произошли обрушения кровли.

В шахте Фейрфакс (Fairfax), Западная Вирджиния, США, разрабатывающей пласт угля мощностью 1,5 м на глубине 70 м были проведены эксперименты по захоронению золы в смеси с водой в выработанном пространстве (рис. 1.21, 1.22). Здесь, кроме уменьшения оседания земной поверхности, была снижена кислотность шахтной воды, от-

качиваемой на поверхность. Такой эффект достигается за счет того, что во-первых, зола тепловых электростанций по своему химическому составу является щелочной, что нейтрализует кислотность шахтной воды. Во-вторых, зола запечатывает полости шахты и поры в пласте угля, предотвращая таким образом окисление пиритов, которое является причиной кислотности воды.

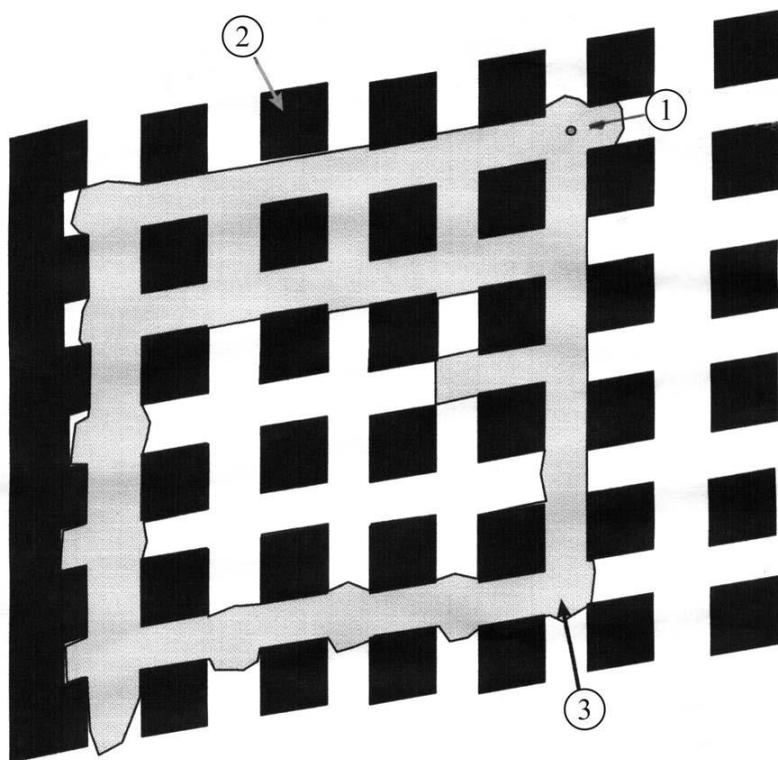


Рис. 1.21 План участка шахты Фейрфекс, заполненного закладочной пастой

1 – скважина для спуска закладочной пасты; 2 – угольный целик; 3 – закладочная паста

В штате Висконсин, США, выполнен проект размещения хвостов обогащения в рудной шахте Крэндон (Crandon), которая будет разрабатывать рудное тело, имеющее размер

по простиранию 1,7 км, мощность более 30 м и глубину залегания 670 м. Месторождение состоит из двух частей: большей – содержащей цинковую руду и меньшей – содержащей медную руду.

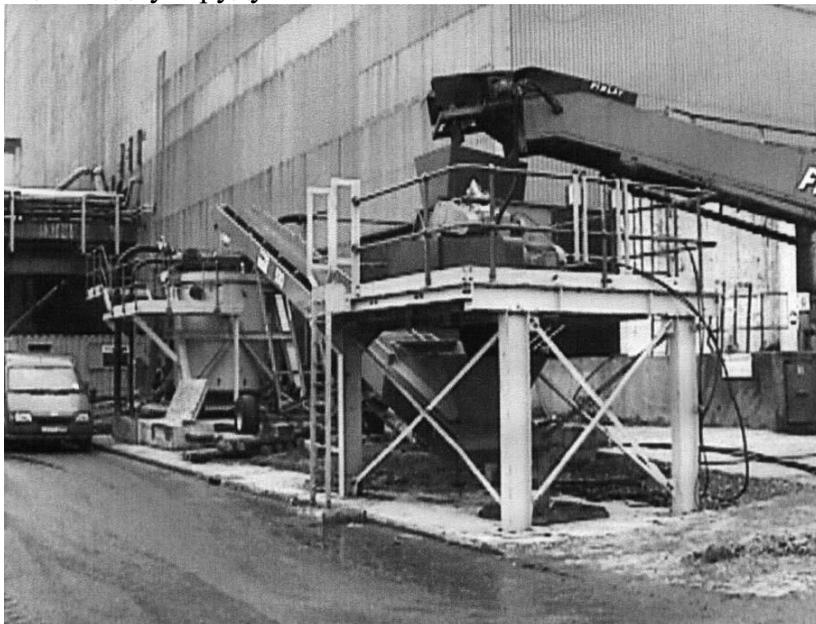


Рис. 1.22 Закладочная установка на поверхности шахты

Рудное тело вскрывается (рис. 1.23 цв. вкл.):

- одним вертикальным грузоподъемным стволом и двумя вентиляционными на восточном и западном флангах;
- 11 горизонтами с вертикальными интервалами 60 м, между которыми будет производиться выемка руды;
- наклонными заездами (рампами), связывающими горизонты.

Месторождение будет отрабатываться буровзрывным способом, блоками-забоями, имеющими размеры: ширину 23 м, глубину по мощности рудного тела 30 м, высоту по расстоянию между горизонтами 60 м.

Вначале в течение 16 лет будет отработана цинковая часть залежи, затем в течение 12 лет – медная. После обо-

гащения выданной на поверхность руды от ее ценных составляющих будет отделяться пирит (сульфит железа), не имеющий коммерческой ценности. Он будет смешиваться с цементом для производства пасты, возвращаемой в шахту и заполняющей выработанное пространство. Кроме хвостов, для закладочных работ могут быть также использованы породы от проходки вскрывающих выработок, природные песок и гравий.

Добыча руды из шахты составит 2 млн. т/год. За 28 лет работы шахты общий объем добычи составит около 56 млн. т и примерно 58% этого объема будет возвращено в шахту в виде закладочной пасты, состоящей из породы от проходки выработок (52% в общем объеме смеси), хвостов обогащения (26%), цемента (5%) и воды (17%).

Шахта Балби (Boulby), Лофтур, Великобритания (рис. 1.24 цв. вкл.) добывает поташ, используемый как удобрение в сельском хозяйстве. Ее горные работы в настоящее время ведутся на глубине 1500 м от поверхности и продвинулись на 7 км под Северное море, рядом с которым шахта расположена.

Как уже говорилось, отходы обогащения руды традиционно сбрасываются в морские и речные воды, либо складываются на поверхности в виде гигантских отвалов (рис. 1.25 цв. вкл.). Так, шахта Балби сбрасывала свои отходы в воды Северного моря. Однако, повышение требований к охране окружающей среды заставило принять меры по снижению количества сбрасываемых отходов.

С этой целью было решено возвращать в шахту отходы, частично или полностью заполняя ими пустоты, образовавшиеся в результате выемки поташа. Для определения оптимального состава суспензии, закачиваемой в шахту, было исследовано более 80 комбинаций растворимых и нерастворимых составляющих и 9 связывающих компонентов, обеспечивающих долгосрочную стабилизацию шлама.

Инженерные критерии, необходимые для подтверждения оптимального состава закачиваемой смеси, были выработаны на специально построенной в 1999 г. пилотной установке. Одновременно была испытана инфраструктура, необходимая для доставки суспензии к месту закладки.

Полученные результаты были положены в основу полномасштабной установки, введенной в действие в 2003 г. Ее производительность 155 тыс. м³ в год.

Заполнение выработанного пространства отходами обогащения позволило, кроме их размещения под землей, уменьшить размеры целиков руды, оставляемых для поддержания горных выработок и поверхности (рис. 1.26 цв.вкл.).

На рис. 1.27 (цв. вкл.) изображен закладочный трубопровод в горной выработке шахты Балби.

На рис. 1.28-1.30 (цв. вкл.) показаны технология работ по оставлению породы в шахтах Фавона (Favona), Новая Зеландия (добыча золота) и Нью Брунсуик (New Brunswick), Канада (добыча поташа).

б) В соляных полостях

Соляные полости используются несколько десятилетий для хранения углеводородных продуктов – нефти и нефтепродуктов, сжиженного и природного газа. В последние несколько лет в этих полостях складировались отходы процесс бурения скважин (промывочная жидкость, измельченные породы, осадки из емкостей хранения жидкостей) и операций, связанных с процессом растворения соли. Так, к концу 2002 г. в штате Техас, США подобным образом использовалось 11 полостей.

Интерес к созданию новых полостей у побережья Мексиканского залива вырос после 2003 г., когда было решено, что они могут загружаться отходами от морской нефтедобычи.

Как говорилось ранее, соляные месторождения встречаются двух видов – соляных куполов и пластовых формаций. Их распространение в США показано на рис. 1.31 (цв. вкл.).

Соляные полости используются для хранения отходов в США, Канаде, Великобритании, Германии, Нидерландах, Мексике. Порядок работ при этом следующий. Отходы привозятся к месту расположения полости грузовиками и разгружаются в приемные емкости. При этом может использоваться дробильное оборудование, чтобы уменьшить размер крупных включений. Затем отходы смешиваются с пресной или соленой водой, образуя шлам, закачиваемый в полость (рис. 1.32 цв. вкл.):

- по буровому ставу с откачкой вытесняемого рассола через кольцевой зазор между трубами;
- по кольцевому зазору между трубами с откачкой рассола по буровому ставу.

Шлам может быть также закачан через одну скважину, а рассол откачан по другой (рис. 1.33 цв. вкл.).

В полости происходит разделение шлама на фракции. Более тяжелые твердые фракции опускаются на дно полости. Масла и нефтепродукты всплывают к вершине полости, потому что их плотность меньше плотности воды, рассол и другие жидкости остаются в середине. После заполнения полости отходами она закрывается, а скважина заполняется цементом.

Если мощность соляного месторождения недостаточна для создания полости купольного вида, сооружаются хранилища, состоящие из протяженных выработок (рис. 1.34 цв. вкл.).

На рис. 1.35 (цв. вкл.) показана совмещенная схема поверхностного и подземного комплексов складирования отходов в соляных полостях.

На рис. 1.36 (цв. вкл.) показан комплекс транспортировки и инъецирования отходов нефтедобычи в подводную

соляную полость. Расположенный в штате Луизиана, США в 25 км от берега Мексиканского залива, комплекс использовался ранее для добычи соли и серы. Он имел длину более 1 км, занимал площадь 2,8 га и включал несколько платформ, соединенных мостами. После окончания добычных работ имеющиеся сооружения предусматривается использовать для ежегодного инъецирования 0,16-1,3 млн. м³ отходов нефтедобычи.

В странах, где отсутствуют соляные месторождения, предпринимаются усилия разместить промышленные отходы под землей в полостях, пройденных по обычным породам. Так, первоначально отходы производства цинка в Норцинке (Norzink), Норвегия сбрасывались непосредственно в море, что создавало серьезные проблемы с загрязнением фиорда. С 1986 г. эти отходы складировались в горные полосы, расположенные в 2 км от обогатительной фабрики.

Окруженное высокими горами и ледниками месторождение расположено в юго-западной части Норвегии. Цинк здесь добывается с 1924 г. После его обогащения остаются хвосты – отходы производства в объеме 65-70 тыс. т/год. Первоначальным проектом (рис. 1.37, 1.38) предусматривалось сооружение полостей в прилегающих горах в двух уровнях по 15 полостей в каждом из них. Расстояние между уровнями составляет 30 м, расстояние между полостями 20 м. Для проходки полостей потребовался туннель длиной 300 м.

В ходе строительства были сооружены 6 полостей шириной до 17,5 м, максимальной высотой 23,5 м и длиной 211-225 м. Объем каждой полости составляет таким образом 65-69 тыс. м³. Начиная с 7-ой полости их длина была увеличена до 404 м, что обеспечило объем 139 тыс. м³. Полости закреплены анкерными болтами и набрызгбетоном. Для выбора правильного места расположения полостей были изучены геологические и гидрогеологические условия,

что позволило уменьшить риск утечек из полостей воды, загрязненной цинковыми отходами.

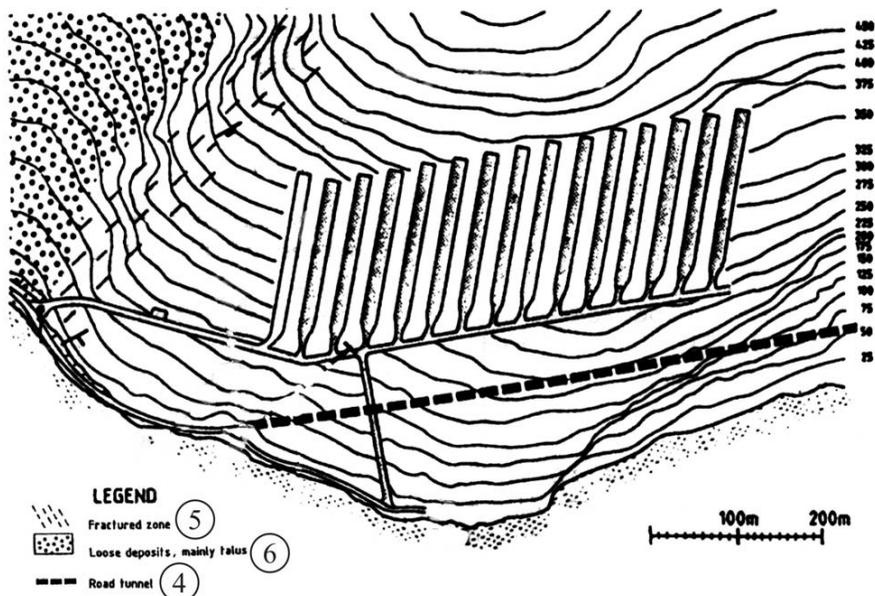


Рис. 1.37 Топографический план привязки хранилища отходов производства цинка

1 – полости, пройденные в 1985 г.; 2 – перспективные полости; 3 – подводящие туннели; 4 – транспортный туннель; 5 – зона трещиноватых пород; 6 – зона несвязанных отложений (осыпь)

Одним из способов подземного размещения отходов является их закачка в геологоразведочные и промышленные скважины. Нефтяные и газовые скважины бурятся на глубины от нескольких сот до 7 тыс. м (рис. 1.39 цв. вкл.). После этого бурения остаются два главных типа отходов – буровая промывочная жидкость и порода, измельченная при работе буровой головки. Промывочная жидкость используется, чтобы помочь буровому процессу и содержит бентонитовую глину, воду, сульфаты бария и специальные добавки. Она хранится в большом объеме в наземных резервуарах или баках и закачивается к дну скважины через полую

буровую колонну. Здесь она смазывает и охлаждает буровой инструмент, а затем выносит измельченные при бурении породы на поверхность, где породные фракции отделяются от собственно промывочной жидкости. Последняя используется повторно, а твердый породный остаток складировается.

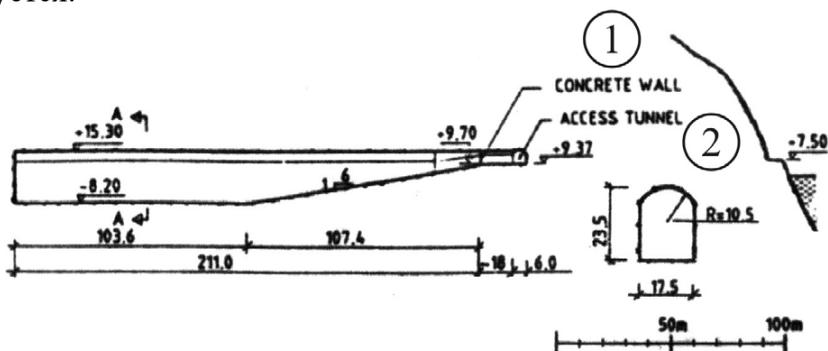


Рис. 1.38 Разрез по полости

1 – бетонная стена; 2 – подводящий туннель

Объем буровых отходов зависит от глубины и диаметра скважины. Обычно, на скважину их приходится несколько тысяч баррелей (нефтяной баррель равен $0,16 \text{ м}^3$). В 1995 г. в США было получено около 150 млн. баррелей буровых отходов. Около 40 млн. баррелей в год из этого объема составляют твердые породные остатки.

Отходы инъецируются в породы, через которые пробурена скважина (рис. 1.40 цв. вкл.), поэтому геологические свойства последних, особенно проницаемость, имеют важное значение. Хотя эти породы кажутся монолитными и твердыми, они состоят из многочисленных зерен или частиц, связанных химическими и физическими силами. При большом давлении на глубинах тысяч метров вода и другие жидкости способны двигаться сквозь поры между частицами. Некоторые типы пород, такие, как глина или сланцы, состоят из очень малых зерен и поры между ними так незначительны, что движение жидкостей происходит с боль-

шим трудом. Наоборот, песчаники состоят из сцементированных зерен, песка, и относительно большие поры позволяют жидкостям двигаться через них очень легко.

Инъекция шламов в скважины основана на фракционной структуре пород, а их проницаемость является ключевым параметром, определяющим возможность ее применения.

Для инъецирования шлама применяются два способа:

- через буровой став, когда шлам закачивается либо непосредственно в часть скважины, не обсаженную трубами-оболочками, либо в часть, обсаженную перфорированными трубами;
- через кольцевой зазор между двумя трубами-оболочками.

В нижнем конце наружной оболочки шлам входит в геологическую формацию.

В местах инъецирования шлама под его давлением образуется дополнительная зона трещиноватости пород, развивающаяся в сторону и вверх от точки нагнетания. Трещины могут расширяться столь далеко, что достигают других скважин, геологических нарушений или пластов, насыщенных питьевой водой. Эти явления нежелательны и их следует избегать (рис. 1.41 цв. вкл.).

При бурении нескольких скважин отходы от последующей скважины инъецируются в предыдущую.

Перед закачкой жидких или полужидких отходов из них вибрационным грохотом удаляются крупные частицы, которые могут закупорить насосы или перфорацию обсадных труб. Затем шламовая пульпа доводится до нужной консистенции и в нее могут быть добавлены вещества, улучшающие вязкость или другие физические качества. Готовится также геологическая формация, куда будет закачиваться шлам. В нее под давлением через скважину инъецируется вода, увеличивающая фракционность породы для улучшения приема шлама.

ГЛАВА 2. ГРАЖДАНСКИЕ СТРУКТУРЫ

2.1 Общие сведения

К гражданским структурам относятся объекты общественного и частного (семейного) назначения. При сооружении крупных многолюдных объектов, призванных обслуживать городское население, основная причина подземного строительства – экономия территории, отсутствие свободного места в черте города, особенно, в плотно населенных центральных районах, дороговизна земельных участков.

Подземное пространство современного большого города насыщено станциями метро и торговыми площадями, спортивными и развлекательными центрами, туннелями, инженерными коммуникациями и вспомогательными службами. Подземные сооружения получили широкое развитие в США, Японии, Китае, Австралии, во всей Европе. Многие из них так искусно запроектированы, что большинство людей даже не осознает, что они опускаются ниже уровня поверхности земли, когда входят в подземное строение.

В последние годы в крупных городах строится все большее количество подземных объектов разного назначения. На рис. 2.1 (цв. вкл.) в качестве примера показано расположение таких объектов в центре Хельсинки, Финляндия как в настоящее время, так и в перспективе до 2020 г.

2.2 Общественные, религиозные и просветительские центры

а) Общественные центры

Общественные центры – места проведения разного рода публичных мероприятий – встреч, митингов, выставок, спортивных соревнований. Общественный Центр Москона (Moscone Convention Center) в Сан-Франциско (San-

Francisco), Калифорния, США назван так в честь мэра города Джорджа Москона, при котором в 1976 г. было принято решение о его строительстве (рис. 2.2 а цв. вкл.). Подземные конструкции Центра должны были выдержать нагрузку расположенных на них двух- трехэтажных зданий торговли и развлечений, а также публичного парка. Для этого, например, кровля южной части комплекса поддерживается 16 железобетонными сдвоенными арками, перекрывающими пролет шириной 84 м.

Москон-центр состоит из трех комплексов, которые строились в течение 20 лет. Первый – Москон-юг был завершен в 1981 г., второй – Москон-север, включающий танцевальную эспланаду – открытую площадку (Esplanade Ballerom) – в 1991-92 гг. Третий – Москон-запад был открыт в 2003 г. Первые два комплекса построены под землей.

Общая площадь комплекса Москон-юг составляет 60 тыс. м² и включает три выставочных зала и помещения для собраний или танцев. Общая площадь Москон-севера – 48 тыс. м² и включает два выставочных зала, а также помещения для встреч и собраний. Некоторые подземные интерьеры показаны на рис. 2.2 б, в (цв. вкл.).

В отличие от подземных комплексов Москон-юг и Москон-север, комплекс Москон-запад представляет собой поверхностное сооружение. Из-за ограниченности территории застройки необходимая площадь 28 тыс. м² достигается многоэтажностью здания общей высотой 34 м. В 38 помещениях могут проводиться выставки или собрания. Стекланные, особого качества стены обеспечивают хорошую освещенность каждого этажа. Имеется специальная антисейсмическая система, включающая 248 фрикционных амортизаторов.

Москон-Центр предназначен для одновременного присутствия 24 тыс. человек. Аварийным выходом людей служат 18 лестниц шириной более 6 м, имеются рампы шириной более 8 м на каждом углу строения для въезда больше-

грузных грузовиков. Дымовые детекторы, автоматическая спринклерная и вентиляционная системы обеспечивают необходимый уровень противопожарной защиты.

На крыше подземной части комплекса сооружены ландшафтный парк с мемориальным водопадом высотой более 6 м, открытым ресторанным комплексом и лужайкой, на которой могут разместиться 3000 человек во время мероприятий на открытом воздухе. Два здания, построенные здесь же, предназначены для проведения художественных выставок и концертов, другие сооружения посвящены образованию и отдыху детей и включают в себя обрамленный стеклом ледяной каток профессиональных размеров, двухлинейный кегельбан, реставрированную антикварную карусель, игровую площадку им др.

Первый подземный выставочный зал Кливлендского общественного центра (Cleveland Convention Center), штат Огайо, США был построен в 1922 г., как подвал публичной аудитории, в элегантном здании, занимающем целый городской квартал (рис. 2.3 цв. вкл.). Сегодня на уровне земли расположен свободный от колонн главный зал длиной более 90 м, шириной более 65 м, высотой 24 м с застекленными потолками и скрытым комплексом электрического освещения (рис. 2.4 цв. вкл.).

С подвижными сидениями на полу и дополнительно установленными креслами в двух ярусах балконов в зале может разместиться до 13 тыс. человек. Одна из наибольших в стране сцен оборудована органом с 10010 трубами и наибольшим в мире противопожарным асбесто-стальным занавесом. Из мраморно-бронзового фойе главного зала лестница шириной 3 м ведет посетителей к подземному выставочному залу размерами 72x37 м, который дополняется двумя помещениями для собраний размерами 15x7 м, оборудованными современной технологией.

Вентиляционная система обменивает воздух со скоростью около 130 тыс. м³ в час, увлажняет его и регулирует

температуру. Спринклерная система защищает людские жизни и выставочные ценности от пожара, а централизованная вакуумная система поддерживает чистоту комплекса. Каждая из 40 колонн, на которые опирается потолок зала, оборудована открывающимися панелями, под которыми расположены телефонные, водопроводные и вакуумные линии, трубы сжатого воздуха, природного газа, пара высокого и низкого давления. Здесь же расположены силовые коммуникации и дренажные трубы.

В 1965 г. был построен новый подземный выставочный зал площадью 19 тыс. м², удвоивший возможность существующего комплекса. Дополнение с общими размерами 204x157 м расположено под торговым центром в деловой части города. Семь проходов шириной 9 м, высотой 5,2 м соединяют это дополнение с существующим выставочным залом.

Подземная структура построена глубиной 3 этажа, имеющими высокие потолки в выставочных залах. Между последними и торговым центром на поверхности расположена автостоянка. Колонны, поддерживающие кровлю, установлены с интервалами около 10 м. Высота потолков, в основном, равна 5,2 м, исключая зону так называемого Большого зала размерами 91x37 м. Здесь нет автостоянки, размещенной сверху, и поэтому потолки находятся на расстоянии 9 м от пола. Поскольку использование колонн в зале исключено, кровля поддерживается девятью стальными фермами высотой 2 м, которые уменьшают вертикальный клиренс под ними до 7 м.

В здании Капитолия-парламента штата Техас, имеющем столетний возраст и рассчитанном на 750 человек персонала, к концу 1980 г. необходимо было увеличить количество мест вдвое. Расширение существующего здания, одна-

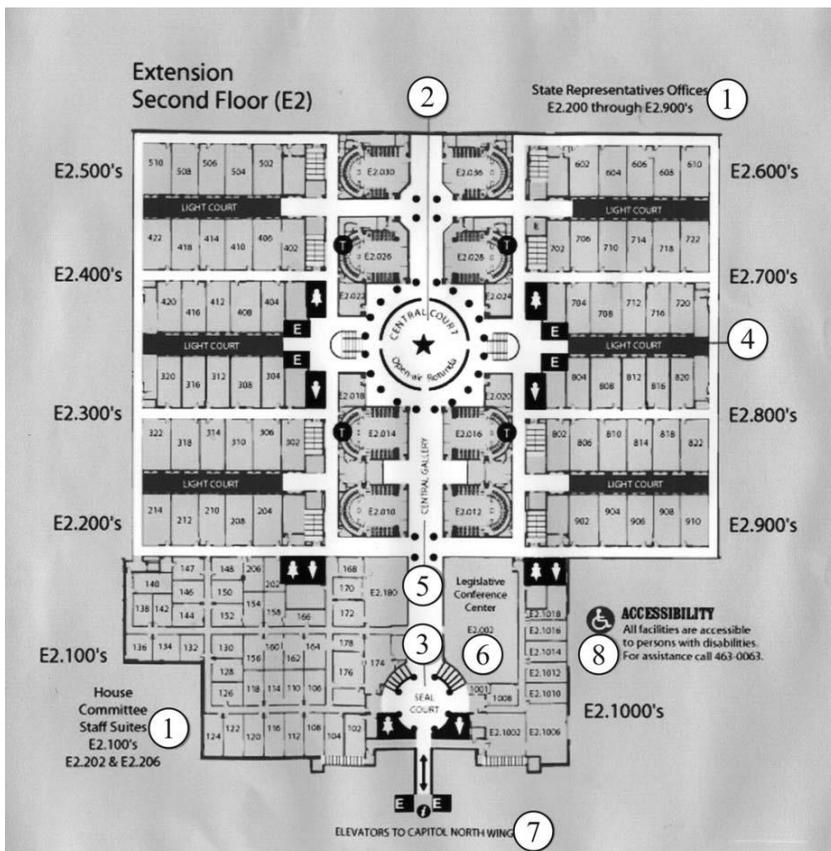


Рис. 2.6 План помещений второго подземного этажа парламента Техаса

1 – офисы депутатов парламента; 2 – внутренний двор с открытой ротондой; 3 – закрытый внутренний двор; 4 – подземные коридоры с застекленными крышами; 5 – центральная галерея; 6 – конференц-центр; 7 – лифты; 8 – все помещения доступны для инвалидов

ко, было невозможно из-за того, что оно считается историческим архитектурным памятником (рис. 2.5 цв. вкл.). Единственным выходом в этой ситуации – расположить дополнительную часть под землей (рис. 2.6-2.8). Эта часть состоит из четырех этажей. Два нижних используются только как автостоянка. В верхних двух этажах площадью около

20 тыс. м² размещаются офисы парламентариев и вспомогательные помещения, такие, как книжный магазин и аудитория на 350 мест. Здесь располагаются две трети членов нижней палаты и одна треть сенаторов со своими помощниками. Здесь же находятся два десятка залов конференций и собраний, столовая и другие помещения.



Рис. 2.7 Застекленная крыша подземного коридора парламента Техаса

Чтобы архитектурно объединить существующую и расширенную части Капитолия, их стены, полы и декоративные элементы выполнены из одинаковых материалов, включая известняк, гранит и дерево, которые производятся или растут в Техасе. Подпорные конструкции подземной части, выполненные в виде колонн, имеют дизайн, одинаковый с колоннами исторического здания. Наиболее вырази-

тельной деталью, объединяющей обе части Капитолия, является круглая ротонда, завершенная куполом.



2.8 Подземный коридор с застекленной крышей парламента

Особое внимание при проектировании подземной части было уделено созданию естественного обзора и доступу дневного света. Большинство людей, кто должен был работать в расширенной части здания, сопротивлялись идее находиться длительное время под землей. Однако элегантные коридоры с застекленными крышами, позволяющими видеть купол Капитолия, с рядами деревьев, скамеек и фонарных столбов, помогли преодолеть синдром замкнутого

пространства и обеспечить людям комфортные условия работы и отдыха.

Строительство подземного комплекса, расположенного в крепких известняках, производилось через шахту сечением около 42 м² глубиной 20 м. Из-за необходимости обеспечения сохранности исторического здания Капитолия, взрывные работы исключались. Взамен этого, алмазными пилами вырезались блоки известняка. Стены подземного комплекса бетонировались. Для борьбы с грунтовыми водами создавался водонепроницаемый слой цементной изоляции, закачиваемой за стены.

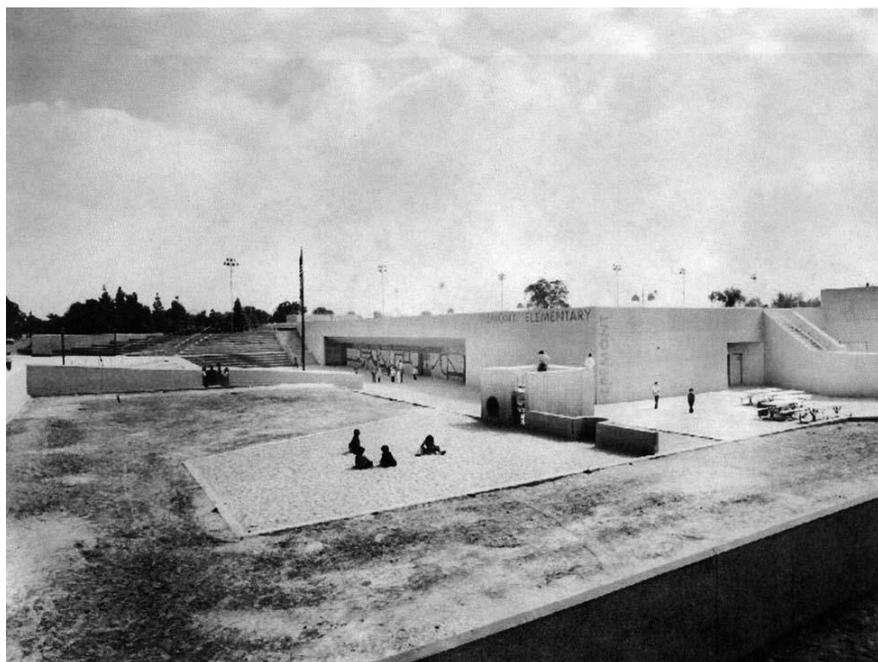
б) Религиозные объекты

Церковь Темпеляукио (Temppeliaukio), Хельсинки, Финляндия, построенная в 1969 г., служит примером подземных религиозных объектов. На рисунках 2.9 а, б, в (цв. вкл.) показаны вид сверху на участок, занятый церковью, и ее интерьеры. Церковь расположена на вершине скального образования. Крепость скалы позволила разместить под церковью гражданское убежище. При выемке скалы поверхность стен будущей церкви не сглаживалась и не штукатурилась, а была сохранена в таком виде, в каком она оказалась после взрывных работ с оттенками цвета, полосами и слоями пород. Церковь используется не только для религиозных служб, но также и для музыкальных концертов. Принципом архитекторов было соединить свободную форму скальных стен с математически выверенным куполом. Структура скалы подчеркивается тем, что по ее стенам, как и в нетронутым массиве, продолжают стекать струи просачивающихся почвенных вод.

в) Просветительские центры

Школа Фремонт (Fremont), Санта-Апа, Калифорния

была построена заглубленной из-за отсутствия нужного размера территории, на которой мог быть размещен школьный комплекс. Если обычно входящие в него собственно здание, спортивная площадка, место парковки машин и зеленая зона располагаются на одном уровне, они требуют площади 1,6 га. Для школы Фремонт городские власти могли выделить только 1,1 га, что заставило архитекторов расположить два комплекса один над другим. С этой целью половина этажа здания была заглублена в землю и обвалована, что позволило создать на его крыше спортивную площадку. Для того, чтобы предотвратить проникновение в классы шума от игр на крыше, последняя была залита двумя слоями бетона с акустической изоляцией между ними. Благодаря этим решениям, оказалось также возможным поддерживать в здании необходимую температуру с меньшим, чем обычно, расходом энергии (рис. 2.10).



2.10 Заглубленная школа Фремонт

Со времени постройки здание выдержало несколько землетрясений и доказало свои высокие прочностные качества.

Начальная школа Террасет (Terraset), Рестон, Вирджиния, построенная в 1977 г. во время энергетического кризиса, была размещена под землей в целях экономии топлива. С этой целью после снятия вершины холма, на котором школа была размещена, и строительства подземного здания оно было закрыто слоем ранее снятой почвы. Такое решение позволило при эксплуатации здания вдвое экономить расход электроэнергии по сравнению с подобным наземным зданием. В школе установлена система, улавливающая избыток тепла и высвобождающая его при необходимости (рис. 2.11).

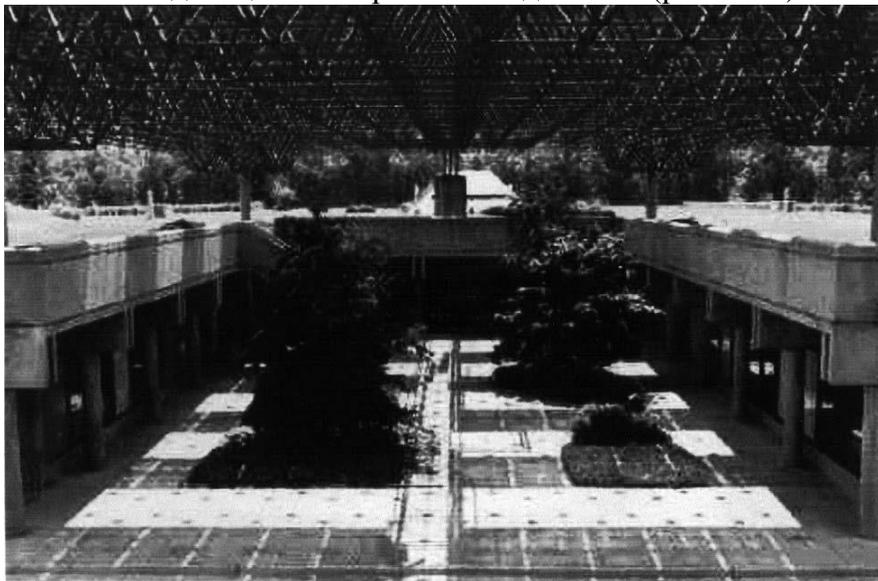


Рис. 2.11 Подземная школа Террасет

Требования к экономии тепла определили не только подземное расположение школы, но и ее геометрические формы. Классные комнаты расположены в четырех круглых камерах, что уменьшило площадь стен и позволило мини-

минимизировать потери энергии. Поскольку в обычных зданиях 75% энергии теряется через крышу, последняя в школе Террасет была покрыта слоем грунта толщиной по крайней мере 0,6 м, травой и кустарником.

Внутренний двор школы вначале был оборудован солнечными батареями, состоящими из наполненных водой стеклянных панелей, поддерживаемых сетью стальных ферм. В дальнейшем, однако, из-за непостоянства климата панели потрескались и началась утечка воды. Поэтому солнечные батареи были демонтированы.

Строительство детского сада Ла-Марина (La Marina Preschool) в Манхэттен-Бич, штат Калифорния было экономически оправдано при наличии не менее 90 мест. Калифорния требует, чтобы такие дошкольные учреждения обеспечивали для каждого ребенка, по крайней мере, 3,2 м² внутренних помещений и не менее 7 м² наружного пространства. Общая площадь при этом должна составлять не менее 900 м², тогда как выделенная властями территория была равна 740 м².

Решением вопроса, как и в случае со школой Фремонт, было частичное заглубление здания в землю и создание игровой площадки на его крыше.

Оригинальным способом дополнительного освещения подземных помещений явилось сооружение в центре этой площадки пирамиды, которая обеспечивает светом центральный зал, окруженный классными комнатами (рис. 2.12 цв. вкл., 2.13 цв. вкл.). Нижняя треть пирамиды покрыта плиткой, что поднимает застекленную часть на 0,8 м над игровой площадкой. Эта часть состоит из бесосколочных полупрозрачных стекловолоконных панелей, заключенных в стальные рамы. Панели толщиной более 5 см содержат слой полупрозрачной изоляции, контролирующей температурные колебания, и рассеивают свет, входящий в помеще-

Объединенный центр обучения (Integrated Learning Center) университета Аризоны, Таксон, штат Аризона расположен полностью под землей и имеет снаружи только 4 застекленных участка крыши, два компактных павильона для входа в подземную структуру, цилиндрическую вентиляционную шахту и ограждение вокруг заглубленного двора (рис. 2.14 цв. вкл., 2.15 цв. вкл.). Эти простые формы, покрытые алюминием, смотрятся скорее, как скульптуры, чем здания на общей площади центра 11 тыс. м², в котором размещены информационные службы, два больших лекционных зала, две аудитории, 10 классных комнат и многочисленные офисы и места собраний и встреч.

Земляные работы при строительстве производились на глубину 10 м (рис. 2.16 цв. вкл.). Крыша рассчитана на нагрузку, равную весу пожарной машины. Стены заглубленного внутреннего двора размером 61x15 м и входной площадки состоят почти полностью из стеклянных панелей высотой 3 м.

г) Библиотеки

Строительство подземного приемного центра библиотеки Университета Миннесота (Underground Minnesota Library Access Center) в Миннеаполисе, штат Миннесота началось в июне 1997 г. и было завершено через 2 года. Центр имеет два отделения – архивную коллекцию, состоящую из единственных в своем роде документов, собранных по всей стране, и хранилище важных, но редко запрашиваемых материалов (рис. 2.17 цв. вкл.).

В состав комплекса входят две подземных полости, каждая из которых имеет длину 183 м, ширину 21,3 м и высоту 7,6 м. Их общая площадь составляет около 9,9 тыс. м². Полости проходились шахтным способом с общим объемом вынутого грунта 73 тыс. м³ (рис. 2.18 цв. вкл., 2.19 цв. вкл.). Полости используются в качестве хранилища архивных ма-

териалов. Их природная температура равна 14° и относительная влажность – 70%. Наличие внутренней бетонной структуры и оборудования создает постоянную температуру 17° и влажность 50%, что позволяет обеспечить хорошие условия хранения библиотечного фонда.

Непосредственно над подземными полостями расположено поверхностное здание, построенное из стального каркаса с кирпичным заполнением, используемое как архивный и исследовательский центр. Оно соединено с полостями вертикальной шахтой глубиной 9,1 м. Комплекс включает также портал высотой 15,2 м, который обеспечивает проезд шириной 12,8 м, достаточный для тяжелых грузовиков.

В почве участка строительства залегают наносы толщиной 12,2 м, известняк 8,5 м, глинистый сланец 0,6 м и песчаник 45,7 м. Таким образом, подземные полости были пройдены, в основном, по песчанику. Поскольку над песчаником залегают трещиноватый известняк, насыщенный водой, загрязненной нефтяными примесями, потребовались специальные мероприятия по уменьшению этого загрязнения для того, чтобы вода могла быть принята городской канализационной системой.

Вдоль стен каждой полости, следуя ее изгибам, установлены 405 изогнутых предварительно-напряженных железобетонных панелей толщиной 20 см, высотой 7,6 м, шириной 3 м с радиусом закругления 9 м, весом 11,3 т. Для возможности их транспортировки и установки панели были усилены. Они опускались под землю через вертикальную шахту и затем устанавливались специальным оборудованием (рис. 2.20 цв. вкл.). После приобретения опыта, бригада из трех человек транспортировала и устанавливала каждую панель с точностью 3,2 мм за 30 мин. За каждую смену устанавливалось в среднем 5 панелей.

Изгиб панелей обеспечивал сцепление с породой и дополнительное укрепление стен полости. Каждая панель устанавливалась в продольную нишу-штробу, в почве на бе-

тонную подушку и затем крепилась к породной стенке анкерными болтами. Стык между панелями и кровлей полости бетонировался набрызгбетоном. После установки группы из 5 панелей в просвет между ними и стенкой полости, равный примерно 5 см, закачивался тампонажный раствор, застывавший в течение 6 часов.

Расширение библиотеки юстиции Университета штата Мичиган (Law Library of the University of Michigan) проводилось в условиях архитектурно завершенной застройки территории комплекса. В течение более 40 лет здания школы юстиции образовали четырехугольник (рис. 2.21), у которого только в одном углу остался небольшой свободный участок. Здесь под землей было размещено строение

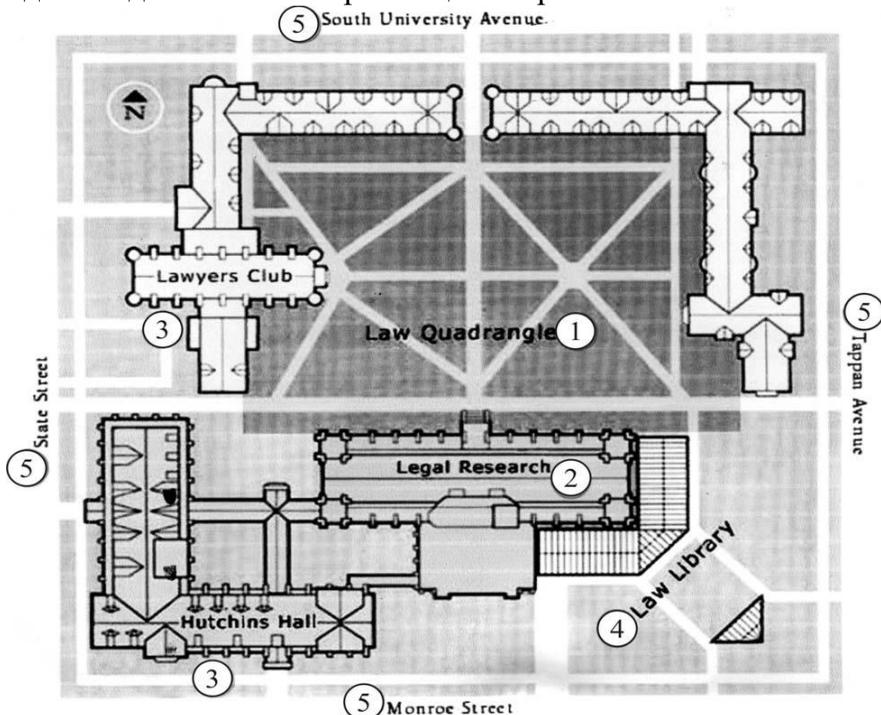


Рис. 2.21 План здания школы юстиции

1 – четырехугольник школы юстиции; 2 – исследовательское подразделение; 3 – помещения встреч и собраний; 4 – библиотека юстиции; 5 – прилегающие улицы

общей площадью 7,2 тыс. м², почти невидимое снаружи. Здесь даже нет видимого портала – вход в подземную библиотеку осуществляется через примыкающее здание правовых исследований (рис. 2.22, 2.23). Лишь два запасных выхода прячутся в складках ландшафта.

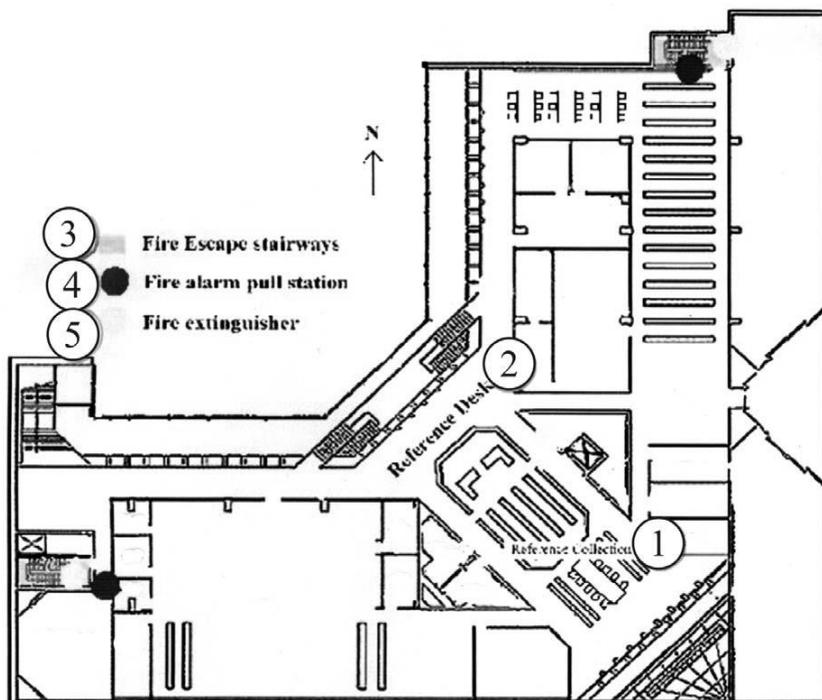


Рис. 2.22 План подземной библиотеки юстиции Мичиганского университета

- 1 – справочная коллекция; 2 – информационная служба; 3 – пожарные лестницы; 4 – противопожарные пункты; 5 – огнетушители

Заглубленная трехэтажная структура освещается системой приема, отражения и рассеивания света, состоящей из окон (рис. 2.24-2.26 цв. вкл.), зеркал и светлоокрашенных каменных поверхностей. Покрытие части стен стеклянными панелями длиной по 8 м и поверхности несущих балок зер-

калами позволяет не только передавать дневной свет в подземное пространство, но и создавать интересные визуальные эффекты.

Библиотека Карла Кроха в Корнелльском Университете (Carl Croch Library at Cornell University), Итака, штат Нью-



Рис. 2.23 Связь подземной библиотеки с поверхностью

Йорк построена, как расширение существующего семи-этажного здания. Единственный признак присутствия новой 3-х этажной структуры площадью 9 тыс. м² – это прозрачные крыши, представляющие из себя четыре мелких стеклянных пирамиды размером в плане 3х3 м. Ряд этих пирамид обозначает атриум глубиной в 3 этажа, который служит зрительным центром внутренних помещений. Учебные пространства и офисы, окружающие атриум, также имеют застекленные фасады, обеспечивающие доступ дневного света и расширение видимого пространства (рис. 2.27 цв. вкл.). Одна из деталей интерьера показана на рис. 2.28.



Хранилище редких материалов отделено от атриума непрозрачной сплошной стеной для их защиты от ультрафиолетовых лучей в составе дневного света.

Крыша библиотеки защищена бетонной плитой толщиной 35 см и покрыта грунтом. Вертикальные шахты под прозрачными участками крыши покрыты зеркалами, чтобы увеличить потоки дневного света и управлять ими. Они создают также мерцающий эффект на внутренних стенах.

Основными трудностями строительства были

Рис. 2.28 Интерьер библиотеки Карла Кроха

массивная скальная формация в почве и близость соседних зданий. Взрывные работы, производившиеся в скале до глубины 20 м, не должны были повредить два здания университетского комплекса, одно из которых находилось на расстоянии 6,1 м, а другое – всего 2,0 м. Последнее еще перед началом взрывных работ необходимо было усилить на всю длину, поскольку его фундамент опирался на слой наносов толщиной 3 м, лежащий на скальном основании. Слой слабого грунта был извлечен, а фундамент здания углублен до скального основания. Особые меры безопасности были предприняты при ведении взрывных работ. Студенты и посетители должны были покинуть помещения, останавливалось пешеходное и автомобильное движение по прилегающей территории. Взрывные работы продолжались 10 недель и позволили извлечь 61,1 тыс. м³ скалы.

Поскольку процесс бетонирования представляет из себя химическую реакцию взаимодействия цемента и воды, он сопровождается выделением тепла, которое должно находиться в определенных пределах. Его увеличение или уменьшение за этими пределами приводит к ухудшению качества бетона, или, что хуже, - к его растрескиванию. Чтобы избежать этого, в бетонируемых слоях были установлены сотни крохотных термометров по всему фундаменту здания, соединенных с центральным компьютером, который сканировал их показания. Когда датчики зимой показали падение температуры ниже опасного уровня, были использованы плазменные нагреватели для подогрева бетона.

Таким контролем обеспечивалось качество бетона, необходимое для предотвращения проникновения в здание почвенных вод. Кроме того, бетонные стены были закрыты слоем полимерного материала толщиной 5 см. На дне котлована под фундаментом по периметру здания установлены дренажные трубы для откачки грунтовой воды, которая перекачивается отсюда в ливневую канализацию.

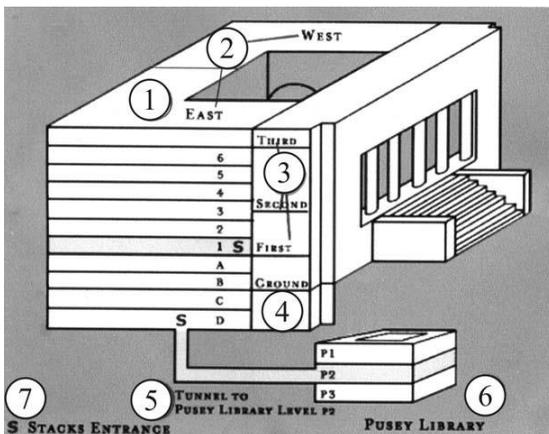
Библиотека Пасей (Pusey Library) Гарвардского университета, Бостон, США своими архитектурными решениями привлекла широкое внимание к подземному строительству (рис. 2.29).

Наружная часть структуры, едва заметная снаружи, является единственным признаком подземного трехэтажного сооружения общей площадью 8 тыс. м², примыкающего к наземному зданию библиотеки Вайденер (Widener Library). Главный вход располагается в углу здания, где стеклянные стены поднимаются над склоном холма на 2/3 высоты этажа. Контур здания, выступающий из земли, составляет только 10% его общего периметра. Остальная часть покрыта грунтом. В углу здания, противоположном входу, пол верхнего этажа из-за уклона холма располагается на 4,3 м ниже уровня земли. В центре этой части здания располагается внутренний ландшафтный двор, окруженный стеклянными стенами.

Проектирование и строительство библиотеки встретилось с наличием на нижнем уровне котлована скального основания и грунтовых вод, что осложняло земляные работы и потребовало применения эффективных мер по защите от проникновения воды. С этой целью наружные стены сделаны из бетона, смешанным с айронитом – мелкими металлическими частицами, расширяющимися в присутствии воды. В ходе строительства укладывался слой жидкого искусственного каучука-неопрена. Сеть перфорированных труб уложена в песчаное основание под бетонной фундаментной плитой. Подобные трубы расположены также в слое гравия толщиной 1 м, окружающего стены, погруженные в землю. Грунтовая вода просачивается в эти трубы и направляется к четырем насосам, работающим постоянно. Имеется также дизельный генератор, установленный на случай выхода из строя главной энергетической сети.

Плоская ландшафтная крыша, покрытая землей, также снабжена сетью перфорированных труб, расположенных

a)



б)

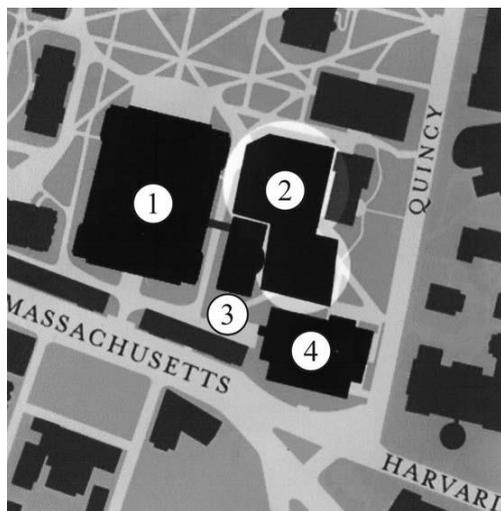


Рис. 2.29 Схемы расположения подземной библиотеки Кроха
 а) аксонометрическая схема; 1 – библиотека Вайденер (Widener); 2 – восточное и западное крылья библиотеки Вайденер; 3 – этажи библиотеки Вайденер; 4 – уровень поверхности, наземный этаж; 5 – туннель к библиотеке Пасей; 6 – библиотека Пасей; 7 – входы в книгохранилище (цифрами обозначены уровни хранения); б) топографическая схема; 1 – библиотека Вайденер; 2 – библиотека Кроха; 3 – библиотека Хьютон (Houghton); 4 – библиотека Ламонт (Lamont)

над неопреновой мембраной и слоем смолы, предотвращающими проникновение воды.

Поскольку структура была непроницаема для воды, проектировщики должны были застраховаться, чтобы ее давление не смыло здание. С этой целью оно соединено со скальным основанием стальными балками.

В качестве противопожарной защиты библиотечной коллекции используется инертный газ, заполняющий помещение при признаках пожара.

Библиотека Моргана (Morgan Library), считающаяся одним из крупнейших сокровищ Нью-Йорка, была основана Д.П. Морганом в 1906 г. и сделалась общедоступной в 1924 г. (рис. 2.30 цв. вкл.). Развитие и рост библиотеки привели к необходимости ее расширения, условием которого было сохранение исторического облика и архитектурного значения библиотечного комплекса.

Задачами расширения библиотеки являлось создание хранилищ для редких материалов, хорошо оборудованной аудитории для лекций, концертов и образовательных программ, а также приемного центра, где могли бы формироваться увеличенные группы посетителей.

Планом реконструкции предусматривалось сохранение трех исторических зданий и строительство павильона из стали и стекла высотой 16,5 м, площадью 316 м², который акустически мог быть использован для камерных концертов.

Половину комплекса составляет подземная часть, площадью 2,4 тыс. м², создающая на пяти этажах дополнительное пространство для хранилища и библиотечных операций и не заслоняющая соседние исторические здания (рис. 2.31-2.33 цв. вкл.). Подземный атриум ведет к аудитории на 250 мест и подземному хранилищу. Строительство подземной части библиотеки показано на рис. 2.34 (цв. вкл.), 2.35, 2.36 (цв. вкл.).



Рис. 2.35 Котлован для подземной части библиотеки Моргана

2.3 Центры зрелищ и развлечений

а) Музеи и выставочные залы

Дворец-музей Лувр (Louvre) в Париже был построен, расширен и почти постоянно перестраивался между 1546 и 1870 гг. Созданный, как королевский дворец, он был преобразован в общедоступный музей искусства в 1793 г. Постепенно расширяясь, он достиг площади 30,2 тыс. м², но не мог принять всех желающих его посетить, а также разместить необходимое количество реставраторов и исследователей.

В связи с этим, в 1981-1993 гг. было предпринято расширение музея, прибавившее 21,4 тыс. м² к его площади за счет подземного пространства под основными зданиями и внутренним двором. Французская общественность охотно приняла решение о подземном расположении музейных экспозиций, но с настороженностью отнеслась к увенчанной вход в музей монументальной прозрачной пирамиде высотой 21 м с квадратом в основании 35x35 м в центре внутреннего двора (рис. 2.37-2.39 цв. вкл.). Чтобы не подавлять существующего комплекса дворца, высота пирамиды составляет около 2/3 его высоты, а ее прозрачность обеспечивается специально изготовленным ультратонким стеклом с тонкими рамками, в которые стекло заключено. Прозрачная пирамида обеспечивает доступ солнечного света в подземное пространство и не препятствует обзору роскошных зданий музея. Комплекс приема посетителей спроектирован таким образом, что они направляются вдоль каждого угла пирамиды к различным подземным частям музея, подземным магазинам, ресторанам и четырем аудиториям. Кроме этой главной, над потоками посетителей расположены еще три малых стеклянных пирамиды, обеспечивающих светом подземные переходы. Эти пирамиды возвышаются над поверхностью на 5 м и имеют квадратное основание 8x8 м.

На пересечении двух основных потоков посетителей к потолку подземного помещения подвешена перевернутая стеклянная пирамида высотой 8 м с квадратом основания 13,3x13,3 м весом 30 т, почти достигающая пола (рис. 2.40 цв. вкл.). Невидимая с поверхности, эта пирамида обеспечивает светом коммерческое крыло расширенной части музея. Постоянно работающие вентиляторы фильтруют воздух в интерьере, предохраняя пирамиду от пыли и конденсации.

Подобное же решение о строительстве стеклянных пирамид для освещения подземного пространства принято для Зала славы и музея Рок-н-Ролла (Rock and Roll Hall of Fame and Museum) в Кливленде, Огайо, США. Здесь главная экс-

позиция и три театральные залы скрыты под забетонированной площадью размером около 4,7 тыс. м², которая используется для открытых концертов (рис. 2.41 цв. вкл.).

В последнее время обнародован план большого расширения подземного пространства под Эйфелевой башней. В 5 подземных этажах будут размещены автостоянка, стереокино, конференц-зал, магазины, рестораны. Сейчас ведется исследование возможности такого строительства и его влияния на состояние башни. Работы должны начаться в 2005 г. и закончиться в 2008 г.

Музей Мiho (Museum Miho), Киото, Япония посвящен японской культуре и традициям и решен в архитектурном плане как комплекс чайных домиков, спрятанных в зеленом массиве и возникающих перед посетителями в конце пешеходного маршрута длиной 200 м (рис. 2.42 цв. вкл.). Посетители могут заметить одну или две крыши, выглядывающие из-за зеленых холмов, но не догадываются, что это есть собственно музей площадью 17 тыс. м². Только пятая часть структуры, расположенной на 2 м ниже вершины холма, видна на поверхности и только малая доля этой части может быть увидена с любого места, исключая, конечно, самолет. Это создает иллюзию, что существуют только маленькие строения, рассыпанные по горе.

Внутри же музея эта иллюзия неожиданно трансформируется в ощущение большого пространства. Через стеклянные стены видны холмы и долины. Пирамидальные крыши традиционной японской квадратной формы расширяют обзор, создавая эффект единения с природой.

При проектировании комплекса музея выполнялись следующие требования:

- ни одна структура не должна превышать высоты 13 м;
- ни один компонент крыши музея не должен превышать площади 2 тыс. м²;
- любое строение должно располагаться не ближе 5 м друг от друга;

- все деревья, убираемые во время строительства, должны быть пересажены;
- растительность, снятая на площади музея, должна быть восстановлена на его крышах.

Мемориал «Женщины на военной службе» (Women in Military Service for America Memorial) построен на Арлингтонском национальном кладбище в Вашингтоне, США в 1997 г. на холме позади гранитной полукруглой декоративной стены высотой 9 м с длиной полуокружности 61 м, которая с 1932 г. служила символическими воротами кладбища (рис. 2.43 цв. вкл.). Очищенная, отремонтированная и частично реконструированная стена создает фон для входа в подземный мемориал, расположенный за ней. Проходя через этот вход, посетители попадают в строение площадью почти 3,5 тыс. м². Переднее помещение – выставочная галерея – изгибается, повторяя полукруглый фасад стены (рис. 2.44 цв. вкл., 2.45 цв. вкл.). Крыша галереи является обзорной площадкой мемориала, откуда видно кладбище с ее рядами белых каменных надгробий. Холм, поднимающийся за крышей галереи, скрывает часть общего комплекса музея, содержащую дополнительные выставки, магазин подарков, зал на 200 мест и административные помещения.

Стеклянная крыша галерея площадью более 400 м² создает эффект соединения подземного пространства с миром поверхности. Ночью свет мемориала сверкает через крышу. Сто восемь из ста тридцати восьми стеклянных прозрачных панелей покрыты цитатами о роли женщин-военнослужащих, которым посвящен мемориал. Солнце проецирует тенью эти слова на мраморную стену выставочной галереи.

Музей искусств Пола (The Pola Museum of Arts) расположен в центре горного лесного района Канагава – одного из наиболее живописных мест Японии (рис. 2.46 цв. вкл.).

Главная цель архитекторов в проектировании музея частной коллекции импрессионистов была достигнута симбиозом архитектуры с окружающим ее пейзажем.

Музей построен преимущественно под землей и состоит из строений строгой геометрической формы, погруженных в выемку в горах, сделанную в форме чаши (рис. 2.47 цв. вкл.). Дизайн комплекса, кроме эстетических соображений, диктовался также опасностью возможных землетрясений, обычных для этого района.

Центральный переход музея – атриум с крышей из специально изготовленного (ламинированного) стекла – является единственной частью, видимой из окружающих лесов. Свет через застекленную крышу направляется в подземный вестибюль. Посетители попадают в застекленный вход музея через мост, построенный в лесу. Ламинированное стекло позволяет уменьшить вредное воздействие ультрафиолетовых лучей на произведения искусства, выставленные в музее. Связанное с металлическими рамами стекло крыши атриума имеет достаточную прочность для удержания рабочих и механизмов при ее очистке. Интерьеры музея показаны на рис. 2.48 (цв. вкл.). Такое стекло используется также для балюстрады входного моста и автобусной остановки снаружи музея. Остановка имеет навес длиной 3 м достаточно прочный, чтобы защитить посетителей от падающих веток деревьев, дождя или снега.

Калифорнийский Дворец Почетного Легиона (California Palace of the Legion of Honor), в котором сейчас расположен музей искусств, Сан-Франциско, Калифорния, США был построен в 1924 г. Проверка, проведенная в 1987 г., показала, что здание дворца нуждается в серьезном антисейсмическом усилении. С этой целью потребовалась реконструкция стен с заключением их в стальные обоймы, опирающиеся на фундамент, чтобы дать возможность реставрировать детали здания внутри и снаружи. Одновременно, территория музея была расширена без нарушения его внешнего вида за счет строительства двухэтажного подвала под зданием U-образной формы и его центральным внутренним двором. Благодаря этому, площадь музея была увеличена на 3,2 тыс.

м². В этой подземной части, кроме выставочного пространства, размещены офисы, исследовательские и реставрационные помещения, театр, кафе, магазин подарков.

У главного входа в музей рядом со скульптурой Родена «Мыслитель» установлена стеклянная пирамида, благодаря которой в центральную часть подземного комплекса попадает дневной свет (рис. 2.49 цв. вкл.).

Музей С. Гугенхейма (Guggenheim Museum), Нью-Йорк, США – один из наиболее известных в мире архитектурных шедевров – имеет вид срезанного бетонного конуса. Поэтому, как и предполагалось при строительстве музея, прямоугольная дополнительная структура стала контroversией формы основного здания (рис. 2.50 цв. вкл.).

В 1992 г. рядом с первоначальным спиральным зданием высотой 30 м была построена прямоугольная башня высотой 41 м, что дало повод критикам говорить об искажении облика музея. Эти возражения могли быть и громче, если бы авторы нового здания не разместили его четвертую часть под землей. На площади размером 1 тыс. м² снаружи музея, погруженной на 5 м ниже тротуаров примыкающей улицы, размещаются административные помещения. При этом наружная часть фундаментов круглого здания стала внутренней стеной почти половины новых офисов. Единство дизайна двух зданий достигается также деталями интерьера – круглыми окнами, стеклянными панелями, повторяющими стиль первоначального здания.

Входом в Бруклинский детский музей (Brooklyn Children's Museum), Нью-Йорк, США является неприметный павильон, подобный множеству других, ведущих к подземным поездкам метрополитена (рис. 2.51 цв. вкл.). Однако, из этого павильона посетители через гофрированный стальной переход попадают на 4 подземных этажа, где расположены выставочные экспонаты. Спирали цветных неоновых ламп освещают контуры этой 55-метровой трубы. Следуя последовательности цветов спектра дневного света, каждая спи-

раль имеет свой цвет, изменяющийся от красного вверху до темно-фиолетового в нижнем конце перехода (рис. 2.52 цв. вкл.). На каждом этаже просвет в стальной трубе позволяет посетителям войти в выставочные залы. Общая площадь подземной структуры – 3,3 тыс. м².

В настоящее время разработан проект расширения музея, позволяющий увеличить число посетителей с 250 тыс./год до 400 тыс./год. Скромный входной павильон будет заменен двухэтажным наземным зданием со стеклянными стенами (рис. 2.53 цв. вкл.). Системы отопления и кондиционирования будут использовать геотермальные источники, а солнечные батареи на крыше обеспечат часть необходимой музею электрической энергии. Строительство будет завершено в 2006 г.

Конструкция оранжереи Люсиль Хэлселл (Lucile Halsell Conservatory), Сан-Антонио, Техас должна была обеспечить достаточное количество света для 18000 растений в широком диапазоне от очень чувствительных альпийских цветов до выносливых растений сухих мест с сочными листьями или стеблями, способными хорошо переносить засушливый климат. Жаркое лето Техаса усложняло задачу – традиционные структуры оранжереи в этих условиях могли бы привести к перегреву растений. Поэтому было принято решение о строительстве заглубленной в землю оранжереи площадью 8,3 тыс. м² со стеклянной пирамидой в виде усеченного конуса на поверхности земли (рис. 2.54 цв. вкл.). Это позволяет разместить растения в различных температурных условиях в зависимости от их потребностей – от прохлады на глубине 5 – 8,5 м до обилия солнечного света в наземной пирамиде, поднимающейся на высоту около 17 м.

Из-за разнообразия условий грунтов в месте строительства площадью 1,2 га, каждое из 7 помещений оранжереи сооружено на отдельном фундаменте, который может смещаться при подвижках почвы независимо от других.

Обсерватория Парка Гриффит (Griffith Park Observatory), Лос-Анджелес, Калифорния была построена в 1935 г. и ее территория настолько живописна, что в ней каждый год снимается 35 фильмов. После приема более 70 млн. посетителей потребовалась реконструкция обсерватории, а оборудование планетария устарело до такой степени, что уже невозможно было найти для него запасные части. Территория 2,5 тыс. м² была неспособна выдержать ежегодное посещение 2 млн. людей, включая 50 тыс. студентов.

Основной трудностью при реконструкции обсерватории было сохранить внешний вид, удвоив при этом ее размеры. С этой целью было предусмотрено дополнительное подземное помещение общей площадью 3,3 тыс. м² под лужайкой и террасой позади главного здания. Всего две детали этой структуры видны на поверхности: одиноко стоящий цилиндр, который является входом в лифт, и западный фасад подземного помещения. Этот фасад застеклен, что позволяет освещать дневным светом магазин подарков и кафе, а их посетителям видеть Тихий океан.

Подземное помещение заглублено на 8,5 м. Здесь расположены театр на 202 места, выставочный зал, который украшает стена длиной почти 46 м, выполненная из керамики и покрытая изображениями галактики с фотоснимками высокого разрешения. Имеются также вспомогательные помещения, включающие комнаты для обучения, офисы, туалеты.

На рис. 2.55 (цв. вкл.) показан макет обсерватории. Музей искусств Нельсона-Аткинса (Nelson-Atkins Museum of Arts) в Канзас-Сити, штат Миссури, США принял решение о расширении своей экспозиции, однако, поставил перед архитекторами условие о сохранении существующего исторического здания.

В связи с этим, серия новых галерей размещена под землей с восточной стороны старого здания в узком треугольнике, расширяющемся с севера на юг. Пять наземных

световых выступов, одетых в прозрачное и полупрозрачное стекло, отражают естественный свет днем и светятся ночью (рис. 2.56 цв. вкл.).

Кроме галерей в подземный комплекс входит автостоянка, на крыше которой сооружен бассейн. В воде бассейна отражаются новые и старые строения и, таким образом, зрительно объединяются в единый комплекс. В дне бассейна, которое является крышей автостоянки установлены стеклянные линзы, освещающие подземные помещения (рис. 2.57 цв. вкл.). Интерьер автостоянки и ее строительство см. рис. 2.58 (цв. вкл.).

В новых галереях располагаются специальные выставки современного искусства, рисунков, печатной продукции, африканского искусства, образовательные и библиотечные помещения. Новый подземный комплекс соединен также с нижним уровнем существующего музейного здания.

Благодаря новому подземному комплексу, площадь музея с существующих 21,7 тыс. м² была расширена до 34,8 тыс. м², т.е. на 55%.

Здание Оклэнд-музея (Oakland Museum), Оклэнд, Калифорния состоит из серии бетонных структур небольшой высоты, занимающих площадь четырех кварталов в трех уровнях, когда терраса верхнего уровня является крышей нижнего, а на крыше музея (искусства, истории и наук о природе) расположен парк (рис. 2.59 цв. вкл.). Такое решение позволило создать оазис зелени в городе, страдающем от ее недостатка. Пешеходная улица соединяет различные уровни музея.

Музей, имеющий общую площадь более 9 тыс. м² построен из светлоокрашенного бетона. Растения на территории и крышах разрастаются таким образом, что перекрывают здания, постепенно погружая их в массу зелени.

Кроме создания живописного пейзажа, это решение позволяет охладить здание посредством испарения, защитить крышу от разрушительного воздействия ультрафиолетовых

лучей, и очистить воздух преобразованием углекислого газа в кислород.

Комплекс музея с его террасовидной архитектурой и парками на крышах объединяет внутреннее пространство с окружающей природной средой.

Поэтажный план музея показан на рис. 2.60 (цв. вкл.).

Павильон Фишера (Fisher Pavilion), Сиэтл, штат Вашингтон имеет один этаж площадью 2,2 тыс. м² и служит для проведения разнообразных выставок. Каждую неделю его посещают 5400 человек. Он заменил ранее расположенный на этом участке павильон (Flag Pavilion) (рис. 2.61), построенный 40 лет назад при проведении всемирной торговой ярмарки.

Подземный павильон перекрыт бетонной крышей толщиной более 25 см, служащей для проведения на свежем воздухе различного рода мероприятий. Стекло-бетонные стены на одной стороне строения обеспечивают обзор окрестностей из любого места интерьера, тем не менее, они могут быть подняты подобно дверям гаража, чтобы физически объединить внутреннее пространство здания с внешним миром (рис. 2.62).

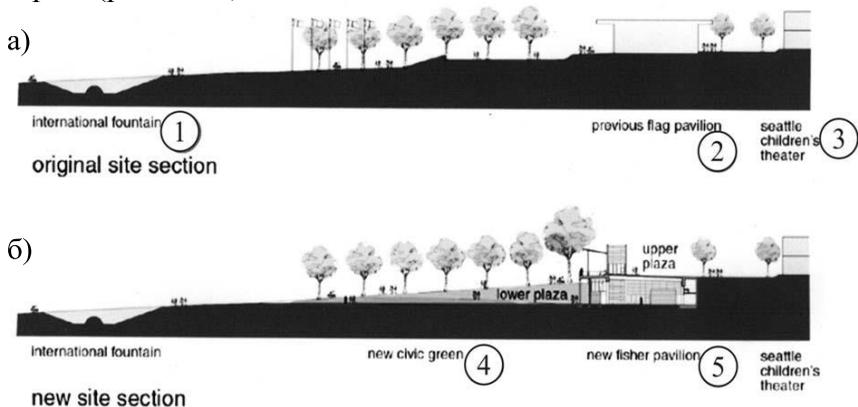


Рис. 2.61 Схема строительства павильона Фишера

- а) первоначальный разрез по месту строительства; б) окончательный разрез по месту строительства

Энергия в таком здании экономится не только зимой на обогреве здания за счет его углубленного расположения, но и за счет уменьшения потребности в освещении интерьера.



Рис. 2.62 Общий вид павильона Фишера

б) Театральные объекты

Карнеги-Холл (Carnegie Hall), Нью-Йорк – всемирно известный центр музыкальной культуры торжественно открылся в мае 1891 г. (рис. 2.63 цв. вкл.), хотя на самом деле концерты начались в нем годом раньше и происходили в подземном камерном зале Вейл-Холл (Weill Hall) на 268 мест этажом ниже более прославленной и гораздо более вместительной аудитории Исаака Стерна (Jsaac Stern Auditorium) на 2804 места.

В 1997 г. было принято решение, о строительстве нового подземного зала Занкель-Холл (Zankel Hall). С этой целью потребовалось расширить подземный зал, служивший последние годы в качестве центра театрального образования

и коммерческого кинозала, а также углубить на 3,7-9,1 м подвальную часть исторического восьмиэтажного здания (рис. 2.64 цв. вкл., 2.65 цв. вкл.).

Перед началом работ несколько колонн, поддерживающих кирпичную структуру вековой давности, были удалены, другие углублены на 4,9 м до нижнего уровня нового фундамента. Почти 5,4 тыс. м³ скального грунта было извлечено с помощью буровзрывных работ, гидромолотов и химически расширяющихся реагентов. Транспортировка отбитой породы и оборудования производилась через вертикальное отверстие с поверхности и проход размерами 2,7х3,7 м. В результате был сооружен зал длиной около 30 м, шириной 17 м. Потолок над сценой имеет высоту более 9 м. Существующий зал, находящийся над строительной площадкой, во время работ поддерживался сетью колонн и балок перекрытия (рис. 2.65 б цв. вкл.).

Для проектирования и строительства зала были привлечены специалисты по видео- и аудиодизайну, освещению, звукозаписи. Под потолком располагаются фермы размерами в сечении 33х23 см, поддерживающие осветительные приборы, звуковую систему и акустически отражающие панели, оборудованные мембранами и тефлоновым покрытием. Эти фермы могут подниматься и опускаться, что позволяет обойтись без лестниц для их обслуживания.

Специальные акустические системы изолируют новый зал, как от шума и вибрации расположенных поблизости станций метро, так и от главного зала, находящегося на уровне поверхности над новым залом. Потолок последнего этой целью подвешен на вибрационных изоляторах.

В новом зале площадью более 500 м², содержащем 650 мест, пол может быть трансформирован в плоский для разнообразных представлений, оркестровых репетиций или образовательных программ, сцена может располагаться в конце зала (с оркестровым колодцем и без него) или в центре.

Предусмотрены коммуникационные системы для записи и трансляции театральных событий по радио, телевидению или Интернету. Сооружен также новый грузовой лифт, обслуживающий новый и главный залы. Схемы залов Карнеги-Холла приведены на рис. 2.66 (цв. вкл.). Новый зал имеет отдельный вход с фасадом, соответствующим историческому зданию. Внешний вид последнего полностью сохранен. Фойе нового подземного зала Занкель-Холл показано на рис. 2.67 (цв. вкл.).

Театр музыки и танца в Чикаго (Music and Dance Theatre Chicago), штат Иллинойс расположен в Парке Миллениум. В этом месте с конца 1800 гг. существовала заглубленная железнодорожная станция с семью путями. Столетием позже власти решили улучшить участок станции, занимающий 6,7 га, возведя над ней бетонную крышу, покрытую почвой. Эта новая поверхность была объединена с зеленой зоной, составив таким образом парк общей площадью 10 га, включающий лужайки, сады, скульптуры, деревья, ледовый каток и амфитеатр на открытом воздухе.

Под парком сооружен театр на 1500 мест общей площадью 12,1 тыс. м². Подземная структура расположена на 5 этажах общей глубиной 12,2 м. Поскольку при такой глубине сооружение достигает уровня грунтовых вод, потребовались специальные мероприятия по предотвращению просачивания воды. На крыше заглубленного здания уложен слой грунта толщиной 46 см с травой и кустами.

Единственной частью сооружения, видимой с поверхности является входной вестибюль (рис. 2.68 цв. вкл.), привлекающий зрителей в театр. С целью создания единства окружающего паркового пространства с павильонным зданием вестибюля последнее выполнено прозрачным, в оранжевой стилистике из стеклянных панелей, обрамленных стальной решеткой.

Интерьеры театра показаны на рис. 2.69 (цв. вкл.), сцена на рис. 2.70 (цв. вкл.).

Театр Лисьюм (Lyceum Theatre) расположен на глубине 10,7 м под открытым внутренним двором четырехэтажного торгового центра в Сан-Диего, Калифорния. Чтобы противостоять шуму и вибрациям от большого количества людей на крыше театра, под настоящим потолком на вибрационных изоляторах подвешен фальшивый, покрытый толстым слоем штукатурки.

Театр содержит зал на 560 мест и специальное пространство на 220 мест, которое может быть трансформировано в зависимости от специфики спектакля. Два фойе обеспечивают доступ к верхнему или нижнему уровням театра. Пара спиральных лестниц приглашает посетителей спуститься к театральному комплексу через круглую веранду, отмеченную мозаичным обелиском высотой 11 м (рис. 2.71 цв. вкл.).

Для создания театрального комплекса общей площадью 3,7 тыс. м² с бесколонным пространством пришлось удалить 4 колонны, поддерживающие существующий торговый центр с передачей нагрузки от них на горизонтальные балки. Другой проблемой при строительстве была необходимость транспортировки породы, материалов и оборудования по вертикали через существующие отверстия в торговом центре.

Центр искусств Ретретти (Retretti Art Center), Финляндия известен по его уникальному выставочному пространству. В дополнение к зданию на поверхности здесь имеется подземное помещение, образованное полостью в скале со стенами, поверхность которых не подвергалась какой-либо обработке и выравниванию после буровзрывных проходческих работ. Подобным же образом само пространство полости не упорядочено, а представляет из себя лабиринт, приспособленный для проведения выставок современного искусства. Имеются также концертный зал (рис. 2.72 цв. вкл.), ресторан и другие помещения. В подземной полости размещается выставочная площадь 3 тыс. м², в ней может

одновременно находиться 1000 человек. Площади подземных галерей могут быть увеличены на 2 тыс. м².

Поскольку потолки, стены и полы представляют собой твердую скалу с многочисленными переходами неправильной формы (рис. 2.73 цв. вкл.) при проведении выставок с участием звуковых эффектов, создается эхо, распространяющееся не только в горизонтальном, но также и в вертикальном направлениях.

Центр искусств Вилар (Vilar Center for the Arts) в Би-вер-Крик, Колорадо был сооружен в 1998 г. (рис. 2.74 цв. вкл.). Размещенный в центре долины Вэйл, этот театр мирового класса на 530 мест полностью спрятан под ледовым катком. Лифты и эскалаторы связывают поверхность с элегантным двухэтажным комплексом, в верхнем этаже которого располагаются бар, фойе площадью более 200 м², галерея изобразительных искусств площадью 210 м², магазин подарков и доступ к балконам театрального зала. В нижнем этаже, расположенном в 15 м от поверхности, размещен главный уровень театра на 530 мест и второе фойе площадью 200 м².

Хотя изоляция от шума – обычное преимущество, свойственное подземным сооружениям, Вилар-Центр требовал особенно действенных проектного и строительного решений, чтобы защитить театр от скрипа коньков и шума зрителей на катке. Многослойная крыша эффективно защищает театр от шума. Плита толщиной 23 см, уложенная на неопреновую подушку, является основой для катка и покоится на металлобетонной крыше театра. Особые меры потребовались также для того, чтобы изолировать шум подземного ручья, текущего под зданием театра.

Партер, оборудованный дизайнерскими сидениями, может менять свой уровень для представлений различных видов. Сцена также оснащена современным оборудованием.

Подземное казино было сооружено в 2003 г. под существующим пятиэтажным зданием отеля «Николаефф Хауз»

(Nikolajeff House) в комплексе торговли и развлечений Каисаниеми (Kaisaniemi), Хельсинки, Финляндия. В объемы по строительству казино вошли земляные работы и сооружение новых подземных помещений, а также реконструкция наземного этажа отеля, имеющих основных несущих структур и деревянного свайного основания. Уровень фундамента здания был понижен на глубину около 16 м в скальном основании, что достигалось взрывными работами под существующим зданием (рис. 2.75 цв. вкл.).

В районе строительства расположено несколько подземных сооружений: туннели и станция метро, коммуникационный туннель, подземная автостоянка. Рядом с казино имеется здание, под которым расположен кинокомплекс на 10 экранов, часть залов примыкало к планируемому казино. Эти подземные сооружения соединены пешеходным коридором-туннелем длиной 100 м и шириной около 3 м. Вдоль его длины размещены рестораны и маленькие магазины, помещения обслуживания кинотеатра и другие вспомогательные службы. На поверхности также имеются популярные рестораны и прогулочные террасы.

Отель «Николаефф Хауз» расположен на берегу морского залива на мощных слоях глины и илистых отложений. Ниже их на глубине примерно 4-7 м находится наклонная поверхность скалы с нижней точкой на глубине 12 м.

Существующее деревянное свайное основание здания за время службы было почти полностью разрушено и превращено в рыхлый пульпообразный материал.

Вначале, чтобы создать опору для несущих наружных стен и предотвратить приток воды в будущий подземный комплекс, были проведены цементационные работы. Изнутри наземного этажа здания высотой 2,5 м этими работами были созданы подпорные стены, которые затем были связаны анкерами со скальным массивом (рис. 2.76 цв. вкл.).

Перед удалением старых фундаментов и началом земляных работ под потолком наземного этажа была сооружена

массивная балочная структура, способная принять и передать нагрузку от существующего здания. Этой структурой здание опиралось на 230 временных стальных свай диаметром 170 мм установленных в скалу между существующими деревянными сваями сквозь полы наземного этажа и образовавших жесткие башенные конструкции, связанные друг с другом.

Таким образом, наружные стены здания опирались на подпорные стены, созданные цементацией, а середина здания – на временные стальные сваи. Затем внутренние структуры наземного этажа ниже потолка, включая старые деревянные сваи, были демонтированы.

Земляные работы общим объемом около 7000 м³ выполнялись стадиями, соответствующими демонтажным работам. Выдача грунта и разобранных старых конструкций производилась через шахту размерами 2,5х2,5 м в существующий коммуникационный туннель, минимизируя таким образом вредное воздействие на поверхность.

Поскольку в дальнейшем вес здания с временных свай планировалось перенести на постоянные железобетонные колонны, на уровне фундаментов этих колонн были пройдены два продольных рабочих туннеля длиной по 30 м сечением примерно 18 м² каждый. Их проходка с помощью буровзрывных работ выполнялась через коммуникационный туннель. Почва туннелей сформировала конечный уровень основания реконструированного здания.

В центрах башенных опор временных свай взрывным способом в скальном массиве были пройдены 20 вертикальных шахт сечением 1,4х1,4 м, внутри которых были установлены сборные железобетонные колонны сечением 650х650 мм высотой по 18 м, доставленные через рабочие туннели.

Отбитая при взрывных работах порода транспортировалась самосвалами через коммуникационный туннель.

Взрывные газы удалялись вентилятором через старую лифтовую шахту в соседнем здании.

После передачи нагрузки от здания на возведенные железобетонные колонны временные сваи могли быть удалены. Затем выполнялись работы по взрывной отбойке скального основания между железобетонными колоннами. Их нижние части для защиты от повреждения взрывами защищались резиновыми амортизирующими прокладками, уложенными в шахтах. На первой стадии взрывными работами до высоты 10 м была поднята кровля рабочих туннелей. Дальнейшая взрывная отбойка скалы на высоту 18 м вокруг сравнительно тонких железобетонных колонн внутри сохраняемого здания в центре крупного города требовала чрезвычайной тщательности и точности. В зонах между колоннами и стенами взрывные работы велись двумя-тремя отдельными стадиями. В зоне между двумя рабочими туннелями забой высотой 10 м взрывался в одну стадию. Отбитая порода грузилась в самосвалы небольшим экскаватором. Средний объем породы, отбитой в одну стадию составлял 40-70 м³, максимальный - достигал 300 м³.

Вертикальные сдвигения скального основания и здания, находящегося на нем, выявлялись примерно в 100 точках специальными датчиками. Иногда требовалось усиление скального потолка в туннелях и тогда устанавливалась анкерная штанговая или капитальная крепь.

В ходе строительства от установки свай до взрывных и бетонных работ соседние строения нормально функционировали. Движение по прилегающим улицам, киноцентр, находящийся в прямом контакте с подземным строительством, офисы и бизнесы на этажах зданий, ресторан прямо над местом работ постоянно использовались. Гибкий график работ, непрерывные замеры шума и вибраций, с точностью до минут выверенное время взрывных работ, особенно во время киносеансов, свели к минимуму влияние строи-

тельных работ на окружающие структуры (рис. 2.77 цв. вкл.).

Реконструкция верхних этажей здания была завершена до подземных работ. Такая последовательность требовала пристального внимания к состоянию здания, особенно в периоды передачи его нагрузки с одних опор на другие. Строительство было выполнено с единственным повреждением реконструированных помещений.

2.4 Спортивные залы и бассейны

Подземное расположение широко применяется для строительства спортивных залов и бассейнов. Подобный опыт накоплен в Норвегии, где более 50% поверхности составляют скальные горные породы. Вот почему традиция строить здесь подземные сооружения имеет глубокие корни. В стране имеется более 200 подземных гидроэлектростанций, более 700 автомобильных туннелей, целый ряд подземных спортивных залов и плавательных бассейнов, которые могут служить укрытиями от воздушных атак в случае войны.

В Норвегии в 1970-79 гг. на миллион жителей за год проходило 19 км туннелей, тогда как в остальных странах Европы – только 3,2 км. С 1972 г. началось строительство подземных спортивных центров. Далее описаны некоторые из них.

Спортивный центр в г. Холмлия (Holmlia) построен в новом жилом пригороде на юго-востоке Осло. В состав центра входят плавательный бассейн и гимнастический зал, он используется также для общественной деятельности – проведения собраний и концертов. В соответствии с норвежскими правилами, комплекс должен также укрыть не менее 20% населения города в случае воздушной атаки.

Горные работы начались в сентябре 1979 г. и были завершены через 18 месяцев, остальные строительные работы и монтаж оборудования потребовали еще 24 месяца.

Спортивный комплекс расположен внутри небольшого холма. главный вход находится в его восточной стороне и связан с центром района тротуарами и велосипедными дорожками. Расстояние до железнодорожной станции составляет всего 250 м.

На рис. 2.78 а, б показан план 1 и 2 этажей, на рис. 2.78 в – разрез по спортивным залам, 2.78 г – изометрическая схема центра.

Спортивный зал имеет ширину 25 м, длину 45 м, максимальную высоту 13 м и позволяет разместить гандбольную площадку размером 20x40 м. Зал также дополнительно оборудован для занятий гимнастикой, баскетболом, волейболом и бадминтоном и может быть разделен на 4 отдельных площадки складывающимися разделяющими перегородками. В зале могут разместиться до 350 зрителей. Имеются помещения для судей, играющих и запасных игроков, а также для оборудования.

Зал плавательного бассейна имеет размеры 37x20 м, собственно бассейн 25x12,5 м. В бассейне размещается 6 дорожек, глубина которых изменяется от 0,9 до 1,8 м. Температура воды поддерживается равной 28-29⁰С, воздуха – 30⁰С. С залом непосредственно связаны комнаты медицинской помощи, солярий и склад оборудования. Раздевалки рассчитаны на 115 спортсменов. Там же имеются душевые, сауны, туалеты.

Бассейн в г. Гьёвик (Gjøvik) был открыт в 1975 г. Он имеет 6 дорожек, размеры 25x12,5 м и является частью подземного комплекса, который включает также маленький бассейн для начинающих размером 8x4 м, гимнастический зал, сауны, телекоммуникационный центр и штаб местной гражданской обороны (рис. 2.79). Общая площадь комплекса составляет 1780 м².

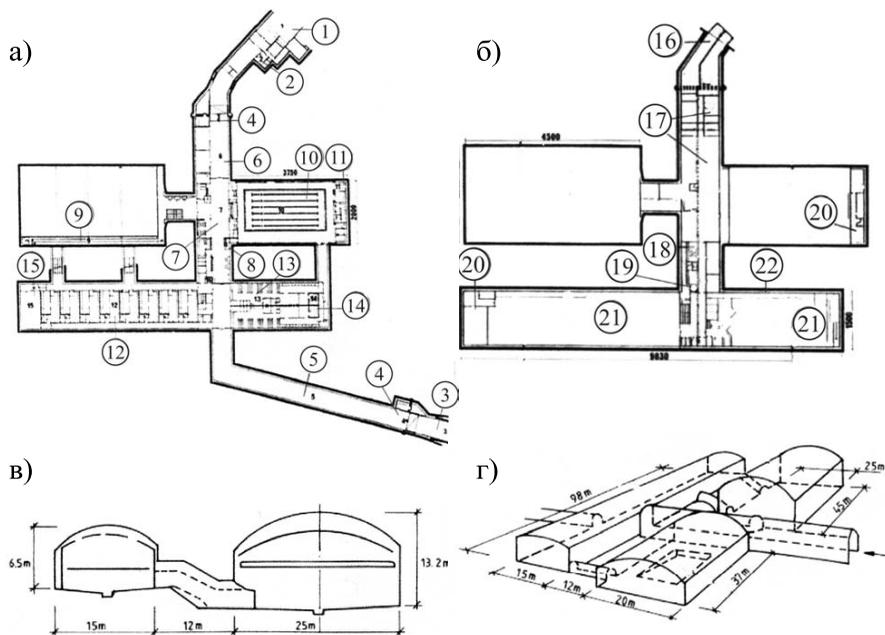


Рис. 2.78 Спортивный центр Холмля

а) план 1-го этажа; б) план 2-го этажа; в) разрез по спортивным залам; г) изометрическая схема спортивного центра; 1 – главный вход; 2 – комната охраны; 3 – вход из школы; 4 – взрывозащитное сооружение; 5 – беговая дорожка длиной 60 м; 6 – вестибюль; 7 – площадка перед залами; 8 – контроль билетов, магазин; 9 – тренировочные стойки в спортзале; 10 – плавательный бассейн; 11 – солярий; 12, 13 – раздевалки и души; 14 – сауны и туалеты; 15 – вспомогательные помещения; 16 – вход и выход воздуха; 17 – помещения для вентиляционного и нагревательного оборудования; 18 – комнаты обслуживающего персонала; 19 – лифт; 20 – склад; 21 – помещения, арендуемые для занятий спортивными клубами; 22 – кабельные и вентиляционные каналы

От главного зала с шириной пролета 20 м стеклом отделен гимнастический зал, используемый также для собраний и встреч.

Плавательный бассейн и его вспомогательные помещения размещены в пройденных по известнякам двух

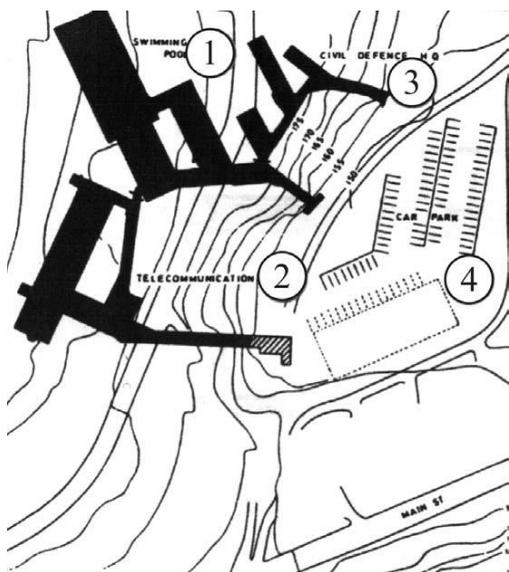


Рис. 2.79

Топографический план привязки плавательного бассейна к местности

- 1 – плавательный бассейн;
- 2 – телекоммуникационный центр;
- 3 – комплекс гражданской обороны;
- 4 – автостоянка

полостях с общим подводящим и соединительными туннелями. В большей полости расположены плавательные бассейны и гимнастический зал,

в меньшей – кладовые, души, другие вспомогательные помещения. Технические службы находятся частично под бассейном, частично – над гимнастическим залом и кладовыми.

Стены полостей покрыты набрызгбетоном, в кровле арочной формы имеются предварительно-напряженные элементы.

В бассейне поддерживается температура воды 24⁰-28⁰С, воздуха – 26⁰-30⁰С при максимальной относительной влажности 65%. Вентиляционная система удаляет избытки влажности от испарения зеркала воды и других влажных поверхностей. Количество подаваемого воздуха определяется желаемым уровнем относительной влажности.

Особый интерес вызывает тот факт, что потребление энергии подземным комплексом составляет примерно 50% от подобного сооружения, расположенного на поверхности.

Главный олимпийский комплекс Норвегии был построен в Гъёвике в 1994 г. рядом со столицей олимпийских игр в Лиллехаммере (Lillehammer). Было решено включить в этот комплекс многоцелевую арену, используемую для хоккея,

фигурного катания, легкоатлетических соревнований и плавания, с количеством зрителей 5100 чел. Комплекс может также принять конференции, выставки, ярмарки и другие массовые мероприятия. Для того, чтобы такое сооружение не подавило своими размерами относительно небольшой город, было решено построить его под землей в горном массиве Ховдетoppen (Hovdetoppen) прямо в центре Гъви-ка. Строительство началось в 1989 г., комплекс был сдан в эксплуатацию в 1993 г. со следующими параметрами: высота 25 м, длина 91 м, ширина 61 м. Общая площадь комплекса 14,9 тыс. м² (рис. 2.80 цв. вкл.).

Олимпийский комплекс расположен в гнейсах с возрастом 800-1100 млн. лет. Были проведены интенсивные геологические исследования, бурение скважин, изучение образцов пород в лабораториях, созданы компьютерные модели, предсказывающие возможную реакцию горного массива на ведение работ.

Строительство началось с проходки буровзрывным способом пилотного туннеля приблизительно на 10 м ниже контура кровли зала. Затем этот туннель расширялся, была сформирована и закреплена анкерной крепью верхняя часть полости, примыкающая к кровле. После этого посекционно проходила нижняя часть сечения зала (рис. 2.81 цв. вкл.). При ведении взрывных работ постоянно контролировалось их воздействие на здания, окружавшие зону строительства.

Принятые архитектурные решения по оформлению интерьеров комплекса отвечают особенностям культуры и характеру норвежцев. Огромный зал внутри горы напоминает о горном короле из «Пер Гюнта» и о сказочных троллях с их кладами, набрызгбетон на стенах и кровле создает эффект сумерек и таинственности, особое внимание уделено освещению, эффекты которого подчеркивают размеры подземного пространства, а цветовые решения гармонируют с естественным цветом скальных пород, видимых в нескольких местах зала.

На рис. 2.82 (цв. вкл.) показаны подземные спортивные залы Норвегии, на рис. 2.83 (цв. вкл.) – горные и строительные работы при их сооружении.

Далее описаны подземные спортивные комплексы, построенные в США.

Спортивный комплекс Университета Нью-Мексико (University of New Mexico) был расширен за счет строительства подземной арены, как наиболее экономичной и вместительной.

Учитывая, что пространство арены должно быть свободно от колонн, вначале над будущим котлованом было построено перекрытие из металлоконструкций с большими пролетами на полные размеры будущей арены, спроектированное, подобно крылу самолета с плоскими параллельными поверхностями, связанными фермами (рис. 2.84). Верхняя поверхность служила наружной крышей. Нижняя поверхность, расположенная в 4,6 м от верхней, формировала потолок арены. Верхняя и нижняя поверхности были соединены в стабильную систему сетью стальных диагональных стоек. Бесколонный пролет крыши составил более 76 м.

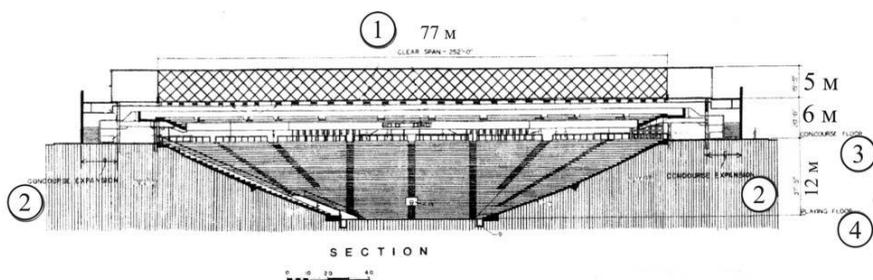


Рис. 2.84 Разрез по спортивному комплексу университета Нью-Мексико

1 – перекрытие над котлованом; 2 – главный вестибюль; 3 – уровень пола вестибюля; 4 – уровень пола арены

Перед началом строительства была построена и испытана модель крыши, подтвердившая правильность первоначальной конструкции.

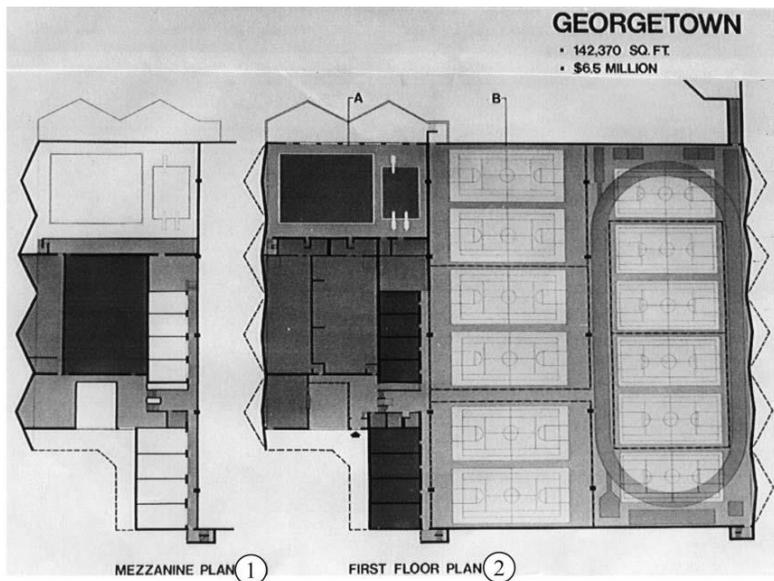
чальных расчетов. При строительстве отдельные полосы крыши собирались и соединялись на временных колоннах. Земляные работы начались под крышей после ее полного монтажа. Был выкопан котлован глубиной около 12 м. С увеличением глубины котлована рампа для заезда и выезда грузовиков с грунтом становилась все более крутой и они не могли самостоятельно выезжать из котлована. Для их вытаскивания использовалась лебедка.

Ряды сидений формировали заливкой бетона непосредственно на грунт без каких-то дополнительных работ. Арена вмещает 14850 мест. Позднее к структуре была добавлена наземная часть – так называемый «мезонин» с 2300 мест (рис. 2.85 цв. вкл.).

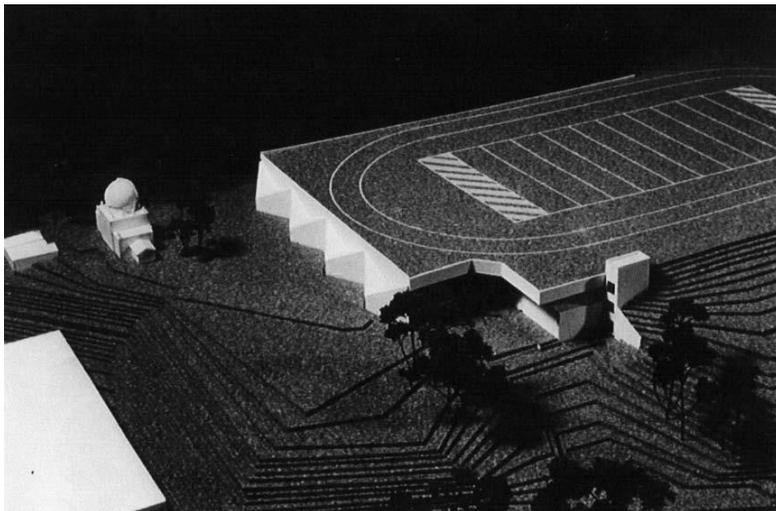
Спорткомплекс Джорджтаунского университета (Georgetown University), Вашингтон, США был сооружен на площади 13 тыс. м² под существующим футбольным полем. Практически невидимое с поверхности сооружение включает в себя множество спортивных помещений. Главный спортивный зал размером 80x111 м, пространство которого прерывается только рядом из пяти колонн, поддерживающих кровлю, достаточно велик, чтобы вместить 12 баскетбольных площадок. Он может быть использован также для других видов спорта, например, тенниса. С одной стороны зала расположена четырехполосная беговая дорожка длиной 200 м и яма для прыжков в длину. С другой стороны зала находится восьмидорожечный 25-метровый плавательный бассейн и вышка для прыжков в воду (рис. 2.86 цв. вкл.). В состав комплекса входят также гандбольное поле, помещение для хранения оборудования для гольфа и танцевальный зал площадью около 1000 м² с полом из твердых пород дерева (рис. 2.87).

Крыша комплекса представляет собой множество оболочек в форме гиперболических параболоидов, которые с пола зала кажутся гигантскими перевернутыми зонтиками,

a)



б)



**Рис. 2.87 План и макет спортивного комплекса
Джорджтаунского университета**
а) план; б) макет

расположенными над колоннами, поддерживающими крышу, возвышаясь над ними на 1-1,5 м. Колонны имеют высоту более 5 м. Размеры оболочек 20-40 м, их края соединены металлической диафрагмой, покрытой бетонным слоем толщиной 9 см. Подобная структура предназначена обеспечить поддержку внешней нагрузки, такой, как футбольное поле.

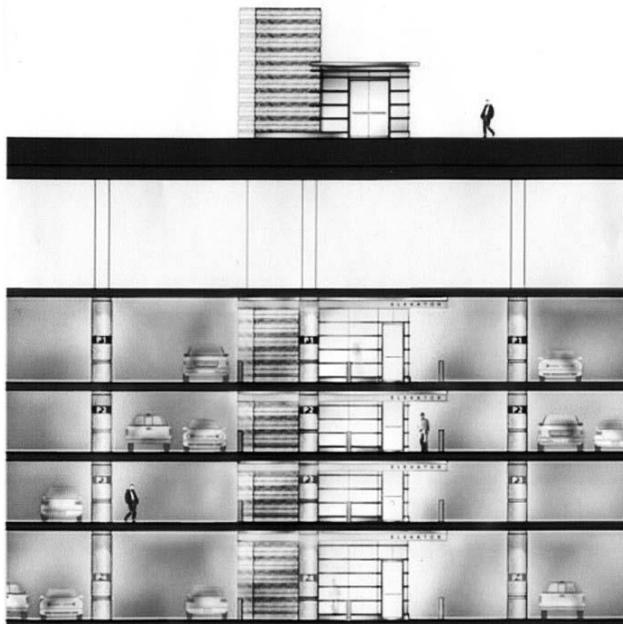
2.5 Автостоянки

Подземные автостоянки могут быть разделены на несколько классификационных групп: они строятся в комплексах с наземными зданиями, под городскими площадями и улицами, на открытом пространстве. В последнее время получает распространение альтернативная парковочная система с размещением автомобилей в подземных силосах, которые могут быть построены даже в самых стесненных городских условиях.

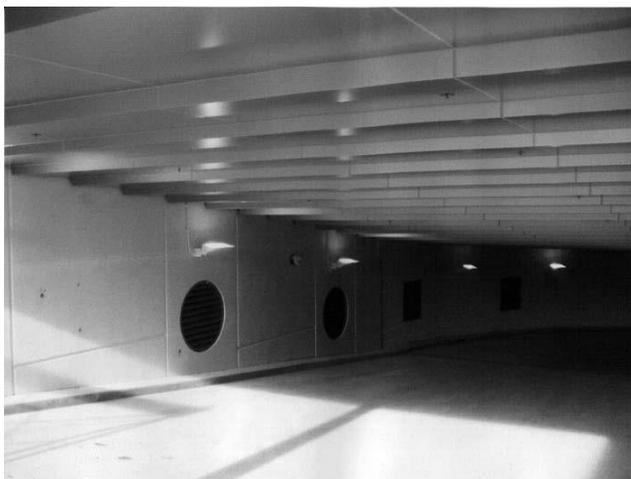
Подземная автостоянка в комплексе с наземным зданием строится в Гарвардском Университете, Бостон, штат Массачусетс, США (рис. 2.88). Въезд в четыре этажа подземной структуры будет осуществляться через рампы, верхний этаж используется для размещения офисов и других служб, обслуживающих гараж и перспективное здание, которое в дальнейшем будет построено над автостоянкой. Ее крыша будет расположена примерно на 1,2 м ниже уровня поверхности, обеспечивая размещение слоя почвы, достаточного для роста деревьев и кустарника, высаженных на участке, окружающем будущее здание над гаражом.

Примером сооружения подземной автостоянки под существующей площадью в центре крупного города является строительство в Москве на площади Революции (рис. 2.89 вкл.). Здесь, как и обычно в густонаселенном городе, строительство происходило в весьма стесненных условиях,

а)



б)



The Interior Garage Ramp

Рис. 2.88 Подземная автостоянка Гарвардского университета
а) вертикальный разрез; б) интерьер въездной ramпы

в)



The Interior of The Garage

Рис. 2.88 (продолжение)

в) интерьер автостоянки

а кроме того, на глубине 5 и 10 м под площадкой проходят туннели действующего метрополитена. Геологические условия строительства отличались сложностью и пестротой свойств и представляли из себя наносы (6-8 м) с остатками старых фундаментов, аллювиальные отложения и суглинки (4-6 м), трещиноватый известняк с глинистым заполнителем (3-5 м), глину (4-5 м), известняк (9-10 м), мергель (6-8 м).

Четырехуровневая автостоянка сформирована из пологих сводов-покрытий (рис. 2.90). Строительство производилось открытым способом, своды бетонировались практически одновременно на нескольких уровнях. Основные строительные работы были завершены за 8 месяцев. Интерьер автостоянки показан на рис. 2.91.

Подземная автостоянка под бульваром Сен-Мишель (Saint-Michel), Париж, Франция имеет длину 130 м, ширину 15 м (за исключением концевых спиралей) и глубину 19,5 м.

Она располагается между подземными линиями метро и зданиями на обеих сторонах бульвара (рис. 2.92).

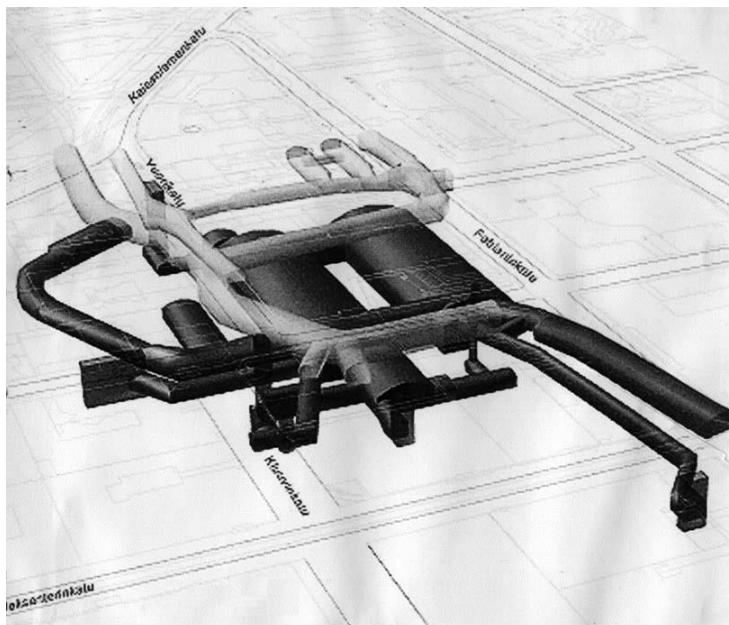


Рис. 2.90 Схема туннелей и полостей подземной автостоянки в Клууви, Хельсинки

Кроме решения проблем, связанных со стесненными условиями строительства, здесь требовалось сохранить движение транспортных средств и пешеходов по бульвару, а деревья, стоявшие с одной стороны бульвара и попадающие в зону строительства, было необходимо не повредить.

Земляные работы проводились под защитой так называемых «стен в грунте» толщиной 0,63 м и глубиной 25 м, сооруженных в крупнозернистом песчанике. В свою очередь, эти стены опираются на вертикальные опоры глубиной 8 м, сформированные предварительной цементацией песчаника. Эти решения уменьшили просачивание воды при строительстве и эксплуатации автостоянки. В месте соседства стены с телефонным кабелем, последний был заключен

в ограждающую конструкцию. Деревья, находящиеся в зоне строительства, были закреплены металлическими трубами, вставленными в горизонтальные скважины, пробуренные под корневой системой.



Рис. 2.91 Интерьер автостоянки в Мельбурне

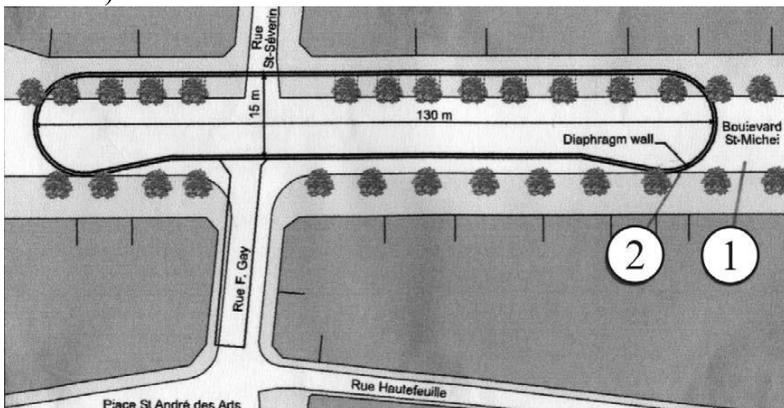
Работы проводились в последовательности, позволяющей сохранить дорожное движение по бульвару Сен-Мишель. Спиральная рампа в каждом конце автостоянки была построена после полного завершения земляных работ.

Подземная автостоянка в центре города Фукуока (Fukuoka), Япония, имеющая один наземный и три подземных этажа показана на рис. 2.93 (цв. вкл.).

Примером расположения подземной автостоянки на открытом пространстве с декоративным оформлением участка является музей Нельсона-Аткинса (Nelson-Atkins Museum), Канзас-Сити, Колорадо, США (см. раздел 2.2). Двухуровневая автостоянка строилась на парковочной площадке перед главным зданием музея, и основным требованием при проектировании являлась ландшафтная связь застраиваемой

территории с окружающей зеленой зоной. С этой целью на крыше автостоянки размещен пруд, в дне которого имеется 34 круглых окна, через которые вода подсвечивается снизу из гаража (рис. 2.58 цв. вкл.).

а)



б)

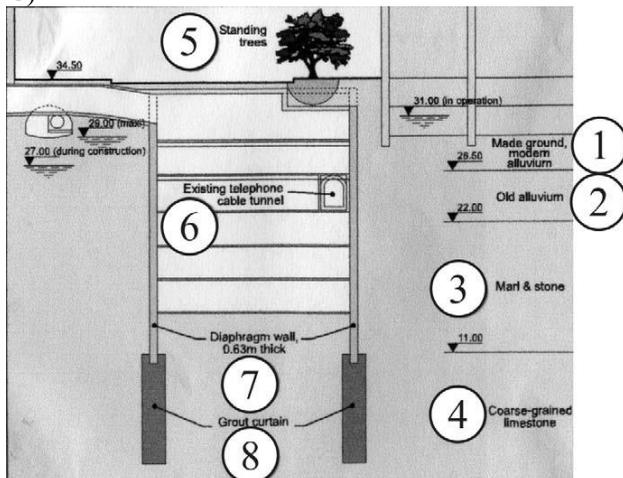


Рис. 2.92 План и вертикальный разрез подземной автостоянки под бульваром Сен-Мишель, Париж

а) план; 1 – бульвар Сен-Мишель; 2 – «стена в грунте»; б) вертикальный разрез; 1 – современные наносы; 2 – старые наносы; 3 – мергель и камень; 4 – крупно-зернистый известняк; 5 – деревья; 6 – существующий телефонный кабельный туннель; 7 – «стена в грунте»; 8 – тампонажная завеса

Интерьер автостоянки должен производить первое эмоциональное впечатление на посетителей музея и поэтому его потолок перекрыт выпуклыми балками, создающими эффект волнистой поверхности.

Другой пример архитектурного решения интерьера подземной автостоянки приведен на рис. 2.94 (цв. вкл.).

Подземная автостоянка, построенная среди городских кварталов, показана на рис. 2.95 (цв. вкл.). Заезд в нее производится через рампы, расположенные между домами, с тем чтобы минимизировать транспортную нагрузку на главную улицу. Два лифта связывают автостоянку с наземным вестибюлем.

К автостоянкам на открытом пространстве можно также отнести распространенные в Норвегии стоянки, построенные на холмистой местности в скальных породах (рис. 2.96 цв. вкл.).

Автоматическая парковочная система, разработанная в Италии, представляет собой новую альтернативную конструкцию, приспособленную для застроенной городской территории, и решающую многие из традиционных проблем, связанных с городской парковкой: стесненность, загрязнение, отвод земли, безопасность. В состав этой системы входят цилиндрический подземный силос и комплекс автоматики, включающий вращающийся подъемник, подающий автомобили к местам их парковки, расположенным по окружности силоса. Среднее время парковки и вывода из нее составляет до 50 сек.

Стоянка имеет до 108 парковочных мест и, благодаря компактным решениям, может быть установлена в непосредственной близости к городскому центру (рис. 2.97 цв. вкл.).

Система работает следующим образом. Водители устанавливают свои машины в парковочный ряд и вставляют магнитные пластиковые карточки в считывающее устройство (рис. 2.98 цв. вкл.). Затем система направляет машину в

подъемник, который опускается, поворачивается и подает машину к свободному парковочному месту (рис. 2.99 цв. вкл.). этой же карточкой водители вызывают машину к точке выхода.

Подземный парковочный силос представляет из себя железобетонный цилиндр с внутренним диаметром 18,8 м. Силос имеет до 9 уровней стоянки машин (рис. 2.100 цв. вкл.) с высотой каждого 2,3 м. Парковочные места представляют собой предварительно-напряженные железобетонные модули, размещенные радиально по периметру окрестности силоса (рис. 2.101 цв. вкл.). Их число на одном уровне равно 12. Подъемник занимает центр цилиндра и имеет вид вращающейся стальной башни, которая подает машины к парковочному месту и выводит их из него (рис. 2.102 цв. вкл.). Вращение и спуск-подъем осуществляются одновременно.

Единственным сооружением на поверхности является пилон для приема магнитных пластиковых карточек.

2.6 Зоны торговли и обслуживания

Подземная пешеходная сеть Торонто (Toronto), Онтарио, Канада составляет 27 км и связывает торговые центры общей площадью около 372 тыс. м². Здесь размещены около 1200 магазинов и бизнесов по обслуживанию населения, где заняты около 5000 человек (рис. 2.103 цв. вкл.). Пешеходной сетью соединены более, чем 50 офисных многоэтажных зданий, 12 подземных стоянок автомашин, 5 станций метро, 2 главных универмага, 6 главных отелей и железнодорожный вокзал.

Строительство этой сети началось еще в 1900 г. и было развито в 1927 г., однако, ее реальный рост начался в 1970 г. Вначале владельцы недвижимости в этом районе неохотно тратили деньги на создание подземной пешеходной сети, однако, затем, когда она стала весьма популярной среди на-

селения, ее преимущества стали очевидны. Сейчас магазины, расположенные здесь, привлекают около 225 тыс. посетителей в день. На рис. 2.104 (цв. вкл.), 2.105 (цв. вкл.) показаны интерьеры подземного комплекса Торонто.

Подземная пешеходная сеть Монреаля (Montreal), Канада считается одной из наибольших в мире (рис. 2.106 цв. вкл.). Имея более 30 км в длину, она начала создаваться в 1962 г. и после открытия в 1966 г. новой линии метро получила особое развитие, благодаря тому, что две его главных параллельных линии были разделены расстоянием всего 800 м. Пешеходная сеть общей площадью 300 тыс. м² связывает станции этих линий с размещенными между ними 1600 магазинами, 200 ресторанами, банками, офисами, подземными парковками (рис. 2.107 цв. вкл., 2.108 цв. вкл. и 2.109).



Рис. 2.109 Интерьер вестибюля подземного комплекса Монреаля

Подземная пешеходная сеть в Хьюстоне (Houston), штат Техас, США известная под названием «Туннель» длиной около 10 км связывает более 50 зданий в деловой части

города (рис. 2.110 цв. вкл.). Начатая строительством в 1935 г., сейчас эта сеть служит сухой и прохладной связью между бизнесами и подземными автостоянками в дождливую и жаркую погоду (рис. 2.111 цв. вкл.).

Создание района торговли и развлечений в Атланте (Atlanta), Джорджия, США связано со структурой городской застройки, сложившейся в ходе гражданской войны в 18 веке. Начав восстанавливаться, город концентрировался вокруг железнодорожных путей, которыми люди и товары попадали в него. Однако, в 1920 гг. город встретился с растущими транспортными проблемами, связанными с пересечениями автомобильных и железных дорог, и поэтому была построена сеть виадуков над рельсовыми путями. Город застраивался на этих виадуках и, следовательно, над первоначальным уровнем улиц. Части наземных зданий, расположенные между уровнем поверхности и виадуками, превратились в подвалы и были заброшены на десятилетия. Однако в 1969 г. этот район в центре Атланты был как бы заново открыт, реконструирован и стал служить районом торговли и развлечений. Расцвет района начался в 1989 г., когда были открыты новые магазины, рестораны и ночные клубы (рис. 2.112 цв. вкл.).

Подземный город Сабтрополис (Subtropolis) Канзас-Сити (Kansas City), штат Миссури, США возник в шахтах, где и сейчас производится добыча известняка. Каждый год здесь добывается свыше 1,5 млн. т этого материала. Почти 3,7 млн. м² подземного пространства было образовано в результате горных работ к началу его освоения и в ближайшие 15-20 лет ожидается рост последнего со скоростью 140 тыс. м² в год (рис. 2.113 цв. вкл., 2.114 цв. вкл.).

Месторождение образовалось 270 млн. лет назад.

Известняк широко используется для производства бетона, асфальта и других материалов, применяемых преимущественно для строительства дорог (рис. 2.115 цв. вкл.). Добыча известняка ведется на глубине 9-60 м камерным

способом с оставлением целиков, поддерживающих кровлю, размерами в основании в среднем 7,5х7,5 м и расстоянием друг от друга 9-12 м. Высота целиков, а значит потолков в камерах, образованных выемкой, равна 3,8-4,9 м. Общее количество таких целиков равно более 10000. Прочность известняка втрое больше прочности бетона.

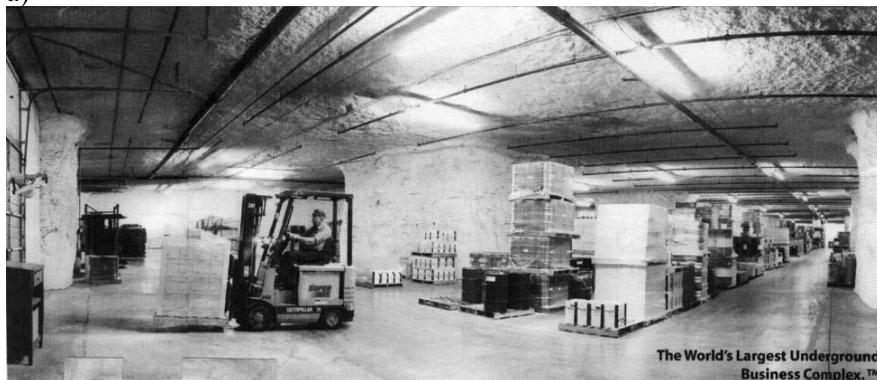
В коммерческих целях используется около 0,5 млн. м² выработанного пространства известняковых шахт, где размещается более 50 местных, национальных и международных бизнесов, в состав которых входят склады, холодильники, предприятия легкой промышленности, офисы (рис. 2.116), привлеченные сюда:

- низкой стоимостью арендной платы, которая на 1/3 или на 1/2 меньше соответствующей стоимости на поверхности;
- низкой стоимостью инженерного обеспечения: нет необходимости в отоплении, затраты на охлаждение минимальны, стоимость энергетических потребителей уменьшается на 50-70%;
- комфортными условиями труда – круглосуточная температура составляет примерно 21⁰С, производительность труда при этом возрастает на 25%;
- минимальной гибкостью при необходимости расширения производства, в том числе сезонного;
- удобства управления и обеспечение безопасности предприятий;
- минимальный объем строительных работ, поскольку кровля, почва, одна или более стен созданы работами по добыче известняка.

Все, что остается – это зачистить помещения от обломков известняка, обеспечить маршруты коммуникационных линий, установить потолочные панели и выровнять поверхность пола. Освоение подземного пространства для нового

объекта занимает всего 2-4 месяца и стоит значительно меньше, чем поверхностные здания.

а)



б)



в)



г)

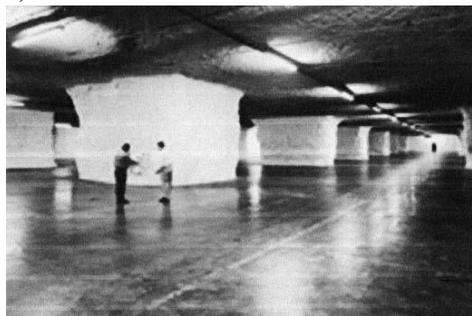


Рис. 2.116 Варианты использования подземного пространства комплекса Сабтрополис

Горизонтальные порталы и штольни, а также 9 вертикальных стволов обеспечивают подачу в подземное про-

странство около 15 млн м³/сут. свежего воздуха.

Подземные пространства, однако, имеют также ограничения в использовании. Они не подходят, например, для производств с большими выделениями тепла, или использующих либо производящих опасные материалы, а также выделяющих сильные запахи.

Расположение Канзас-Сити в центре Соединенных штатов делает его идеальным местом для хранения пищевых продуктов, транспортируемых по стране. Из-за природных низких температур подземные хранилища Канзас-Сити представляют собой наибольший в мире естественный холодильник.

Общее количество работающих в подземном комплексе сегодня составляет более 1300 человек.

Примером специфического использования подземного пространства Канзас-Сити является компания Брансон Инструмент (Brunson Instrument Company), изготавливающая приборы для астронавтов. При прежнем расположении заводов компании на поверхности земли необходимая точность приборов достигалась только при их изготовлении ночью между 2-мя и 4-мя часами при наименьшем дорожном движении. Поэтому руководством компании было принято принципиальное решение о переводе производства под землю. Вначале была сделана попытка использовать одну из отработанных шахт по добыче известняка. Однако, их сложившаяся структура с имеющимися целиками известняка, поддерживающими кровлю, не позволяла создать рабочее пространство необходимых размеров. Была также неприемлема сводчатая форма потолков неправильной конфигурации, разделенных трещинами на фракции при взрывных работах по добыче известняка.

В связи с этим, компанией было принято решение о новой проходке подземных камер, специально спланированных и размещенных в соответствии с технологией производства. Так, взрывные работы производились по границе

слоев осадочных пород, что позволило, не разрывая целостности слоя, создать плоскую кровлю в рабочих помещениях. Добываемый при этом известняк являлся попутным продуктом и позволял сократить стоимость строительства.

Расходы на строительство составили треть от суммы, требовавшейся на создание обычного поверхностного цеха.

Схема геологического строения района показана на рис. 2.117.

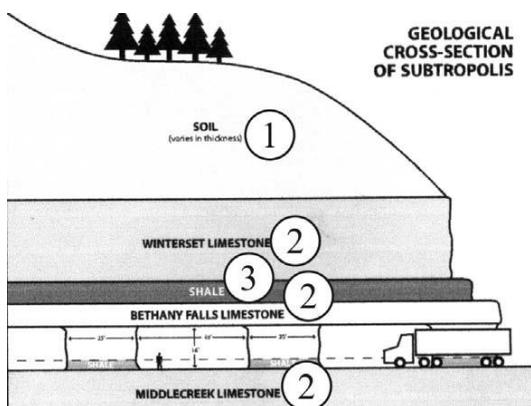


Рис. 2.117 Схема геологического строения района

1 – грунт (переменной мощности); 2 – известняк

Подземный торговый комплекс Осака (Osaka), Япония состоит из нескольких зон. Центр Криста

Нагахори (Crysta Nagahory) – наибольшее подземное пространство в стране, имеющее площадь 81,8 тыс. м² – был построен в 1997 г. Как и другие городские комплексы, он связывает туннелями офисы, торговые центры, станции метро, места развлечений. В подземный город можно попасть как из зданий, так и из других мест наибольшего скопления людей.

Свет, поступающий сверху и освещающий примерно треть всех подземных переходов, искусственный поток воды заставляют посетителей забыть о том, что они под землей. На трех подземных этажах со второго по четвертый расположена автостоянка на 1030 машин. Торговый центр расположен на первом этаже и связан напрямую с пятью станциями метро.

В другом торговом центре Осаки – Вайти Юмеда (Whity Umeda) на первом подземном этаже расположен сад, заполненный зеленью и цветами, где посетители могут отдохнуть и зайти в кафе. На втором этаже расположена центральная площадь, связанная с подземными автотрассами.

Торговый центр вокзала Ханкиу Юмеда (Hankyu Railway Umeda Terminal Building) имеет два подземных и два надземных этажа, разделенных на секции продажи одежды, книг, игрушек, электроники. На втором подземном этаже течет искусственная река шириной 3 м, в которую многие бросают монеты, как в фонтан Треви в Риме. В реку стекает водопад высотой 12 м. На рис. 2.118 (цв. вкл.) приведен план подземного комплекса Осака. Голубым цветом показаны здания, соединенные подземными переходами, синим – торговые помещения, буквами обозначены крупные здания и сооружения, цифрами – объекты торговли и развлечения.

Интерьеры подземного комплекса показаны на рис. 2.119 (цв. вкл.).

Подземный комплекс во Всемирном торговом центре в Нью-Йорке, разрушенном террористами 11 сентября 2001 г., занимал площадь около 40 тыс. м² между двумя башнями и пятью другими высотными зданиями. На первом подземном этаже были сосредоточены магазины, в остальных шести подземных этажах располагались стоянки автомашин, подсобные службы, механическое оборудование и транзитные железнодорожные линии. К 2001 г. в состав торгового центра входили 75 магазинов с годовой торговой нагрузкой около 10 тыс. долларов на 1 м², что более, чем в 2,5 раза превышает среднюю по стране.

В новом проекте застройки территории всемирного торгового центра (рис. 2.120 цв. вкл., 2.121 цв. вкл.) также предложена сеть инфраструктуры, состоящая из наземного и четырех подземных этажей и связывающая комплекс в единое целое. Подземные переходы соединят новые небоскребы с зимним садом, железнодорожной станцией даль-

него следования РАТН и со станциями метро (рис. 2.122 цв. вкл.). Стеклопанельные стены обеспечивают доступ естественному свету от мемориального центра к подземным переходам. Вдоль всей их длины будут расположены магазины и рестораны.

2.7 Заглубленные дома

Стремление к строительству частных подземных домов возникло в годы холодной войны, как реакция на угрозу ядерного нападения. Вначале такие дома строились только в качестве укрытий. Затем, после оценки их достоинств подземное строительство стало распространяться как противоязв урбанистическим тенденциям конца 20-го века и как ответ на желание человека быть ближе к живой природе.

В последние годы все большее распространение получают заглубленные жилые дома, рассчитанные, как правило, на одну семью и которые можно разделить на два основных типа – подземные и обвалованные землей. На выбор типа дома влияют его расположение и характер почв, местный климат, а также какой внешний вид дома предпочитает его будущий владелец.

Подземный тип означает, что вся структура построена ниже уровня земли. Обвалованный тип может находиться целиком или частично на земле, при этом одна или несколько стен должны быть погружены в грунт. Оба типа обычно имеют крышу, покрытую землей, на которой иногда высаживается растительность, чтобы уменьшить эрозию этого покрытия. Толщина последнего составляет 0,2-2,7 м.

В этих двух типах домов имеются три основных эталонных схемы:

- вход в заглубленное здание осуществляется с внутреннего двора, где приподнятая часть дома (атриум) служит как бы фокусом здания, а также входом в него (рис. 2.123);

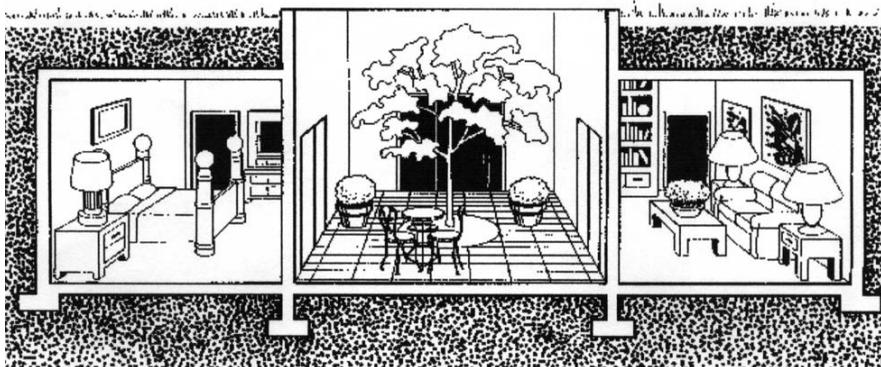


Рис. 2.123 Атриумная схема заглубленного дома

- в обвалованной структуре фасадная стена или ее часть выполняется из стекла, вход в здание расположен в фасадной стене (рис. 2.124);



Рис. 2.124 Схема заглубленного дома с одной открытой стеной

- здание внедряется в склон холма таким образом, что оно полностью или частично обваловано, вход в здание расположен в его наиболее внедренной в холм части (рис. 2.125).

Эти конструктивные схемы являются основой для разработки разнообразных архитектурных решений, привязанных к конкретным природным условиям, ландшафту местности, пожеланиям заказчика.

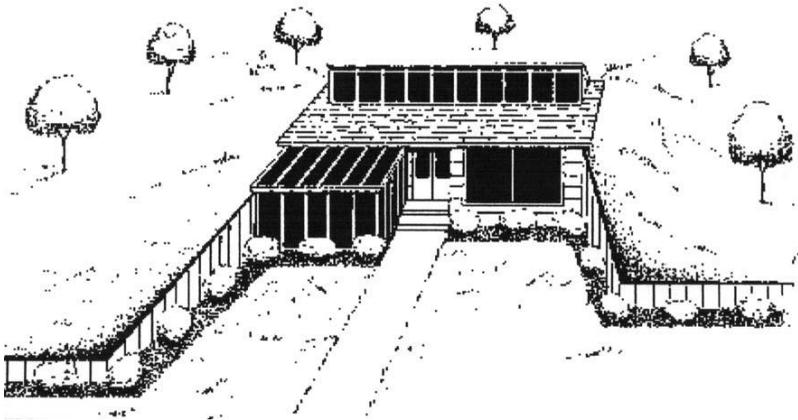


Рис. 2.125 Схема заглубленного дома с несколькими открытыми стенами

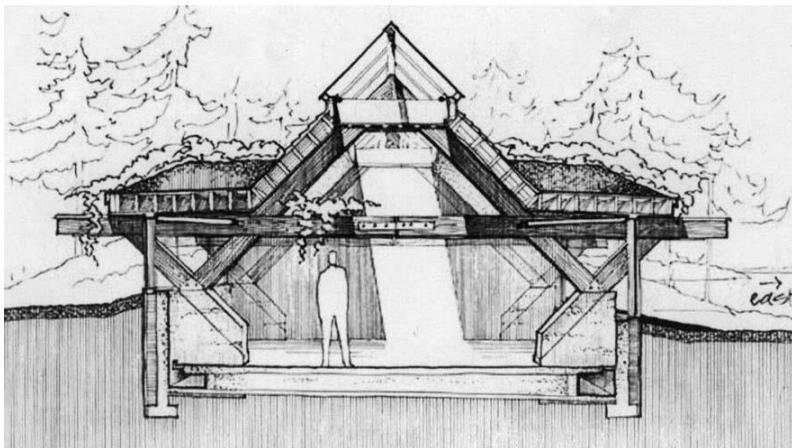
Примеры конкретных проектов или построенных зданий, соответствующие описанным схемам, приведены на рис. 2.126 (цв. вкл.), 2.127 (цв. вкл.). Как видно из рисунков, для строительства часто применяется комбинация эталонных схем.

Атриумная конструкция (рис. 2.128, 2.129) создает чувство открытого пространства, поскольку четыре стены атриума освещаются дневным светом. Такое решение принимается обычно для подземного строительства при плоском участке поверхности. Главные жилые помещения окружают центральный внутренний двор. Стеклопакеты обеспечивают доступ дневного света и солнечного тепла, возможность обзора окрестностей. Облегчается также естественная вентиляция помещений. Дома такой конструкции покрыты обычно слоем земли до 0,9 м. Атриумный дизайн едва виден с поверхности и лишь незначительно внедряется в ландшафт. Он также обеспечивает хорошую защиту от зимних ветров и от внешнего шума.

Два других проектных решения по своему характеру ближе к обычным зданиям. Обвалованный дом имеет один открытый фасад, а остальные стороны и крыша закрыты

землей. Они изолируют и защищают здание. Открытая стена, как правило, смотрящая на юг, обеспечивает доступ солнечного света и тепла. Планировка внутренних помещений также решается с учетом освещения дневным светом. Такой дом обычно располагается на склоне холма, требует наименьших расходов и упрощает строительные работы. Однако, в северной, наиболее углубленной части такого дома ограничивается циркуляция воздуха и уменьшается

а)

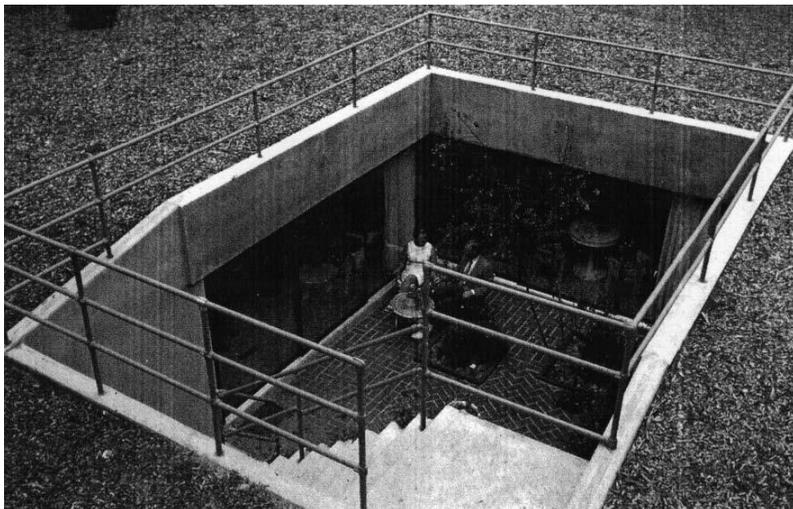


б)



Рис. 2.128 Схемы атриумных заглубленных домов

а)



б)

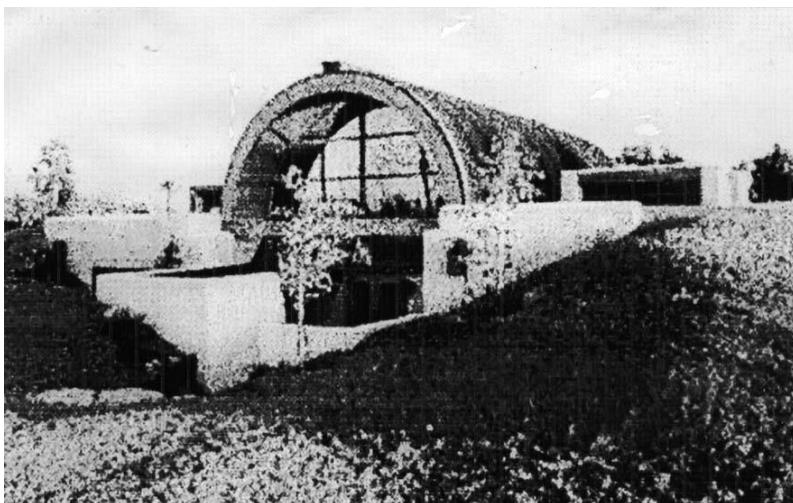


Рис. 2.129 Построенные заглубленные дома атриумного вида

дневное освещение, хотя эти проблемы могут быть решены с использованием застекленных участков крыши.

Здание, внедренное в склон холма, земля покрывает его полностью, исключая часть, которая сохраняется для окон и дверей. В этом случае здание строится на уровне поверхно-

сти, а затем земля насыпается вокруг стен и на его крышу. При этом естественная вентиляция и свет получают доступ более, чем с одной стороны.

Целесообразность строительства заглубленных домов определяется климатическими условиями конкретного района. Наиболее эффективны такие дома при больших перепадах температур и низкой влажности. Температура земли в таких районах варьируется в гораздо меньшей степени, чем воздуха, что означает, что при жаркой погоде земля может адсорбировать тепло дома, а при холодной – изолировать дом от погоды снаружи.

Земляные работы при строительстве зависят от крутизны склона холма. Чем круче склон, тем их объем меньше. Наибольшая выемка земли требуется для плоской поверхности. Важное значение для освещения и обогрева дома имеет его ориентация по сторонам света. Другим важным обстоятельством является качество почвы. Лучшими почвами являются гранулированные, такие, как песок и гравий. Они хорошо несут нагрузку от строительных конструкций и в то же время проницаемы, что означает быстрый дренаж воды. Грунты, подобные глине, расширяются при увлажнении и имеют малую проницаемость. Профессиональное тестирование позволяет определить пригодность грунта для строительства.

В скальных грунтах горных районов могут быть опасны выделения радиоактивного газа радона, что следует учитывать при строительстве. Имеет также значение уровень грунтовых вод. Обычными решениями являются расположение здания выше этого уровня или в почвах, обеспечивающих естественных дренаж воды. Участок строительства должен быть изучен на предмет наличия низин, где может собираться вода. Сезонные или регулярные потоки воды должны быть отведены каналами от проектируемой структуры.

Выбор строительных материалов зависит от характеристики места, климата, почвы и проектных решений. Однако, чем глубже расположен дом, тем большие требования по прочности и долговечности предъявляются к строительным материалам, из которых обычно используются бетон, усиленный кирпич, сталь, а также дерево.

Заглубленные жилые дома имеют следующие преимущества:

- они менее чувствительны к воздействию внешней температуры воздуха;
- температура внутри дома более стабильна, чем в обычном здании, и в этом случае интерьер комнат выглядит более комфортабельным;
- поскольку земля покрывает снаружи весь дом или его часть, заглубленный дом требует меньшего наружного ухода, как, например, окраски стен или очистки водосточных желобов;
- заглубленный дом более гармонично вписывается в окружающий ландшафт;
- наконец, такой дом лучше противостоит ветрам, штормам и природным катастрофам, таким, как торнадо или ураган и поэтому стоимость его страховки меньше.

Недостатки заглубленного дома:

- первоначальные затраты на строительство могут быть выше обычного на 20%, поскольку требуются дополнительные мероприятия по борьбе с влажностью;
- продажа такого дома может быть связана с дополнительными проблемами по поиску покупателей и оформлению финансирования;
- ввиду экспериментального характера заглубленных домов, их конструктивные элементы, например, размер окон или параметры крыши, могут не соответствовать действующим стандартам.

Следует, однако, иметь в виду, что рост первоначальных затрат на строительство подобного дома позволит при его использовании существенно уменьшить стоимость эксплуатационных расходов на отопление и охлаждение или на поддержание наружных поверхностей.

2.8

Склады и хранилища

а) Хранение вина

Тысячи лет люди хранили вино под землей. Одно из наиболее ранних таких хранилищ, возраст которого более 7000 лет, найдено в Северном Ираке. Римляне хранили свое вино в катакомбах. Первыми французскими винными погребами были заброшенные каменоломни, в которых добывались известковые блоки. В Америке до сих пор используют винные погреба, сооруженные в 1800 г. Сегодня в Калифорнии, где производится более 90% всего вина США, его производители предпочитают хранить вино в пещерах, а не в погребах.

Начиная с 1970 г., увеличенная потребность в вине и усовершенствованная землеройная техника вызвали новую волну сооружения винных пещер. К 2003 г. были построены 113 таких пещер, которые имеют площадь от нескольких сот до почти 5000 квадратных метров. Они используются преимущественно для выдержки вина, но часть их включена в популярные туристические маршруты (рис. 2.130-2.135 цв. вкл.). В части таких пещер размещаются трапезные, где туристами дегустируются вина, в другой части, построенной для специальных событий, устраиваются концерты, свадьбы, корпоративные семинары.

В Калифорнии винные хранилища строятся в вулканических скальных грунтах с использованием проходческих комбайнов со стреловидными рабочими органами, оснащенными резцами (рис. 2.136 цв. вкл.). Скорость проходки

составляет от 0,6 м до 4,6 м в сутки. Имея обычно диаметр 4 м туннели проходятся по прямоугольной сетке или имеют кольцевую конфигурацию с лучами, расходящимися от центра по радиусам. Внутренние поверхности таких подземных хранилищ покрыты набрызгбетоном для повышения водонепроницаемости и устойчивости.

Когда встречаются скальные породы повышенной крепости и применение проходческих комбайнов становится невозможным или нецелесообразным, туннели проходятся буровзрывными работами (рис. 2.137 цв. вкл.). При этом важное значение для будущей устойчивости стен и свода туннеля, для установки крепи, а также для стоимости проведения и поддержания туннеля имеет качество этих работ. На рис. 2.138 (цв. вкл.) и 2.139 (цв. вкл.) показаны примеры проходки туннелей буровзрывными работами с различным их качеством.

Еще одна технология заключается в бурении скважин по наиболее твердым включениям и заполнение этих скважин расширяющимися химическими компонентами, разрывающими скалу на фрагменты.

В слабых породах, особенно там, где для производства земляных работ возможно использование экскаваторов, например, в штатах Орегон и Вашингтон предпочитают открытый (траншейный) способ проходки туннелей.

Подземные хранилища обеспечивают идеальные условия для выдержки вина: постоянная прохладная температура, высокая влажность, малая освещенность, отсутствие вибраций. Строительство такого хранилища редко обходится дороже, чем поверхностной структуры, обеспечивая вместе с тем экономию энергии на обогрев или охлаждение. При этом поверхность земли остается свободной для размещения виноградника, что экономически выгодно и эстетически зрелищно. Шум, связанный с какими-либо мероприятиями, проводимыми в подземных помещениях, не достигает поверхности земли, сохраняя

достигает поверхности земли, сохраняя непо потревоженными пасторальные ландшафты.

б) Хранение золота и ценностей

Хранилище золотого запаса Форт-Нокс (Fort Knox), Луисвилл, штат Кентукки является самым большим в США. Его строительство было завершено в конце 1936 г., а уже в 1938 г. в нем хранилось 13000 т золота (рис. 2.140 цв. вкл.). Внутренние размеры хранилища составляют 37х32 м, над землей оно выступает на высоту 13 м. Внутри подземной части имеется два этажа из стали и бетона, разделенные на несколько помещений. Вес входной двери равен 20 т. Никому не доверена полная комбинация входного пароля. Разные члены персонала должны набрать отдельную часть комбинации, известную только им. Между коридором, окружающим собственно хранилище, и наружной стеной расположены офисы и вспомогательные помещения.

Снаружи хранилище является неприступной крепостью. Оно окружено несколькими рядами колючей проволоки, по которой пропущен электрический ток высокого напряжения. Новейшая секретная техника фиксирует все возможные типы излучения и направляет самонаводящееся оружие на цель. Отдельные помещения хранилища могут заполняться водой или ядовитым газом.

Золото хранится в виде слитков, размерами чуть меньше обычного кирпича – 17,78х9,20х4,45 см весом 12,44 кг.

Подвал Федерального резервного банка, расположенный на глубине 24 м под поверхностью Нижнего Манхэттена в Нью-Йорке, является одним из наиболее исключительных складов мира. Штабеля золотых слитков, почти все принадлежащие иностранным правительствам или международным организациям, составляют четвертую часть всех мировых запасов золота. Хотя отгрузка и прием золота в склад иногда происходит, все же основные трансфертные

операции заключаются в перемещении бесценных кирпичей из одной комнаты в другую, когда собственники слитков покупают их, продают или одалживают.

Подвал был построен в 1924 г. как первый шаг создания Федерального резервного банка (рис. 2.141 цв. вкл.). Вход в железобетонное сооружение возможен только через лифт с ограниченным доступом, дистанционно управляемый оператором из отдельно охраняемого помещения. Между лифтом и оператором установлена труднопреодолимая дверь специальной конструкции. Блокируя доступ к главному коридору подвала, здесь расположен горизонтально стальной цилиндр диаметром 3 м, видимый через проем в стене. Когда несколько человек одновременно приводят в действие комбинацию замков, служащий способен контрольным штурвалом повернуть цилиндр на 90° , в результате чего он устанавливается своей поверхностью вровень со стеной проема, становясь частью общего прохода. Вес этого цилиндра – 90 т.

Внутри подвала находятся 125 комнат разных размеров, разделенных на отсеки. В наибольшем из них можно разместить штабель размером $3 \times 3 \times 3,5$ м из золотых слитков (рис. 2.142 цв. вкл.). Общий вес золота в складе – 9000 т, хотя в прошлом он достигал 13000 т. Понятно, что такой вес могут выдержать только полы подземного сооружения.

в) Хранение документации и информационных материалов

Хранилище Гранит Маунтейн Рекорд Волт (Granite Mountain Record Vault), расположенный в 32 км юго-восточнее Солт-Лейк Сити (Salt Lake City), штат Юта (рис. 2.143 цв. вкл.) является собранием генеалогической и исторической документации о народонаселении земли, основанном мормонами в 1938 г. и переведенным в микрофильмы.

Хранилище представляет собой сводчатую структуру, расположенную в гранитной скале (рис. 2.144) и достигаю-

щую длины около 200 м. Построенное в 1958-1963 гг., оно состоит из двух главных отделений. Секции офисов и лабораторий расположены под 90-метровой толщей гранита и производят прием документов, их обработку и микрофильмирование. Далее в глубине горы под более, чем 200-метровой толщей, расположены 6 камер, каждая длиной около 60 м, шириной 8 м и высотой 8 м (рис. 2.145). Камеры имеют один главный и два боковых входа. Специально сконструированные двери весом 14 т для главного входа и по 9 т для боковых могут противостоять ядерному взрыву. В камерах поддерживаются постоянные температура и влажность, оптимальные для хранения документов.

Каждая камера содержит ряды стальных сейфов высотой по 3,5 м. В феврале 1991 г. примерно 1,7 млн. микрофильмов форматом 16 мм и 35 мм были уложены в 2 из 6 камер. Коллекция увеличивается на 40 тыс. микрофильмов в год. Сейчас изучаются альтернативные средства хранения информации, такие как лазерные диски с большими, чем микрофильмы возможностями хранения.



Рис. 2.144 Фрагмент порталов хранилища Гранит Маунтейн Рекорд Волт



Рис. 2.145 Хранение генеалогической документации

Генеалогическая информация собирается в церквях, библиотеках, правительственных учреждениях и содержит преимущественно регистрационные данные о рождениях, смертях и браках, завещания, данные переписей населения и другие документы, которые могут быть использованы,

чтобы установить личность человека. В будущем эта информация понадобится, чтобы разработать наследственные линии родства, выяснить семейные связи, построить генеалогическое древо каждой семьи.

Хранилище Перпечуал Сторидж (Perpetual Storage) ценных документов, золота и серебра, сокровищ искусства (рис. 2.146 цв. вкл.) расположено в гранитных горах каньона Литл Коттон (Little Cotton), штат Юта, США.

Специально тренированные службы безопасности вооружены особым оружием (рис. 2.147 цв. вкл.), а склоны прилегающих гор оснащены чувствительными датчиками, реагирующими на движение и прикосновение.

Хранилище расположено в монолитном граните (рис. 2.148-2.150), состоящем на 85% из кварца и полевого шпата. Предполагается, что гранитные массы в виде магмы вторглись в этот район 26 млн. лет назад. Массив гранита ведет себя, как единый монолит и может пострадать только при сильном землетрясении.

Вход в хранилище расположен на 80 м выше уровня реки в ущелье, что обеспечивает безопасность от наводнений и дождевых потоков.

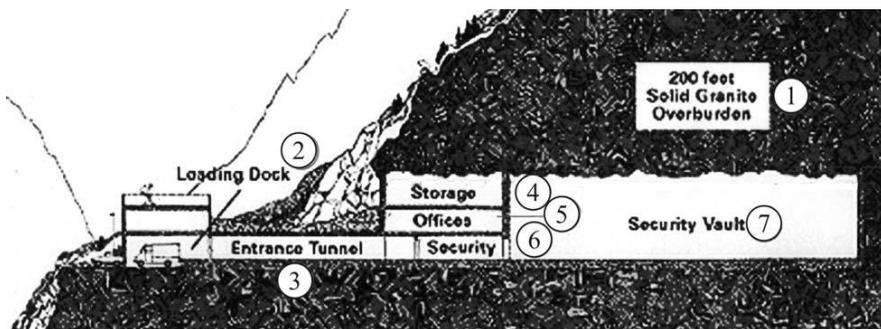


Рис. 2.148 Разрез по хранилищу Перпечуал Сторидж

1 – гранитная скала мощностью более 60 м над хранилищем; 2 – погрузка-разгрузка материалов; 3 – вход в туннель; 4 – помещение склада; 5 – офисы; 6 – пункт охраны; 7 – помещение хранилища ценных материалов

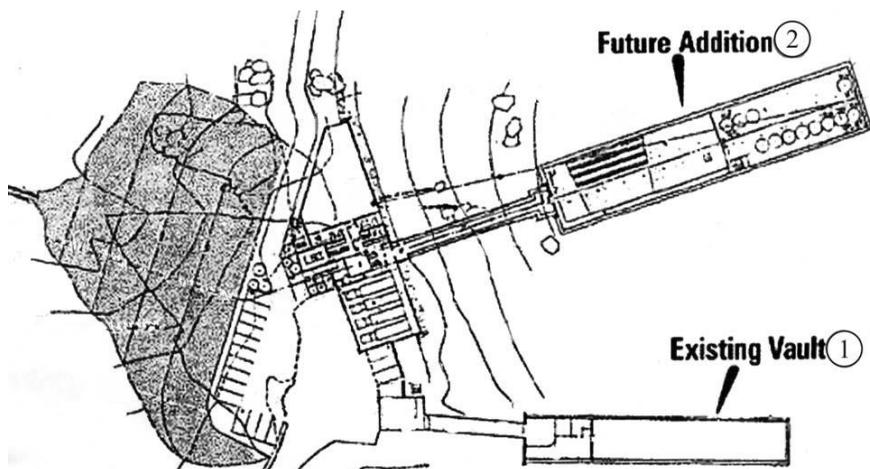


Рис. 2.149 План хранилища Перпечуал Сторидж
1 – существующее хранилище; 2 – перспективное хранилище

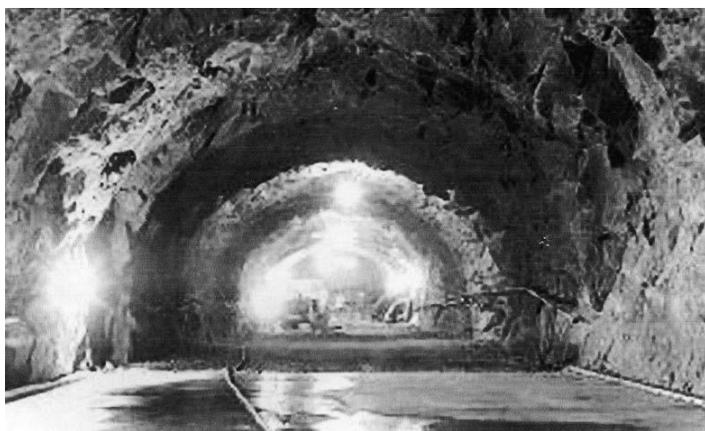


Рис. 2.150 Проходка полости хранилища

В Хатчинсоне (Hutchinson), штат Канзас один из крупнейших складов мира располагается в старой соляной шахте (рис. 2.151 цв. вкл.). Здесь создан архив старых фильмов, микрофильмированной печатной продукции, рентгеновских снимков госпиталей, коллекции монет (рис. 2.152 цв. вкл., 2.153 цв. вкл.). В течение 50 лет здесь добывалась соль, после чего осталось 48 км сухих выработок. Месторождение соли длиной 160 км, шириной 64 км и мощностью около

100 м достаточно, чтобы снабжать солью всю страну в течение четверти миллиона лет.

Перечисленные выше объекты хранения содержатся здесь на глубине 200 м от поверхности на площади 11 га при постоянной температуре 20⁰С и влажности 45%.

Норвежский национальный архив с 1978 г. расположен под землей в скальной полости шириной 16 м, высотой 15 м и длиной 85 м. Предусмотрено расширение архива, которое до 2025 г. будет выполняться в 4 стадии. Первая дополнительная полость была завершена в 1998 г. Архивы здесь размещаются в четырехэтажном бетонном строении с общей площадью пола почти 6000 м². Полость, параллельная существующей имеет ширину 16 м, высоту 15 м и длину 100 м, включая вспомогательные помещения (рис. 2.154).

Полости расположены в холме с небольшой мощностью покрывающих пород. Защита полости от грунтовых вод осуществляется рифленным алюминиевым листом в ее арочной кровле.

Взрывные работы при строительстве проводились особенно тщательно, чтобы не повредить существующей полости, которая отделялась от новой породным целиком шириной всего 10 м (рис. 2.155 цв. вкл.). Новая полость сооружалась в два этапа. Вначале взрывные работы велись в верхней части высотой 7,5 м, затем в нижней такой же высоты. Временное крепление выполнялось анкерной крепью. Окончательно полость крепилась железобетонной крепью.

Бетонная структура внутри полости состоит из колонн, установленных вдоль стен полости на расстоянии 5,6 м друг от друга. На колонны опираются главные балки каждого уровня, несущие вспомогательные балки и бетонные полы. Технологические процессы проходческих работ показаны на рис. 2.156 (цв. вкл.), 2.157 (цв. вкл.).

Перед новой полостью имеется площадка для разгрузки прибывающих материалов и разворота грузовиков. Отсюда материалы транспортируются лифтами к этажам хранения,

каждый из которых связан с соответствующим этажом существующего хранилища.



Рис. 2.154 Норвежский национальный архив

а) план существующей и новой полостей; б) сечение новой полости

Обслуживающий комплекс расположен отдельно и состоит из электроподстанции, дизельного генератора для аварийного электроснабжения, мастерской и вентиляционного оборудования, поддерживающего температуру 20°C и относительную влажность 50% (рис. 2.158 цв. вкл.).

В Норвегии накоплен опыт проходческих работ по созданию подземных складов военного назначения, в которых хранится оборудование, топливо, амуниция. После большой работы по определению наиболее подходящих топографических и геотехнических условий такие склады сооружены в Тронделаге (Trondelag) в центральной Норвегии. Здесь

были пройдены подземные полости различной высоты (рис. 2.159) с шириной 20,5 м и общей площадью хранения 75,5 тыс. м³. Требованиями пользователей складов было поддержание уровня относительной влажности менее 50% и минимальной температуры + 5⁰С. Согласно этим требованиям, была создана вентиляционная система и предприняты меры по изоляции внутренней поверхности полостей.

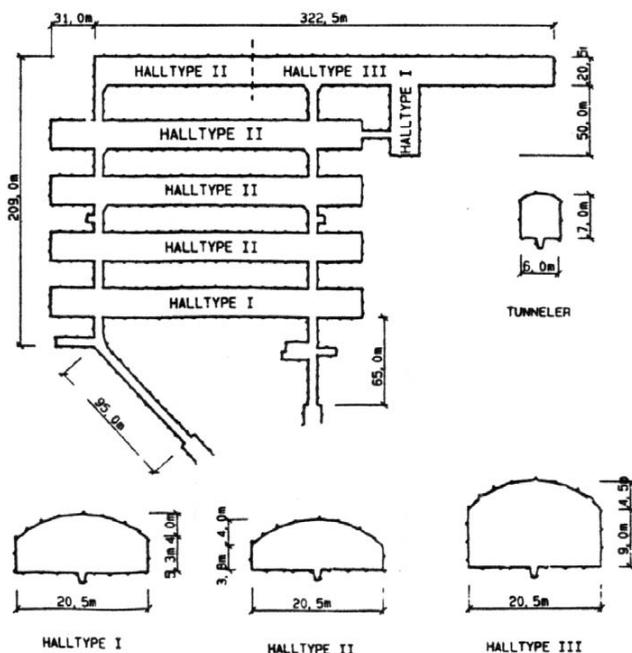


Рис. 2.159 План и сечения полостей склада военного назначения

На рис. 2.160 показаны монтажные работы в одной из полостей.

2.9

Аграрные объекты

Предпринимаются усилия использовать старые шахты для выращивания растений. Так, в заброшенной медной шахте в штате Мичиган, США выращивается генетически

измененный табак. Идея заключается в том, чтобы заставить растения производить семена, содержащие субстанцию, способную бороться с раком костного мозга.

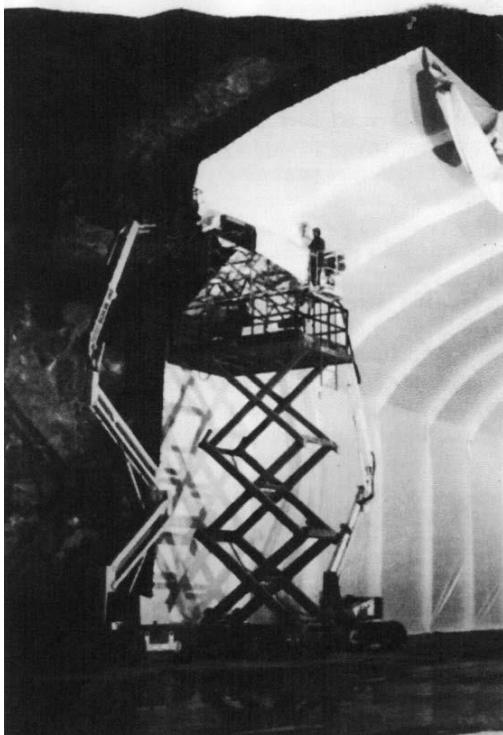


Рис. 2.160 Монтажные работы в полости

На шахте Крайтон (Creighton), Онтарио, Канада, на глубине 1400 м проращиваются семена красной сосны, которые затем высаживаются на поверхности, где имеют более высокую степень выживаемости, чем подобные растения в естественных наземных условиях. За первые 15 лет проекта было пересажено 1 млн. растений подземного выращивания.

В 1999 г. сделана попытка высаживать растения в дренажном туннеле шахты, где вода имела высокую степень загрязнения тяжелыми металлами. Такие растения, как бананы, морковь, свекла испытывались на впитывание этих

токсичных веществ. Оказалось, что растения впитали около 70% загрязнений. Исследования продолжаются.

В старых шахтах культивировались также съедобные растения. Например, базилик рос в 6-10 раз быстрее, чем на поверхности. С другой стороны, помидоры и картофель росли быстро, но не дали хорошего урожая. Одна из компаний выращивает грибы в количестве почти 12 тыс. т/год на глубине 90 м в бывшей известняковой шахте. В Италии в железорудной шахте производится дозревание сыров.

В последние годы использование пустот, образовавшихся после выемки полезных ископаемых, привлекает все большее внимание исследователей и практиков.

2.10 Объекты инфраструктуры

Подземная инфраструктура городов подробно рассмотрена в ранее изданной одноименной книге авторов (Донецк, «Норд-Пресс», 2004). В связи с этим, далее в качестве примера приводятся только объекты очистки питьевой и сточных вод, опыт сооружения которых в скальных породах имеется в Норвегии. Здесь в последние 15 лет для хранения питьевой воды вместо обычных открытых резервуаров, бетонных или металлических емкостей использовались подземные хранилища. Одним из преимуществ является более надежное предотвращение загрязнения воды и контроль ее качества. В открытых резервуарах вода подвергается воздействию солнечного света и загрязнению из воздуха. В них поступают стоки от окружающего ландшафта, как правило, они расположены в населенных районах, что также угрожает качеству питьевой воды. В подземных резервуарах обеспечивается высокая степень безопасности хранения воды, ее постоянная низкая температура, возможность дальнейшего расширения хранилища.

При решении инженерных вопросов строительства подземных резервуаров выбираются:

- место объекта с точки зрения устойчивости вмещающих пород;
- расположение продольных осей туннелей и полостей, ориентированных в соответствии с трещиноватостью и нарушенностью пород;
- конфигурация и размер комплекса, соответствующие технологическим требованиям и обеспечивающие оптимальные экономические показатели;
- форма поперечных сечений подземных структур в соответствии с геомеханическими особенностями места строительства.

Подземные резервуары питьевой воды были построены в рыболовецком хозяйстве Кристиансунд (Kristiansund), расположенном на острове, близком к северо-западному побережью Норвегии. Резервуары находятся на 80-100 м выше уровня моря. Место для них было найдено в гнейсовых породах горного массива Квернбергет (Kvernberget), где учитывалась также возможность будущего расширения. Комплекс хранения воды состоит из двух полостей размерами 11x7,5x120 м с эффективным объемом каждой 8000 м³. Расстояние между полостями – 15 м (рис. 2.161).

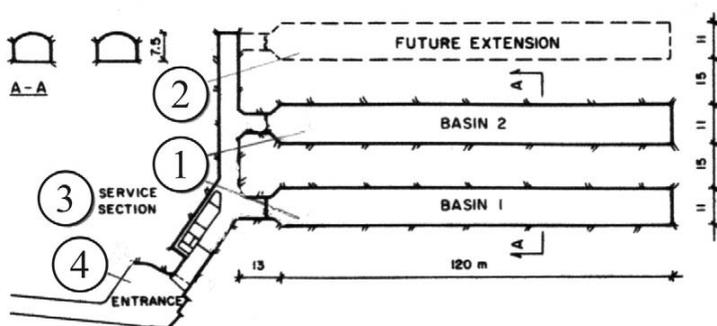


Рис. 2.161 План комплекса хранения воды в Кристиансунде
 1 – действующие резервуары; 2 – перспективный резервуар; 3 –
 служебная секция; 4 – вход

Полости частично закреплены незначительным количеством анкерных болтов, на 100 м^2 поверхности кровли применен набрызгбетон. Внутренние скальные поверхности полостей очищены, их полы выполнены из бетона. Подводящие туннели на площади 1200 м^2 также закреплены набрызг-бетоном.

При трехлетней эксплуатации резервуаров утечек воды из них не наблюдалось.

Другим примером подземного хранения воды является комплекс Стейнен (Steinan) в Трондхейме (Trondheim), Норвегия, который был сдан в эксплуатацию в 1979 г. Его емкость составляет 20 тыс. м^3 , а геологические условия гораздо сложнее, чем в описанном выше комплексе Квернбергет. Этими условиями определилась зона возможного строительства, ограниченная линиями ABCD (рис. 2.162). Распространение слабых пород очерчено линиями b-c-d. В соответствии с горно-геологическими условиями была так же определена ориентация подземных полостей, обеспечивающая наибольшую стабильность комплекса в неустойчивых породах.

Необходимая емкость водохранилища обеспечивается двумя полостями с шириной каждой 12 м, высотой 10 м и длиной 90 и 115 м. Расстояние между полостями – 10 м. Их бетонные полы наклонены к боковым траншеям, по которым вода течет к водозабору. Такая конструкция обеспечивает очистку полости.

В Норвегии под землей располагаются также очистные сооружения питьевой воды. В 1970 г. в Осло был сдан в эксплуатацию подземный комплекс очистных сооружений для снабжения питьевой водой полумиллиона человек. Общая площадь территории, снабжающей водой Осло, составляет 350 км^2 . Комплекс расположен поблизости от берега озера Маридалсваннет (Maridalsvannet) в 1 км севернее центра города на высоте 150 м над уровнем моря.

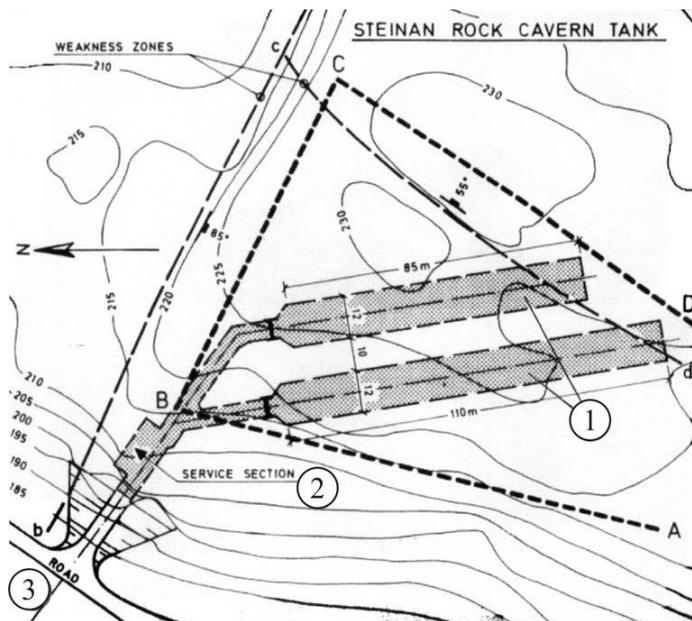


Рис. 2.162 План комплекса хранения воды Стейнен в Трондхейме

1 – резервуар; 2 – служебная секция; 3 – дорога; а – в – с – d – зона слабых пород; А – В – С – D – зона возможного строительства комплекса

На рис. 2.163 показаны план и разрез этого сооружения, состоящего из сети отстойников и туннелей. Его производительность равна $6 \text{ м}^3/\text{сек.}$, что составляет 75% общей потребности города. Время отстаивания воды в очистных сооружениях равно примерно 5 часам. Общая площадь комплекса – 30 тыс. м^2 . Его главные полости имеют ширину 13,2 м, высоту 16 м. Поперечное сечение полости равно примерно 200 м^2 , а объем породы, извлеченной при проходческих работах, составляет 400 тыс. м^3 .

Размеры и взаимное расположение полостей определились технологическими условиями. Комплекс представляет собой две параллельные цепи, способные работать независимо. После входа в очистные сооружения вода перекачивается 12 насосами с общей производительностью

ется 12 насосами с общей производительностью
а)

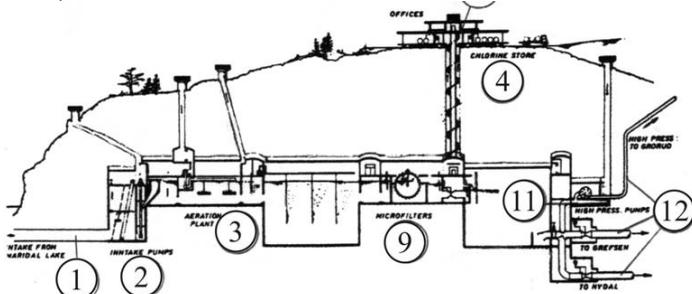
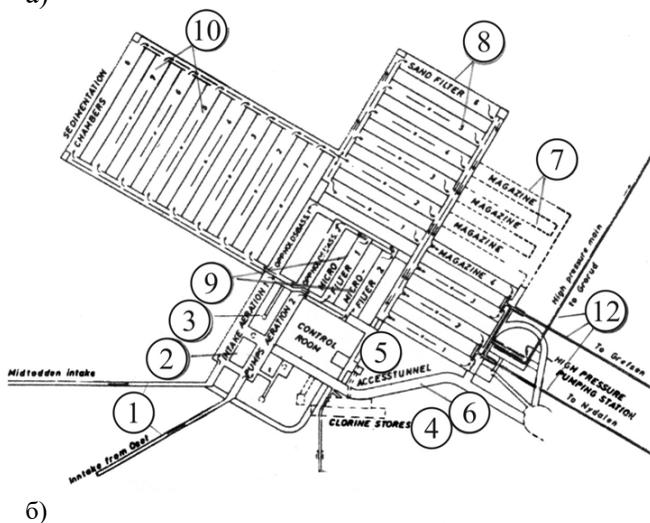


Рис. 2.163 План и разрез комплекса очистки воды на озере Маридалсванкет

а) план; б) разрез; 1 – туннели, подводящие воду к комплексу; 2 – подающие насосы; 3 – комплекс аэрации; 4 – хранилище хлора; 5 – комплекс управления; 6 – входной туннель; 7 – резервуары; 8 – песчаные фильтры; 9 – микрофильтры; 10 – отстойники; 11 – насосная станция высокого давления; 12 – подача очищенной воды; 13 – административное здание

12 м³/сек. на высоту 10 м. Вода трижды хлорируется: на входе в комплекс, на входе в отстойники и на выходе из микрофильтров. С целью очистки вода также аэрируется сжатым воздухом, фильтруется через 30 микрофильтров,

каждый длиной 4,5 м и диаметром 3 м. Затем вода направляется в отстойники общей емкостью 19 тыс. м³, после чего собирается в четырех резервуарах общей емкостью 50 тыс. м³. Имеется также место для увеличения объема принимаемой воды.

Полы и стены комплекса закреплены бетоном, что уменьшает риск загрязнения воды грунтовыми водами.

Очищенная вода доставляется к водопроводным сетям города по трем магистралям. По двум из них – так называемым гравитационным – вода движется самотеком. По третьей магистрали вода перекачивается четырьмя высоконапорными насосами производительностью около 1,3 м³/сек., обеспечивающими высоту подачи 115 м. Возможна также установка в будущем еще четырех насосов.

Перед строительством подземного очистного комплекса было проведено детальное изучение горно-геологических условий. Оно базировалось на картах, аэрофотосъемках, буровых работах, где использовалось оборудование с алмазными буровыми головками. Проходка основных полостей производилась буровзрывными работами в три стадии. Вначале проходила верхняя часть полосы высотой 8 м сечением примерно 100 м². Затем последовательно разрабатывались две нижние боковые секции высотой по 4 м, чем обеспечивались проектные размеры полости.

Туннели диаметром 3-3,5 м, соответствующие возможностям буровых машин, проводились с использованием последних. Подземные объекты крепились анкерной крепью и набрызг-бетоном.

На рис. 2.164 (цв. вкл.) показан туннель для снабжения водой Хельсинки длиной 120 км – самый длинный в мире, пройденный в скальных грунтах. Туннель проходит на глубине 30-100 м и за счет разницы высотных отметок его начала и конца обеспечивает производительность подачи воды 10 м³/сек.

Подземное расположение применяется в Норвегии также для очистных сооружений сточных вод. В 1950-60 гг. загрязнение воды в фиорде Северного моря, на берегу которого расположен Осло и куда сбрасывались городские сточные воды, было постоянно растущей проблемой. Здесь сочетается густо населенный район и узкий вход во внутреннюю часть фиорда со стороны моря, что усложняет самоочистку морской воды и ограничивает прием сточных вод. Сбрасываемые воды с высокой концентрацией фосфатных соединений ограничивали рост водорослей и тем самым создавали вторичное загрязнение.

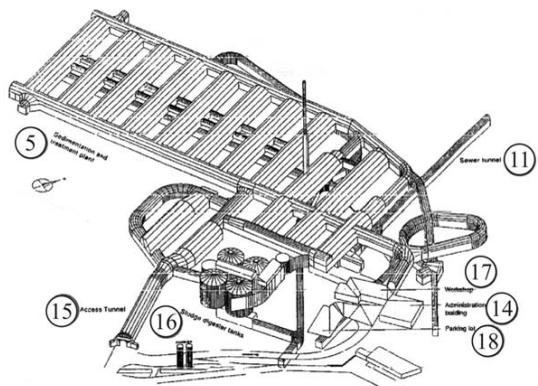
В связи с этим, в 1980-х гг. для Осло построены подземные очистные сооружения и канализационная туннельная система общей длиной 55 км (проект VEAS) (рис. 2.165).

Расположение очистных сооружений в подземной полости снимает ограничения по условиям строительства. Жители соседних районов легко соглашаются на подземное невидимое присутствие комплекса, который при этом решении может быть размещен в центре канализационной системы, исключив излишнюю транспортировку сточных вод.

При подземном размещении очистного комплекса обеспечивается постоянная окружающая температура в течение года, устраняя, в частности, проблемы хранения воды зимой в открытых емкостях, что особенно важно для северных стран. Очистные сооружения, построенные на поверхности, требуют большой территории, как для собственно комплекса очистки, так и для буферной зоны, окружающей промышленную площадку. Многие городские территории так плотно застроены, что полностью исключают возможность наземного строительства.

Описываемый комплекс очистных сооружений размещается в 30 км юго-западнее Осло в холме высотой 70 м на

a)



б)

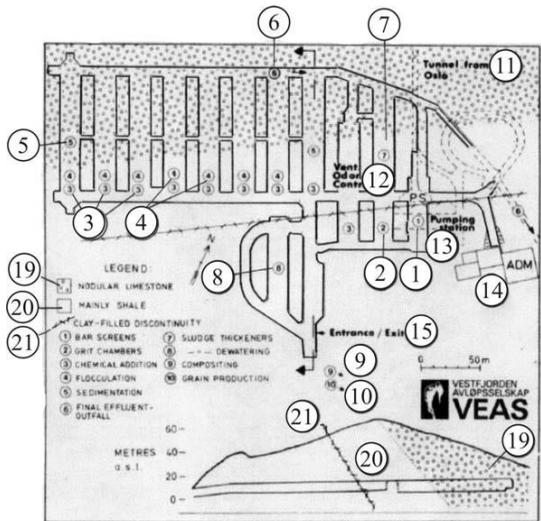


Рис. 2.165 Очистные сооружения сточных вод VEAS (Осло)
 а) изометрическая схема; б) план и разрез; 1 – экраны-фильтры крупных предметов; 2 – удаление песчано-гравийных частиц; 3 – ввод химических коагулянтов; 4 – флокулянтные емкости; 5 – отстойники; 6 – туннель сброса очищенной воды; 7 – сгущение осадков; 8 – обезвоживание осадков; 9, 10 – использование сгущенных осадков; 11 – туннель подачи сточных вод; 12 – вентиляционный комплекс; 13 – насосная станция; 14 – административный комплекс; 15 – входной туннель; 16 – хранилище осадков; 17 – мастерские; 18 – автостоянка; 19 – известняк; 20 – сланец; 21 – нарушенная зона, заполненная глиной

западной стороне фиорда в осадочных породах – известняках и глинистых сланцах на глубине, как минимум, примерно на 15 м. Комплекс принимает стоки от 315 тыс. человек, а также от коммерческих и промышленных объектов, что эквивалентно стокам от 250 тыс. чел. Комплекс использует механические, химические и биологические методы очистки и состоит из 11 параллельных полостей шириной по 16 м с сечением каждой 150-160 м² и расстоянием между ними 12 м. Имеются также соединительные, транспортные и подводящие туннели. Общий объем породы, извлеченной при строительстве 350 тыс. м³. Подземные полости закреплены анкерными болтами и набрызгбетоном. Частота установки болтов и толщина слоя набрызгбетона зависит от устойчивости пород.

Сточные воды подходят к комплексу через туннель, находящийся на 14 м ниже уровня моря, тогда как главная часть комплекса расположена на 7 м выше уровня моря. Подъем стоков осуществляется насосами с производительностью 3 м³/сек.

Вначале из стоков удаляются механические объекты, плавающие ветви деревьев, бревна и др. и осаждаемые – песок, гравий, камни и др. Далее добавляются химические коагулянты для связывания фосфорных соединений и других загрязнителей. Азотные соединения преобразуются в газ, удаляемый через вентиляционные системы. На биологической стадии микробы, питающиеся органическими составляющими сточных вод, формируют растущую биомассу, которая погружается на дно отстойников. В специальных емкостях производится соединение мелких частиц в более крупные. Коагулированные загрязнители также оседают в отстойниках. Осадки обезвоживаются в фильтр-прессах и удаляются с территории очистного комплекса. Часть из них используется в сельском хозяйстве в качестве удобрений.

Источником энергии для отопления подземных и поверхностных сооружений комплекса служит тепло сточных вод.

Одно из самых крупных в мире подземных структур – это очистные сооружения сточных вод Виикинмяки (Viikinmäki), Хельсинки, Финляндия. Кроме обычных достоинств подземного строительства, расположение такого комплекса под землей и парковой зоны над ним дало возможность уменьшить шумы и выделение вредных газов и причинить минимальный вред населению и окружающей среде (рис. 2.166).

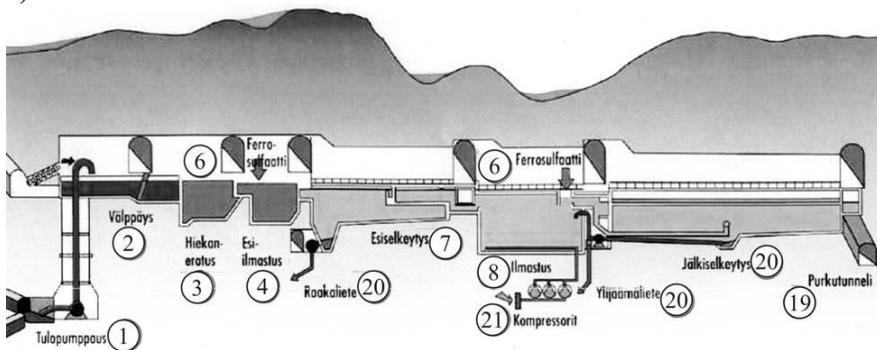
Подземный комплекс объемом 1 млн. м³ был завершен в 1994 г., он обслуживает население 750 тыс. чел. и состоит из примерно 1800 км трубопроводов, более чем 110 перекачивающих насосов, 60 км туннелей и площади 18 га для складирования сгущенных осадков. Технологический процесс, как в предыдущем случае, состоит из трех стадий очистки – механической, химической и биологической.

Очищенная вода сбрасывается в открытое море через подводный туннель на расстоянии 8 км от побережья. Эффективность очистки вод от соединений фосфора и органических веществ составляет около 95%, от азотных соединений – около 50%.

Подземные сооружения комплекса расположены в крепких гранитах и слюдястых гнейсах. Ширина подземных полостей составляет 17-19 м и они разделены породными целиками шириной 10-12 м. Для крепления были использованы 55 тыс. анкерных болтов диаметром 25 мм и длиной, как правило 4 м, площадь 199 тыс. м² закреплена набрызг-бетоном. Предусмотрены специальные меры для уменьшения утечек воды.

Отопление комплекса и частичное снабжение его электроэнергией производится за счет преобразования органических масс в горючий газ.

a)



b)

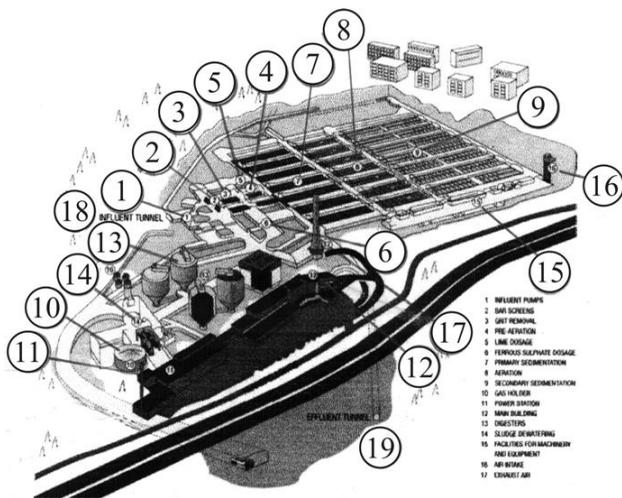


Рис. 2.166 Технологическая и изометрическая схемы очистных сооружений сточных вод комплекса Виикинмяки

а) технологическая схема; б) изометрическая схема; 1 – приточные насосы; 2 – экраны-фильтры крупных предметов; 3 – удаление песчано-гравийных частиц; 4 – предварительная аэрация; 5 – дозирование извести; 6 – дозирование сульфатов железа; 7 – предварительные отстойники; 8 – аэрация; 9 – вторичные отстойники; 10 – газохранилище; 11 – электростанция; 12 – главное строение; 13 – автоклавы; 14 – обезвоживание осадков; 15 – склад оборудования; 16 – подача свежего воздуха; 17 – вывод исходящего воздуха; 18 – туннель подачи сточных вод; 19 – туннель сброса очищенной воды; 20 – удаление осадков; 21 – компрессоры

На рис. 2.167 показаны стадии проходки подземной полости большого размера для размещения очистного оборудования, а также схемы применения набрызг-бетона, штанговой и тросовой анкерной крепи для подобных полостей.

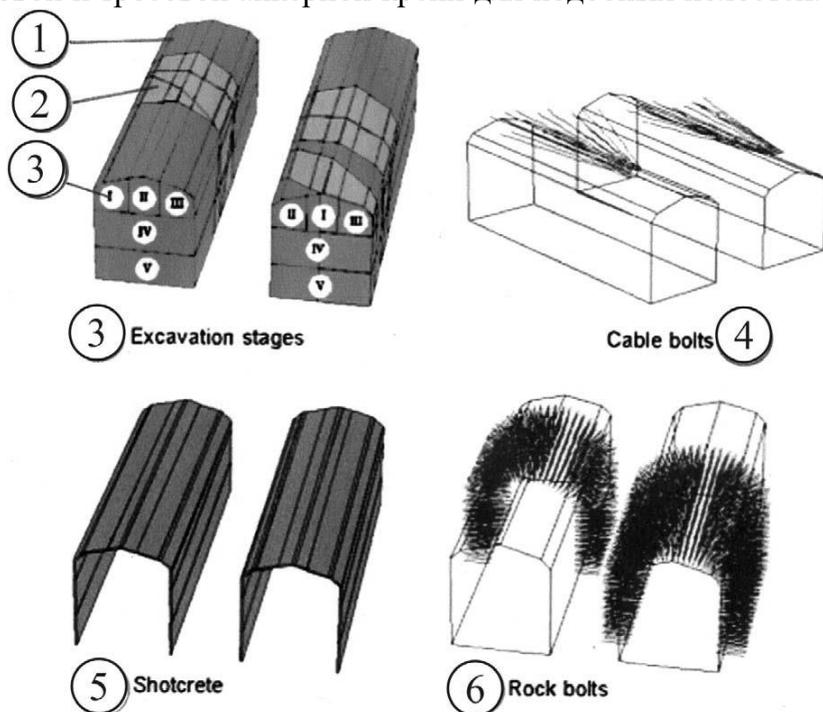


Рис. 2.167 Стадии проходки и виды крепи полостей очистных сооружений комплекса Виикинмяки

1 – зоны устойчивых пород; 2 – зоны неустойчивых пород; 3 – стадии проходческих работ; 4 – тросовая анкерная крепь; 5 – набрызг-бетон; 6 – штанговая анкерная крепь

На рис. 2.168 (цв. вкл.) показаны машинные залы подземных очистных сооружений, на рис. 2.169 – отстойники комплекса Виикинмяки.

Еще одно применение подземных структур предложено в Японии. Здесь окрестности мегаполиса Токио, находящегося в бассейне нескольких малых и средних рек, в сезоны дождей подвергаются опасности наводнения. Расширение

русла рек или повышение их набережных практически не осуществимо, поскольку городские районы вдоль этих рек плотно застроены (рис. 2.170 цв. вкл.). Поэтому правительство Токио решило построить подземные реки под двумя городскими транспортными кольцами, чтобы защититься от дождей с величиной осадков до 75 мм/час, которые происходят здесь раз в 15 лет. Одна из таких подземных рек должна быть построена с внутренним диаметром туннеля 10-12,5 м длиной 30 км. Целью проекта является собрать приток воды из четырех речных систем и десяти рек и перекачать его насосной станцией в Токийский залив.

В настоящее время участок туннеля длиной 4,5 км, который был особенно необходим, как амортизирующий пруд, построен на глубине 34-43 м, имея емкость 540000 м³. Он защищает окрестности от осадков, превышающих 50 мм/час (рис. 2.171 а, цв. вкл.). Туннель с наружным диаметром 13,7 м (внутренним – 12,5 м) проходилась буровой машиной

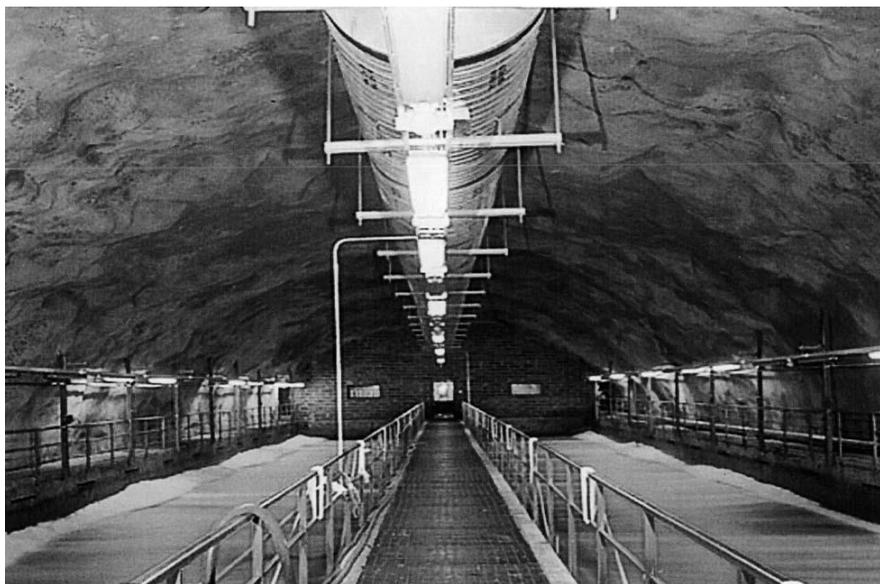


Рис. 2.169 Отстойники комплекса Виикинмяки

общим весом 2800 т и длиной 11,8 м, для спуска которой на глубину 60,1 м была пройдена цилиндрическая вертикальная шахта диаметром 28,1 м с толщиной железобетонной крепи 1,2 м. Машина для спуска была разобрана на 120 частей и затем собрана в начале маршрута. Через эту же шахту вертикальным ленточным конвейером выдавалась порода от проходки и спускались люди, материалы и оборудование (рис. 2.171 б, цв. вкл.).

Шахта сооружалась в водоносных песках, достигающих глубины 108 м. Для предотвращения поступления воды забой производилось химическое инъецирование в дно шахты. На отдельных участках применялось замораживание водоносного песка.

Для выбора оптимальных параметров комплекса были проведены гидравлические эксперименты. На специальных моделях решались вопросы уменьшения шума и вибраций, возникающих при падении воды с высоты 50 м в приемную шахту и воздействующих на окружающую городскую застройку. Чтобы защитить ее от шума на период проходческих работ, строительная площадка была окружена звуко- непроницаемой оградой высотой 14 м. Были также приняты все необходимые меры для ускорения работ.

Принятые решения позволяют принять поток воды равный $50 \text{ м}^3/\text{сек}$. После того, как угроза затопления миновала, принятый туннелем объем воды перекачивается обратно в реку с производительностью $50 \text{ м}^3/\text{мин}$. Предусмотрена подготовка комплекса к следующему наводнению в пределах трех дней.

ГЛАВА 3. ВОЕННЫЕ СТРУКТУРЫ

3.1 Общие сведения

Вооруженные силы с ранних времен оценили преимущества подземного сооружения своих объектов. Такое их расположение в настоящее время широко применяется для:

- пусковых комплексов межконтинентальных баллистических ракет;
- других военных объектов;
- центров управления и штабов;
- укрытий для населения.

Сооружение ракетных пусковых комплексов во времена холодной войны потребовало больших усилий и затрат. В 1958-67 гг. в США было построено 1200 комплексов со стоимостью примерно 18 млн. долларов каждый. После снятия с вооружения ракет Атлас (Atlas), Титан (Titan), Минитмен (Minuteman) встал вопрос об использовании гигантских пусковых сооружений для других целей. Некоторые из них были засыпаны грунтом и закрыты, остальные проданы для использования в качестве хранилищ документов или музеев, летних детских лагерей и производства фейерверков. Один из ракетных силосов в Канзасе был использован для размещения дополнительных школьных помещений – классных комнат, библиотеки, спортивного зала.

В те же годы холодной войны в США были построены 100 секретных подземных объектов управления. В случае атаки военные и гражданские лидеры могли бы продолжить работу и отражать нападения из этих безопасных укрытий. С уменьшением военной угрозы в 1990-х гг. некоторые из этих объектов были преобразованы для мирного использования, а иные – даже открыты для публичных посещений. Однако, основные такие укрытия продолжали функционировать, и обоснованность этого показала атака на мировой

торговый центр и Пентагон 11 сентября 2001 г. Сразу после этого удара правительственные лидеры были укрыты в подобных подземных штабах, включая бункер под Белым Домом. На рис. 3.1 приведено расположение подземных военных объектов на территории США.



Рис. 3.1 Расположение подземных военных объектов на территории США

Аббревиатура названий штатов:

AZ – Аризона; CA – Калифорния; CO – Колорадо; GA – Джорджия; IN – Индиана; KS – Канзас; MO – Миссури; MT – Монтана; NM – Нью-Мексико; OH – Огайо; OR – Орегон; PA – Пенсильвания; NV – Невада; NY – Нью-Йорк; TX – Техас; VA – Вирджиния; UT – Юта; WA – Вашингтон; WV – Западная Вирджиния; WY – Вайоминг

3.2 Пусковые комплексы ракет

На рис. 3.2 показан вид с воздуха пускового ракетного комплекса. Далее приводятся некоторые характерные примеры таких комплексов.

Комплекс Титан-1 был развернут в конфигурации 3x3, при которой подразделение из 9 ракет разделяется на три

пусковых структуры (рис. 3.3 цв. вкл.). В 1956 г. военно-воздушные силы США решили, что подобные комплексы должны базироваться в усиленных подземных силосах. Испытания показали, что эти пусковые сооружения должны противостоять давлению 172-690 кПа.



Рис. 3.2 Наземные объекты пускового комплекса межконтинентальной баллистической ракеты

Их строительство началось в 1959 г. в штате Колорадо. В комплекс, кроме ракет, входили радары и компьютеры наземного базирования. Подземная часть комплекса представляла из себя миниатюрный город, оборудованный собственными установками энерго- и водоснабжения. Все его подземные части были связаны подземными туннелями. Три ракетных установки имели глубину около 50 м и диаметр более 13 м с бетонными стенами толщиной 0,6-0,9 м. Стальная рама внутри ствола вмещала в себя как ракету (рис. 3.4 цв. вкл.), так и лифт, который поднимал ее на поверхность. Единственной частью силоса, выдававшей ее

присутствие, были две горизонтальные двери, весящие каждая 125 т.

Хранилища топлива и помещения оборудования располагались на глубине 5-7 м. На расстоянии 100-150 м были построены помещения контроля и энергоснабжения, закрытые железобетонными куполами и заглубленные на 3-5 м. В помещении контроля высотой 12 м и диаметром более 3 м размещалось все оборудование запуска. В помещении энергоснабжения высотой 18 м и диаметром около 40 м размещались генераторы и распределительно-доставочная система. Цилиндрический входной портал глубиной 22 м и диаметром около 12 м контролировал доступ к подземному комплексу. Две наводящих радарных системы, располагались примерно в 400 м от ближайшей пусковой шахты. Все строения комплекса соединялись туннелем общей длиной около 800 м диаметром 27 м на глубине 12 м.

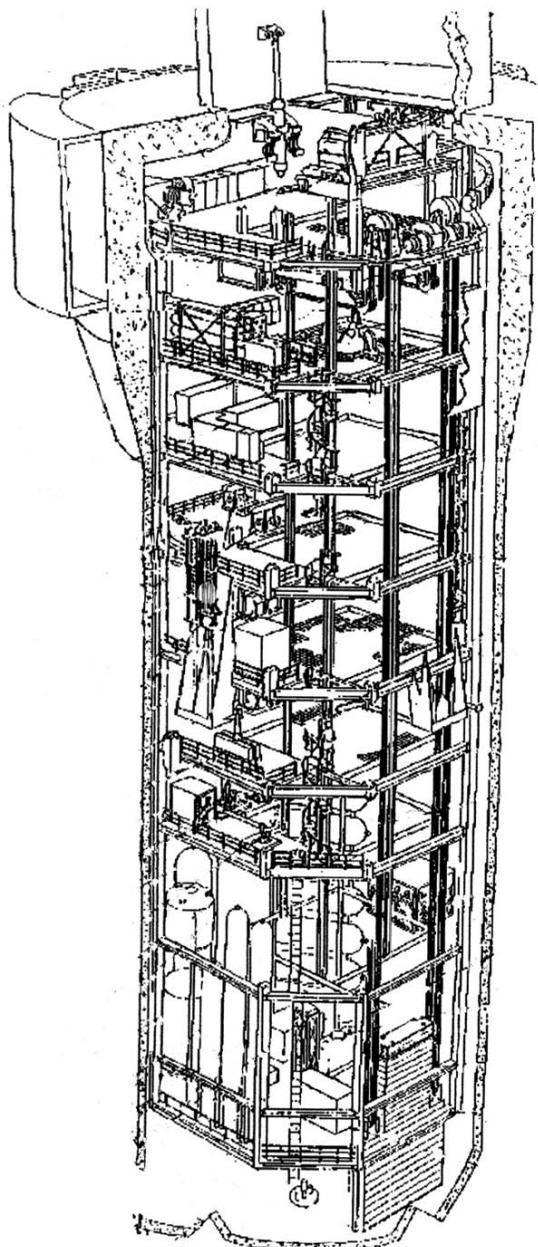
В отличие от ракет Титан-I, комплекс Титан-II был развернут в конфигурации 1x9, при которой каждое подразделение из 9 ракет было разделено на 9 самостоятельных пусковых объектов с расстоянием друг от друга не менее 11 км. Всего было развернуто 6 таких подразделений.

На поверхности комплекс Титан-II занимал площадь 180x180 м. Все его составные части размещались под землей. Пусковая шахта имела глубину 45 м, диаметр 17 м и была закреплена железобетоном. В ней находилось 9 уровней расстановки оборудования. Шахта покрывалась металобетонной дверью, которая весила 740 т и могла быть открыта за 17-20 секунд.

С центром управления пусковая шахта связывалась туннелем длиной 76 м, в котором устанавливалась пара противозрывных дверей весом каждая около 2,7 т, способных противостоять ядерному взрыву на поверхности или взрыву ракеты внутри пусковой шахты.

Центр управления представлял из себя куполообразную железобетонную структуру диаметром 11,2 м, содержащую

3 этажа, полы которых подвешивались к потолкам, чтобы минимизировать воздействие взрывного удара. Здесь размещались оборудование управления и помещения для команды из 4 человек.



команды из 4 человек.

Комплексы Атлас-Ф являются другим примером размещения ракетного объекта в подземном пространстве. Силосная шахта для этой ракеты имеет диаметр около 16 м и глубину 54 м и оборудована 9-этажной стальной структурой, подвешенной на гигантских пружинах, предназначенных сгладить толчок прямого атомного удара (рис.3.5-3.7 цв. вкл., 3.8-3.11). Подземный комплекс сопровождается наземными вспомогательными сооружениями.

Рис. 3.8
Изометрическая
схема конструкции
пусковой шахты

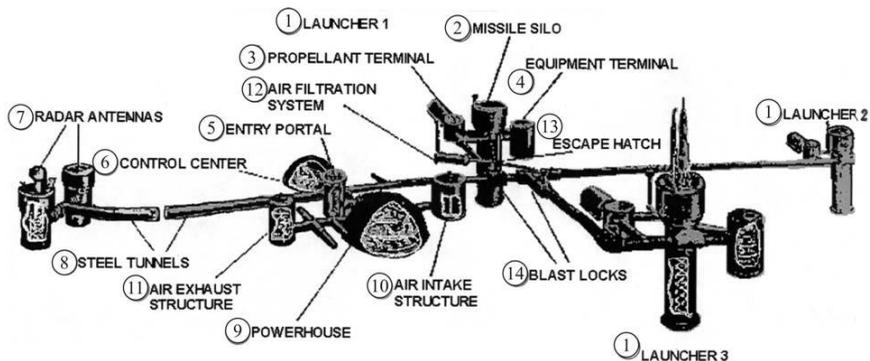


Рис. 3.9 Изометрическая схема пусковых комплексов Титан-1
 1 – пусковой комплекс; 2 – ракетный силос; 3 – хранилище топлива; 4 – склад оборудования; 5 – входной портал; 6 – контрольный центр; 7 – радарные антенны; 8 – туннель, закрепленный стальной оболочкой; 9 – электростанция; 10 – вход свежего воздуха; 11 – вывод исходящего воздуха; 12 – система фильтрации воздуха; 13 – аварийный люк; 14 – взрывоустойчивые двери

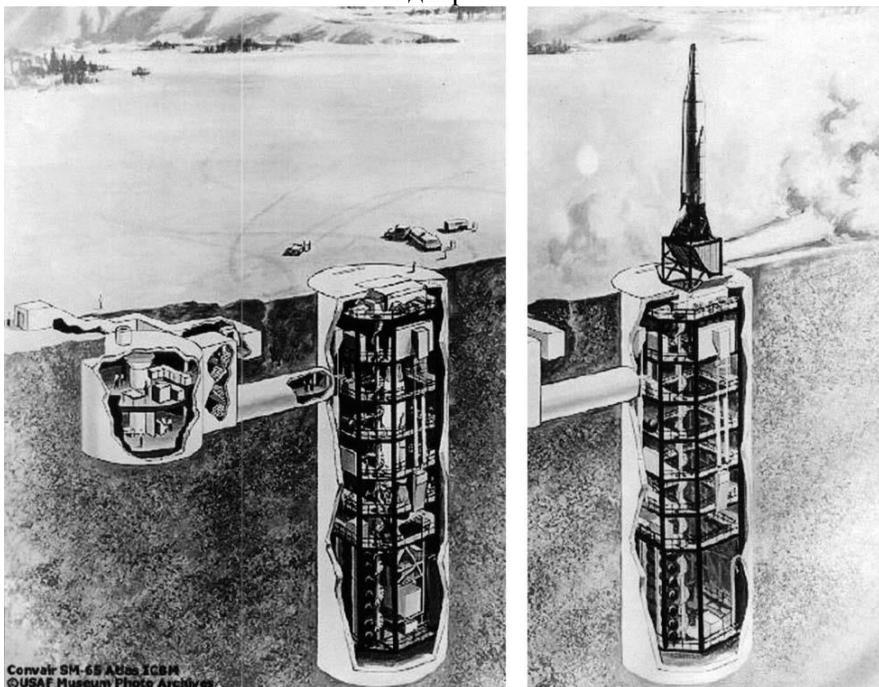


Рис. 3.10 Расположение ракеты в пусковом комплексе Атлас



Рис. 3.11 Туннель пускового комплекса Атлас

На рис. 3.12 показано строительство пусковой шахты комплекса Атлас, а на рис. 3.13 – установка цилиндра постоянной крепи в шахту комплекса Минитмен. Высота цилиндра – 18,9 м. Его металл затем заливается бетоном, формируя наружную поверхность стены шахты.

В Эбайлине (Abilene), Техас расположен наибольший силос для ракеты Атлас-Ф, имеющий глубину 55 м и диаметр 18,3 м (рис. 3.14). Ко времени его продажи частным лицам, он пустовал уже около 20 лет. В стволе оборудован бассейн для ныряльщиков глубиной около 40 м с поддерживаемой температурой воды 30⁰С. Поскольку грунтовая вода просачивается через бетонные стены ствола, она имеет хрустальную чистоту.

На рис. 3.15 (цв. вкл.) показана схема установки под землей орудия береговой артиллерии калибра 120 мм в

Норвегии. Здесь же имеется опыт подземного размещения радарной станции.



3.12 Сооружение пусковой шахты Атлас

а)



б)



Рис. 3.13 Установка цилиндра постоянной крепи в пусковую шахту комплекса Минитмен

а) подготовка к спуску цилиндра; б) завершение спуска

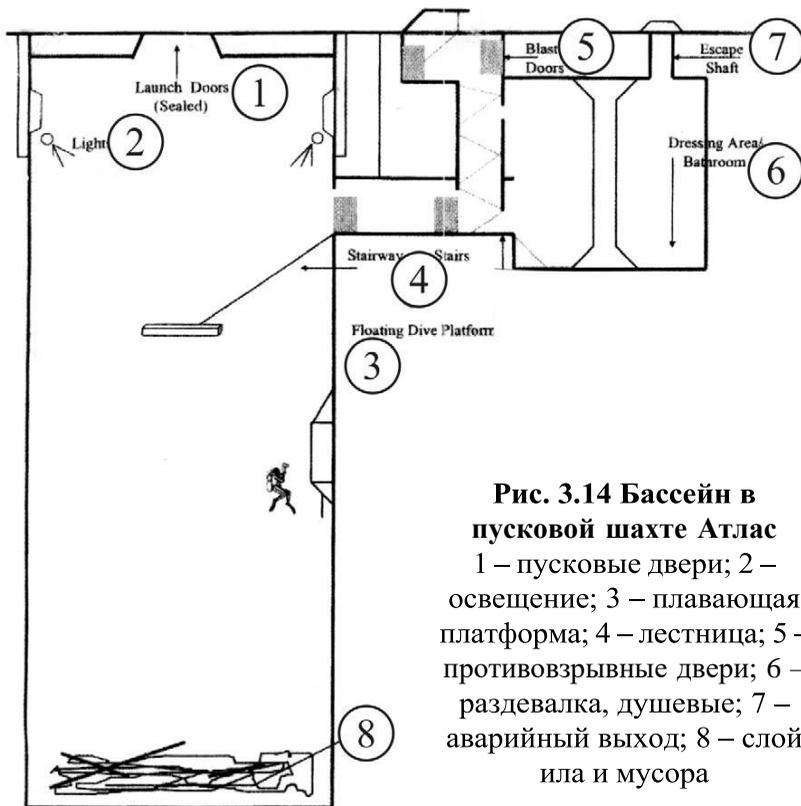


Рис. 3.14 Бассейн в пусковой шахте Атлас
 1 – пусковые двери; 2 – освещение; 3 – плавающая платформа; 4 – лестница; 5 – противовзрывные двери; 6 – раздевалка, душевые; 7 – аварийный выход; 8 – слой ила и мусора

3.3 Штабные и управленческие комплексы

Как правило, штабные и управленческие комплексы, расположены в горах и защищены их толщей.

Сайт-Р Равен Рок (Site-R Raven Rock) – альтернативный объединенный коммуникационный центр расположен в массиве Равен Рок на границе между штатами Пенсильвания и Мериленд. Здесь размещаются различные службы сил быстрого реагирования армии, авиации и флота США, работающие 24 часа в сутки, 7 дней в неделю и обеспечивающие функционирование 38 коммуникационных систем. При необходимости в критических ситуациях здесь размещается руководство страны. Так в 2001 г. сразу после террористи-

ческого акта против Мирового Торгового Центра и Пентагона в этом центре находился вице-президент США Р. Чейни.

Впервые концепция такого центра была заявлена в 1948 г. Было решено, что он должен быть расположен в защищенном месте достаточно близко к столице страны Вашингтону. Комплекс был назван Альтернативным объединенным коммуникационным центром (Alternate Joint Communications Center - AJCC). Его строительство началось в 1951 г. и завершилось в 1953 г. (рис. 3.16 цв. вкл.).

Центр включает различные подземные структуры для командного персонала, его обеспечения энергией, топливом и водой, туннели и шахты доступа к комплексу с поверхности.

Комплекс состоит из пяти подземных сооружений высотой по 3 этажа, наполненных компьютерным и другим оборудованием (рис. 3.17 цв. вкл., 3.18 цв. вкл.).

Другой подземный комплекс управления – Маунт Ве- дер Специал Фасилити (Mount Weather Special Facility) – национальный координационный центр – расположен в штате Вирджиния и служит в качестве экстренного штаба, который связан коммуникационными сетями с Белым Домом в Вашингтоне. На расположенном в горном районе участке площадью 175 га находятся 12 поверхностных сооружений, занимающих территорию около 20 тыс. м² (рис. 3.19). Территория ранее принадлежала национальному бюро погоды, которое запускало отсюда метеорологические зонды. С 1936 г. она перешла к шахтному бюро, которое в целях испытания новых горных технологий соорудило экспериментальный туннель длиной около 400 м на глубине более 90 м под поверхностью, пройденный в очень крепких гранитах. В 1954 г. началось сооружение туннелей, предназначенных для военного координационного центра. Общая стоимость работ превысила 1 млрд. долларов.

Подземные сооружения были закончены строительством в 1958 г. и включают в себя госпиталь, крематорий, зоны питания и отдыха, спальные зоны, резервуары питьевой охлаждающей воды, очистные сооружения, аварийный генератор энергии, радио и телевизионные студии. В серии боковых туннелей размещены 20 офисных строений, некоторые из которых имеют высоту 3 этажа. В одном из туннелей расположен компьютерный комплекс. Очистные сооружения производительностью 340 м³/сут. и две поверхностные емкости для воды по 950 м³ обеспечивают жизнедеятельность 200 человек в течение 30 дней. Спальные места рассчитаны на 2000 чел.



Рис. 3.19 Спутниковая фотография района расположения комплекса Маунт-Ведер

1 – Маунт Ведер Спешел Фасилити; 2 – Западный портал; 3 – Восточный портал; 4 – площадка вертолета президента

Устойчивость горных пород в полостях и туннелях обеспечивается 21 тысячей анкерных болтов длиной 2,4-3,0 м. Вход в подземный комплекс защищен металлической взрывоустойчивой дверью весом 34 т, площадью 20 м², толщиной 1,5 м, которая требует 10-15 мин., чтобы ее открыть и закрыть.

Поскольку из центра может осуществляться управление страной, высшие официальные лица разделены на 3 команды, одна из которых в случае необходимости остается в Вашингтоне, вторая перемещается в описываемый Центр Маунт Ведер, а третья рассеивается в другие места.

В горах Шайен Маунтэйн (Cheyenne Mountain), штат Колорадо расположен комплекс НОРАД (NORAD – North American Aerospace Defense Command) – команда защиты Американского воздушного пространства. Комплекс предназначен для раннего обнаружения нарушений границ США и Канады, он идентифицирует и прослеживает свыше 8300 искусственных объектов, проводит сбор разведывательных данных, обрабатывает и анализирует их, проводит метеорологические наблюдения. От 400 до 1500 человек военного и гражданского персонала могут быть размещены в пещерах, созданных в скалистой горе (рис. 3.20). Их работа заключается в выявлении воздушных угроз, они также отслеживают действующие спутники и их обломки от предыдущих запусков. Комплекс управляется пятью командами по 40 человек, сменяющих друг друга каждую восьмичасовую смену.

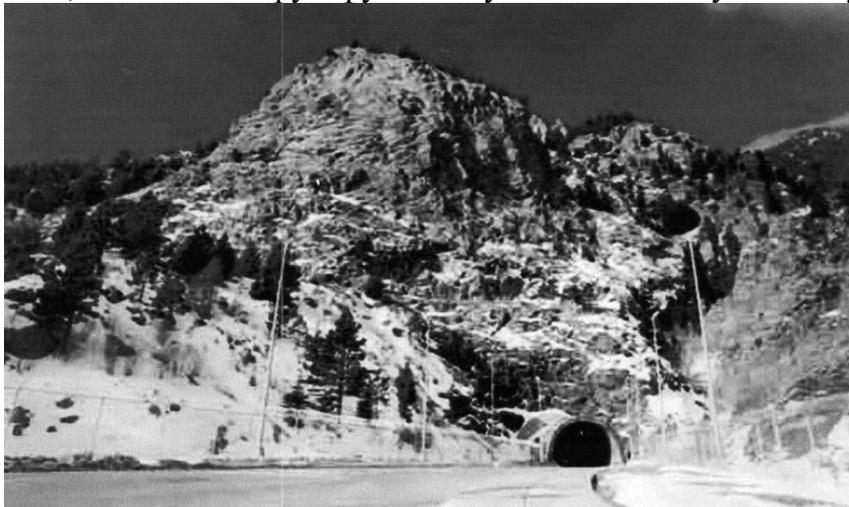


Рис. 3.20 Портал входного туннеля комплекса Шайен Маунтейн

Строительство комплекса началось в 1961 г. и закончилось пятью годами позднее. Было использовано около 700 т динамита, чтобы отделить от скалы 700000 т розового гранита. Окончательное оборудование комплекса было закончено в 1994 г. и обошлось почти в 2 млрд. долларов.

Была создана сеть туннелей общей длиной 4,8 км. Три камеры длиной по 180 м, шириной 13,7 м и высотой 18,2 м (рис. 3.21 цв. вкл.) пересечены четырьмя туннелями шириной 9,8 м, высотой 17 м и длиной 102 м. Доступ к комплексу обеспечивается через туннель шириной 8,8 м, высотой 6,9 м, длиной 533 м, который закрывается защищенной от взрывов дверью толщиной 1 м весом 25 т, которая требует 45 сек. для ее открытия и закрытия (рис. 3.22 цв. вкл.).

Устойчивость горных пород обеспечивается 115 тысячами анкерных болтов длиной 2-10 м, которые, скрепляя горные породы, образуют внутреннюю оболочку структуры. С целью защиты от возможных землетрясений и ядерных взрывов строения внутри комплекса смонтированы на 1319 огромных пружинах, высотой 1,2 м и диаметром 50,8 см, каждая из которых сформирована в спираль из стержня диаметром 6,3 см, весом 0,45 т, способная поддерживать груз 29,5 т (рис. 3.23 цв. вкл.). Вместе эти пружины позволяют строению колебаться в горизонтальном направлении на 30 см. Внутри комплекса сооружены 15 таких строений, из которых 12 имеют высоту 3 этажа, другие 1 или 2 этажа.

Эти строения не соединены с породными стенами или кровлей полостей, в которых они расположены, а их наружная оболочка выполнена из низкоуглеродных стальных плит, поддерживаемых стальными структурными рамами и служит для поглощения электромагнитных импульсов.

Комплекс защищен тремя взрывоустойчивыми дверями. Две главных двери весят по 25 т, сконструированы из стали толщиной 0,9 м и могут автоматически закрыться за 30 сек. или вручную за 5 минут (двумя людьми). Входы и выходы воздуха, воды и сбросов закрыты взрывозащищен-

ными клапанами. Через 40 сек. после воздействия на сенсорные датчики клапаны направляют входящий воздух через химические-биологические-радиационные фильтры.

Комплекс имеет четыре водных резервуара общей емкостью 23 тыс. м³, три из которых предназначены для технического, один – для питьевого водоснабжения. Основное электроснабжение предусмотрено от сетей города Колорадо-Спрингс (Colorado Springs). Имеется независимый источник электроэнергии – дизельный генератор, мощностью 1750 кВт. Первичное снабжение водой осуществляется из естественного ручья. Комплекс обеспечен помещениями питания, медицинскими и стоматологическими кабинетами, парикмахерской, небольшим магазином, часовой и двумя спортивными залами с оборудованием и саунами.

Между 1969 и 1992 гг. в горах Маунт Пона (MountPony), Вирджиния, США (рис. 3.24 цв. вкл.) был построен прямоугольный в плане подземный бункер. Его нижний этаж имеет длину 140 м и ширину 43 м. Два верхних этажа последовательно сооружаются в соответствии с пологим уклоном холма, в котором бункер расположен. Стены бункера укреплены железобетоном толщиной 30 см, крышу структуры покрывает слой почвы толщиной 0,6-1,2 м. В аварийных ситуациях окна, выходящие на склон холма, могут быть закрыты свинцовыми ставнями.

В период холодной войны в бункере был расположен федеральный центр коммуникаций и записей. В помещении площадью 950 м² размещались 7 больших компьютеров, служивших центральным пунктом межбанковских операций. На самом нижнем уровне структуры расположено помещение площадью 2180 м² высотой 3,5 м, которое использовалось для хранения записей банковских транзакций и запаса наличных денег 1-2 млрд. долларов, который мог быть использован для поддержки национальной экономики при возможной ядерной атаке.

После окончания холодной войны в 1997 г. Библиотека конгресса США приобрела этот бункер для хранения в условиях искусственного климата огромной коллекции, состоящей из более чем 150 тысяч кинофильмов, 85 тысяч телевизионных шоу и 2,5 миллионов радиозаписей.

Под одним из крыльев отеля Гринбрир (Greenbrir Hotel) (рис. 3.25 цв. вкл.) курорта Вайт Сульфур Спрингс (White Sulphur Springs), Западная Вирджиния, США, размещен единственный подземный федеральный центр высшей секретности, который открыт для публики – бункер Конгресса США, построенный между 1959 и 1962 гг. В отличие от бункеров, рассмотренных выше, встроенных в горный массив, он был построен как часть исторического пятизвездного отеля. Доступ к бункеру возможен изнутри отеля или через туннель длиной 140 м, покрытый грунтом толщиной 8-30 м. Подземные помещения размещены на двух этажах в 153 комнатах общей площадью 10,5 тыс. м² и предназначены для совместных заседаний Конгресса в случае ядерной войны. В состав помещений также входят:

- 18 общежитий по 60 мест, которые могут принять 1080 обитателей в одну из трех 8-часовых спальных смен;
- кафетерий на 400 мест;
- полностью оборудованный госпиталь, включающий операционную, стоматологический кабинет и лабораторию;
- телестудия;
- зона отдыха с оборудованием для спортивных упражнений и настольными играми;
- библиотека на 3000 томов.

Подземное укрытие является продолжением известного отеля на 750 номеров, но хорошо замаскированные входы не позволяют непосвященным их обнаружить, а тем более войти в секретное помещение.

Уязвимым местом в период создания подземных штабных комплексов являлась используемая существующая телефонная связь, которая, например, в Великобритании проходила через центры больших городов – наиболее вероятные цели ядерных ударов. Поэтому были построены полузаглубленные и подземные (до глубины 30 м) станции, позволившие военным телефонным сетям обойти такие большие города, как Лондон, Бирмингем или Ливерпуль (рис. 3.26 цв. вкл.).

3.4 Укрытия гражданского населения

Одной из основных задач на случай военного нападения является укрытие от него гражданского населения. При этом правительство пытается укрыть максимально возможное количество людей, хотя это связано с весьма большими расходами. Последние могут быть уменьшены двойным использованием структур. Так, во время первой половины холодной войны США предполагали использовать в качестве укрытий прочные безоконные подвалы школьных и административных зданий. Скандинавские страны сконцентрировали усилия на строительстве различных сооружений общественного назначения, таких, как спортивные и концертные залы, общественные центры, которые могли быть также использованы, как укрытия. В конце 20-го века около 75% населения Норвегии могли в них разместиться в случае ядерной угрозы. Китай с 1960-х годов создавал подземные укрытия, сеть которых, например, в Пекине позволяла обеспечить безопасность около 2,5 млн. человек. Многие из этих систем состоят из длинных узких туннелей, обеспечивающих уход людей из города.

Подземные или заглубленные сооружения, созданные для укрытия людей, могут быть разделены на три основных типа:

- примыкающие к существующим объектам, например, туннелям метро и частично их использующие;
- расположенные в подвальных помещениях наземных зданий различного назначения;
- сооружаемые, как отдельные объекты.

Первые два типа рассчитаны обычно на большое количество людей, а их глубина определяется расположением сооружений, частью которых эти укрытия являются. Конструкция укрытий третьего типа определяется количеством людей, которые они могут принять.

В отдельно стоящем подземном сооружении, напоминающем обычную горную выработку, может разместиться количество людей, сопоставимое с укрытиями первых двух типов. В последние годы широкое распространение получили индивидуальные укрытия, позволяющие разместить всего одну или несколько семей.

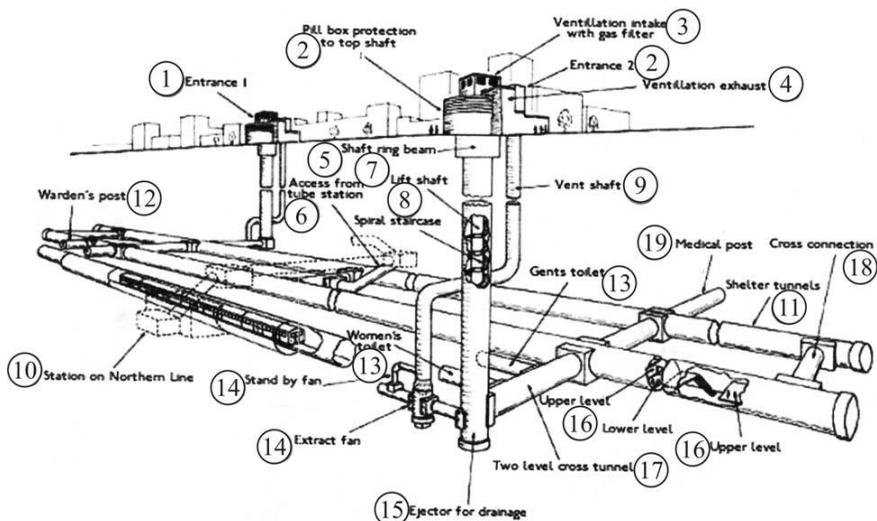
Сооружение укрытия может осуществляться либо подземным способом, т.е. с использованием технологии шахтного строительства, либо открытым – с использованием экскаваторов, расположенных на поверхности. Выбор способа определяется глубиной расположения строящегося объекта.

Общим требованием, предъявляемым к укрытиям, является их способность противостоять терроризму, военным действиям или промышленным катастрофам. С этой целью укрытия должны оборудоваться взрывоустойчивыми и газонепроницаемыми дверями. Высокие противозрывные требования предъявляются также к воздушным клапанам и фильтрам, обеспечивающим радиационную, биологическую и химическую очистку поступающего воздуха.

Примером укрытия первого типа может служить комплекс, примыкающий к северной линии Лондонского метро (рис. 3.27).

Укрытие состоит из двух параллельных туннелей диаметром 4,9 м и длиной 427 м. Две пары вертикальных шахт

пройдены для каждого туннеля – одна из пары для спиральной лестницы и лифта, вторая – меньшего диаметра – для вентиляции. Туннели укрытия соединены друг с другом вдоль всей длины в различных местах.



3.27 Комплекс подземного укрытия, примыкающего к северной линии Лондонского метро

1 – входы в укрытие; 2 – защита верхней части лифтовой шахты; 3 – подача свежего воздуха через газовый фильтр; 4 – выброс исходящего воздуха; 5 – опорный венец шахты; 6 – вход станции метро; 7 – лифтовая шахта; 8 – спиральная лестница;

9 – вентиляционная шахта; 10 – башня метро; 11 – туннели укрытия; 12 – пост охраны; 13 – туалеты; 14 – вентиляторные установки; 15 – дренажная насосная станция; 16 – уровни комплекса; 17 – поперечный туннель; 18 – поперечное соединение; 19 – медицинский пункт

В укрытии имеется вентиляционное и медицинское оборудование, а также комплекс приготовления пищи. Электроснабжение осуществляется от двух независимых источников: основного – от системы метро, аварийного – от собственной дизельной электростанции.

Лестницы для повышения пропускной способности состоят из двух спиралей.

Санузлы размещены возле лифтовых шахт, по которым стоки откачиваются на поверхность. Имеется емкость для сбора стоков под землей в течение 5 дней на случай выхода из строя насосных установок. Снабжение водой осуществляется от сетей метрополитена, в аварийных ситуациях – от баков емкостью более 11 м³, расположенных в вертикальных шахтах вблизи от поверхности.

Каждое укрытие рассчитано на 8000 человек.

Укрытия, расположенные в подвалах подземных зданий различного назначения, были широко распространены в странах бывшего Советского Союза. Они не имеют каких-либо специфических особенностей, вызывающих интерес с точки зрения строительства подземных структур и поэтому далее не рассматриваются.

Как уже говорилось, укрытия третьего типа – отдельно стоящие объекты – могут иметь конструктивные решения, позволяющие принять либо большое количество людей, либо только одну или несколько семей. Примерами первых являются крупное укрытие, показанное на рис. 3.28 (цв. вкл.) и школа Або (Abo), расположенная в Артезии, штат Нью-Мексико, США, которая была рассчитана на 540 учеников, но в качестве укрытия могла принять 2160 чел. Полностью заглубленное в землю здание было накрыто сверху бетонной плитой толщиной 0,53 м. Единственной видимой деталью являлся безоконный блок, скрывавший лестницу входа в школу.

Стены здания, не разрываемые окнами, предотвращают отвлечение внимания учащихся, создают больше пространства для наглядных пособий, устраняют необходимость мытья окон и замены разбитых стекол. Отсутствие окон позволяет обеспечить лучший температурный контроль и фильтровать внутренний воздух, уменьшая пыль и другие аллергены.

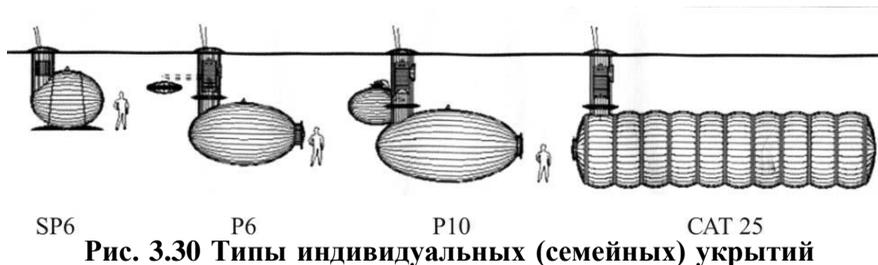
Оценки стоимости показали, что погружение здания в почву увеличивает его стоимость на 30%. Министерство обороны США для школы Або обеспечило дополнительное финансирование, понимая, что негативный психологический эффект посещения подземной школы должен быть соответственно компенсирован.

В течение работы школы проводились медицинские обследования учеников, которые показали отсутствие вредного влияния на глаза, а у переведенных в Або из других школ учеников, страдающих астмой и аллергическими проблемами, состояние улучшилось.

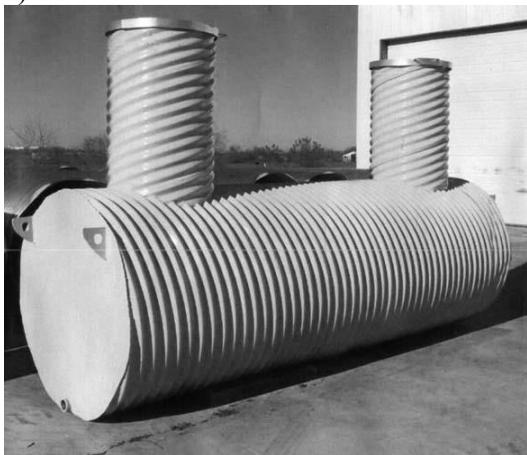
В 1995 г., однако, школа была заменена на обычную, расположенную над поверхностью (рис. 3.29 цв. вкл.). Для этого был ряд причин. За 30 лет существования школы подземное здание требовало ремонта, текущая замена оборудования за эти годы привела к необходимости раскрытия стен и покрывающей школы плиты, в соответствии с новыми нормами требовалось удалить асбест и краску, содержащую свинец, возникла необходимость строительства нового спортивного зала. Поэтому старое здание было превращено в подземный склад.

Укрытия третьего типа, рассчитанные на индивидуальное и семейное применение, вызывают особый интерес, поскольку они сконструированы так, чтобы разместиться во дворе частного дома (рис. 3.30). Они могут выполняться в монолитном бетоне или из бетонных блоков, а также из гофрированной гальванизированной стали (рис. 3.31). Структура должна иметь трехслойную водонепроницаемую мембрану, чтобы предотвратить проникновение грунтовых вод. Укрытие накрывается слоем грунта не менее 1 м. Два вентилятора – нагнетающий и всасывающий, установленные в разных концах укрытия, обеспечивают его проветривание. На случай прекращения подачи электроэнергии имеется ручной привод для нагнетания свежей струи. Изгибы

воздушных труб предотвращают попадания в укрытие дождя и обломков. Поскольку радиация, подобно свету, распространяется по прямой, эти изгибы препятствуют ее проникновению. Эта же цель достигается установкой диафрагмы в стены укрытия.



а)



б)



3.31 Вид снаружи и часть интерьера индивидуального (семейного) укрытия

а) вид укрытия снаружи; б) часть интерьера

На рис. 3.32 показаны интерьер и схема размещения семьи в индивидуальном укрытии.

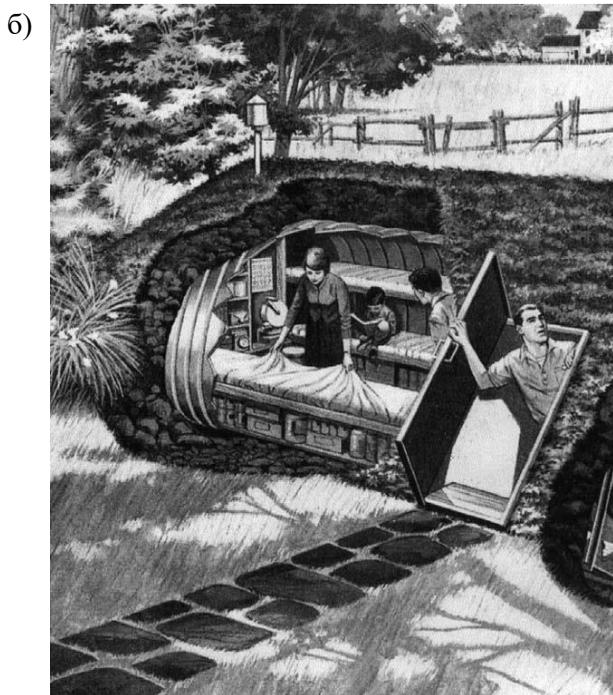


Рис. 3.32 Интерьер и схема размещения семьи в индивидуальном укрытии

а) интерьер индивидуального укрытия; б) схема размещения семьи

ГЛАВА 4. ЕСТЕСТВЕННЫЕ ПОДЗЕМНЫЕ СТРУКТУРЫ

4.1 Общие сведения

К естественным подземным структурам, используемым человеком, относятся пещеры и пористые горные породы. Хранение в последних природного газа или термальной энергии, изоляция углекислого газа подробно описаны в предыдущих разделах. Поэтому далее приводятся только примеры освоения пещер, как жилья и туристических объектов, гостиниц, мест проведения торжественных встреч и т.д.

4.2 Жилые и туристические объекты

Пещера Хоул-Эн-Рок (Hole N the Rock), штат Юта, США – одна из немногих, служащая сегодня семейным жильем, является одновременно туристическим объектом. Здесь на площади 470 м² расположен удивительный дом и магазин подарков. Внутри пещеры вокруг каменных натуральных колонн устроены 14 комнат. Кроме них, имеется камин со скважиной глубиной 20 м, используемой в качестве трубы, пробуренной сквозь твердый песчаник (рис. 4.1 цв. вкл., рис. 4.2 цв. вкл.), а также ванная комната. Снаружи вокруг скал растут кактусы, а в скалах вырезаны скамьи и столы для пикника.

Хозяин строил этот комплекс 12 лет и умер в 1957 г., а его семья продолжает здесь жить и принимать туристов.

Пещера Кокопелли (Kokopelli's Cave), Фармингтон, штат Нью-Мексико, США – это одно из старейших в Америке и наиболее живописных жилищ в скальных пещерах, сооруженных индейцами племени Анасази (Anasazi) 900-1000 лет назад. Пещера расположена на 210 м ниже вершины скалы, на 91 м выше уровня долины и служит в качестве

уникальной гостиницы, привлекающей туристов. В глубину пещеры от входа в скале ведет наклонная тропа со ступенями, вырезанными в песчанике, возраст которого 65 миллионов лет.

Пещера имеет площадь 153 м², на которой размещается жилище, оборудованное современной мебелью и домашней техникой. Скважины, пробуренные с поверхности, обеспечивают подачу энергии и воды и служат для ввода свежего и вывода отработанного воздуха. В подножии скалы имеется антисептическая емкость, куда поступают канализационные стоки.

Внутренние скальные стены закреплены тонким слоем прозрачного полиуретана, сохраняющего их первоначальную красоту. Дно пещеры покрыто деревянным полом, скрывающим трубы и электропроводку.

В состав подземного жилища входит 6 комнат. В главной из них расположена большая центральная опора, поддерживающая кровлю и создающая четкое распределение общей площади на жилую комнату, столовую, кухню, оборудованную всем необходимым, санузел, в котором живописный водопад стекает в приемную воронку.

Пещера Бекхэм Крик (Beckham Creek Cave Haven) расположена в скалах гор Озарк (Ozark), штат Арканзас, имеет площадь 511 м² и может служить местом отдыха для 10 человек (рис. 4.3 цв. вкл.). Общее количество комнат – 12, в их состав входят столовая, библиотека, кухня, игровая комната, 5 спальных комнат с туалетами, включающими биде (рис. 4.4 цв. вкл.). Все комнаты меблированы и декорированы.

Вода капает со сталактитов на расположенные соответствующим образом растения. За закрытой дверью, которая удерживает любопытных гостей от опасности заблудиться, находится лабиринт, который продолжается вглубь горы на 4 км.

Девять окон и две застекленные двери обеспечивают освещение пещеры дневным светом и обзор окрестностей. Полы пещеры очищены от ила и грязи, стены покрыты прозрачным пластиком. Для поддержания кровли установлены стальные балки. Некоторые из внутренних стен облицованы дубом, орехом, кедром.

4.3 Нежилые структуры

Любая классификационная система, в том числе и подземных структур, является условной, поскольку часто в одном и том же объекте сочетаются различные классификационные признаки и иногда трудно найти представительный объект чистого классификационного вида.

Примером этого служат, например, винные погреба. Первоначально для них использовались естественные пещеры, которые затем необходимо было расширить, перестроить, реконструировать. Таким образом, они могут быть отнесены, с одной стороны, к естественным подземным структурам, а с другой к искусственным, созданным целенаправленно.

Подобно этому, комбинацией классификационных признаков можно считать такие подземные структуры, как водоносные пористые слои горных пород, используемых для хранения природного газа или изоляции CO_2 . Поэтому, согласно предложенной классификации, эти слои могут быть отнесены соответственно к хранилищам энергетических ресурсов и к природоохранным объектам и они описаны в соответствующих разделах книги. С другой стороны, пористые слои относятся к нежилым естественным подземным структурам, используемым в промышленных целях.

ГЛАВА 5. ПОГРУЖНЫЕ ТУННЕЛИ

5.1 Общие сведения

Одной из важных задач подземной инфраструктуры является необходимость пересечения водоемов туннелями, оборудованными транспортными и другими коммуникационными линиями. Эта задача решается:

- проведением туннелей под дном водоема (реки, бухты, пролива, залива) обычными горнопроходческими методами – буровзрывным способом или буровыми туннельными машинами;
- опусканием на дно бассейна готовых туннельных секций, изготовленных заранее из стали или монолитного железобетона.

Проведение подводных туннелей обычными туннелепроходческими методами достаточно подробно описано в технической литературе, тогда как технология сооружения погружных туннелей освещена недостаточно, хотя они используются уже более 100 лет (рис. 5.1. цв. вкл.). Поэтому авторы, понимая, что этот вид подводного строительства не относится непосредственно к подземным структурам, считают целесообразным уделить ему внимание и дать краткий обзор современных технических решений.

Как уже говорилось во введении, примеры таких туннелей даны авторами в ранее изданной книге «Подземная инфраструктура городов» (Донецк, «Норд-Пресс», 2004). Здесь описаны технологические схемы строительства туннелей под реками Гарлем (I и II очередей строительства метро в Нью-Йорке) и под рекой Детройт в одноименном городе (штат Мичиган, США), где туннель сооружался из затапливаемых металлических цилиндрических секций.

В Бостоне (штат Массачусетс, США) погружные туннели использовались для пересечения Бостонской бухты и канала Форт-Пойнт. В первом случае в качестве туннель-

ных секций применялись стальные трубчатые цилиндры, во втором – монолитные железобетонные короба.

В этой же книге описаны комбинированные комплексы «мост-туннель», построенные в штате Вирджиния, США, где туннели также строились погружным методом.

Далее приводятся другие характерные примеры этого вида подводного строительства, которое может быть разделено на следующие основные этапы.

1. Вначале вдоль будущей трассы туннеля в дне водоема землечерпалками (драгами) сооружается траншея с размерами, необходимыми для укладки туннельных секций. Одновременно в искусственном бассейне (сухом доке) эти секции изготавливаются из металла или железобетона. Сухой док образуется либо земляными работами на берегу, либо отделением плотиной необходимой площади от водоема с последующим ее осушением. Концы секций закрываются перемычками и герметизируются.

2. После изготовления туннельных секций (поочередного или одновременного) бассейн (сухой док) заполняется водой и всплывшие секции транспортируются баржами или понтонами к месту погружения. Здесь герметические перемычки убираются и секции по мере затопления размещаются в приготовленной траншее. Каждая последующая секция соединяется с предыдущей, после чего вода из них выкачивается. Резиновые уплотнения между секциями давлением внешней воды прижимаются к межсекционным зазорам, обеспечивая герметизацию туннеля.

3. После установки и герметизации секций траншея заполняется насыпным материалом с боков и на кровле установленного в ней туннеля для обеспечения его фиксации и предотвращения разрыва его кровли приливными течениями.

4. Сооруженные заранее на берегах водоема порталы и заезды соединяются с туннелем наземными секциями.

В настоящее время в мире уже построено более 150 погружных туннелей, которые служат как в качестве дорожных и рельсовых магистралей, так и для прокладки различных инженерных коммуникаций. Они не могут применяться в любых ситуациях, но служат приемлемой альтернативой для туннелей, сооружаемых проходческими методами. Погружные туннели могут быть размещены непосредственно под фарватером водных путей, тогда как для обычных туннелей под дном водоема для предотвращения прорыва воды должна оставаться породная подушка мощностью не менее диаметра туннеля. Такое преимущество погружных туннелей укорачивает въезд в них с берега и делает эти въезды более пологими, что важно для всех видов туннелей, а особенно для рельсовых (рис. 5.2 цв. вкл.). Погружные туннели могут быть сооружены в таких геологических условиях, которые делают невозможным или чрезмерно дорогим строительство туннелей под уровнем дна водоема, например, в аллювиальных отложениях устьев рек. Они также могут противостоять силам и сдвигениям, возникающим при землетрясениях.

Проходка туннелей горнопроходческими методами – это последовательный процесс, в котором любая проблема создает задержку в осуществлении проекта в целом. При сооружении погружных туннелей имеют место три независимых операции – прокладка траншеи в дне водоема, строительство туннельных секций и их установка, которые могут осуществляться одновременно. Частично по этой причине погружные туннели строятся быстрее, чем аналогичные им горнопроходческие.

Поперечное сечение погружного туннеля может быть приспособлено к конкретным функциям туннеля. Глубина расположения таких туннелей обычно составляет от 5 до 30 м, хотя технология позволяет размещать их на глубине до 100 м.

Новыми заказчиками погружные туннели иногда воспринимаются как трудные по технологии строительства из-за необходимости водных и подводных работ: прокладки донной траншеи, совмещения работ с судоходством, подводного соединения секций. Предполагается также, что у таких туннелей увеличиваются протечки воды, хотя на самом деле погружные туннели намного суше, чем горнопроходческие, поскольку их элементы сооружаются на поверхности земли. Резиновые уплотнения стыков секций доказали свою эффективность на десятках погружных туннелей. Кроме того, сооружение последних сопряжено с меньшим риском, а строительные работы контролируются эффективнее.

На рис. 5.3 и 5.4-5.8 (цв. вкл.) показаны различные этапы сооружения погружных туннелей.

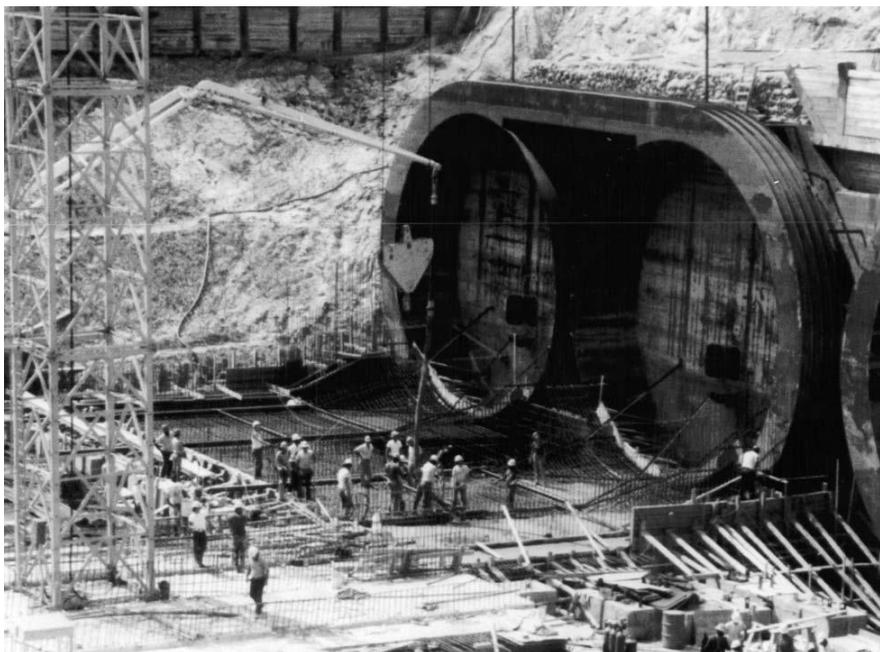


Рис. 5.3 Строительство металлической туннельной секции

Погружные туннели могут применяться:

- как единственное средство для пересечения водоема;
- в комбинации с мостами, когда по географо-геологическим и технологическим причинам погружной туннель по всей длине трассы строить нецелесообразно;
- в комбинации с туннелем, проводимым горнопроходческими методами, в частности буровыми туннелепроходческими машинами.

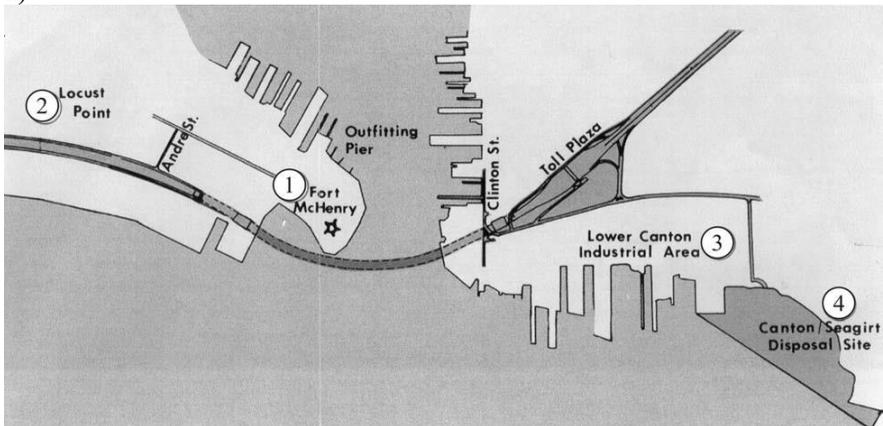
В последние годы разработаны новые направления развития погружных туннелей, которые заключаются в подвешке их секций к плавающим понтонам (если секция туннеля тяжелее воды), или в их прикреплении канатными связями ко дну водоема (если секция обладает плавучестью). Такая технология еще не осуществлена, но в Норвегии разрабатывается соответствующий проект. Плавающие туннели могут применяться при большой глубине водоема, где обычные способы либо технически трудно осуществимы, либо весьма дороги – например, в глубоких озерах, фиордах, морских заливах (рис. 5.9 цв. вкл.).

5.2 Действующие погружные туннели

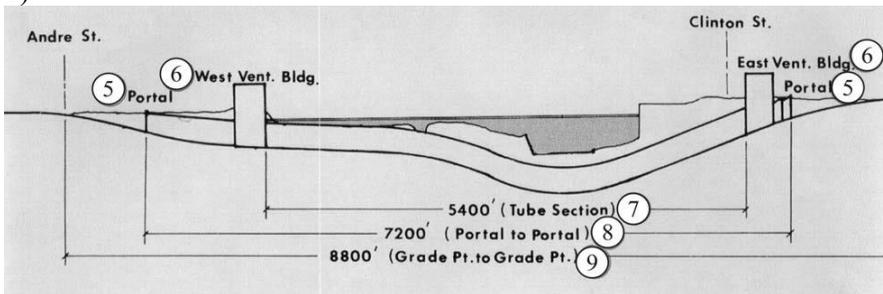
Туннель форта Макгенри (Fort McHenry Tunnel), Балтимор, штат Мэриленд, США имеет восьмизначное движение, длину 2,6 км, пропускает более 40 млн. автомобилей в год и является самым широким подводным автомобильным туннелем в мире. Он пересекает реку Патапско (Patapsco River) южнее исторического форта Макгенри и связывает районы Локаст Пойнт (Locust Point) и Кантон (Canton) штата Мэриленд (рис. 5.10, 5.11 цв. вкл.).

Строительство туннеля началось в 1980 г. с сооружения места сброса зараженного вредными отложениями природного грунта в 2,4 км юго-восточнее туннеля. Участок был

a)



b)



в)

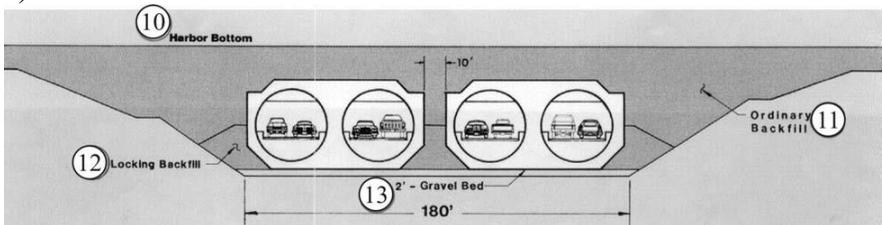


Рис. 5.10 Строительство погружного туннеля форта Макгенри
 а) план туннеля; б) продольный разрез; в) поперечное сечение туннеля; 1 – форт Макгенри; 2 – Локус Пойнт; 3 – индустриальный район Кантон; 4 – место сброса грунта; 5 – порталы; 6 – здания вентиляторов; 7 – длина погрузочного туннеля; 8 – расстояние между порталами; 9 – общее расстояние между начальной и конечной точками туннеля; 10 – дно гавани; 11 – заполнение траншеи; 12 – заполнение нижней части траншеи; 13 – гравийное основание

огражден ячеистой водонепроницаемой плотиной длиной 1,7 км, каждая из ячеек которой имела диаметр 18,9 м. Место сброса грунта было запроектировано таким образом, что в будущем оно могло быть преобразовано в морской терминал. Его площадь составила 59 га, вместительность 2,7 млн. м³ (рис. 5.12 цв. вкл.). Сюда сбрасывался грунт от экскавации траншеи под туннель, ширина которой составила 55 м в основании, а глубина местами достигала 35 м. Отсос грунта осуществлялся трубой диаметром около 70 мм, далее грунт в место сброса транспортировался по трубопроводу. В траншее размещался гравий, доставляемый баржей и создающий основание толщиной 0,6 м для секций туннеля.

Построенный комплекс состоял из двух параллельных туннелей, каждый из которых содержал две трубы на два ряда движения в каждой трубе. Главным элементом служили 32 трубные стальные сдвоенные секции по 16 для каждого туннеля, опускаемые в траншею. Туннельная секция имела ширину 25,1 м, высоту 12,7 м, длину 104,8 м (рис. 5.13) и оборудовалась временной башней, выступающей из воды при опускании секции, и служащей ориентиром при спуске других секций. Секции транспортировались морем от места изготовления на расстояние около 70 км баржами-катамаранами. Последующая секция опускалась в нескольких сантиметрах от предыдущей и подтягивалась к ней гидродомкратами, управляемыми водолазами. Глубина дна структуры составила 31,7 м.

После установки каждой пары туннельных секций и их соединения, материал, заполняющий пустоты, размещался вокруг стен и на кровле, чтобы зафиксировать секции и обеспечить их защиту.

Экскавация порталов и въездов в туннель выполнялись открытым способом. Поскольку их глубина превышала уровень грунтовых вод, производилось его временное понижение с помощью дренажных скважин. Перед началом земля-

ных работ котлованы порталов и въездов ограждались шпунтовыми стенами.



Рис. 5.13 Секции туннеля Макгенри перед транспортировкой к месту установки

В концах туннеля были построены здания вентиляторов. Их архитектурные решения учитывали близкое расположение исторических зданий форта Макгенри.

В финальной стадии строительства было смонтировано механическое, электрическое, противопожарное и насосное оборудование, освещение, телевизионные камеры для мониторинга транспортного потока, другие контрольные системы.

Стены туннеля были покрыты керамической плиткой, потолки выполнялись из панелей, заполненных белым цементом. В пространстве под потолком укладывались воздуховоды для вывода исходящего воздуха с выхлопными газами. Свежий воздух поступал по воздуховоду, проложенному под дорожным полотном.

Туннель был сдан в эксплуатацию в 1985 г., затраты на строительство составили 750 млн. долларов.

Туннель Медвей (Medway Tunnel) – первый погружной туннель, построенный в Англии, и второй – в Великобритании (первый – Конви (Conwy), Северный Уэльс), (рис.

5.14 а, цв. вкл.). Центральная стена разделяет железобетонную прямоугольную туннельную секцию на две двухрядных магистрали. Общая длина туннеля с наземными заездами составляет 1800 м, длина погружной части – 370 м. Глубина дна структуры равна 18,7 м.

Погружная часть туннеля состоит из трех секций: двух по 126 м и одной – 118 м (рис. 5.14 б, цв. вкл.).

Бассейн (сухой док) для изготовления туннельных секций, расположенный в районе восточного заезда в туннель, потребовал выемки 600 тыс. т грунта. Он имел длину 300 м, ширину 150 м и глубину 15 м. Его общий объем составил 400 тыс. м³. Во время строительства секций он поддерживался сухим с помощью шпунтовой свайной плотины и группы насосов, откачивающих из улавливающих колодцев проникающую воду.

Туннельные секции имели ширину 25,1 м, высоту 9,15 м, каждая весила 30 тыс. т. Секции изготавливались участками по 20 м, причем первым сооружался пол, затем центральная разделяющая стена, и, наконец, боковые стены и кровля. Процесс заливки бетона контролировался, чтобы избежать образования трещин и пустот во время затвердевания и обеспечить водонепроницаемость. В изготовленных секциях концы закрывались перемычками и герметизировались. Секции притапливались специальными балластными емкостями.

Для того, чтобы установить секции, в нужном месте поперек реки с западного берега были натянуты канаты. Четыре понтона были причалены вплотную к восточному берегу и затем с помощью канатов, прикрепленных к туннельным секциям, медленно стягивали их в реку.

Прикрепленные к концам секций направляющие скобы обеспечивали правильное соединение секций друг с другом при их установке в траншее. Окончательная фиксация секций в нужном месте и на нужном уровне выполнялась большими гидравлическими домкратами. Концы секций

были армированы стальными плитами, к одной из которых прикреплялось выпуклое резиновое уплотнение, прижимаемое к соседней секции. Другими уплотнениями, расположенными изнутри, перекрывались зазоры между секциями.

Когда все три секции были установлены, под них закачивался песок, чтобы сформировать постоянное основание. Траншея была заполнена и на кровле туннеля был уложен слой камня, чтобы защитить туннель от влияния проходящих судов и приливного эффекта.

Затем в туннеле были построены дорожное полотно, обслуживающий короб и аварийный проход. Для проветривания туннеля по продольной схеме под кровлей обоих порталов установлены вентиляторы.

Туннель был сооружен в 1991-95 гг., его стоимость составила 104,4 млн. евро.

Туннель Конви (Conwy Tunnel) является составной частью грузовой дороги А55 между Честером (Chester) и Бангором (Bangor), служащей главной транспортной артерией Северного Уэльса, Великобритания. С годами нагрузка на эту дорогу существенно выросла (до 34000 автомобилей в день), особенно на участках, где магистраль проходит через застроенную территорию города.

Проект улучшения дорожного движения по трассе А55 включал строительство первого в Великобритании погружного туннеля через устье реки Конви. Были рассмотрены различные варианты расположения этого туннеля и выбран один из них, описанный далее (рис. 5.15). Туннель имеет длину 1090 м и состоит из трех участков:

- восточного, пройденного открытым способом длиной 260 м;
- погруженного в реку, состоящего из 6 секций общей длиной 710 м (длина каждой секции 118 м, ее вес – 30 тыс. т);

– западного, пройденного открытым способом, длиной 120 м.

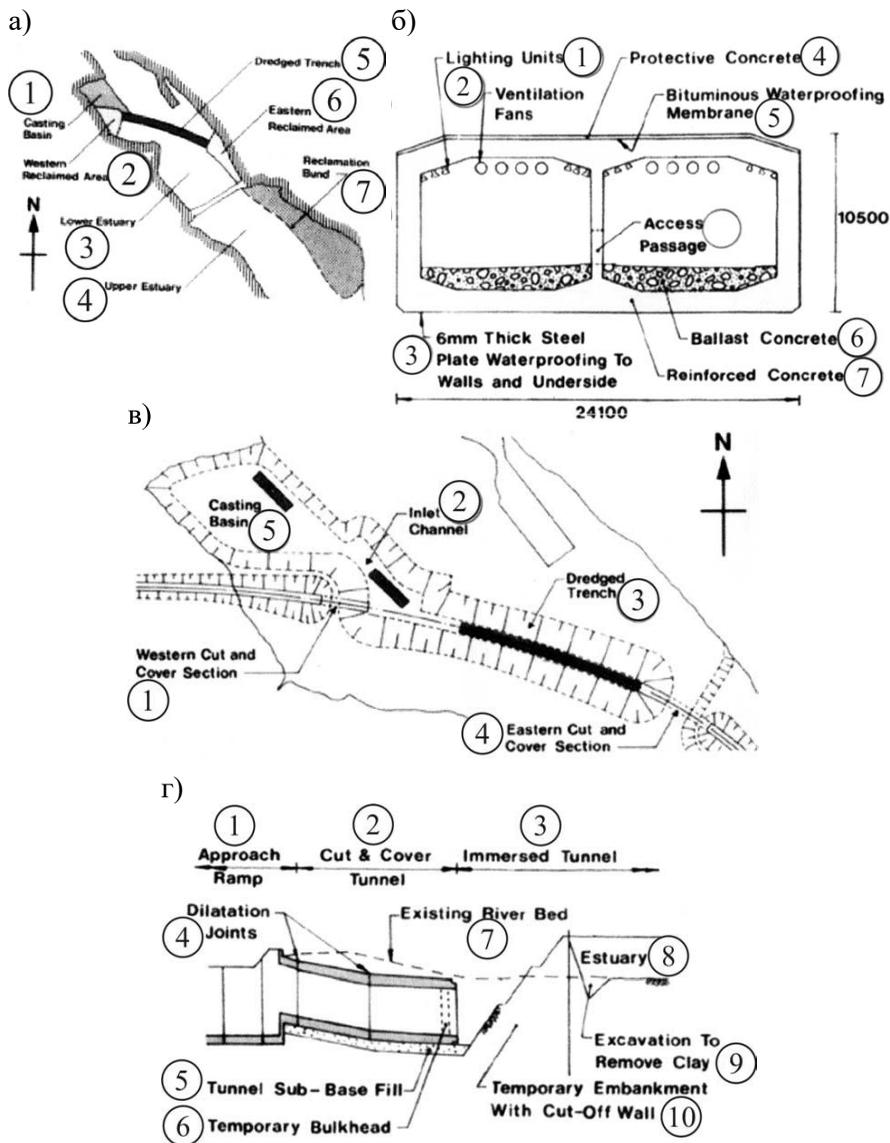


Рис. 5.15 Схема строительства туннеля Конви

а) план расположения траншеи для размещения туннельных секций; 1 – бассейн (сухой док) для строительства секции;

- 2 – западная восстанавливаемая площадь; 3 – нижнее устье реки; 4 – верхнее устье реки; 5 – траншея; 6 – восточная восстанавливаемая площадь; 7 – восстанавливающая дамба;
- б) поперечное сечение туннеля; 1 – осветительные устройства; 2 – вентилятор; 3 – стальная водонепроницаемая плита толщиной 6 мм в стенах и дне секций; 4 – защитный слой бетона; 5 – битумная мембрана; 6 – балластный бетон; 7 – железобетон;
- г) схема сооружения участков туннеля, строящихся открытым способом; 1 – въездная рампа; 2 – участок туннеля, строящийся открытым способом; 3 – погружной туннель; 4 – соединения туннельных секций; 5 – насыпное основание туннеля;
- 6 – временная перемычка; 7 – существующее русло реки; 8 – устье реки; 9 – экскавация глины; 10 – временная дамба с подпорной стенкой

Для изучения геологических условий строительства туннеля было пробурено более 400 разведочных скважин, показавших наличие песчаников в почве устья реки Конви. Местами расположены остатки ледниковых отложений – булыжников и глин мощностью более 20 м. Непосредственная почва дна устья реки сформирована из слабых аллювиальных глин, перекрытых песками и илом различной мощности.

При выборе конструктивных решений погружной части туннеля рассматривались варианты изготовления секций из железобетона или стали. После технико-экономического сравнения был выбран первый, по которому секции имели прямоугольное поперечное сечение с наружными размерами 23,7x10,7 м и состояли из двух идентичных частей с внутренними размерами 10,1x7,3 м каждая.

Стены и дно туннеля с внешней стороны были защищены от проникновения воды стальной плитой толщиной 6 мм, тогда как кровля туннеля с этой же целью была покрыта двумя слоями битума и слоем железобетона.

Изготовленные в сухом доке секции буксировались по реке понтоном к месту установки. Здесь их балластные ем-

кости заполнялись водой и секции затапливались в траншею, сооружение которой происходило одновременно со строительством секций. Глубина дна структуры равна 17 м (рис. 5.16).

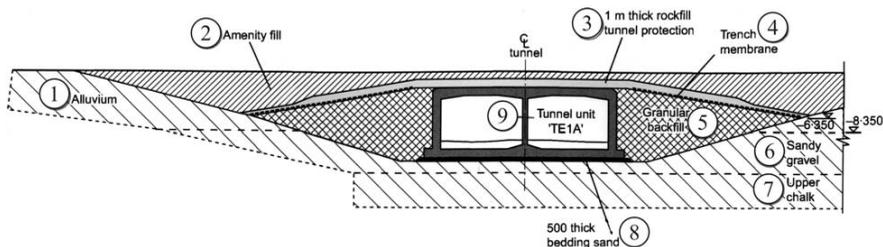


Рис. 5.16 Поперечное сечение траншеи туннеля Конви

1 – аллювий; 2 – «мягкое» заполнение; 3 – защита туннеля каменным заполнением; 4 – мембрана; 5 – гранулированный материал; 6 – песок, гравий; 7 – верхние слои меловых отложений; 8 – песчаное основание; 9 – туннельная секция

Общий объем земляных работ при строительстве туннеля составлял около 4 млн. м³, из них 2,3 млн. м³ – при подготовке траншеи.

Туннель построен в 1986-91 гг., с общей стоимостью 102 млн. фунтов стерлингов.

На рис. 5.17 показаны план и разрез одного из заездов в туннель, на рис. 5.18, 5.19 (цв. вкл.), 5.20 (цв. вкл.) показаны различные этапы изготовления секций и их установка.

Панорама строительства одного из порталов туннеля показана на рис. 5.21, общая панорама строительства – на рис. 5.22 (цв. вкл.).

Туннель Оресунд (Oresund Tunnel) между Данией и Швецией построен в регионе, окружающем пролив Оресунд, имеющем население примерно 3-5 миллионов. Ожидается, что улучшенные транспортные коммуникации между странами будут стимулировать их социальное и экономическое развитие. Дорожно-рельсовая связь между Копенгагеном в Дании и Мальмё в Швеции длиной 16 км откры-

лась в июле 2000 г. Предполагается, что число людей, пересекающих ежедневно Орезунд, увеличится примерно с 60 тысяч до 100 тысяч (рис. 5.23 цв. вкл., рис. 5.24. цв. вкл.).

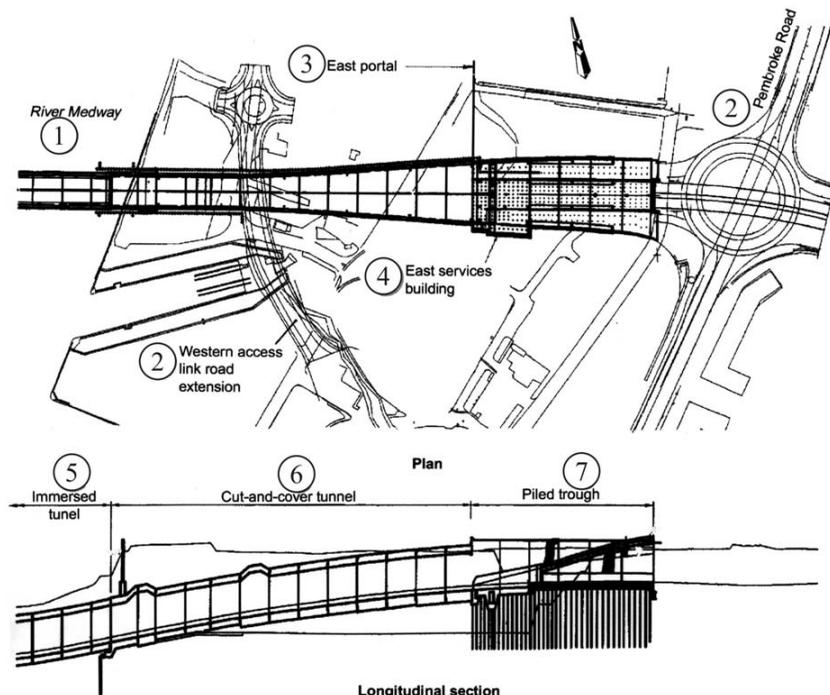


Рис. 5.17 План и разрез восточного въезда в туннель Конви
 а) план; б) продольный разрез; 1 – река Медвей; 2 – существующие дороги; 3 – восточный портал; 4 – восточное служебное здание; 5 – погружной туннель; 6 – участок туннеля, пройденный открытым способом; 7 – свайный участок

Комплекс включает в себя следующие сооружения:

- искусственный полуостров на побережье Дании;
- туннель под каналом Дродген (Drodgen);
- искусственный остров южнее острова Салтхольм (Salt-holm);
- высокий мост, пересекающий судоходный канал Флинт (Flinte);

- низкие мосты-въезды с каждой стороны высокого моста.



Рис. 5.18 Туннельная секция в частично заполненном бассейне

Принятые проектные решения были вызваны следующими соображениями.

Во-первых, два судоходных канала - прохода для судов, имеющих в проливе, должны были быть пересечены либо на большой высоте, либо туннелем. Строительство только высокого моста, хотя и менее дорогого, было неприемлемо из-за близости Копенгагенского аэропорта. Поэтому был выбран комбинированный вариант «туннель-мост» со строительством искусственного острова для их связи.



Рис. 5.21 Строительство портала и заезда туннеля Конви

Во-вторых, казалось бы очевидный выбор естественно-го острова Салтхольм для связи моста и туннеля был неосуществим из-за соображений охраны окружающей среды. На острове гнездится колония птиц, защищенная законодательством и всякое вмешательство в жизнь острова запрещено.

В третьих – транспортные системы в регионе должны строиться без изменения водной структуры пролива Оресунд. Здесь встречаются потоки менее соленой воды Балтийского моря и более соленой из пролива Каттегат (Kattegat). Как результат, любое вмешательство в сложный режим потоков может изменить физические, химические и биологические параметры состояния Балтийского моря.

Этими ограничениями определились длина туннеля, его глубина и вертикальные параметры, размеры и расположение искусственного острова и моста.

В геологическом строении места расположения туннеля участвуют (рис. 5.25 а цв. вкл.):

- морские отложения;
- отложения ледникового периода;
- Копенгагенские (Copenhagen) известняки;
- Бриозонанские (Bryozonan) известняки.

Погружной туннель и въезды в него располагаются в Копенгагенском известняке. Въезды пересекают также ледниковые отложения или материал, намытый земснарядами при создании искусственных полуострова и острова.

Рассматривались различные конструкции туннеля, в частности – единая структура, включающая в себя дорожный и рельсовый туннели или два отдельных туннеля. Последнее решение позволяло разместить туннели в разных, наиболее удобных местах, однако более подробная проработка показала, что единый бетонный туннель обеспечит наиболее экономически эффективное решение.

Поперечное сечение туннеля состоит из двух двухрядных автомобильных отделений с дополнительной обслуживающей и аварийной галереями между ними и двух однопутевых рельсовых отделений. Общая ширина туннеля – 42 м, высота 8,55 м (рис. 5.25 б цв. вкл.). Двадцать туннельных секций длиной по 176 м формируют туннель длиной 3520 м. Каждая секция разделена на 8 сегментов длиной примерно по 22 м. Вес секции – 57 тыс. т. Максимальная глубина туннеля составляет примерно 22 м ниже уровня воды, тогда как глубина навигации составит не более 10 м.

Концы бетонных секций армированы стальными рамами с резиновыми уплотнениями, которые сжимаются при установке секций, обеспечивая таким образом герметизацию стыков.

Секции туннеля изготовлялись в бассейне (рис. 5.26 цв. вкл.), расположенном в Северной Гавани Копенгагена. Здесь на западном крыле участка располагались две параллельные производственные линии, на которых арматурные решетки заполнялись бетоном, образуя сегменты туннельной секции, и здание, где эти решетки изготавливались. На восточном крыле участка строительства земляные дамбы сформировали два бассейна, мелкий и глубокий (рис. 5.27 цв. вкл.). В последнем вода могла подниматься на 10 м выше уровня моря.

Система продольных направляющих балок, поддерживаемых сваями, позволяла обеспечить наращивание сегментов до проектной длины секций, которые постепенно выталкивались в мелкий бассейн. За ними закрывались скользящие ворота, отделяющие бассейн от площадки производства железобетонных сегментов, где в это время изготавливалась следующая секция.

В готовых секциях, находящихся в мелком бассейне, закрывались и герметизировались концы, обеспечивая их плавучесть. Затем в мелкий бассейн закачивалась вода и туннельные секции перетягивались из мелкого в глубокий бассейн, отделенный от моря плавающими воротами. В дальнейшем мелкий бассейн осушался, а секции отправлялись к месту сооружения туннеля.

Особое внимание в процессе изготовления туннельных секций уделялось качеству бетона, в котором должны были отсутствовать трещины и пустоты. Другой важной заботой строителей было не допустить деформаций секций во время их перемещения по продольным направляющим балкам. Это достигалось поддержанием секций гидравлическими домкратами, способными компенсировать возможные деформации.

На рис. 5.28 (цв. вкл.) показаны изготовление и начальный этап транспортировки туннельных секций.

Для размещения секций в морском дне была сформирована траншея глубиной 12 м с гравийным слоем в основании толщиной 950 мм. Гравий закачивался с понтона. Уровень трубы, по которой подавался гравий, автоматически контролировался, что позволило обеспечить укладку гравия с точностью уровня до ± 25 мм.

Каждая секция буксировалась на расстояние 12 км от Северной Гавани к месту туннеля. Погружение секций было выполнено согласно плану с одним исключением. Во время работы с секцией 13 была повреждена одна из ее герметических перемычек, когда секция находилась на расстоянии 1,3 м от траншеи. Вода вошла в секцию и последняя затонула без контроля. Благодаря принятым мерам предосторожности, при этом никто не пострадал. Были проведены ремонтные операции, включающие установку новой перемычки, откачка воды из секции, ее детальная внутренняя инспекция с последующей установкой на нужное место в траншее.

После установки туннельных секций было произведено заполнение траншеи слоем щебня, чтобы защитить туннель от течений, а также падения и протягивания корабельных якорей в пределах навигационного фарватера. Соединение туннеля с побережьем Дании и мостом, входящим в общий комплекс строительства, производилось с помощью искусственных земляных сооружений – соответственно полуострова и острова (рис. 5.29 цв. вкл.).

Наземные въезды в туннель выполнялись открытым способом. Для связи размещенных здесь бетонных структур туннеля с окружающим известняком были установлены примерно 2300 анкеров длиной не менее 5 м, диаметром 32 мм, имеющих двойную коррозионную защиту, чтобы обеспечить срок их службы не менее 100 лет.

Вентиляция туннеля по продольной схеме осуществляется вентиляторами, установленными под кровлей секций. Была обеспечена противопожарная защита туннеля, уста-

новлены дренажные насосы, освещение, системы контроля и связи.

Вид туннеля изнутри показан на рис. 5.30. Общая панорама транспортного комплекса показана на рис. 5.31 (цв. вкл.).

б)



б)



Рис. 5.30 Вид изнутри на туннель Орезунд
а – автомобильное отделение; б – рельсовое отделение

Строительство туннеля было завершено в 1999 г., его общая стоимость составила 450 млн. евро.

Туннель Превеза-Актио (Preveza-Aktio Tunnel), Греция включает в себя участки, сооруженные открытым способом – 152 м со стороны Актио и 509 м со стороны Превеза, а также погружную часть длиной 909 м с глубиной дна 26,5 м через один из проливов Ионического моря.

Погружной туннель с внутренней шириной 10,6 м предназначен для двух рядов дорожного движения. Наружные размеры туннельной секции 12,6x8,75 м (рис. 5.32 цв. вкл.).

Участок туннеля, пройденный открытым способом (экскаваторами) со стороны Актио, первоначально использовался как бассейн для сооружения восьми туннельных секций длиной от 49,2 м до 134,5 м и весом от 10 тыс. т до 15 тыс. т. Бассейн был соединен с будущим местом установки секций каналом длиной 150 м. После изготовления туннельных секций бассейн был заполнен водой и всплывшие секции одна за другой транспортировались к месту затопления в заранее подготовленной донной траншее.

Перед сооружением траншеи в дне пролива были установлены каменные колонны диаметром 0,6 м по сетке 1,8 м, предназначенные для предотвращения сдвижения слабых пород дна под влиянием возможных землетрясений. После земляных работ в траншее был размещен сцементированный слой каменного материала, на который устанавливались туннельные секции. Герметичность их стыков достигалась резиновыми уплотнениями. Затем траншея была заполнена насыпным материалом.

Туннель был построен в 1993-2000 гг., его общая стоимость составила 82 млн. долларов.

Туннель Лифкеншок (Liefkenshoek Tunnel) построен в Антверпене (Antwerpen) Бельгия. Этот главный порт страны расположен на правом Берегу реки Шельд (Scheldt), где сосредоточены основные производства. Чтобы обеспечить пространство для будущего роста и нового промышленного развития, было решено освоить также левый берег. Здесь

были построены новые доки, после чего увеличился транспортный поток между берегами, в том числе опасных грузозов.

В городе существовали два туннеля: сооруженные под дном реки Кеннеди (Kennedy) – двухрядный автомобильный и под дном реки Ваасланд (Waasland) – шестирядный автомобильный и рельсовый. Однако, для опасных грузов использовался старый мост, расположенный более чем в 40 км от Антверпена. Поэтому требовался новый туннель, позволяющий принять подобные грузы (рис. 5.33 цв. вкл.).

Туннель был построен погружным методом, с железобетонными прямоугольными секциями, включающими два двухрядные автомобильные отделения и две (служебная и аварийная) галереи по бокам секций. Туннель оборудован также воздуховодами для свежего и исходящего воздуха. Общее количество туннельных секций – 8, длина каждой – 142 м. Общая длина погружной части туннеля – 1136 м. Общая ширина секции – 31,3 м, высота 9,6 м. Секция состоит из 6 сегментов длиной по 23,7 м.

После вывода секций из бассейна (сухого дока), где они сооружались, построенного на левом берегу реки, в плотине, ограждающей док от реки, был сделан проем и док был заполнен водой.

Туннельные секции в речной траншее устанавливались на временные бетонные опоры, пустоты между секциями и дном траншеи заполнялись песком. Для контроля процесса погружения и доступа в секции на них возводились башни высотой 30 м.

Секции устанавливались в следующем порядке: вначале пять с левого берега, затем две с правого. Последняя секция опускалась в оставленный для нее проем, имеющий зазоры по 30 см в каждую сторону. Эти зазоры были перекрыты резиновыми уплотнениями, под защитой которых туннель был завершен.

Поскольку по туннелю предусматривалось транспортировать опасные грузы, он был оснащен системой поперечной вентиляции.

В состав туннеля входят порталы и часть длиной 180 м, пройденная открытым способом. На левом берегу реки построено служебное здание.

Комплекс был сдан в эксплуатацию в 1984 г.

Различные этапы строительства туннеля Лифкеншок показаны на рис. 5.34 (цв. вкл.).

5.3 Планируемые погружные туннели

Туннель гавани Портсмут (Portsmouth Harbor Tunnel) Великобритания, призван решить транспортные проблемы региона, которые подобны многим другим городским районам. Ограниченное число транзитных маршрутов и отсутствие железнодорожных станций в одном из городов – Госпорте (Gosport) делают проблему дорожного движения для этого района еще более напряженной. Одним из ключевых путей улучшения транспортной системы, явится туннель под гаванью Портсмута.

Существует три возможных варианта строительства туннеля:

- проходка под дном гавани туннельными буровыми машинами. При слабых породах региона глубина такого туннеля должна быть достаточно большой с весьма глубокими станциями на обеих сторонах гавани и длинными порталами для въезда на уровень городских улиц;
- проходка открытым способом в пределах зоны, дренированной ограждающими плотинами, которые после окончания строительства должны быть удалены. Такое решение потребует закрытия судоходного прохода гавани на несколько лет;

- сооружение погружного туннеля с секциями, изготовленными в доке и затопленными в траншее на дне гавани. Стоимость такого туннеля будет меньше пробуренного на 25%.

После сравнения в качестве основного был принят третий вариант (рис. 5.35а цв. вкл.). Туннель под гаванью Портсмут будет иметь длину 1 км с погружной частью 670 м. Он будет состоять из 6 секций, три из которых, устанавливаемые со стороны Госпорта будут иметь длину 107 м каждая, три, устанавливаемые со стороны Портсмута – 116м. Ширина каждой секции будет равна 11,5 м, высота 7,5 м. Такие размеры позволят разместить в сечении секции два отделения с движением транспорта в каждом из них в одном направлении.

В первую очередь будут установлены три секции со стороны Госпорта. Во время их изготовления будет построен портал и подготовлена траншея в дне гавани, достаточно длинная, чтобы принять эти секции. Затем строится часть туннеля со стороны Портсмута, где устанавливаются оставшиеся три секции, связанные со своим порталом (рис. 5.35 б, цв. вкл.).

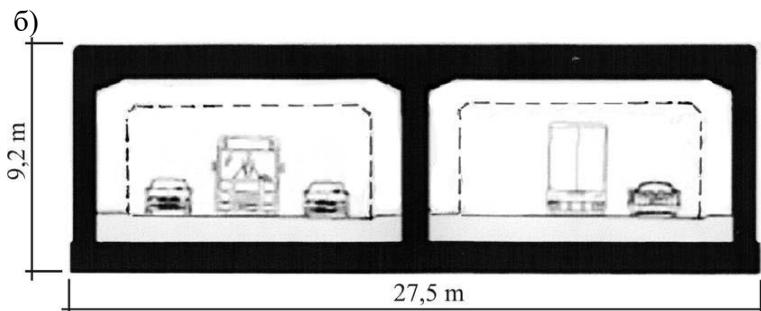
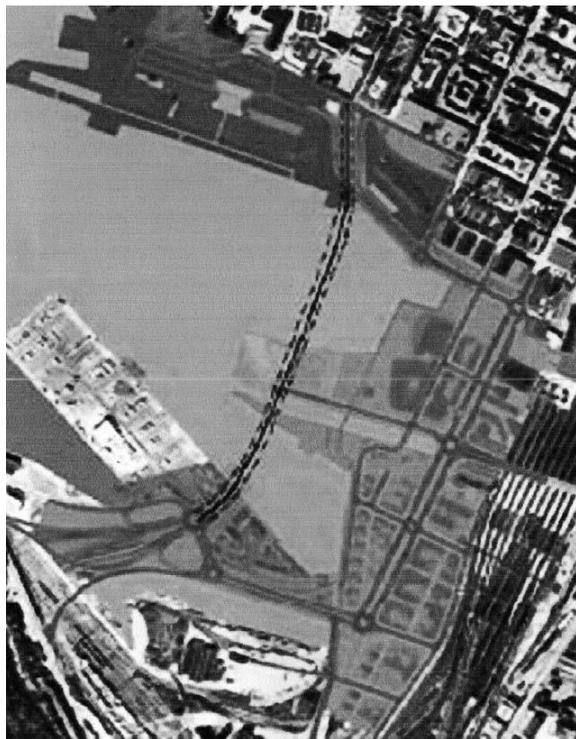
Особое внимание будет уделено воздействию строительства на состояние и эксплуатацию гавани. Судоходный канал на время строительства траншеи будет отклонен от основного направления, а во время короткого периода погружения секций полностью закрыт.

Общий срок строительства составит около 3 лет, ожидаемая стоимость туннеля – около 40 млн. фунтов стерлингов.

Туннель Бьёрвика (Bjørvika), Норвегия свяжет районы Осло, расположенные на противоположных берегах внутренней части бухты (рис. 5.36 а). Поперечное сечение туннеля будет разделено центральной стеной, что создаст два отделения с трехрядным движением в каждом. Ширина прямоугольной секции составит 27,5 м, высота 9,2 м. Общая

длина погружного туннеля равна 650 м и состоит из 6 предварительно подготовленных секций (рис. 5.36 б). В самой глубокой части туннеля расстояние от его кровли до уровня воды составит 9 м, что позволит обеспечить навигацию во внутренней части бухты.

а)



5.36

Строительство туннеля Бьервика

а) план трассы туннеля; б) сечение туннеля

Ожидаемая нагрузка на туннель составит 100 тыс. автомобилей в день. Сроки строительства туннеля – 2005- 2010 гг., ожидаемая стоимость строительства – 280 млн. долларов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В последние десятилетия население Земли, особенно больших городов встретилось с увеличивающимися потребностями в пространстве обитания. Рост численности, стремление к защите земных зон, желание людей жить в отдельных небольших домах приводит к увеличению стоимости земельных участков и к соответствующему развитию сети инфраструктуры, дорогостоящей и энергоемкой.

В этих условиях главной тенденцией градостроительства было возведение высотных башен и небоскребов. Однако, не следует забывать о резерве, лежащем под нашими ногами. Использование подземного пространства остается одним из лучших путей будущего развития городов, позволяя освободить их территорию для других целей, спрятать внешне малопривлекательные структуры (места парковки автомобилей, скоростные автомагистрали, торговые центры, очистные сооружения сточных вод), сократить расходы на строительные материалы и поддержание структур, экономить энергию за счет изоляции зданий и сооружений и использования подземного тепла, защитить людей от экстремальных природных условий, обеспечить больший уровень безопасности таких объектов, как банки, хранилища и др.

Вместе с тем, строительство подземных сооружений и использование естественных структур для хранения газов, нефти, энергии, промышленных отходов требуют тщательного исследования комплекса геологических, гидрогеологических условий, физических и химических свойств горных пород. Сегодня даже их тщательное изучение не гарантирует от риска, связанного со встречей непредвиденных обстоятельств, способных причинить ущерб технике и людям. Уменьшить степень риска может дальнейшее усовершенствование техники и технологии геологоразведочных работ, тесная связь между архитекторами, строителями, геологами и геотехническими инженерами.

Приведенный в книге зарубежный опыт создания и использования подземных структур, как естественных, так и искусственных, сооруженных целенаправленно или повторно используемых, показывает важность дальнейших путей освоения подземного пространства. Описанные примеры являются только малой частью их общего количества. Сегодня по всему миру, в частности, в США, Канаде, Европе, Японии, Норвегии насчитывается множество общественных и частных подземных объектов, расположенных в самых разнообразных географических и геологических условиях. Тем не менее авторы старались охватить как можно более широкий диапазон применимости подземного строительства и дать читателям представление о путях его дальнейшего развития.

Перечень цветных рисунков

ГЛАВА 1

Рис. 1.1 Изоляция углекислого газа в океане.

- 1 – труба наземного расположения;
- 2 –двигающийся корабль;
- 3 – вертикальная труба;
- 4 – бассейн сжиженного CO_2 .

Рис. 1.2 Способы подземного хранения углекислого газа.

- 1 – использование CO_2 для вытеснения метана на поверхность;
- 2 – закачивание CO_2 в неразрабатываемый угольный пласт;
- 3 – хранение CO_2 в отработанных нефтяных и газовых резервуарах;
- 4 – хранение CO_2 в подземных пустотах и полостях;
- 5 – использование CO_2 для увеличения добычи нефти и газа;
- 6 – хранение CO_2 в водоносных слоях горных пород;
- 7 – хранение CO_2 в базальтовых формациях;
- 8 – химическое связывание CO_2 с водами водоносных пород;
- 9 – химическое связывание CO_2 с карбонатными минералами.

Рис. 1.3 Схема расположения установки бурения скважин и закачивания углекислого газа в водоносную формацию Утсира.

Рис. 1.4 Карты расположения месторождения природного газа Слейпнер.

Рис. 1.5 Схема бурения скважин для закачивания углекислого газа в водоносную формацию Утсира.

- 1 – установка бурения скважин и закачивания CO_2 ;
- 2 – формация Утсира;
- 3 – скважина для закачивания CO_2 ;
- 4 – месторождение природного газа Хеймдал (Heimdal).

Рис. 1.6 Общий вид установки бурения скважин и закачивания углекислого газа.

Рис. 1.7 Формирование бассейнов углекислого газа через три года после его закачивания в формацию Утси- ра.

Рис. 1.8 Схема проекта Рекопол.

Рис. 1.10 Общая схема вытеснения метана из угольных пластов закачиванием углекислого газа.

- 1 – тепловая электростанция, выделяющая и улавливающая CO₂;
- 2 – компрессор;
- 3 – нагреватель;
- 4 – скважина;
- 5 – уголь.

Рис. 1.11 Схема формирования утечек углекислого газа при его закачивании в подземную структуру.

- 1 – действующая скважина;
- 2 – резервуар;
- 3 – соляной раствор (рассол);
- 4 – зона дробленых пород;
- 5 – породный слой, перекрывающий резервуар;
- 6 – геологическое нарушение;
- 7 – закрытая скважина.

Рис. 1.20 План горных работ выемочного участка шахты Краун-III.

- 1 – вынимаемая мощность пласта угля, фут (1 фут = 0,3048 м);
- 2 – ширина выемочной выработки, фут;
- 3 – высота вывала породы из кровли, фут;
- 4 – максимальная мощность выемки угля добычным комбайном, фут;
- 5 – первичная скважина;
- 6 – вторичная скважина;
- 7 – основные зоны обрушения кровли;
- 8 – зона повышенной опасности;
- 9 – зона, заполненная закладочной пастой;
- 10 – ожидаемая зона заполнения;
- 11 – расстояние от осевшей пасты до кровли выработки, фут.

Рис. 1.23 Схема вскрытия и отработки рудного месторождения на шахте Крэндон (размеры в футах).

- а) вид сверху (горизонт 500 фут);
- б) вид сбоку;
- в) поперечное сечение.
- 1 – цинковая часть месторождения;
- 2 – медная часть месторождения;
- 3 – постоянный целик;
- 4 – коренные горные породы;
- 5 – ледниковые отложения;
- 6 – первоочередные горные работы (1-4-й годы);
- 7 – вертикальные стволы;
- 8 – магистральные выработки;
- 9 – участковые выработки;
- 10 – наклонные ramпы;
- 11 – слепые стволы;
- 12 – забои;
- 13 – колодцы приема воды;
- 14 – дробилка.

Рис. 1.24 Вид с воздуха промышленной площадки шахты Балби.

Рис. 1.25 Отвалы продуктов обогащения шахты Ла Коипа (La Coipa), Чили (серебро, золото).

Рис. 1.26 Отработка целика, оставленного для поддержания выработанного пространства шахты Балби.

Рис. 1.27 Трубопровод для транспортировки закладочной суспензии в выработки шахты Балби.

Рис. 1.28 Технология закладочных работ в шахте Фавона (проект).

- а) бурение при проходке продольных выработок;
- в) вертикальное бурение для отбойки руды и погрузка руды;
- г) закладочные работы.
- 1 – продольная выработка;
- 2 – поперечная выработка;
- 3 – граница рудного тела;
- 4 – рудное тело;
- 5 – вертикальные скважины для отбойки руды;
- 6 – участковая подъемная установка;
- 7 – отбитая руда;
- 8 – разрабатываемый участок;

9 – участок закладочных работ.

Рис. 1.29 Геологическое строение месторождения поташа шахты Нью Брунсвик.

- 1 – алевролит;
- 2 – закладываемые участки добычи поташа;
- 3 – соляной купол;
- 4 – слой ангидрита;
- 5 – поташ;
- 6 – участки добычи соли;
- 7 – чистая соль;
- 8 – основной слой ангидрита.

Рис. 1.30 Технологическая схема добычных и закладочных работ на шахте Нью Брунсвик.

- 1 – транспортный горизонт;
- 2 – поташ;
- 3 – закладка.

Рис. 1.31 Карта распространения соляных месторождений.

- 1 – пластовые месторождения;
- 2 – купольные месторождения.

Рис. 1.32 Использование соляных полостей для складирования отходов.

- а) в соляном куполе.
 - 1 – поступающие отходы;
 - 2 – удаляемый рассол;
 - 3 – первая оболочка;
 - 4 – последняя оболочка;
 - 5 – перекрывающие формации;
 - 6 – вершина соляной формации;
 - 7 – соль;
 - 8 – отходы;
 - 9 – буровой став;
 - 10 – кольцевой зазор.
- б) в пластовом месторождении (нумерация позиций, как в схеме а, кроме п. 7 – слой ангидрита).

Рис. 1.33 Схема складирования отходов в соляной полости с использованием двух скважин.

- 1 – твердые отходы;
- 2 – перекрывающий слой;
- 3 – соль;

- 4 – отделенный рассол;
- 5 – складироваемые отходы;
- 6 – пористость 30-50%;
- 7 – кровля полости.

Рис. 1.34 Схема складирования отходов в протяженных выработках, пройденных в пластовых соляных месторождениях.

- 1 – солевая формация;
- 2 – выработка для складирования отходов;
- 3 – выработка для сбора рассола;
- 4 – фирма-производитель работ.

Рис. 1.35 Совмещенная схема поверхностного и подземного комплексов складирования отходов в соляных полостях.

- 1 – взвешивание прибывшего грузовика с отходами перед разгрузкой;
- 2 – разгрузка отходов в приемный бункер;
- 3 – смешивание отходов с соляным раствором (рассолом);
- 4 – инъецирование взвеси отходов и рассола в полостях;
- 5 – возвращение чистого соляного раствора на поверхность;
- 6 – хранение рассола на поверхности для последующего использования во взвеси с отходами (или его сброс);
- 7 – инъецирование избытков рассола в соляную полость.

Рис. 1.36 Комплекс транспортировки и инъецирования отходов нефтедобычи в подводные соляные полости.

Рис. 1.39 Схема скважины, пробуренной к газовому месторождению.

- 1 – буровая вышка;
- 2 – промывочная жидкость;
- 3 – насос;
- 4 – вибрационный грохот;
- 5 – сбор твердых отходов;
- 6 – возврат промывочной жидкости;
- 7 – водоносный слой;

- 8 – пограничный слой;
- 9 – перекрывающие породы;
- 11 – нефтеносные пески;
- 12 – буровая головка;
- 13 – обсадочные трубы (оболочка);
- 14 – цемент;
- 15 – буровой став.

Рис. 1.40 Закачка бурового шлама в породы, перебуренные скважиной.

- а) через буровой став.
 - 1 – скважина, используемая для захоронения шлама;
 - 2 – перфорированная оболочка;
 - 3 – цемент;
 - 4 – оболочка;
 - 5 – буровой став;
 - 6 – уплотнитель.
- б) через кольцевой зазор между двумя трубами-оболочками.
 - 1 – инъекция через кольцевой зазор;
 - 2 – шлам в кольцевом зазоре;
 - 3 – оболочка;
 - 4 – цемент.

Рис. 1.41 Формирование трещиноватых зон при закачке шлама.

- 1 – водоносный слой;
- 2 – слой пород с низкой проницаемостью;
- 3 – трещиноватая зона, ограниченная слоем с низкой проницаемостью;
- 4 – слой пород с высокой проницаемостью.

ГЛАВА 2

Рис. 2.1 Существующие и перспективные подземные сооружения в центре Хельсинки.

- 1 – подземное пространство до 1980 г.;
- 2 – метротуннели;
- 3 – подвальные помещения и входы в них;
- 4 – автостоянки, помещения гражданской обороны, торговые комплексы;

- 5 – туннели инфраструктуры;
- 6 – проекты, планируемые на период до 2020 г.

Рис. 2.2 Общественный Москон-Центр.

- а) вид с воздуха;
- б) подземные интерьеры.

Рис. 2.3 Общий вид Кливлендского общественного Центра.

Рис. 2.4 Главный зал Кливлендского общественного Центра.

Рис. 2.5 Общий вид парламента штата Техас (видны застекленные крыши подземных коридоров).

Рис. 2.6 Подземная церковь Темпеляукио.

- а) вид сверху на участок занятый церковью;
- б) интерьер церкви с алтарем;
- в) часть интерьера церкви.

Рис. 2.12 Стеклянная пирамида детского сада Ла-Марина.

Рис. 2.13 Центральный зал детского сада Ла-Марина, освещенный стеклянной пирамидой.

Рис. 2.14 Макет подземной части общественного центра обучения университета штата Аризона.

Рис. 2.15 Вход в объединенный центр обучения.

Рис. 2.16 Строительство объединенного центра обучения университета штата Аризона.

Рис. 2.17 Разрез по подземной части библиотеки университета Миннесота.

- 1 – учебные корпуса университета;
- 2 – книгохранилище;
- 3 – административное здание;
- 4 – шахта лифта;
- 5 – портал;
- 6 – подъездная дорога;
- 7 – грунт;
- 8 – известняк;
- 9 – песчаник;
- 10 – длина полости (футов).

Рис. 2.18 Подземная полость библиотеки университета Миннесота.

Рис. 2.19 Начальная стадия строительства.

Рис. 2.20 Установка изогнутых железобетонных панелей крепи полости подземной части библиотеки университета Миннесоты.

- а) в кровле полости; б) в стенах полости.

Рис. 2.24 Вид снаружи на окна подземной библиотеки юстиции.

Рис. 2.25 Вид изнутри на окна подземной библиотеки юстиции.

Рис. 2.26 Освещение интерьера библиотеки юстиции Мичиганского Университета.

Рис. 2.27 Макет подземной библиотеки Кроха.

- 1 – справочная служба;
- 2 – читальный зал;
- 3 – офисы персонала;
- 4 – книгохранилище.

Рис. 2.30 Макет здания библиотеки Моргана.

Рис. 2.31 Разрез по реконструированному комплексу библиотеки Моргана.

Рис. 2.32 Эскиз подземной аудитории библиотеки Моргана.

Рис. 2.33 Макет читального зала библиотеки Моргана.

Рис. 2.34 Строительство подземной части библиотеки Моргана.

- а) подготовка котлована;
- б) бетонные работы в котловане.

Рис. 2.36 Монтаж конструкций в котловане подземной части библиотеки.

Рис. 2.37 Внутренний двор музея Лувр (днем).

Рис. 2.38 Внутренний двор музея Лувр (ночью).

Рис. 2.39 Вид изнутри музея Лувр на стеклянную пирамиду.

Рис. 2.40 Перевернутая пирамида в интерьере Лувра.

Рис. 2.41 Стеклянные пирамиды зала Славы и музея Рок-н-Ролла.

Рис. 2.42 Музей Михо.

- а) днем;
- б) ночью.

Рис. 2.43 Общий вид мемориала «Женщины на военной службе».

Рис. 2.44 План мемориала.

- 1 – зал мужества;
- 2 – фонтан;
- 3 – компьютерный зал;
- 4 – театр;
- 5 – офисы персонала;
- 6 – конференц-зал;
- 7 – зал чести;
- 8 – магазин подарков;
- 9 – туалеты;
- 10 – вход.

Рис. 2.45 Интерьеры мемориала «Женщины на военной службе».

- а) круговая галерея;
- б) театр.

Рис. 2.46 Общий вид музея Пола.

Рис. 2.47 Вертикальный разрез по подземной части музея Пола.

- 1 – автобусная станция;
- 2 – въездной мост;
- 3 – музейный магазин;
- 4 – машинный зал;
- 5 – офисы;
- 6 – выставочный зал;
- 7 – вестибюль;
- 8 – склад хранения произведений искусства;
- 9 – кафе;
- 10 – внешний настил;
- 11 – аварийный дренажный туннель.

Рис. 2.48 Интерьеры музея Пола.

Рис. 2.49 Калифорнийский дворец Почетного Легиона.

Рис. 2.50 Музей Гугенхейма.

Рис. 2.51 Вход в Бруклинский детский музей.

Рис. 2.52 Гофрированный стальной переход в Бруклинском детском музее.

Рис. 2.53 Макет проектируемого входного наземного здания Бруклинского детского музея.

Рис. 2.54 Стеклопанельная пирамида оранжереи Люсиль Хэлсел.

- а) общий вид;
- б) вертикальный разрез.

Рис. 2.55 Макет обсерватории Парка Гриффит.

Рис. 2.56 Музей искусств Нельсона-Аткинса.

Рис. 2.57 Бассейн над подземной автостоянкой.

Рис. 2.58 Подземная автостоянка музея Нельсона-Аткинса.

- а) интерьер;
- б) строительные работы.

Рис. 2.59 Оклэнд-музей.

Рис. 2.60 поэтажный план Оклэнд-музея.

1-й этаж – науки о природе.

1 – галерея наук о природе;

2 – галерея коллекций;

3 – сад;

4 – музейный магазин;

5 – декоративная деталь;

6 – театр;

7 – бассейн;

8 – офис охраны;

9 – лекционный зал.

2-й этаж – история.

1 – ресторан;

2 – большой зал;

3 – верхний пролет; 4

– нижний пролет; 5

– галерея;

6 – галерея истории; 7

– автостоянка.

3-й этаж – искусство.

1 – сад;

2 – галерея;

3 – галерея искусств.

Условные обозначения.

1 – вход в музей;

2 – лестницы, лифты;

3 – подсобные помещения (туалеты, телефоны, питьевые фонтанчики);

4 – служба информации.

Рис. 2.63 Здание Карнеги-Холла.

Рис. 2.64 Новый подземный зал Карнеги-Холла (Занкель-Холл).

Рис. 2.65 Строительство Занкель-Холла.

- а) вертикальный разрез по зданию Карнеги-Холла.
- б) строительство Занкель-Холла.

Рис. 2.66 Схемы залов Карнеги-Холла.

- а) зал имени Исаака Стерна (главный);
 - б) подземный зал Вейл-Холл;
 - в) новый подземный зал Занкель-Холл.
- 1 – бельэтаж;
2 – ярусы;
3 – партер.

Рис. 2.67 Фойе подземного зала Занкель-Холл.**Рис. 2.68** Входной вестибюль театра музыки и танца Чикаго.**Рис. 2.69** Интерьер театра музыки и танца.**Рис. 2.70** Сцена театра музыки и танца Чикаго.**Рис. 2.71** Обелиск театра Лисьюм.**Рис. 2.72** Концертный зал центра искусств Ретретти.**Рис. 2.73** Подземный переход в центре искусств Ретретти.**Рис. 2.74** Центр искусств Вилар.

- а) ледовый каток над центром искусств;
- б) зал центра искусств;
- в) фрагмент интерьера фойе;
- г) сцена.

Рис. 2.75 Строительство подземного казино в Хельсинки.

- а) коммуникационный туннель под зданием отеля;
- б) рабочий туннель, опорная балочная структура, временные сваи;
- в) проходка вертикальных шахт для опорных колонн;
- г) монтаж опорных колонн;
- д) полость под зданием после взрывных работ.

Рис. 2.76 План подземной части здания, погрузка отбитой породы.

- а) план подземной части здания.
- 1 – зона взрывных работ;
2 – подпорные зацементированные стены;
3 – рабочие туннели.
- б) погрузка отбитой породы после взрывных работ.

Рис. 2.77 Здание отеля с подземным казино.

- а) вертикальный разрез по зданию отеля и казино;
- б) фрагмент интерьера казино.

- Рис. 2.80** Макет олимпийского стадиона в Гьёвике, Норвегия.
- Рис. 2.81** Строительство полости большого размера.
- Рис. 2.82** Подземные спортивные залы Норвегии.
- Рис. 2.83** Горные и строительные работы по сооружению подземных спортивных залов.
- Рис. 2.85** Спортивный комплекс университета Нью-Мексико, США.
- а) наземное здание с мезонином;
 - б) подземный спортивный зал.
- Рис. 2.86** Плавательный бассейн Джорджтаунского университета, США.
- Рис. 2.89** Строительство подземной автостоянки на площади Революции, Москва.
- а) общий вид;
 - б) вертикальный разрез подземной автостоянки.
- Рис. 2.93** Подземная автостоянка в Фукуока, Япония.
- а) план автостоянки;
 - б) общий вид заездов в автостоянку;
 - в) интерьер.
- Рис. 2.94** Интерьер подземной автостоянки.
- Рис. 2.95** Расположение подземной автостоянки среди городских кварталов.
- Рис. 2.96** Подземная автостоянка в скальных породах, Норвегия.
- Рис. 2.97** Расположение автоматической парковочной системы в городском квартале.
- Рис. 2.98** Автоматическая парковочная система в Цевене, Италия.
- Рис. 2.99** Подъемник лифтовой парковочной системы.
- Рис. 2.100** Железобетонный силос парковочной системы.
- Рис. 2.101** Модули стоянки автомобилей.
- Рис. 2.102** Размещение лифтовой системы в парковочном цилиндре.
- Рис. 2.103** Схема размещения магазинов и сервисных служб в подземной пешеходной сети Торонто.
- Рис. 2.104** Деталь интерьера подземного комплекса Торонто.
- Рис. 2.105** Интерьер атриумного зала комплекса Торонто.
- Рис. 2.106** План подземной пешеходной сети Монреаля.

- 1 – деловой район;
- 2 – Китайский район;
- 3 – международный квартал;
- 4 – старый Монреаль.

Рис. 2.107 Фрагмент интерьера подземного комплекса Монреалья.

Рис. 2.108 Интерьеры залов подземного комплекса Монреалья.

Рис. 2.110 Карта пешеходных туннелей Хьюстона.

Рис. 2.111 Интерьеры пешеходных туннелей Хьюстона.

Рис. 2.112 Подземный комплекс Атланты.

- а) вид с городской улицы;
- б) интерьер.

Рис. 2.113 План подземного комплекса Сабтрополис в Канзас-Сити.

- 1 – грунт;
- 2 – известняк;
- 3 – сланец;
- 4 – почтовый центр;
- 5 – административное здание;
- 6 – информационная служба и охрана;
- 7 – железная дорога Санта-Фе;
- 8 – грузовая автостоянка и информационный центр;
- 9 – трейлерная автостоянка;
- 10 – схема стадиона, приведенная для сравнения размеров подземного комплекса Сабтрополис.

Рис. 2.114 Карта расположения комплекса Сабтрополис в Канзас-Сити.

Рис. 2.115 Грузовой въезд в подземный комплекс.

Рис. 2.118 План подземного комплекса Осака.

- а) железнодорожная станция;
- б) центральный почтовый офис;
- в) универмаги;
- г) торговый центр Юмеда.

Рис. 2.119 Интерьеры подземного комплекса Осака.

Рис. 2.120 Макет комплекса нового всемирного торгового центра в Нью-Йорке.

Рис. 2.121 Вид на новый всемирный торговый центр со стороны Бруклинского моста через Ист-Ривер.

Рис. 2.122 Планы подземных этажей нового всемирного торгового центра в Нью-Йорке.

1 – уровень улицы; 2 – уровень 1; 3 – уровень 2; 4 – уровень 3; 5 – уровень 4; 6 – башня Свободы; 7 – башня 2; 8 – башня 3; 9 – башня 4; 10 – башня 5; 11 – центр искусств; 12 – вертикальные подъемники; 13 – железнодорожная станция РАТН; 14 – музейный комплекс и гостевой центр; 15 – греческая православная церковь; 16 – Парк Свободы; 17 – въезд автомобилей; 18 – въезд транспортных средств; 19 – экспонируемая часть «стены в грунте»; 20 – мемориал; 21 – переход к Зимнему Саду; 22 – станции метро; 23 – верхний зал вокзала РАТН; 24 – нижний зал вокзала РАТН; 25 – транзитный центр; 26 – автостоянка; 27 – балкон; 28 – мемориальный центр; 29 – мезонин (промежуточный этаж) вокзала РАТН; 30 – погрузочные площадки; 31 – автобусная стоянка, погрузочные площадки и заезды; 32 – наклонные заезды; 33 – платформы вокзала РАТН; 34 – установка кондиционирования воздуха.

Условные обозначения.

- а) контур первоначального всемирного торгового центра;
- б) публичные площадки;
- в) вестибюли офисов;
- г) торговые помещения;
- д) мемориал;
- е) мемориальный центр.

Рис. 2.126 Схемы и макеты заглубленных домов различных видов.

Рис. 2.127 Построенные заглубленные дома различных видов.

Рис. 2.130 Сводчатая конструкция современного винного погреба.

Рис. 2.131 Многоярусное расположение бочек в винном погребе.

Рис. 2.132 Вход в винный погреб.

Рис. 2.133 Туннель винного погреба.

Рис. 2.134 Туннель винного погреба.

Рис. 2.135 Туристическая трапезная в винном погребе.

Рис. 2.136 Проходческие работы с использованием комбайна.

- Рис. 2.137** Погрузка породы после проведения взрывных работ при сооружении винного погреба.
- Рис. 2.138** Контур подземной полости при взрывных работах неудовлетворительного качества.
- Рис. 2.139** Контур подземной полости при качественных взрывных работах.
- Рис. 2.140** Вид с воздуха на хранилище Форт-Нокс.
- Рис. 2.141** Здание Федерального резервного банка в Нью-Йорке.
- Рис. 2.142** Хранение золотых слитков в штабелях.
- Рис. 2.143** Порталы хранилища Гранит Маунтейн Рекорд Волт.
- Рис. 2.146** Хранение информационной документации фирмой Перпечуал Сторидж.
- Рис. 2.147** Охрана подземного хранилища.
- Рис. 2.151** Сопряжение ствола шахты Хатчинсон с примыкающей выработкой.
- Рис. 2.152** Хранилище документации в старой соляной шахте.
- Рис. 2.153** Хранилище записей средств массовой информации.
- Рис. 2.155** Строительство новой полости Норвежского национального архива.
- Рис. 2.156** Погрузка породы после проведения взрывных работ.
- Рис. 2.157** Транспортировка отбитой породы ленточным конвейером.
- Рис. 2.158** Машинное помещение Норвежского национального архива.
- Рис. 2.164** Туннель для снабжения водой Хельсинки.
- Рис. 2.168** Машинные залы подземных очистных сооружений.
- Рис. 2.170** Городская застройка вдоль русла реки, Токио.
- Рис. 2.171** Комплекс подземного амортизирующего пруда.
- а) сопряжение основного туннеля с подводющим ответвлением;
 - б) сопряжение туннеля с вертикальной шахтой.

ГЛАВА 3

- Рис. 3.3** Пусковая структура трех ракет «Титан».
- I – пусковая зона;

- II – команда;
- III – коммуникации;
- IV – охрана окружающей среды;
- V – главный подъемник.
- 1 – пусковая шахта;
- 2 – терминал оборудования;
- 3 – топливный терминал;
- 4 – центр управления, жилая зона;
- 5 – емкости с водой;
- 6 – электроподстанция; 7
- туннель персонала; 8
- антенна.

Рис. 3.4 Размещение ракеты в пусковой шахте.

Рис. 3.5 Схема пускового комплекса «Титан».

Рис. 3.6 Схема пускового комплекса «Атлас».

Рис. 3.7 Схема пусковой шахты «Атлас».

Рис. 3.15 Поземный комплекс орудия калибра 120 мм береговой артиллерии, Норвегия.

Рис. 3.16 Топографическая карта расположения комплекса Сайт-Р Равен Рок, США.

Рис. 3.17 Схема поземных сооружений комплекса Сайт-Р Равен Рок.

- 1 – порталы;
- 2 – посты охраны;
- 3 – служебные помещения;
- 4 – электроподстанции;
- 5 – резервуар воды;
- 6 – противовзрывные двери и клапаны;
- 7 – бетонные перемычки;
- 8 – вертолетная площадка;
- 9 – командный центр.

Рис. 3.18 Порталы входных туннелей.

Рис. 3.21 Один из машинных залов комплекса Сайт-Р Равен Рок.

Рис. 3.22 Взрывозащищенная дверь.

Рис. 3.23 Стабилизирующие пружины строений комплекса Сайт-Р Равен Рок.

- а) общий вид пружин;
- б) монтаж пружин.

Рис. 3.24 Комплекс Маунт Пони.

- а) общий вид поверхности комплекса;
- б) портал;
- в) один из подземных залов.

Рис. 3.25 Подземный центр управления Конгресса США в отеле Гринбир.

- а) общий вид отеля;
 - б) электростанция центра управления.
 - в) ресторан;
 - г) поэтажные планы бункера.
- 1 – электроподстанция;
 - 2 – ресторан;
 - 3 – западный туннель;
 - 4 – архив;
 - 5 – конференц-зал;
 - 6 – общежитие;
 - 7 – медицинские помещения;
 - 8 – комната руководства сената.

Рис. 3.26 Подземные телефонные станции центров военного управления, Великобритания.

- а, б) туннели прокладки телефонных кабелей;
- в) прокладка кабелей в трубах.

Рис. 3.28 Отдельно стоящее крупное укрытие.

- а) вход в укрытие;
- б) комплекс фильтров очистки воздуха.

Рис. 3.29 Наземные здания школы Або.**ГЛАВА 4****Рис. 4.1 Каминная в пещере Хоул-Эн-Рок.****Рис. 4.2 Детская в пещере Хоул-Эн-Рок.****Рис. 4.3 Портал пещеры Бекхэм-Крик.****Рис. 4.4 Ванная в пещере Бекхэм-Крик.****ГЛАВА 5****Рис. 5.1 Сечения погружных туннелей, построенных в странах мира.****Рис. 5.2 Сравнение подземного и погружного туннелей.**

- а) поперечные сечения;
- б) продольные разрезы.
- 1 – погружной туннель;
- 2 – подземный туннель;
- 3 – мост.

Рис. 5.4 Строительство железобетонных туннельных секций в бассейне (сухом доке).

Рис. 5.5 Всплытие туннельных секций при заполнении бассейна.

Рис. 5.6 Выход туннельной секции за пределы бассейна.

Рис. 5.7 Транспортировка туннельной секции к месту установки.

Рис. 5.8 Схема установки туннельной секции в траншее.

Рис. 5.9 Новые направления строительства погружных туннелей.

Рис. 5.11 Секции туннеля Макгенри в сухом доке.

Рис. 5.12 Место сброса грунта, огороженное ячеистой плотной.

Рис. 5.14 Строительство погружного туннеля Медвей.

- а) схема расположения туннеля;
- б) туннельная секция.
- 1 – скоба для фиксации секций;
- 2 – аварийный проход;
- 3 – балластный бетон;
- 4 – дорожная поверхность;
- 5 – обслуживающий трубопровод.

Рис. 5.19 Проталкивание с берега реки готовой секции в траншею туннеля Конви.

Рис. 5.20 Последовательность строительства туннеля через реку Конви.

- а) строительство бассейна (сухого дока);
- б) строительство туннельных секций;
- в) затопление бассейна;
- г) соединение всплывших секций с понтоном;
- д) установка туннельных секций в траншее.
- 1 – бассейн (сухой док);
- 2 – «стена в грунте»;
- 3 – дренажные скважины;
- 4 – туннельные секции;

- 5 – обслуживающий пирс;
- 6 – понтон;
- 7 – погружные операции;
- 8 – служебная башня;
- 9 – траншея;
- 10 – бетонные подушки.

Рис. 5.22 Панорама строительства туннеля Конви.

Рис. 5.23 Схема расположения транспортного комплекса туннель-мост в проливе Орезунд.

- 1 – искусственный полуостров;
- 2 – туннель;
- 3 – искусственный остров;
- 4 – высокий мост.

Рис. 5.24 Расположение транспортных объектов в проливе Орезунд.

- а) общая схема комплекса.
 - 1 – искусственный полуостров;
 - 2 – погружной туннель;
 - 3 – искусственный остров;
 - 4 – западный въездной мост;
 - 5 – общая длина моста;
 - 6 – высокий мост;
 - 7 – восточный въездной мост.
- б) земляные работы комплекса Орезунд.
 - 1 – искусственный полуостров;
 - 2 – аэропорт Копенгагена;
 - 3 – искусственный остров;
 - 4 – фарватер судов в проливе (черный цвет – компенсационные гидромеханические работы, зеленый цвет – восстанавливающие работы, голубой цвет – траншея для туннеля и временные работы в гавани).

Рис. 5.25 Основные параметры туннеля Орезунд.

- а) продольный разрез.
 - 1 – портал и въезд с полуострова;
 - 2 – погружной туннель;
 - 3 – портал и въезд с острова;
 - 4 – ледниковые отложения;
 - 5, 6 – известняки.
- б) поперечное сечение.

- 1 – ледниковые отложения;
- 2 – известняк;
- 3 – северное автомобильное отделение;
- 4 – служебная и аварийная галереи;
- 5 – южное автомобильное отделение;
- 6 – гравийное основание;
- 7 – северное и южное рельсовые отделения;
- 8 – защитное каменное заполнение кровли туннеля;
- 9 – заполнение траншеи.

Рис. 5.26 План бассейна (сухого дока) с производственными строениями.

- 1 – завод по производству железобетона;
- 2 – бетонный завод;
- 3 – место изготовления туннельных секций;
- 4 – скользящие ворота;
- 5 – мелкий бассейн;
- 6 – глубокий бассейн;
- 7 – плавающие ворота;
- 8 – плотины бассейна.

Рис. 5.27 Последовательность изготовления туннельных секций в бассейне.

- 1 – изготовление 1-го сегмента;
- 2 – проталкивание 1-го сегмента и изготовление 2-го сегмента;
- 3 – проталкивание завершенной туннельной секции в мелкий бассейн;
- 4 – движение всплывшей туннельной секции в глубокий бассейн при закрытых скользящих воротах;
- 5 – понижение уровня воды и вытягивание секции из глубокого бассейна.

Рис. 5.28 Изготовление и транспортировка туннельных секций.

- а) готовые секции в месте их изготовления;
- б) транспортировка готовых секций.

Рис. 5.29 Искусственные земляные сооружения.

- а) полуостров с порталом и заездами в туннель;
- б) остров с порталами и заездами в туннель.

Рис. 5.31 Панорама транспортного комплекса в проливе Орзунд.

Рис. 5.32 Строительство погружного туннеля Превеза-Актио.

- а) установка туннельной секции в траншее.
 - 1 – защитный слой из камня;
 - 2 – фильтрующий слой;
 - 3 – заполнение траншеи;
 - 4 – заполнение нижней части траншеи;
 - 5 – каменные колонны;
 - 6 – тампонажная постель; 7
 - гравийное основание; 8
 - глиняная линза.
- б) поперечное сечение туннеля;
- в) продольное сечение туннеля.
 - 1 – участки, пройденные открытым способом;
 - 2 – погружной туннель.

Рис. 5.33 Схема расположения туннеля Лифкеншок.**Рис. 5.34 Этапы строительства туннеля Лифкеншок.**

- а) туннельные секции в сухом доке;
- б) вид с воздуха на транспортируемые секции;
- в) транспортировка туннельных секций;
- г) переход туннельной секции через шлюз;
- д) первая секция перед погружением.

Рис. 5.35 Строительство туннеля гавани Портсмут.

- а) схема направления туннеля;
- б) последовательность строительства.
 - 1 – туннельная секция в транспортной позиции;
 - 2 – погружаемая секция;
 - 3 – траншея;
 - 4 – погружная оснастка;
 - 5 – заякоренные канаты;
 - 6 – фундаментные блоки;
 - 7 – секция перед опусканием в туннель;
 - 8 – фиксирующая скоба;
 - 9 – вышка и шахта для доступа в секцию;
 - 10 – балластные емкости;
 - 11 – временная перемычка;
 - 12 – заполнение траншеи;
 - 13 – песчаное основание;
 - 14 – заполняющий материал;
 - 15 – защита от водной эрозии.

БИБЛИОГРАФИЯ

Глава 1

A Methodology of Measuring the Rate of Reaction of CO₂ with Brine.

www.netl.doe.gov/publications/proceedings/01/carbonseq/p30.pdf.

An Introduction to Slurry Injection Technology for Disposal of Drilling Wastes.

<http://wmv.ead.anl.gov/pub/doc/brochure-final-1628.pdf>.

Arcansas and the Ozarks Online Resource Guide,

<http://www.ozarkconnections.com>.

Assessment of Environmental Effects.

<http://www.favona.co.nz/pdf/aee.pdf>.

British Government Panel on Sustainable Development,

<http://www.sd-commission.gov.uk/panel-sd/position/co2/annc.htm>.

Cannon Design, <http://cannondesign.com>.

Cleveland Potash Ltd. www.clevelandpotash.ltd.uk.

CO₂-geotermics in Abandoned Coal Mines.

<http://www.naturalsciences.be/geology/research/geoenergy/doc/geotermics.pdf>.

CO₂-sequestration in Abandoned Coal Mines.

<http://www.naturalsciences.be/geology/research/geoenergy/doc/sequestration.pdf>.

Crandon Mine.Project Description.

<http://www.dnr.state.wi.us/org/es/science/ccrandon/project.htm>.

Disposal of NORM in Salt Caverns,

<http://www.ead.anl.gov/pub/doc/saltnorm.pdf>.

Drilling Waste Management Fact Sheet:Slurry Injection of Drilling Wastes.

<http://web.ead.anl.gov/dwm/techdesc/slurry/index.cfm>.

Drilling Waste Management Information Sistem.

- <http://web.ead.anl.gov/dwm>.
Energie-innovaties voor de 21 eeuw.
www.ecn.nl/sf/research/climate.
Enhanced Capture of CO₂ (ENCAP).
www.zero.no/fossil/co2/prosjekter/forskning/20040504.
Environmental Aspects of Phosphate and Potash Mining.
http://www.mineralresourcesforum.org/docs/pdfs/phosphate_potash_minjng.pdf.
EPA The Class V Underground Injection Control Study. Volume 10. Mining, Sand or other Backfill Wells,
http://www.epa.gov/safewater/uic/classv/pdfs/volume_10.pdf.
Extraction Techniques for Minerals in Space.
http://fti.neep.wisc.edu/neep533/spring2004/lecture_16.pdf.
Favona Underground Projects, <http://www.favona.co.nz>.
Future Large-scale Use of Fossil Energy will Require CO₂ Sequestering and Disposal.
www.entek.chalmers.se/~anly/symp/symling.pdf.
Fly Ash.
<http://www.fhwa.dot.gov/infrastructure/materialsgrp/flyash.htm>.
Fly Ash-The Problem Retexo-RISP Marketing.
<File://A:\Fly%20Ash%20%20The%20Problem%20Retexo-RISP%20Marketing.htm>.
Fly Ash Use in Pressurized Grout Remote Backfilling of Abandoned Underground Mines in North Dakota.
<File://A:\Fly%20ash%20use%20in%20pressurized%20grout%20remote%20backfilling%20of%20...>
Full Scale Injection of Coal Combustion Byproducts into an Underground Mine to Control Acid Mine Drainage and Subsidence.
<http://www.netl.doe.gov/publications/proceedings/98/98ps/ps2b-2.pdf>.
T.Gray/G.Kyper, J.Snodgrass. Disposal of Coal Combustion Byproducts in Underground Coal Mines.
<http://www.caef.uky.edu/energia/pdf/vol8-6.pdf>.

Greenhouse Gas Reduction with Thermal Energy Underground Storage.

<http://www.ica.org/dbtw-wpd/textbase/work/2003/bria/paksoy.pdf>.

Microsoft Power Plant,

http://www.aapa-ports.org/programs/seminar/presentations/04_niche/Hogan_Mike.pdf.

Proposed Crandon Mine-Project Description.

<http://www.dnr.state.wi.us/org/es/science/crandon/project.htm>.

Recycling Coal Combustion Byproducts in Mines.

[File://A:\Recycling %20coal%20combustion%20byproducts %20in%20mines%20-%20spring%20...](File://A:\Recycling%20coal%20combustion%20byproducts%20in%20mines%20-%20spring%20...)

Slumberland Oilfield Services, <http://www.oilfield.slb.com>.

SIU Backfills with CCBs and Coal Processing Waste Mixture.

http://coalage.com/ar/coal_siu_backfills_ccbs/index.htm.

Storage of Industrial Waste in Rock Caverns at Nozink, Odessa.

www.tunnel.no_upl/kap_1_l.pdf.

Tailings.info. <http://www.tailings.info>.

The Capture and Storage of Carbon Dioxide Emissions.

www.2.nrcan.gc.ca/es/oerd/cmfiles/kyoto225LNS-10220022-162.pdf.

The RECOPOL Project.

<http://recopol.nitg.tno.nl/introduc.shtml>.

The Sleipner Project.

www.iea.org/taxbase/work/2004/zets/coference/presentation_s/kaarstad.pdf.

The Strategic Center for Coal, <http://www.netl.doe.gov/coal>.

The Vertical Reservoir Simulator CO₂-VR.

[www.naturalsciences.be\(geology\)research/geoenergy/doc/modelling.pdf](http://www.naturalsciences.be(geology)research/geoenergy/doc/modelling.pdf)

UCLA's Social Sciences Division, <http://www.sscnet.ucla.edu>.

Underground Placement of Coal Processing Waste and Coal Combustion Byproducts Based Paste Backfill for Enhanced Mining Economics. http://icci.org/01_final/97us/pdf.

Underground Storage of CO2 Underway to Demonstration.

www.tno.nl/.../optimalisatieolieengas/strategieenrisicomanade/undergroundstorageofco2

D.Voormeij, G.Simand. Geological and Mineral CO2 Sequestration Options: a Technical Review.

<http://www.em.gov.bc.ca/DL/GSBPubs/GeFldwk/2002/20GSP265-282.pdf>

Waste: Underground Injection of Hazardous Wastes.

http://www.texasep.org/html/wst/wst_4imn_injct.html

Глава 2

About Kroch Library.

<http://www.library.cornell.edu/Asia/kroch-library.htm>

Affordable Housing Design Advisor,

<http://www.designadvisor.org>

Architecture of Ireland, <http://www.irish-architecture.com>.

Arlington National Cemetery Website Title Page,

<http://www.arlingtoncemetery.net>

Arctcraft Strauss Sign Corporation, <http://www.artcraft.com>.

Austin Convention Center, <http://austinconventioncenter.com>,

Austin Texas/Living in and Moving to and Visit in Austin.

<http://austin.about.com>

A Virtual Tour of Albuquerque, New-Mexico,

<http://virtualalbuquerque.com>

Bluffton University, a Private, Residential, Liberal Arts,

<http://www.bluffton.edu>

Boston College Home Page, <http://www.bc.edu>.

Brooklyn Children Museum, <http://www.brooklynkids.org>.

BuildingGreen.com. <http://www.buildinggreen.com>.

Calatrava's WTC Transportation Hub Soars.

<File://A:\Calatrava's%20WTC%Transportation%20Hub%20Soars.htm>

Carnegie Hall, www.carnegiehall.org.

Carnegie Hall's Third Stage.

<http://entertainmentdesignmag.com/microsites/magazinearticle.asp?mode>.

Casinomeister: Online Casino-information and Watchdog.

<http://www.casinomeister.com>.

Ceardach:Architecture:Underground Architecture and Construction.

<File://A:\Ceardach%20Architecture%20Underground%20Architecture%20and%20Construction.htm>.

City of Austin-convention Center Expansion.

http://www.ci.austin.tx.us/downtown/0798/cc_expo797.htm.

Clark Construction Completes Music and Dance Theatre Chicago.

<http://www.clarkus.com/newsDetails.asp?PID=191>.

Complete Design Services, <http://jamesbellingdesign.com>.

Cumbria's First Underground House.

http://ourworld.compuserve.com/homepages/phil_reddy.

Downtown Houston Tunnels,Districts and Parks.

www.treebeards.com/location/mpdtun.html.

Earth Sheltered Homes by Underground Home Builder David Caves.

<http://www.davidcaves.com>.

EKK-Land Oy LKV. <http://www.ekkland.fi>.

Explore Cornell, <http://explore.cornell.edu>.

Extension of the Vikiinmaki Underground Sewage Plant.

<http://www.gridpoint.fi/project/vikiinmaki.sp.html>.

Fairfax County Public Schools.

<http://www.fcps.k12.va.us/TerrasetES/history>.

5 Points/ Underground Atlanta,

<http://www.vitualearth.com/atlanta/5points.html>.

Garage Project. <File://A:\Garage%20Project.htm>.

Geo.de. <http://www.geo.de>.

Glen Ragsdale Underground Associates.Inc.

<http://www.winecaves.com>.

Granite Mountain Record Vault.

<File://A\Granite%20Mountain%20Vault.htm>.

Griffith Observatory Home Page, <http://www.griffithobs.org>.

L.Hall. Underground Buildings: More than Meets the Eye. Quill
Driver Books, Sanger, California. 2004.

HammondBeeby,Rupert,Ainge Architects,
<http://www.hbra-arch.com>.

Harvard College Library, <http://hcl.harvard.edu>.

Harvard Faculty of Arts and Sciences (FAS) Construction.
<http://construction.fas.harvard.edu>.

Home: Benson Institute, <http://benson.byu.edu>.

Home Sweet Earth Home. <http://undergroundhomes.com>.

Kanada 2002. <http://www.knein-world.de/kanada>.

Kalwall, High Tech Translucent Building Systems,
<http://www.kalwall.com>.

La plaque tournant Montrealaise.

<http://www.vieux.montreal.qc.ca>,

J.Lehto,H.Vehmas,T. Rahikainen. Gambling with Drill and
Blast in Helsinki. <http://yit.fi/attachment.asp?path=1>.

Los Angeles Central Library Extention. www.bluffton.edu.

Lower Manhattan

[http://www.lowermanhattan.info/rebuild/new design
plans/freedom tower design](http://www.lowermanhattan.info/rebuild/new_design_plans/freedom_tower_design).

Miho Museum. <http://www.miho.or.jp>.

Mississippi State University, <http://www.msstate.edu>.

Moscone Center's New Home Page, <http://www.moscone.com>.

Nelson-Atkins Museum of Art.

[http://www.nelson-atkins.org/museum expansion](http://www.nelson-atkins.org/museum_expansion).

Nipponia Discovering Japan. <http://web-japan.org/nipponia>.

Norway Drives for Low Cost Road Tunnels.

<http://www.tunnel.no/upl/kapl7Lowcost.pdf>

Okland Museum of California Floorplan.

<http://www.museumca.org/visit/floorplan.html>.

Our World, <http://ourworld.compuserve.com>.

Pei,Cobb,Freed and Partners, Architects,

<http://www.pcfandp.com>.

Permanent PATH/Tubes WTC Station Plans: PATH Trains

Hudson Tubes Hudson and Manhattan,

<http://www.hudsoncity.net/tubes/wtc-basement.html>.

QSLNET Homepage, <http://www.qsl.net>.

Ralph Allen Partners, <http://www.rap-architects.com>.

Reseau d'Hotel ef Auberge Champetre du Quebec,

<http://www.marquinto.qc.ca>.

Research Penn State, <http://www.rps.psu.edu>.

Road Traffic Technology-Cesena Automatic Underground
Parking System-Italy.

[http://www.roadtraffic-technology.com/projects/
cesena/index.html](http://www.roadtraffic-technology.com/projects/cesena/index.html).

Robert Lotelli Associate, Inc. <http://www.rlorelli.com>.

Simmons. Boston. Massachusetts, <http://web.simmons.edu>.

Sport Halls and Swimming Pools.

<http://www.tunnel.no/index.cfm ?tid=216&id=41 #203-44>.

Subterranean Carnegie Blues.

[http://www.stage-directions.com/backissues/oct00/
theatrespace.shtml](http://www.stage-directions.com/backissues/oct00/theatrespace.shtml).

Subterranean Commercial Development.

[http://www.emich.edu/public/geo/557book/dl11.
underground, html](http://www.emich.edu/public/geo/557book/dl11.underground.html).

SubTropolis-What is SubTropolis?

[http://www.huntmidwest.com/Subtropolis/
WhatisSubtropolis.shtml](http://www.huntmidwest.com/Subtropolis/WhatisSubtropolis.shtml).

Tenjin Underground Shopping Center Parking Lot.

[File://A\Tenjin%20underground%20center%20parking
%20lot](File://A\Tenjin%20underground%20center%20parking%20lot).

Texas Capitol. <http://tspbweb.state.tx.us>.

Texas State Capitol Underground Basement Level.

[http://austinabout.com/cs/miscellaneousfun/a/
capitolbasement.htm](http://austinabout.com/cs/miscellaneousfun/a/capitolbasement.htm).

The City Pages-Atlanta,GA-Underground.

[http://mywebpages.comcast.net/rlinger/Georgia/Atlanta/Do
wntown/undgrnd.html](http://mywebpages.comcast.net/rlinger/Georgia/Atlanta/Downtown/undgrnd.html).

The Morgan Library Expansion Project,

- <http://www.morganlibrary.org/expansion>.
- The Pit. http://www.unm.edu/~unmarchv/Buildings/the_pit.htm
- The Super Pit/Kalgoorlie Consolidated Gold Mines. http://www.1.superpit.com.au/pages/enviro_waste3.asp.
- The University of Arizona Library SABIO Information Gateway. <http://www.library.arizona.edu>.
- Toronto Downtown Walkway (PATH),
<http://www.torcon3.on.ca/finding/path>.
- Touch the Earth Ranch, <http://www.touchtheearthranch.com>.
- TriPyramid Structures, Inc. <http://www.tripyramid.com>.
- Tully International Inc.-Architects and Engineers,
<http://www.tullyinternational.com>.
- Underground Atlanta Historic District,
<http://cr.nps.gov/nr/travel/atlanta/und.htm>.
- Underground Buildings.Architecture and Environment.
<http://www.subsurfacebuildings.com>.
- Underground Building, Earth Sheltered,
<http://www.malcolmwells.com>.
- Underground Vaults and Storage, Inc. <http://www.uvsinc.com>.
- US Treasury-Office of the Curator.
<http://www.ustreas.gov/offices/management/curator/tours.htm>
- UTR-FTA. <http://www.mtry.org>.
- Valtioneuvoston tiedekunta.<http://www.valt.helsinki.fi>.
- Welcome to the University of Michigan,
<http://www.law.umich.edu>.
- Women in Military Service for America Memorial,
<http://www.womenmemorial.org>.
- World Executive Hotels and Resorts Directs.
<http://www.worldexecutive.com/cityguides>.
- F.Yamazaki. Flood Control Using Urban Underground Space,
<http://www.jsce-int.org/Publication/CivilEnd/1998/urbanunder.pdf>.
- Yurkevich Engineering Bureau, <http://www.yurkevich.ru>.

Глава 3

American Central Government Bunkers.

[Mysite. wanadoo-members.co.uk/nuclear/america.html](http://mysite.wanadoo-members.co.uk/nuclear/america.html).

Army Technology-Temet Oy-Shelters and Protective Structures,

<http://www.army-technology.com/contractors/field/temet>.

Atlas Missile Silo, http://www.atlasmissilesilo.com/atlas_f.htm.

Atlas-F=Missile Silo The 20th Century Castles.

<http://www.missilebases.com/new/specs.htm>.

Cheyenne Mountain Complex,

<http://www.fas.org/nuke/guide/usa/c3i/cmc.htm>.

Cheyenne Mountain Complex-United States Nuclear Forces.

<File://A:\Cheyenne%20Mountain%20Complex%20-%20United%20States%20Nuclear%20Forces.htm>.

Cheyenne Mountain Operation Center.

<http://www.cheyennemountain.af.mil/thedesign.htm>.

Civil Defence Radiation. Detection Survey Meters, Geiger

Counters. <http://www.radmeters4u.com>.

Fallout Shelters and Nuclear Civil Defence FAG.

<http://www.radshelters4u.com>.

Military Hideouts. <http://earth-house.com/sanctuaries/military>

[Hideouts/military hideouts.htm](http://earth-house.com/sanctuaries/military_hideouts/military_hideouts.htm).

Minutman Missile Silo Under Construction.

www.brookings.edu/FP/projects/nucwcost/silo.htm.

Mountain Nerve Center Remains Relevant to Warfighting.

http://www.fas.org/nuke/guide/usa/c3_i/9804241.html.

Mount Weather/ High Point Special Facility (SF)/Western Virginia Office of Controlled Conflict 0...

[file://A:\Mount%20Weather%20-%20High%20Point%20Special%20Facility%20\(SF\)%20-%20Wes...](file://A:\Mount%20Weather%20-%20High%20Point%20Special%20Facility%20(SF)%20-%20Wes...)

Polar Inertia Journal, <http://www.polarinertia.com>.

Secret Underground Telephone Exchanges.

[Mysite.wanadoo-members.co.uk/nuclear_bunkers/telephone.html](http://mysite.wanadoo-members.co.uk/nuclear_bunkers/telephone.html).

Silo World, <http://www.siloworld.com>.

Site-R Raven Rock Alternate Joint Communications Center (AJCC).

<http://www.globalsecurity.org/wmd/facility/raven-rock.htm>.

Site-R Raven Rock Alternate Joint Communications Center (AJCC).

http://fas.ora/nuke/guide/usa/c3i/raven_rock.htm.

Strategic-Air-Command.com. <http://www.strategic-air-command.com>.

Time Reveals Cheney's Secret Bunker-White House Angered.

<http://renew.com/general53/asgi.htm>.

The PimaAir and Space Museum, <http://www.pimaair.org>.

The United States Navy's Rock Site Plans.

<http://www.sauderzone.com/underseabase.htm>.

20th Century Castles. Missile Bases,

<http://www.missilebases.com>.

United States Nuclear Forces Guide.

<http://www.fas.org/nuke/guide/usa>.

Welcome to Army Technology,

<http://www.armv-technology.com>.

Глава 4

A Report to the National Science Foundation Rock Engineering,

www.armorock.org/documents/undergrnd_urban_infras_rep.pdf.

Arkansas and the Ozarks Online Resource Guide.

<http://www.ozarkconnections.com>.

Beckham Creek Cave Haven, www.ozarkcave.com.

Design of Large Underground Caverns,

<http://www.roscience.com/hoek/pdf>.

Index of/Tech Area. <http://www.tipmining.com/TechArea>.

Kokopelli's cave Bed and Breakfast,

www.blonline.com/nm/kokopelli.

Moab Utah's Hole N the Rock,

www.moab-utah.com/holeintherock.

Rocscience-Practical Rock Engineering.

<http://www.rocscience.com/hoek/PracticalRoekEngineering.asp>.

Глава 5

Bjorvika Immersed Tunnel, Norway.

www.cowi.dk/projects/div06proj/brochures/pdf.

Busan-Geoje Fixed Link, South Korea.

<http://www.roadtraffic-technology.com/proiects/busan/>

J.Busby, C.Marshall. Design and Construction of the Oresund Tunnel,

<http://www.mbt-concrete.com/downloads/pdfs/02766pdf#search='oresund%20tunnel'>.

Capita Symonds Tunnel Design and Refurbishment.

www.capitasymonds.co.uk/tunnels.

Catalog of Immersed Tunnels, www.ita-aites.org/cms/627.html.

COWI A/S. <http://www.cowi.dk>.

Fort McHenry Tunnel. [Ludb.clui.org/ex/i/MD3133](http://ludb.clui.org/ex/i/MD3133).

Fort McHenry Tunnel.

http://www.roadstothefuture.com/Fort_McHenry_Tunnel.htm 1.

Geografia d'Europa: textos de suport.

<http://www.ub.es/medame/oresund/html>.

Immersed Tube tunnels,

www.preserveltd.co.uk/syslmersedTubeTunnels.htm.

Immersed Tunnel Planned for Oslo Harbor.

www.mjconstr.com/tunnel/archive/2002/april/panorama0402.pdf.

International Tunneling Assotiation.

<File://A:/1%20Introduction.htm>.

Light Rapid Transit-Tunnels Construction Details.

www.hants.gov.uk/lrt/construct.html.

G.Mainwaring, C.Weeks, C.Brandsen. The Detailed Design of

- the Medway Tunnel Project,
[http://www.mbt-concrete.com/downloads/pdfs/32321.pdf#search-'immersed %20tunnel'](http://www.mbt-concrete.com/downloads/pdfs/32321.pdf#search-'immersed%20tunnel')
- Medway Council Homepage. <http://www.medway.gov.uk/>
 Medway Tunnel.
[http://cms.netwave.nl/design_files/5547/Algemeen.php?page_id=856.](http://cms.netwave.nl/design_files/5547/Algemeen.php?page_id=856)
- Natural Resources Institute, <http://www.nri.org>.
- New Development: the Submerged Floating Tunnel,
[http://www.ita-aites.org/cms.](http://www.ita-aites.org/cms)
- Oresund I vore hjerter. [http://www.oresundsbron.com/ProjectsheetLiefkenshoek.](http://www.oresundsbron.com/ProjectsheetLiefkenshoek)
[www.hydronomic.nl/Projectsheet%20 Liefkenshoek.htm.](http://www.hydronomic.nl/Projectsheet%20Liefkenshoek.htm)
- Projectsheet Oresund.
[http://www.hydronomic.nl/Projectsheet%20 Oresund.htm.](http://www.hydronomic.nl/Projectsheet%20Oresund.htm)
- Road Traffic Technology,
[http://wyvw.roadtraffic-technoloffy.com.](http://wyvw.roadtraffic-technoloffy.com)
- Structural Analysis Software Based on Finite Element Analysis for...
[http://robot.structures.com.](http://robot.structures.com)
- Submerged Floating Tunnel, [http://www.nsft.no/.](http://www.nsft.no/)
- Subsea Tunnel Preveza-Aktio.
<http://www.akteotunnel.com/EN/HTML/info/Topo8esia.htm>
- Sund and BtPartner.
[www.sb-partner.com/download/sb_partner.pdf.](http://www.sb-partner.com/download/sb_partner.pdf)
- The Rail Freight Tunnel Alternative. [Tunnelconstruction.pdf](#).
 Tunnel Projects.
<http://www.cowi.dk/projects/div06proj/tunnel/tunnel.asp?Coframe=OK>

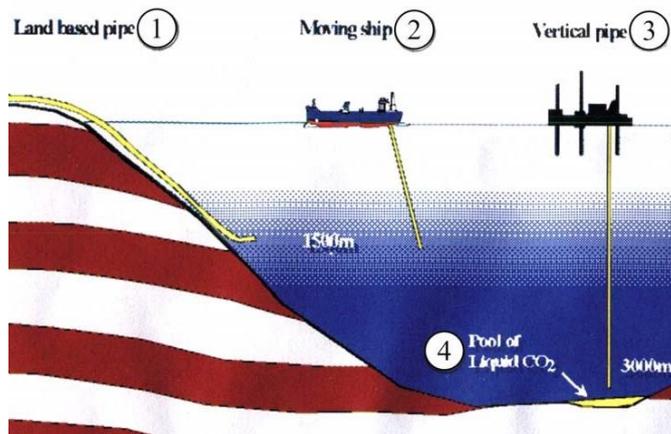


Рис. 1.1 Изоляция углекислого газа в океане



Рис. 1.3 Схема расположения установки бурения скважин и закачивания углекислого газа в водоносную формацию Утсира

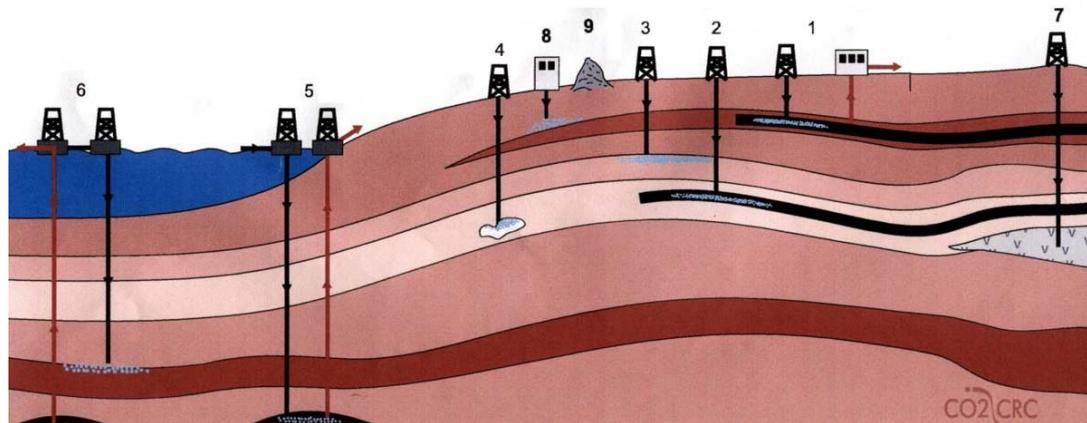


Рис. 1.2 Способы подземного хранения углекислого газа

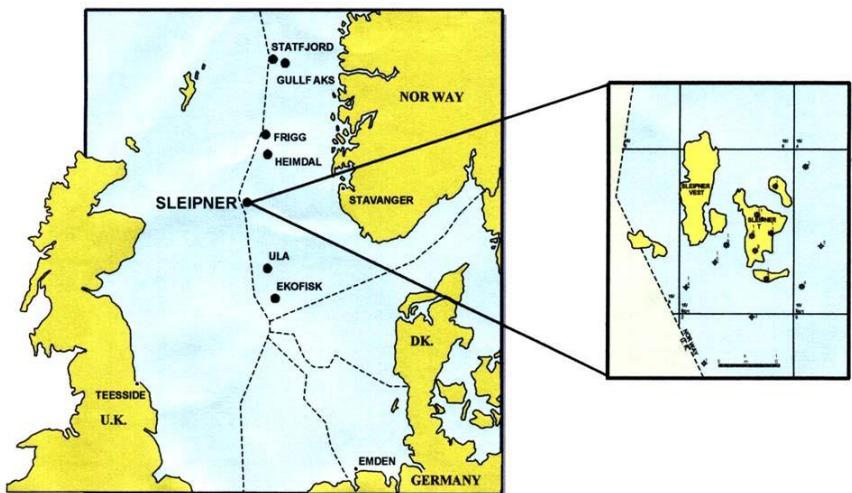


Рис. 1.4 Карты расположения месторождения природного газа Слейпнер

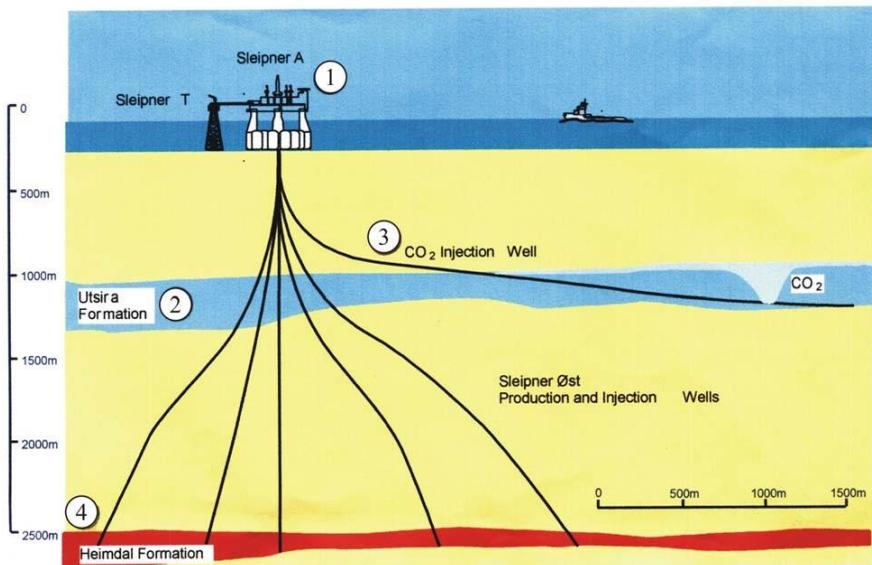


Рис. 1.5 Схема бурения скважин для закачивания углекислого газа в водоносную формацию Утсира



Рис. 1.6 Общий вид установки бурения скважин и закачивания углекислого газа

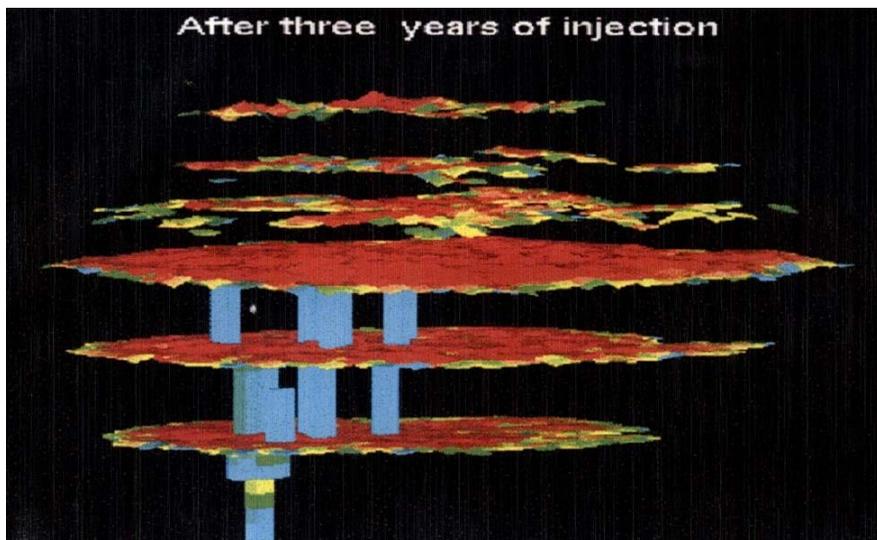


Рис. 1.7 Формирование бассейнов углекислого газа через три года после его закачивания в формацию Утсира

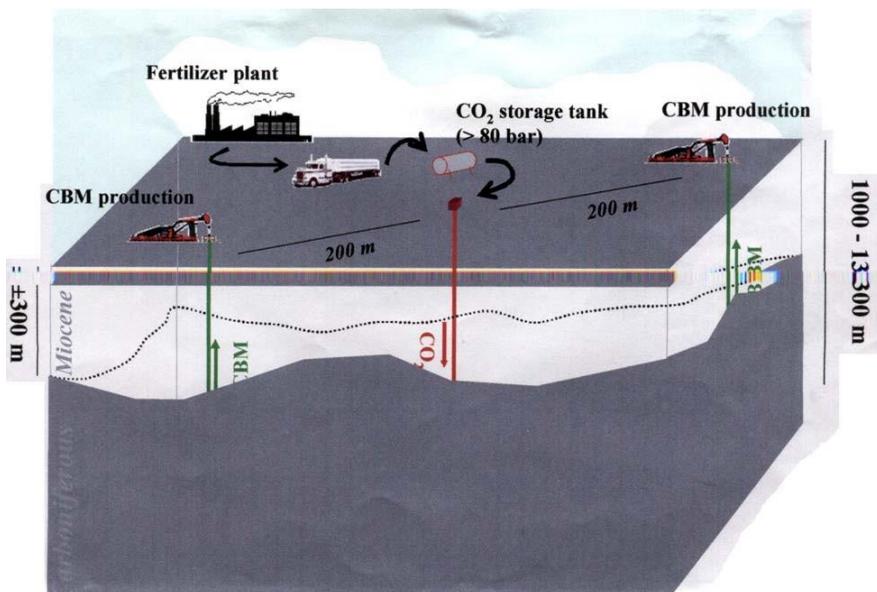


Рис. 1.8 Схема проекта Рекопол

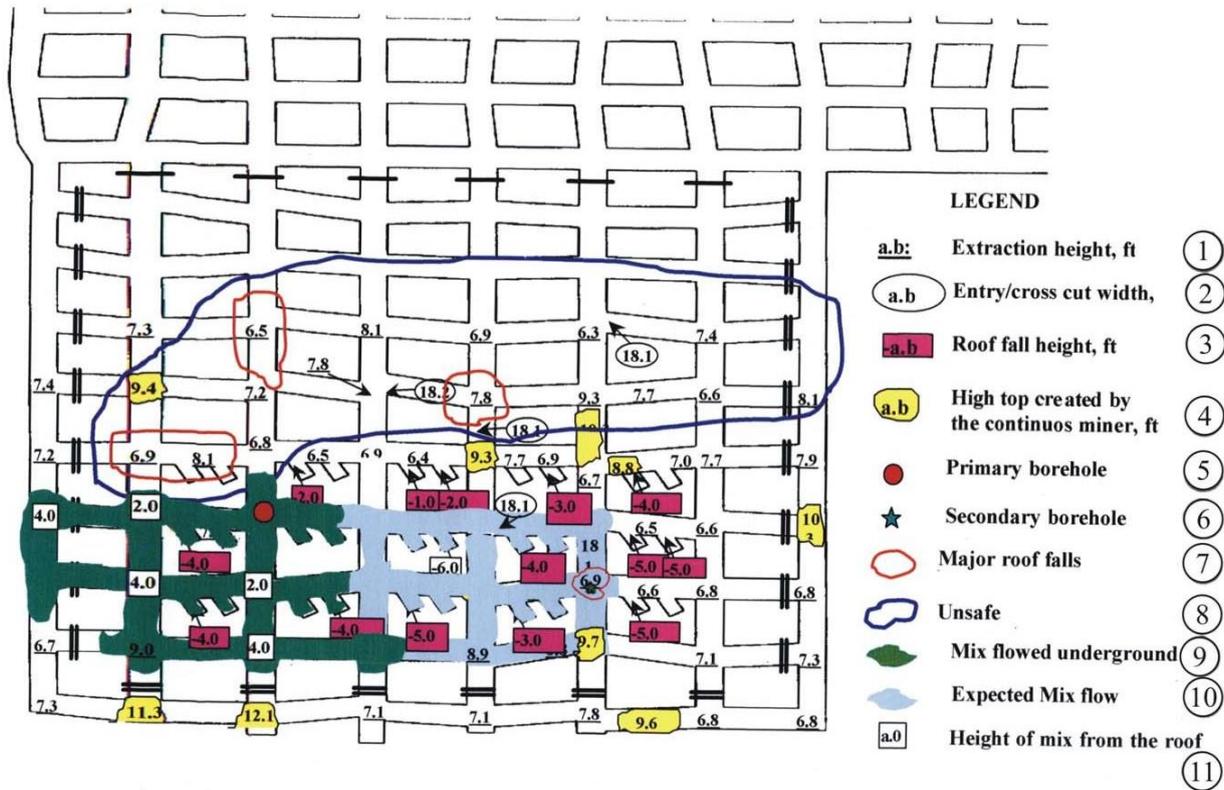


Рис. 1.20 План горных работ выемочного участка шахты Краун-III

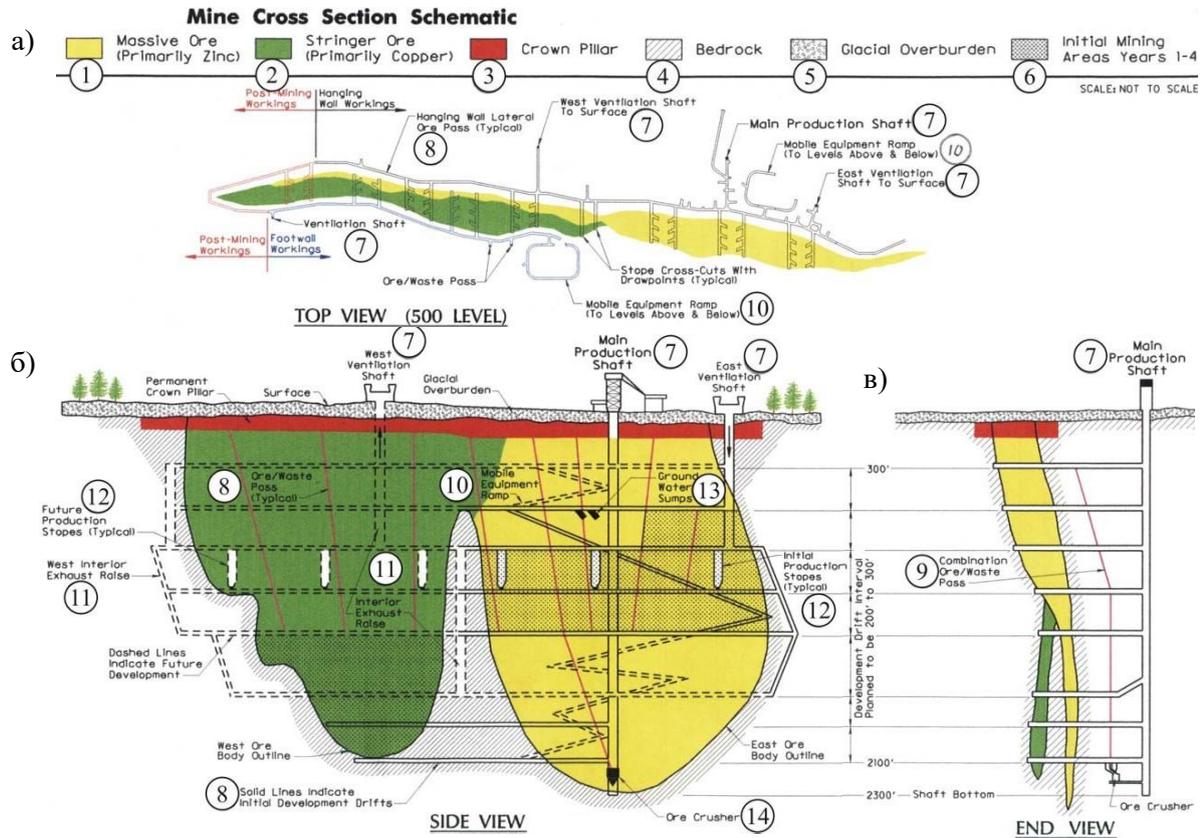


Рис. 1.23 Схема вскрытия и отработки рудного месторождения на шахте Крэндон (размеры в футах)



Рис. 1.24 Вид с воздуха промышленной площадки шахты Балби



Рис. 1.25 Отвалы продуктов обогащения шахты Ла Коипа (La Coipa), Чили (серебро, золото)

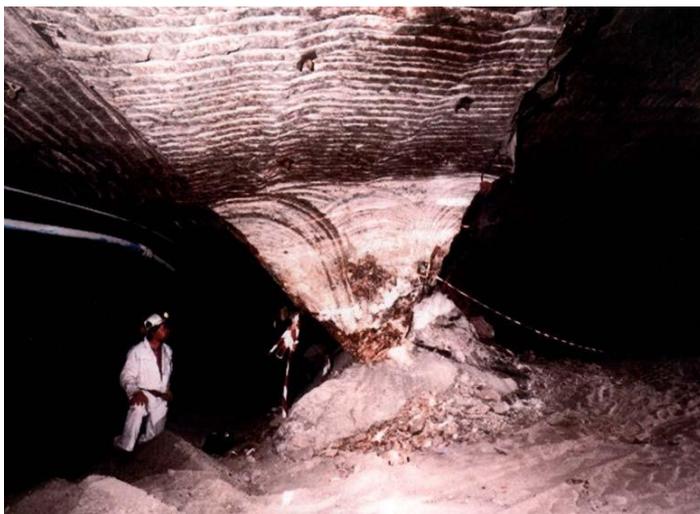
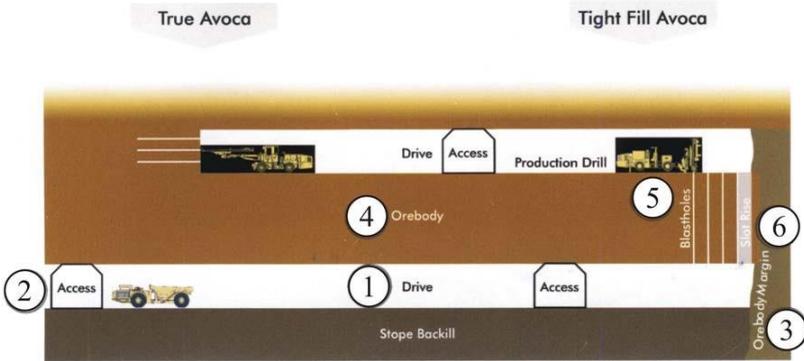


Рис. 1.26 Оработка целика, оставленного для поддержания выработанного пространства шахты Балби



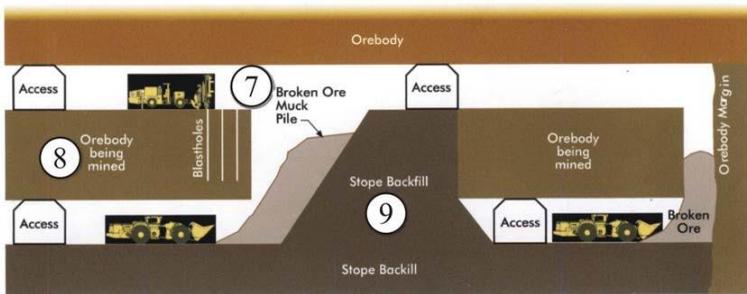
Рис. 1.27 Трубопровод для транспортировки закладочной суспензии в выработки шахты Балби

a)



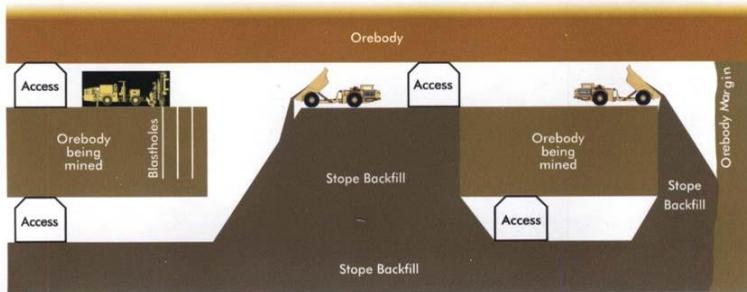
Drilling Drive Access

b)



Vertical Drilling & Mucking Out

B)



Back Filling

Рис. 1.28 Технология закладочных работ в шахте Фавона (проект)

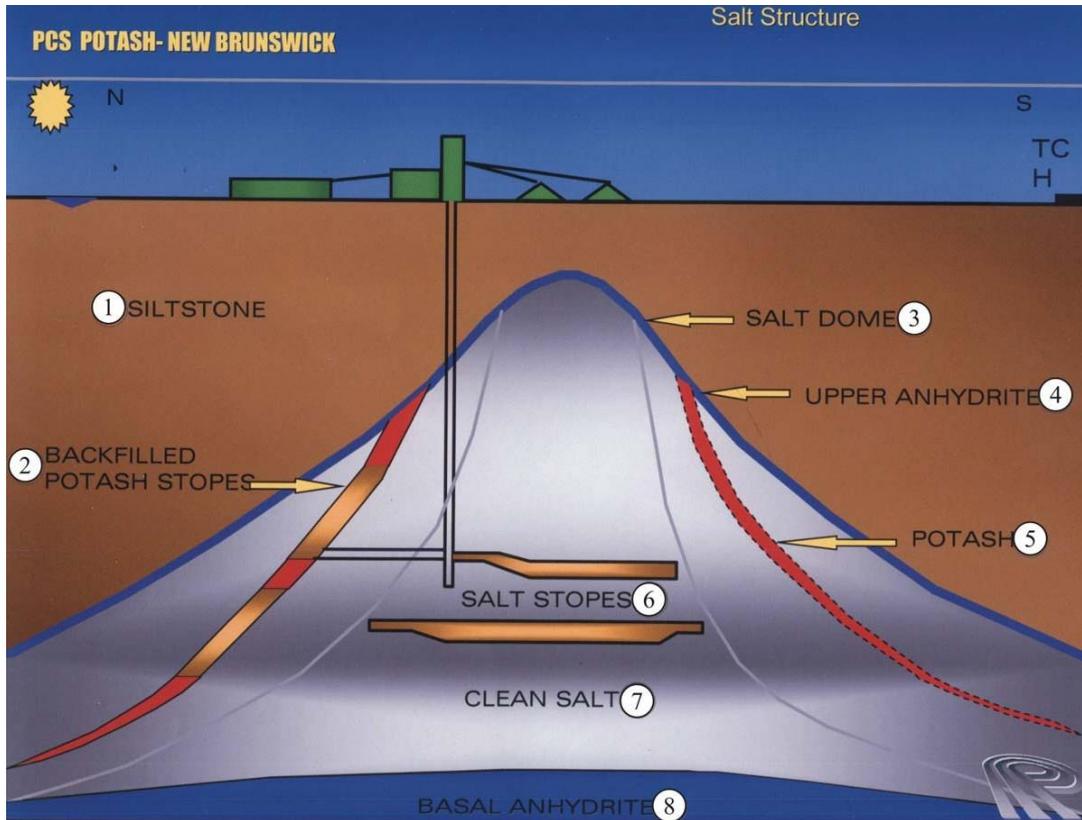


Рис. 1.29 Геологическое строение месторождения поташа шахты Нью Брунвик

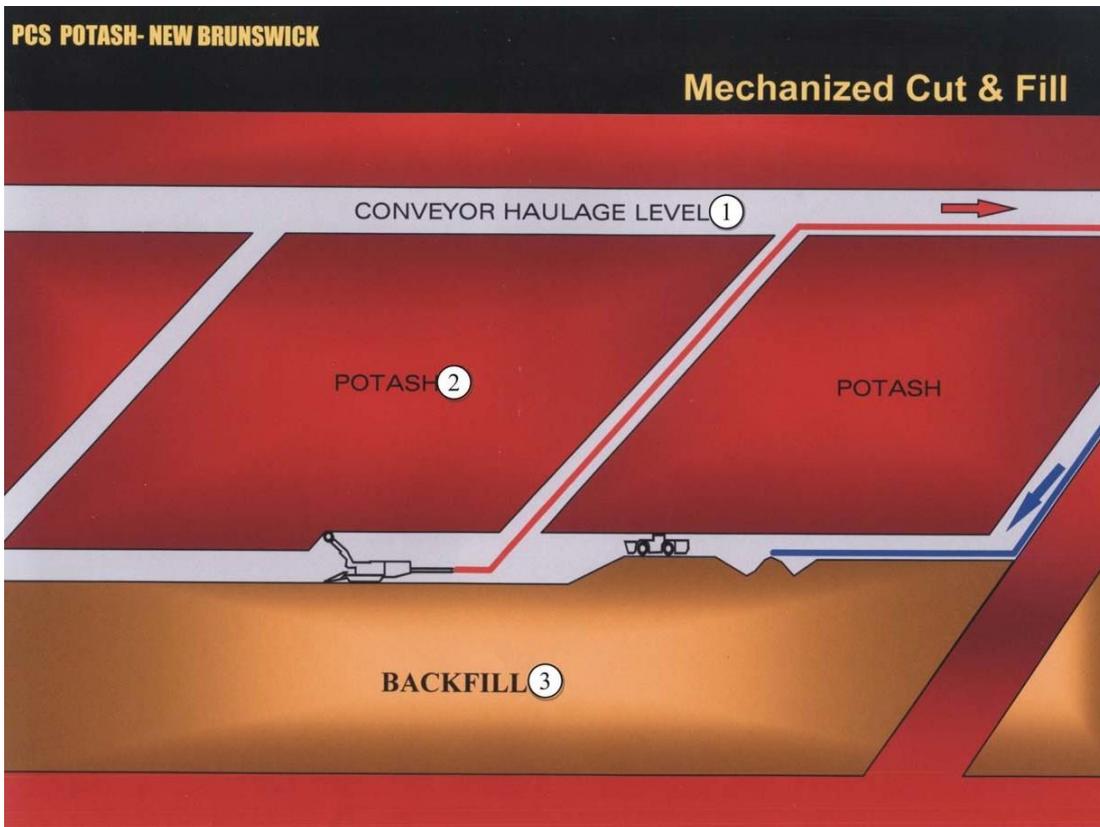


Рис. 1.30 Технологическая схема добычных и закладочных работ на шахте Нью Брунsvик

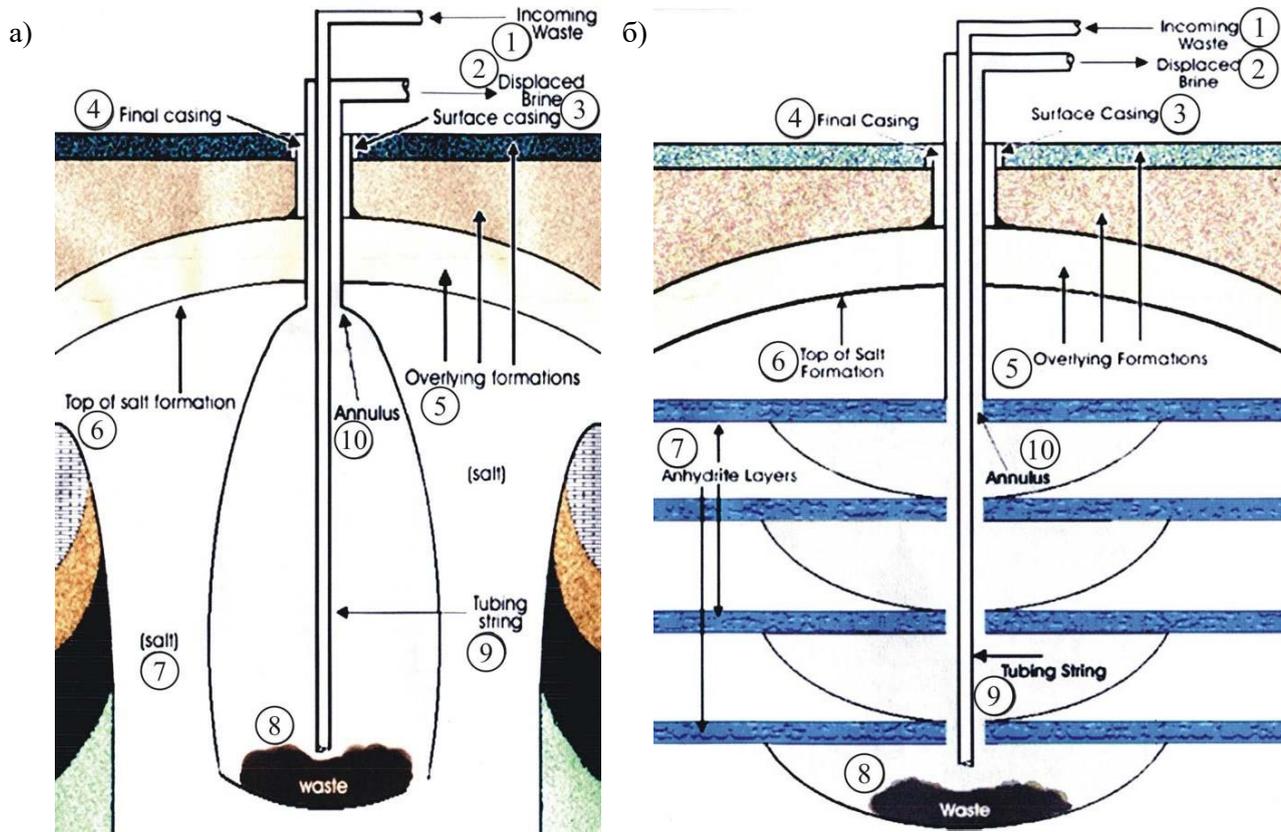


Рис. 1.32 Использование соляных полостей для складирования отходов

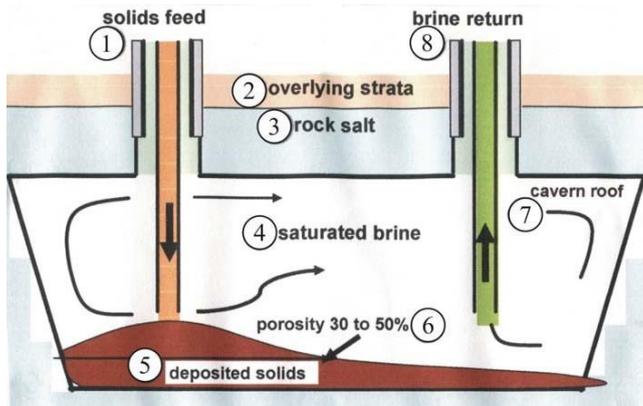


Рис. 1.33 Схема складирования отходов в соляной полости с использованием двух скважин

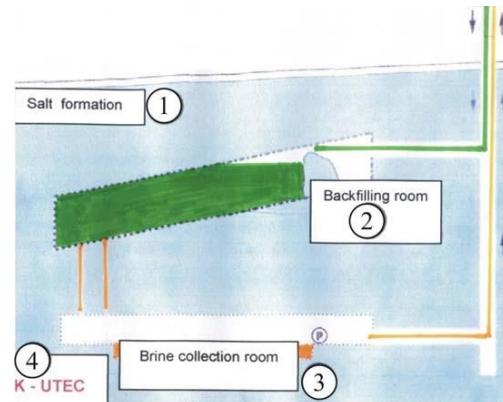


Рис. 1.34 Схема складирования отходов в протяженных выработках, пройденных в пластовых соляных месторождениях

Рис. 1.36 Комплекс транспортировки и инъецирования отходов нефтедобычи в подводные соляные полости

CCS ENERGY SERVICES CAVERN PROCESS

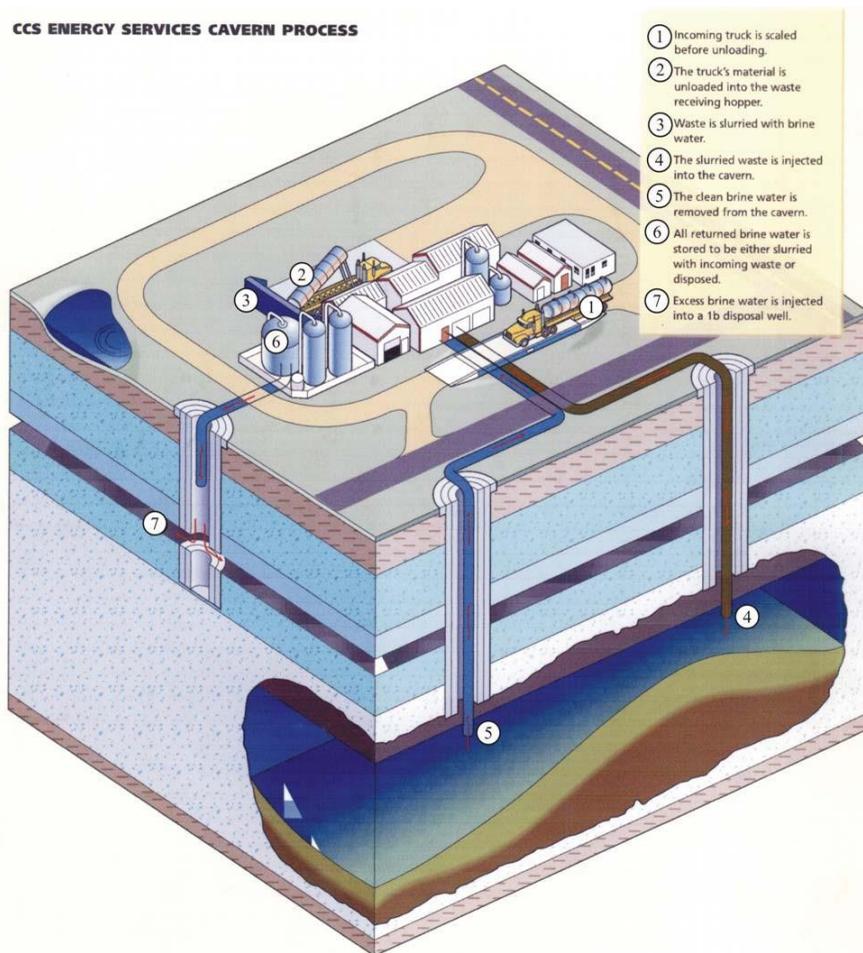


Рис. 1.35 Совмещенная схема поверхностного и подземного комплексов складирования отходов в соляных полостях

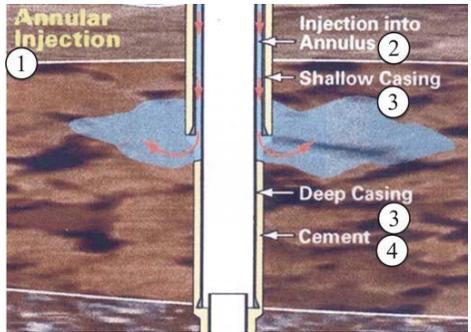
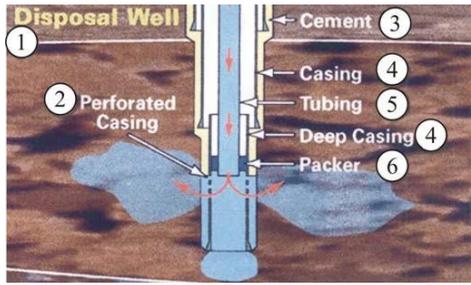
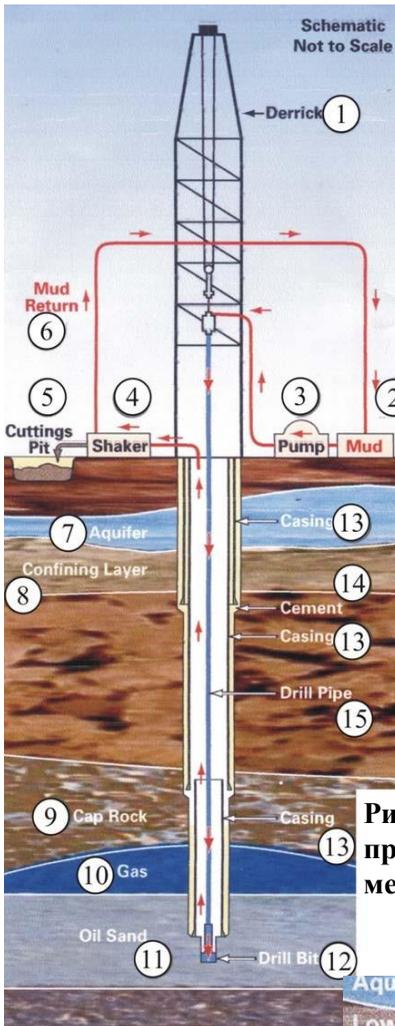
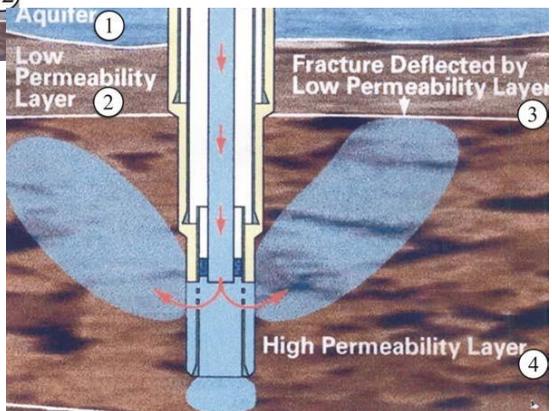


Рис. 1.40 Закачка бурового шлама в породы, перебуренные скважиной

Рис. 1.39 Схема скважины, пробуренной к газовому месторождению

Рис. 1.41 Формирование трещиноватых зон при закачке шлама



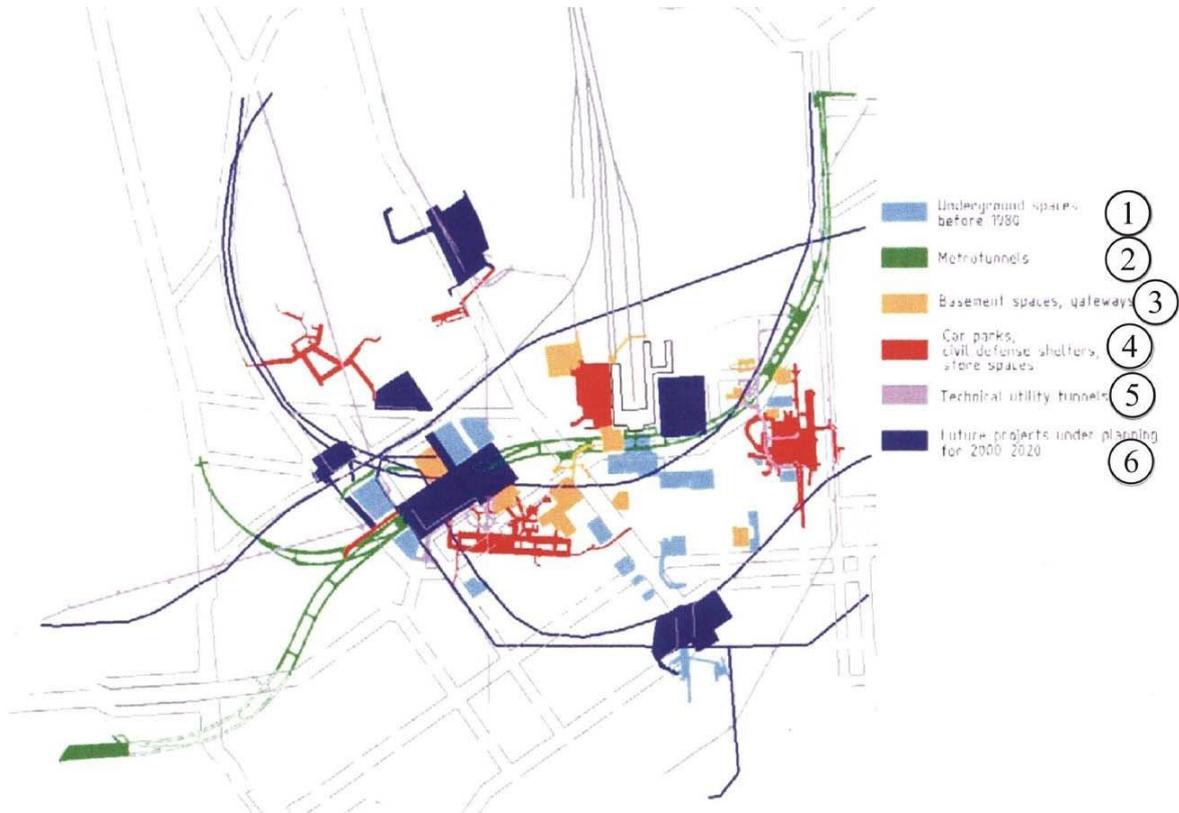
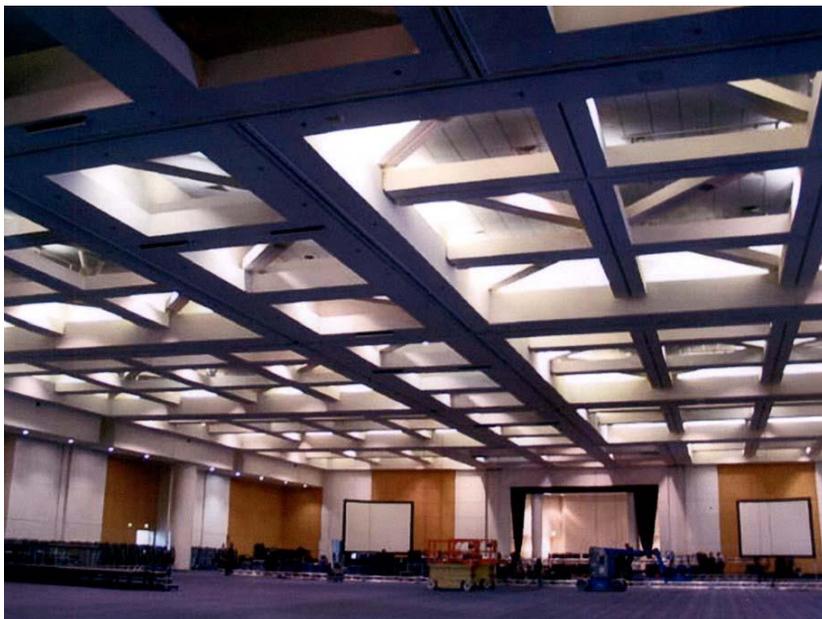


Рис. 2.1 Существующие и перспективные подземные сооружения в центре Хельсинки

а)



б)



Рис. 2.2 Общественный Москон-Центр

В)



Рис. 2.2 (окончание)



Рис. 2.3 Общий вид Кливлендского общественного Центра

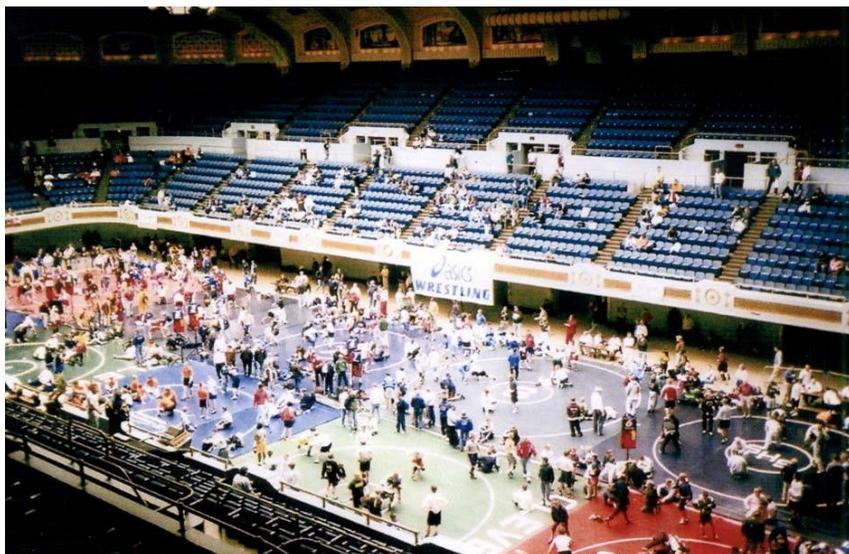


Рис. 2.4 Главный зал Кливлендского общественного Центра



Рис. 2.5 Общий вид парламента штата Техас (видны застекленные крыши подземных коридоров)

a)



б)



Рис. 2.9 Подземная церковь Темпеляукио

В)

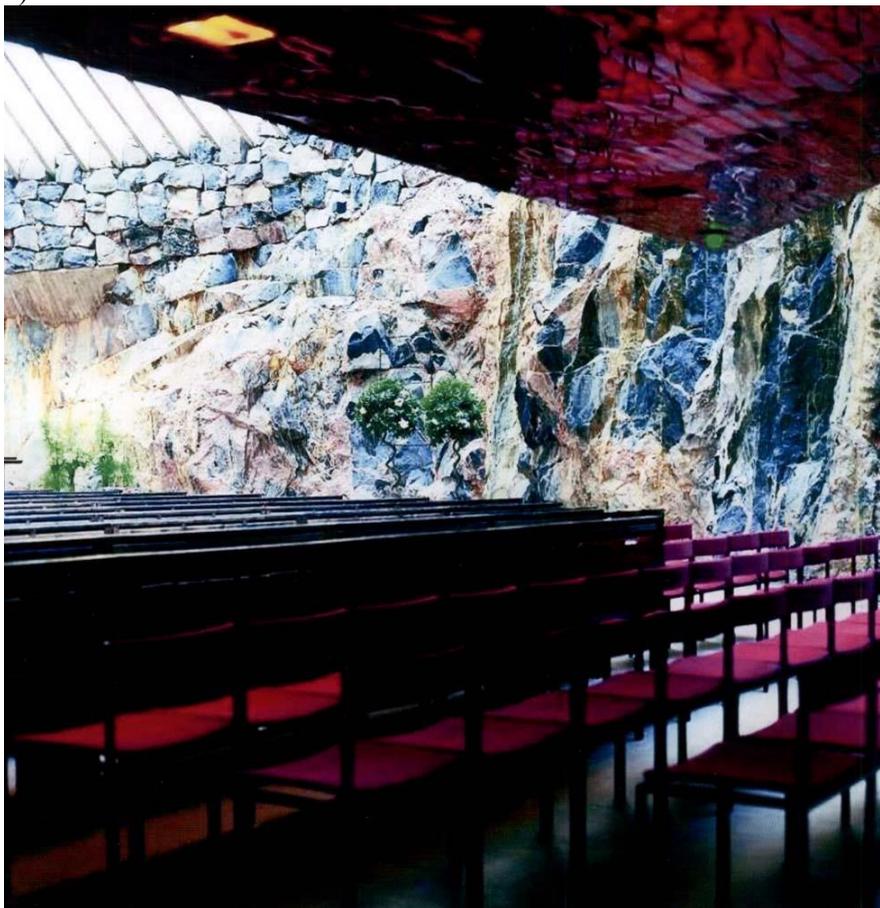


Рис. 2.9 (окончание)

Рис. 2.12 Стеклянная пирамида детского сада Ла-Марина



Рис. 2.13 Центральный зал детского сада Ла-Марина, освещенный стеклянной пирамидой

Рис. 2.14 Макет подземной части общественного центра обучения университета





Рис. 2.15 Вход в объединенный центр обучения

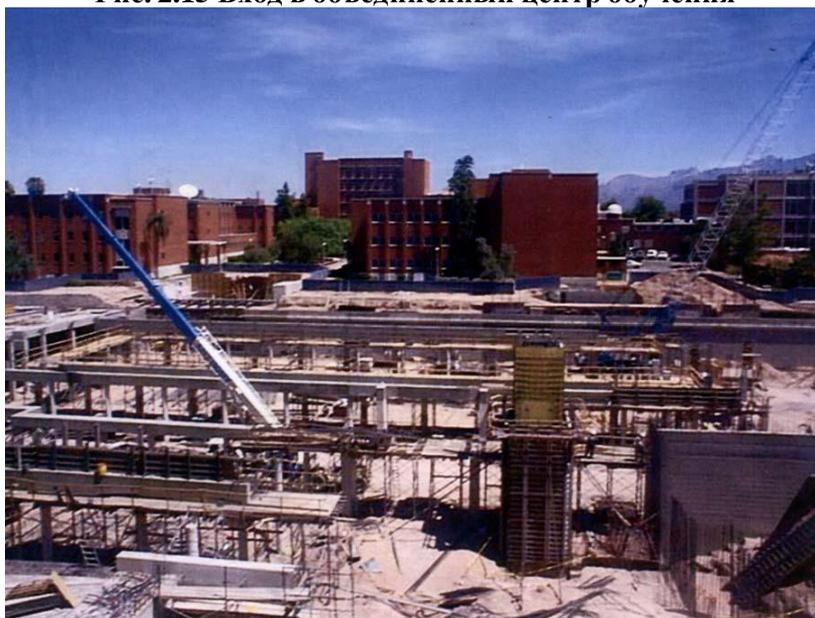


Рис. 2.16 Строительство объединенного центра обучения университета штата Аризона

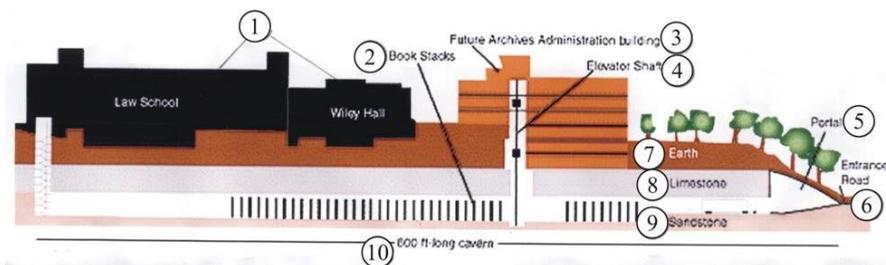


Рис. 2.17 Разрез по подземной части библиотеки университета Миннесота



Рис. 2.18 Подземная полость библиотеки университета Миннесота



Рис. 2.19 Начальная стадия строительства

а)



б)



Рис. 2.20 Установка изогнутых железобетонных панелей крепи полости подземной части библиотеки университета Миннесоты

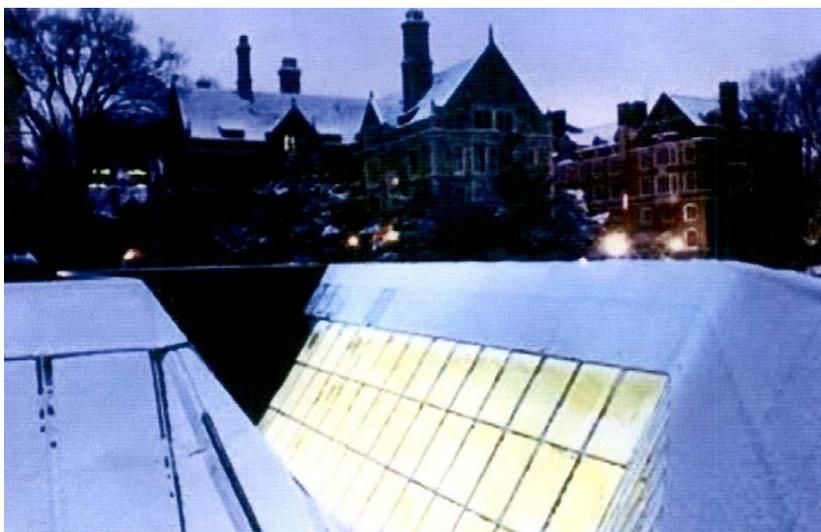


Рис. 2.24 Вид снаружи на окна подземной библиотеки юстиции

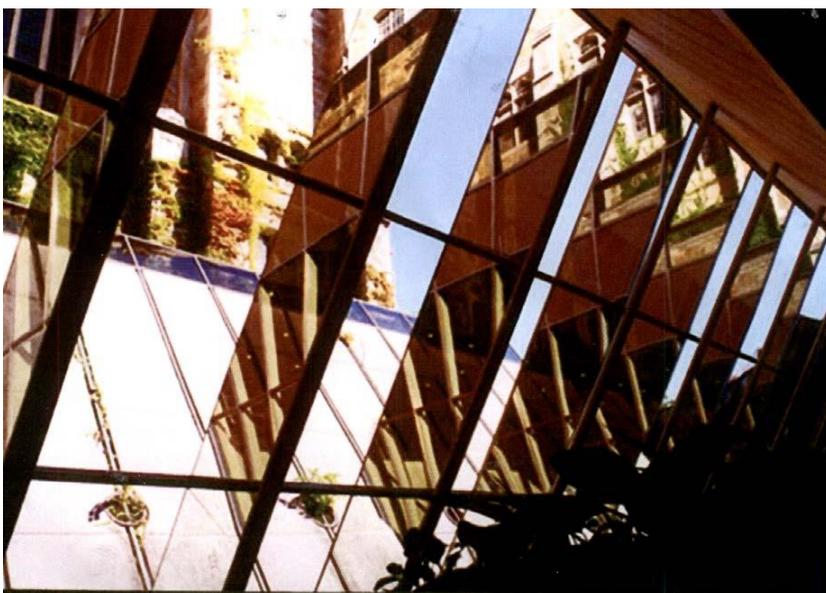


Рис. 2.25 Вид изнутри на окна подземной библиотеки юстиции

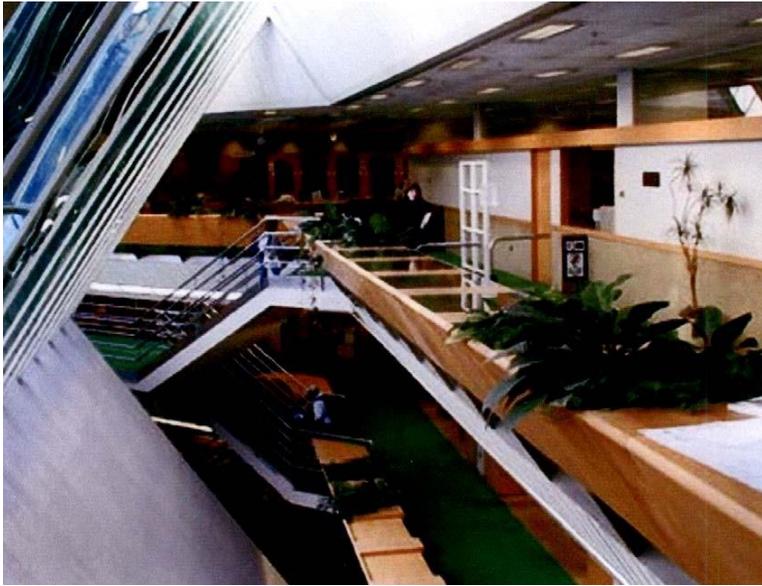


Рис. 2.26 Освещение интерьера библиотеки юстиции Мичиганского Университета

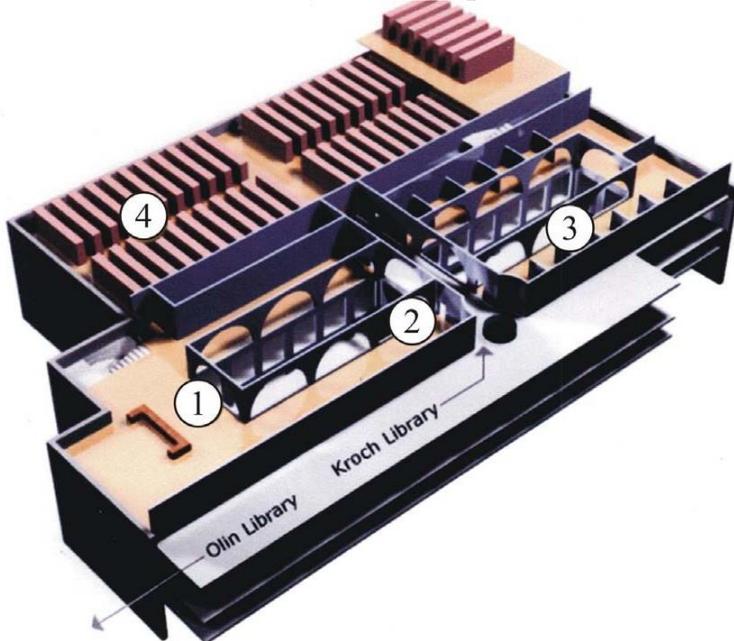


Рис. 2.27 Макет подземной библиотеки Кроха



Рис. 2.30 Макет здания библиотеки Моргана

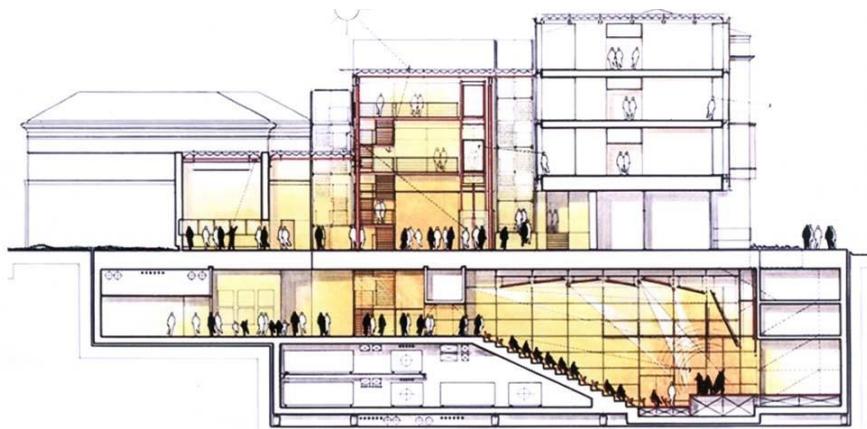


Рис. 2.31 Разрез по реконструкции комплекса библиотеки Моргана

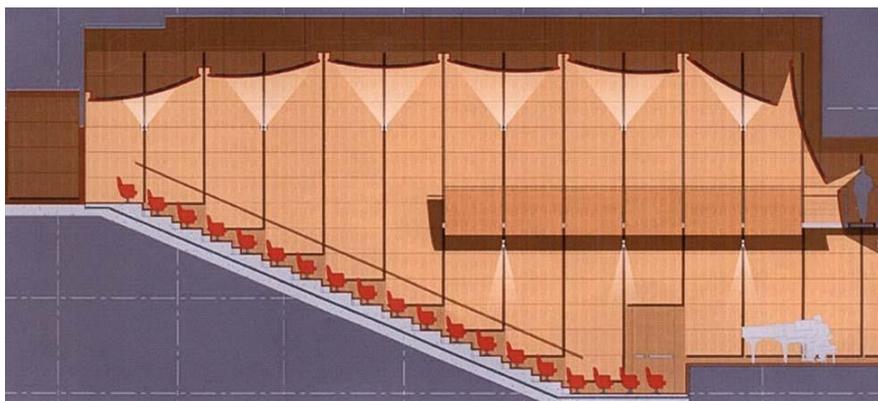


Рис. 2.32 Эскиз подземной аудитории библиотеки Моргана



Рис. 2.33 Макет читального зала библиотеки Моргана

а)



б)



Рис. 2.34 Строительство подземной части библиотеки Моргана



Рис. 2.36 Монтаж конструкций в котловане подземной части библиотеки



Рис. 2.37 Внутренний двор музея Лувр (днем)



Рис. 2.38 Внутренний двор музея Лувр (ночью)



Рис. 2.39 Вид изнутри музея Лувр на стеклянную пирамиду

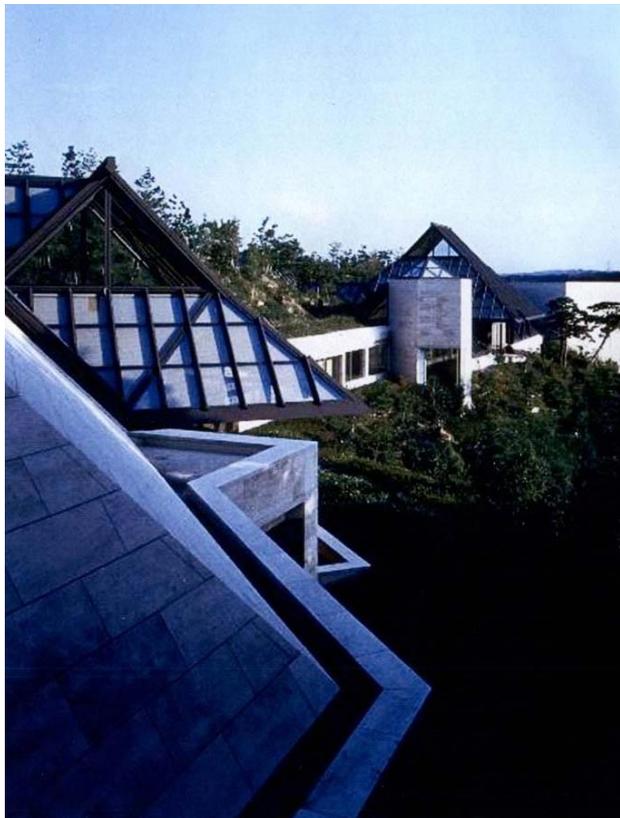


Рис. 2.40 Перевернутая пирамида в интерьере Лувра



Рис. 2.41 Стекланные пирамиды зала Славы и музея Рок-н-Ролла

а)



б)

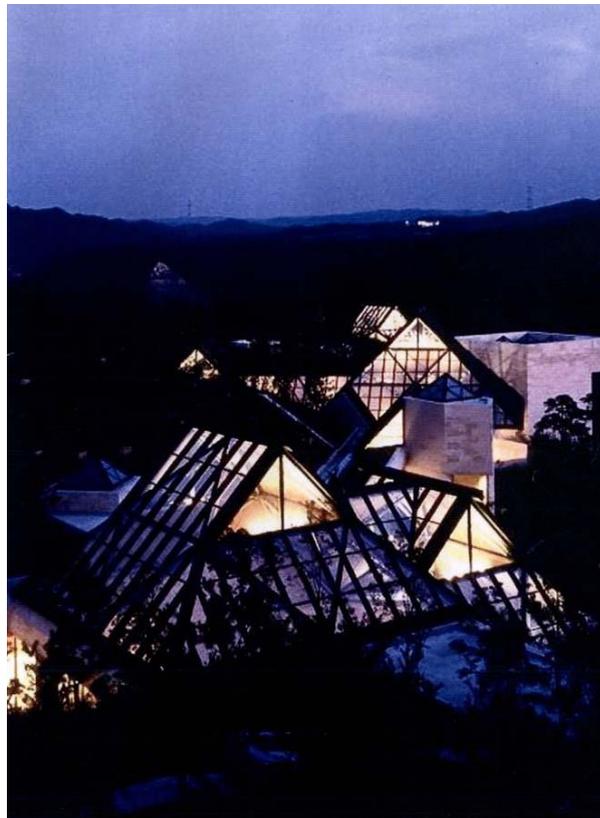


Рис. 2.42 Музей Михо



Рис. 2.43 Общий вид мемориала «Женщины на военной службе» (слева) а)



Рис. 2.45 Интерьеры мемориала «Женщины на военной службе»

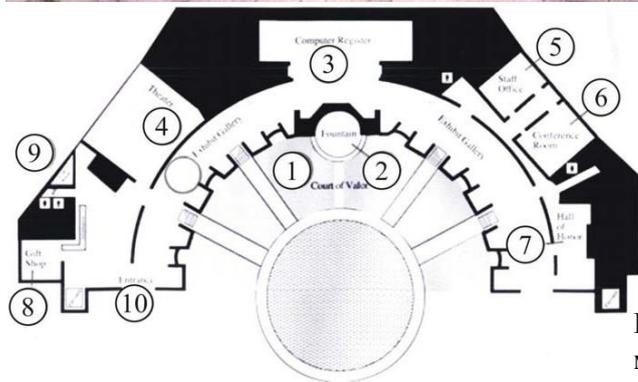


Рис. 2.44 План мемориала



б)

Рис. 2.46 Общий вид музея
Пола

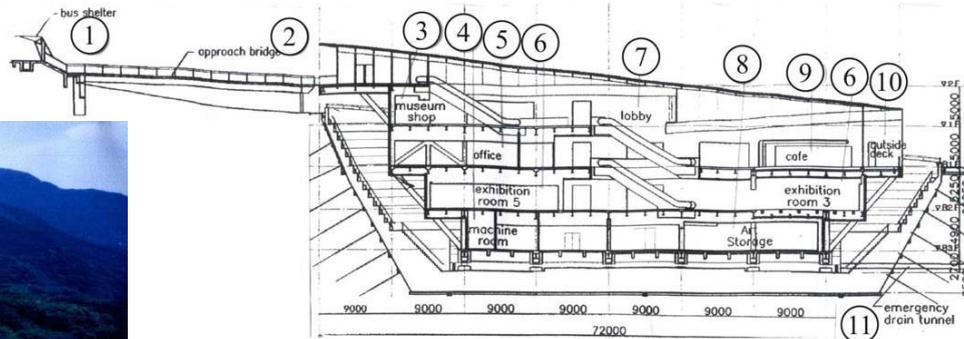


Рис. 2.47
Вертикальный
разрез по подземной
части музея Пола

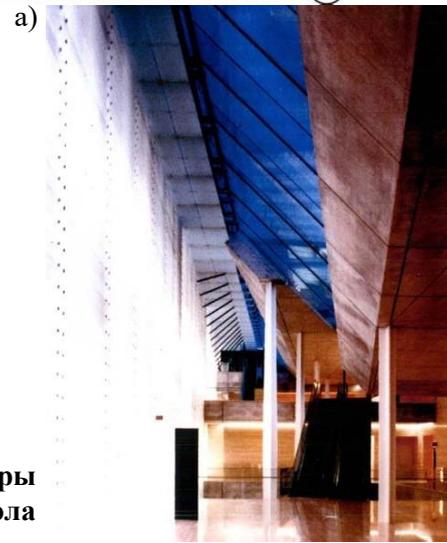


Рис. 2.48 Интерьеры
музея Пола

a)



б)



Рис. 2.48 (окончание)



Рис. 2.49 Калифорнийский дворец Почетного Легиона

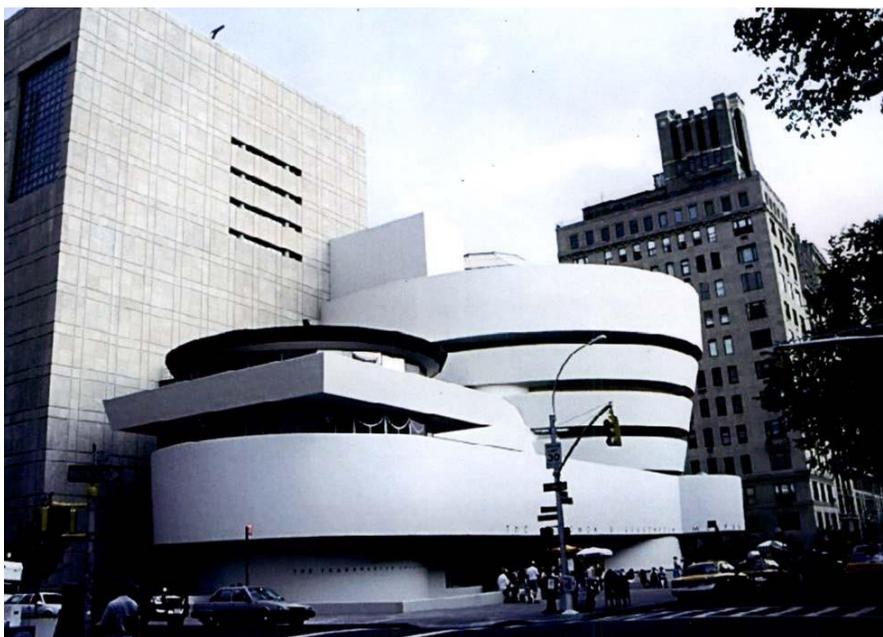


Рис. 2.50 Музей Гугенхайма



Рис. 2.53 Макет проектируемого входного наземного здания Бруклинского детского музея



Рис. 2.51 Вход в Бруклинский детский музей

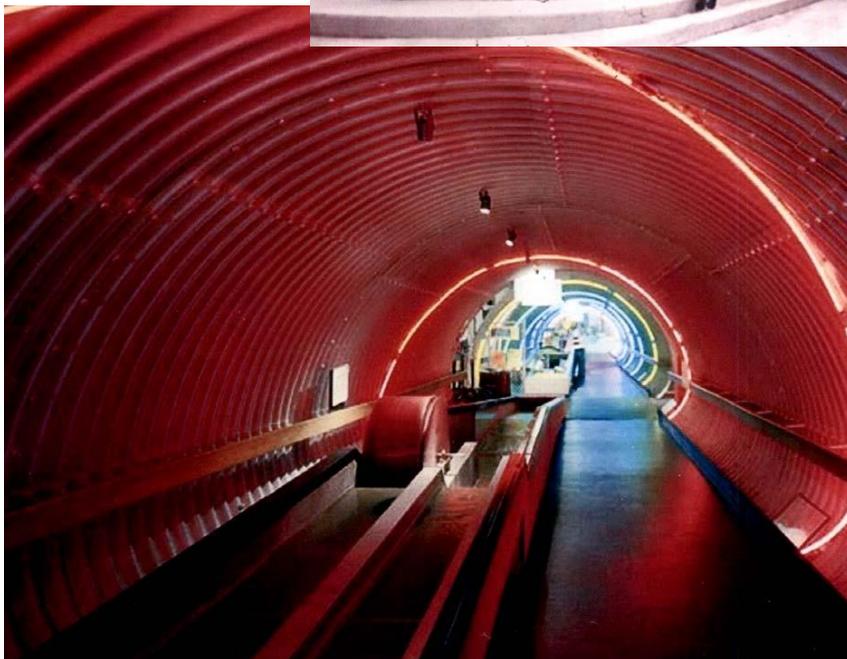
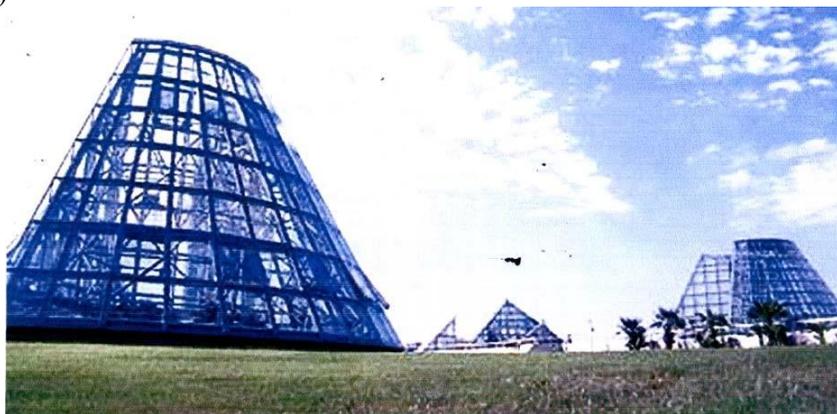


Рис. 2.52 Гафриванный стальной переход в Бруклинском детском музее

а)



б)

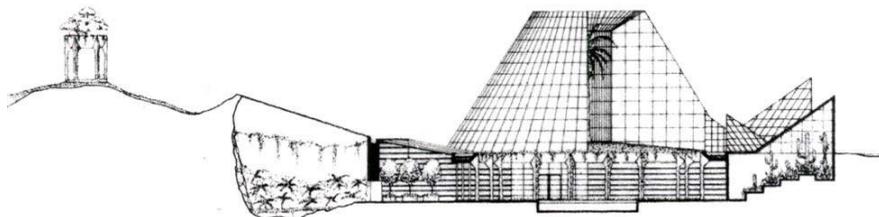


Рис. 2.54 Стеклянная пирамида оранжереи Люсиль Хэлсел

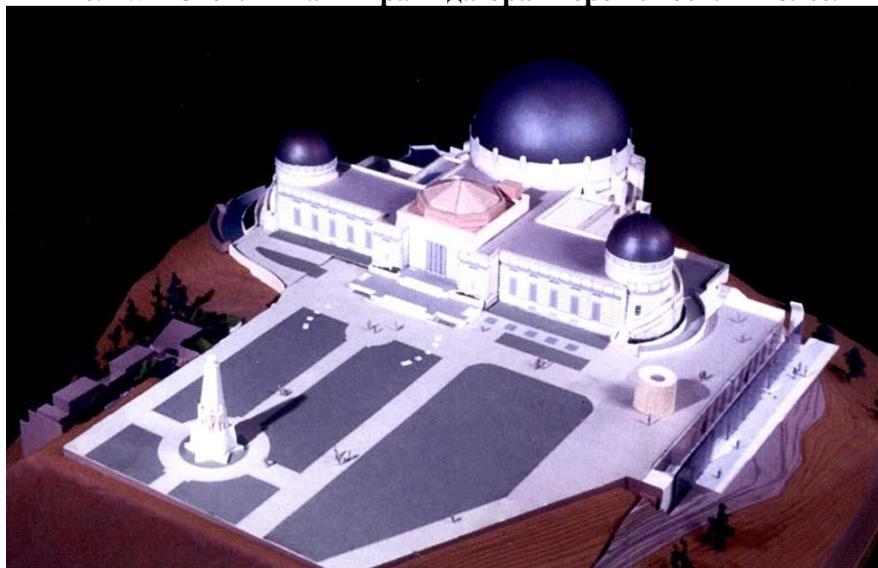


Рис. 2.55 Макет обсерватории Парка Гриффит

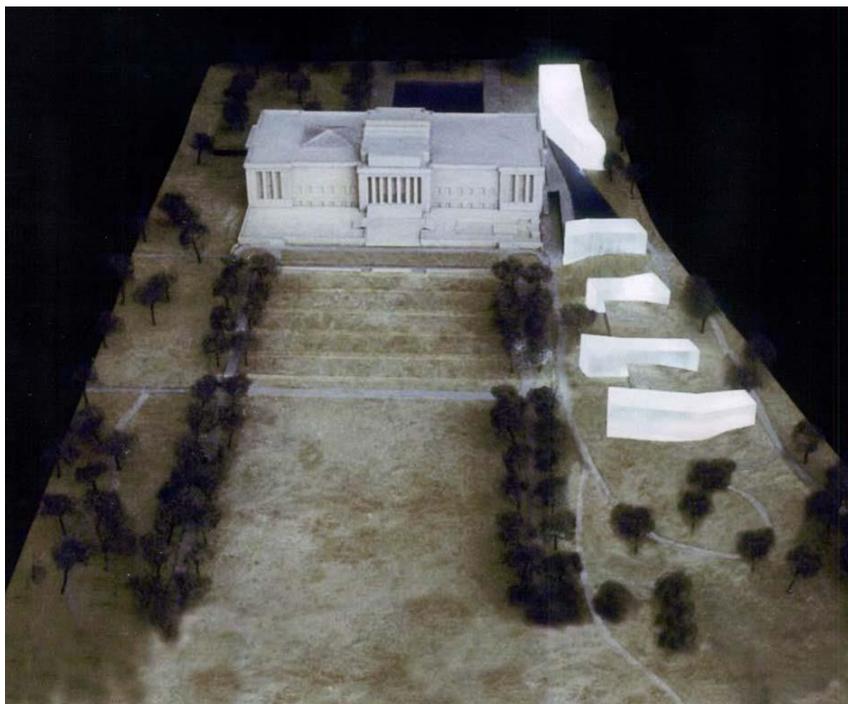


Рис. 2.56 Музей искусств Нельсона-Аткинса



Рис. 2.57 Бассейн над подземной автостоянкой

а)



б)



Рис. 2.58 Подземная автостоянка музея Нельсона-Аткинса



Рис. 2.59 Окленд-музей

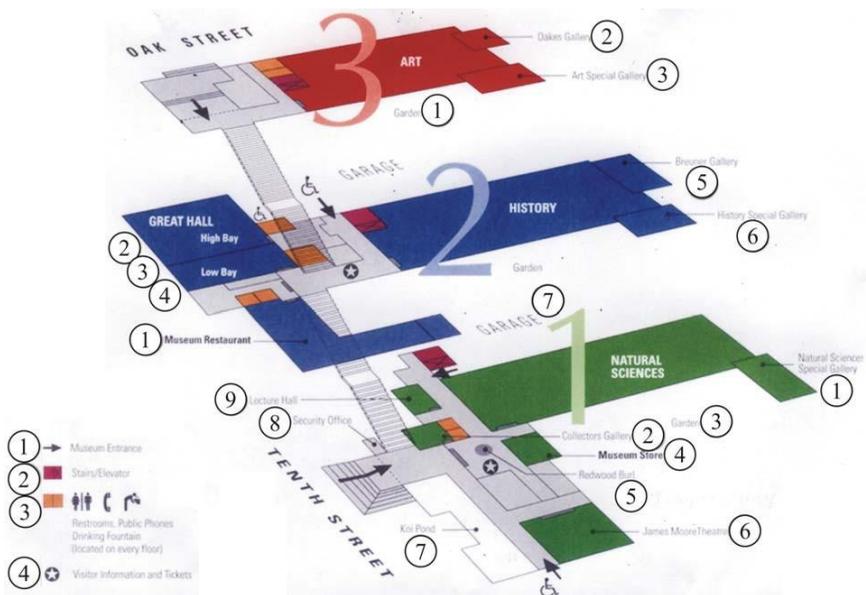


Рис. 2.60 Поэтажный план Окленд-музея



Рис. 2.63 Здание Карнеги-Холла



Рис. 2.64 Новый подземный зал Карнеги-Холла (Занкель-Холл)

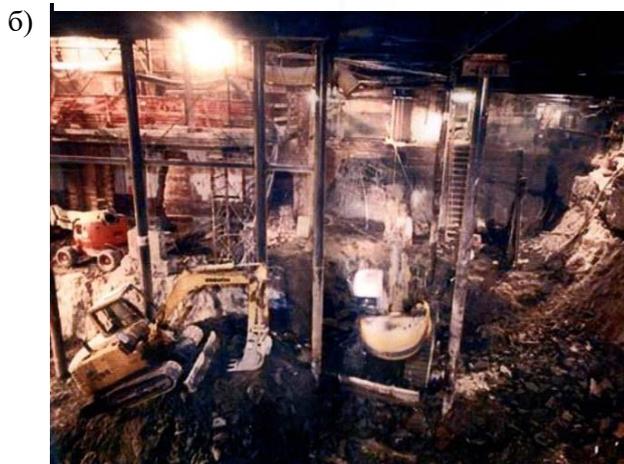
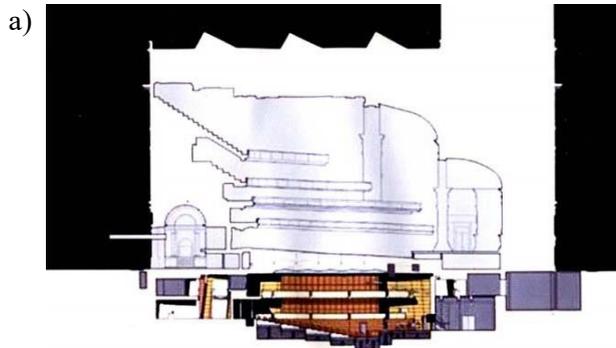


Рис. 2.65 Строительство Занкель-Холла

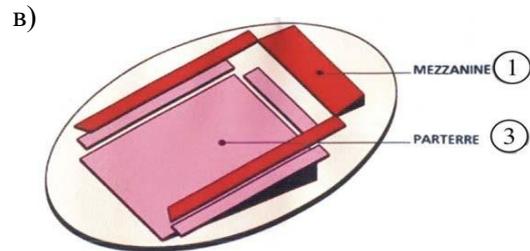
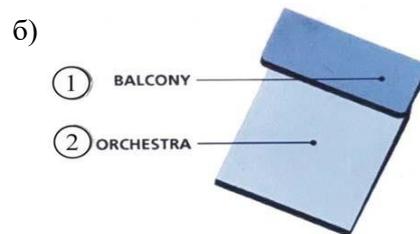
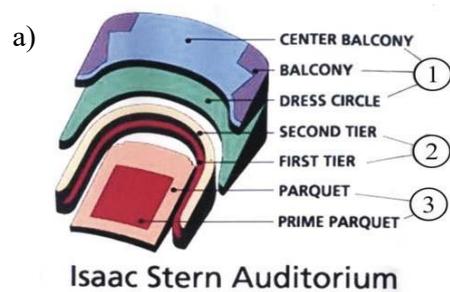


Рис. 2.66 Схемы залов Карнеги-Холла



Рис. 2.67 Фойе подземного зала Занкель-Холл



Рис. 2.68 Входной вестибюль театра музыки и танца Чикаго

a)



б)



Рис. 2.69 Интерьер театра музыки и танца



Рис. 2.70 Сцена театра музыки и танца Чикаго

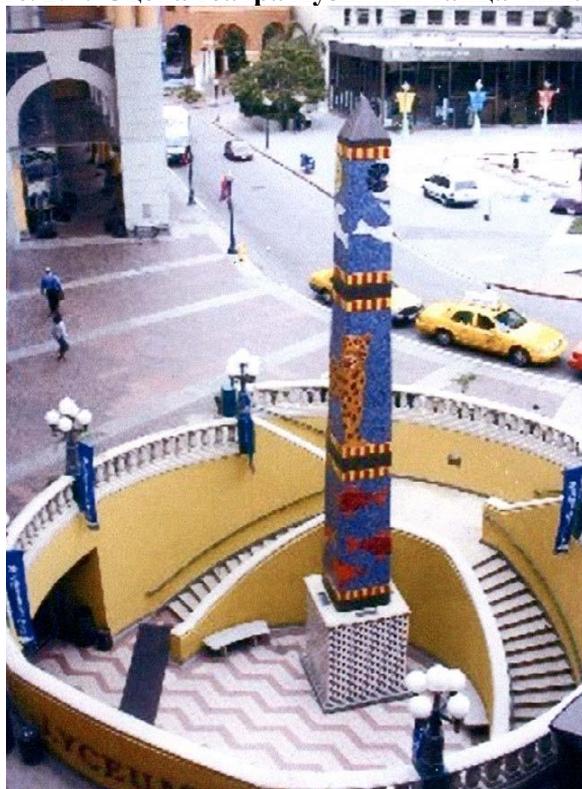


Рис. 2.71 Обелиск театра Лиссьюм



Рис. 2.72 Концертный зал центра искусств Ретретти

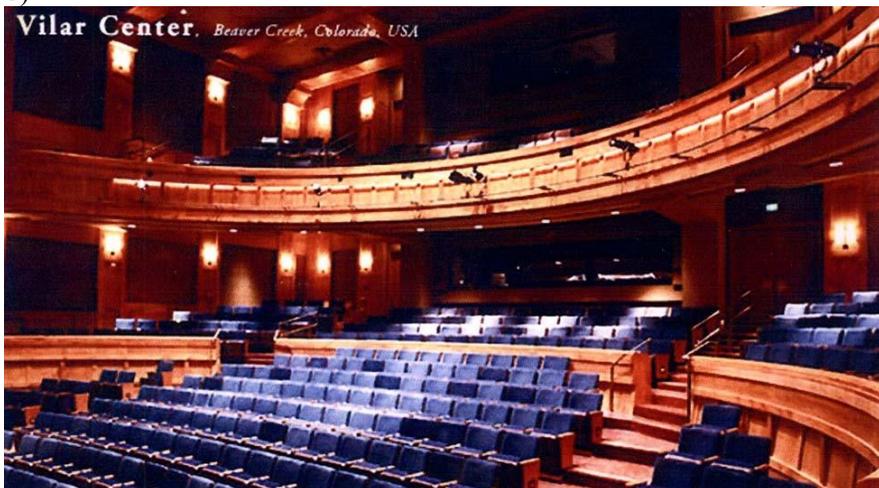


Рис. 2.73 Подземный переход в центре искусств Ретретти

a)



б)



в)



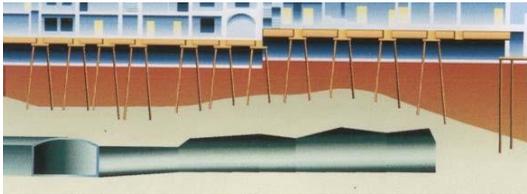
г)



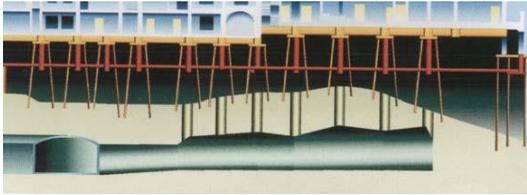
Рис. 2.74 Центр искусств Вилар



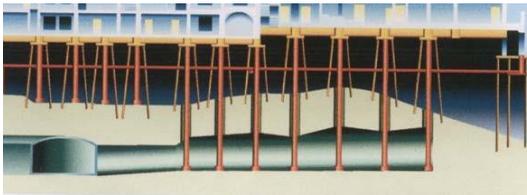
б)



в)



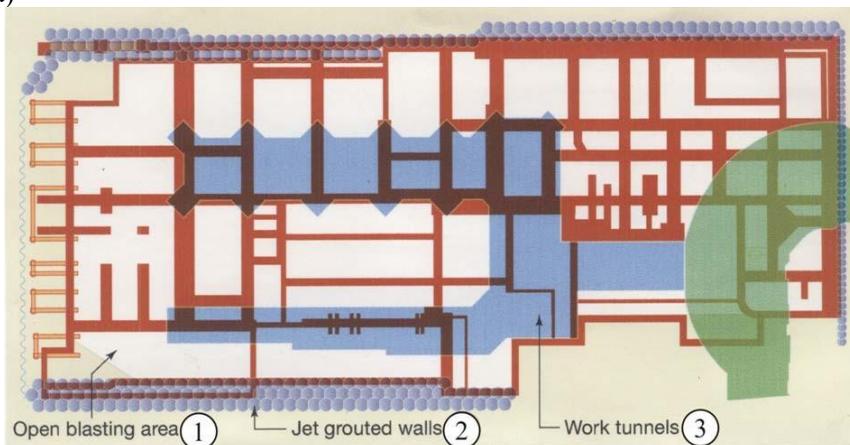
г)



д)

Рис. 2.75 Строительство подземного казино в Хельсинки

a)



b)



Рис. 2.76 План подземной части здания, погрузка отбитой породы (отель «Николаефф Хауз»)



б)



Рис. 2.77 Здание отеля с подземным казино

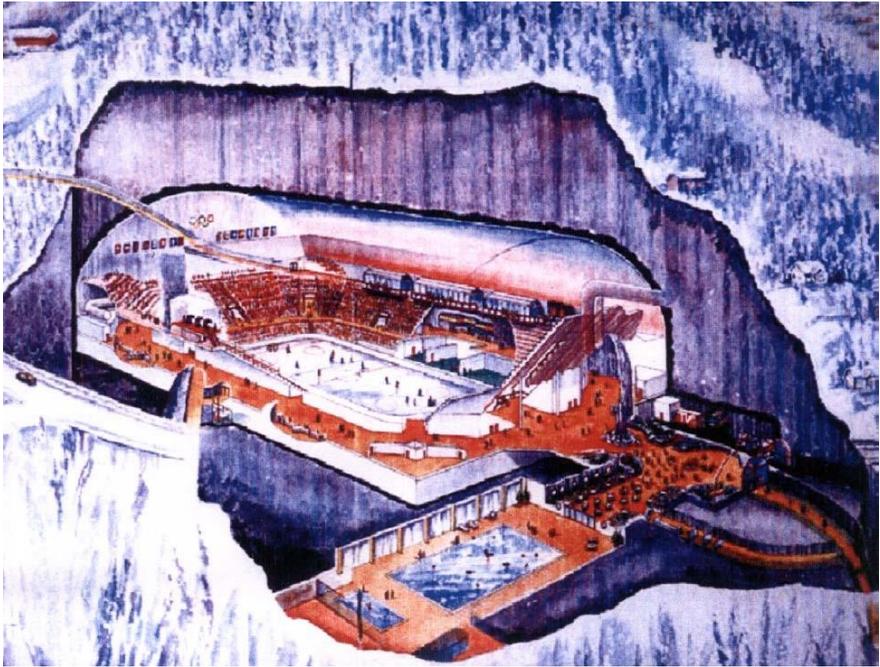


Рис. 2.80 Макет олимпийского стадиона в Гьёвике, Норвегия



Рис. 2.81 Строительство полости большого размера

a)



б)



Рис. 2.82 Подземные спортивные залы Норвегии



Рис. 2.82 (окончание)

а)

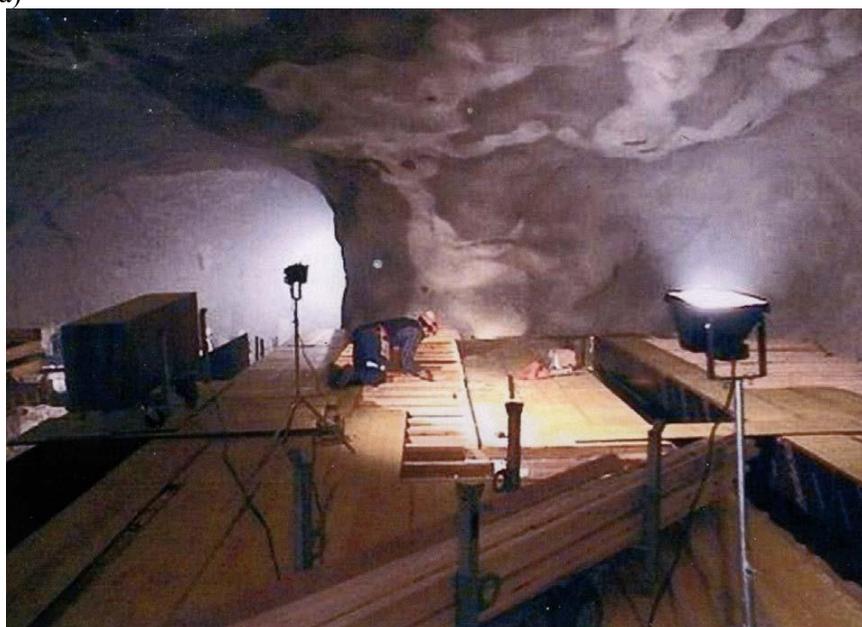


Рис. 2.83 Горные и строительные работы по сооружению подземных спортивных залов

б)



в)

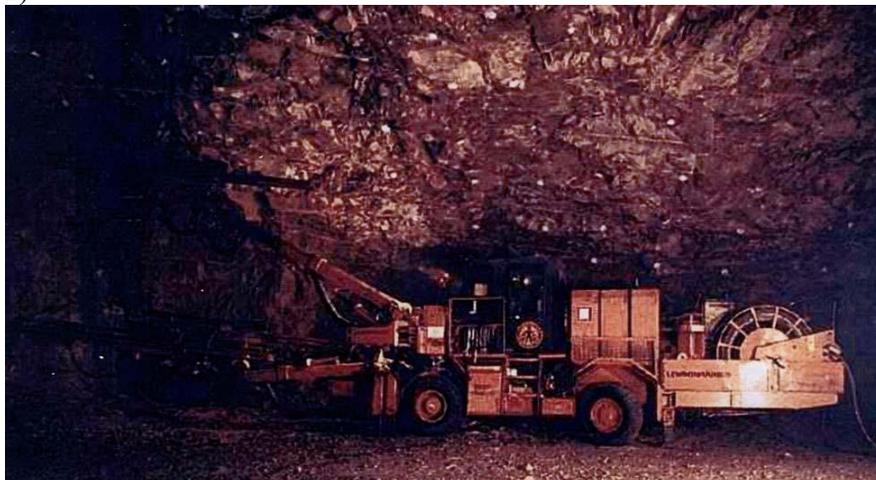


Рис. 2.83 (окончание)



Рис. 2.85 Спортивный комплекс университета Нью-Мексико, США

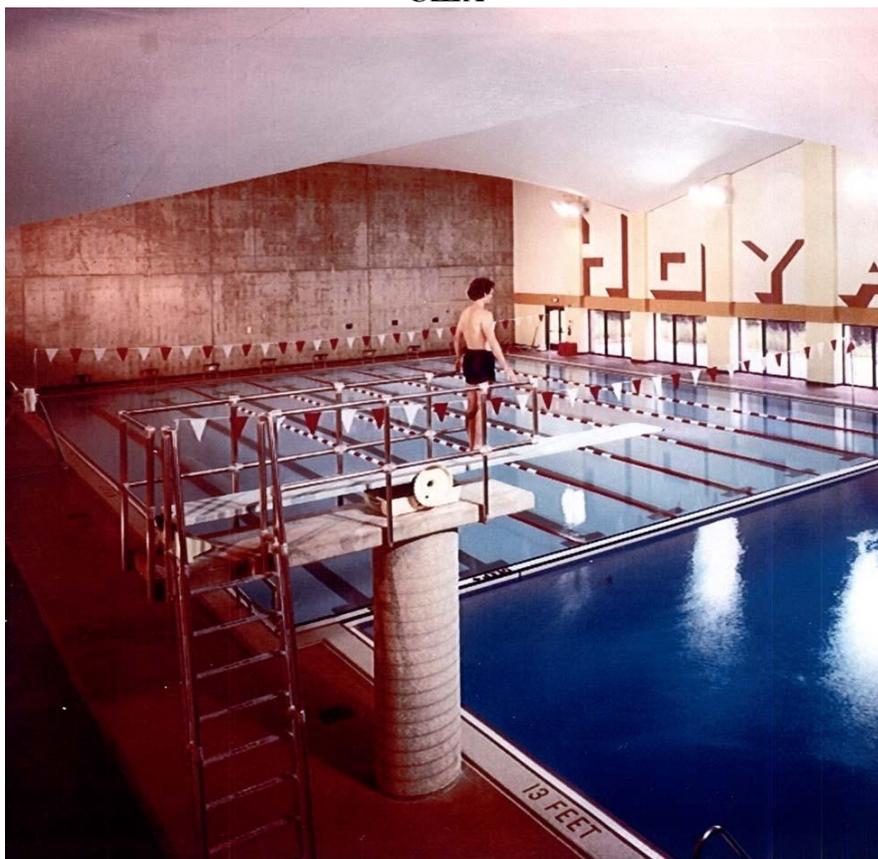


Рис. 2.86 Плавательный бассейн Джорджтаунского университета, США

а)



б)

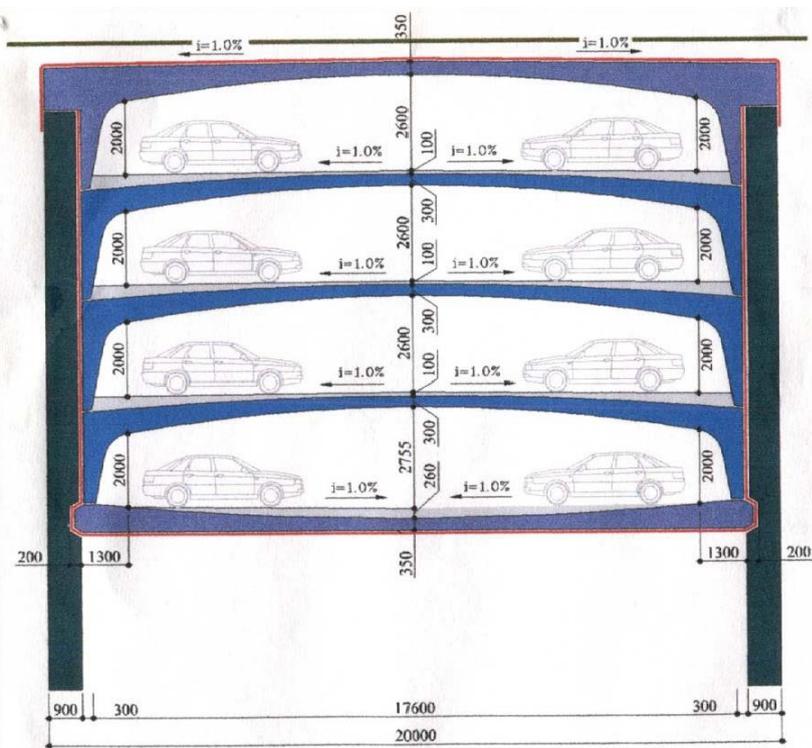


Рис. 2.89 Строительство подземной автостоянки на площади Революции, Москва



Рис. 2.94 Интерьер подземной автостоянки



Рис. 2.95 Расположение подземной автостоянки среди городских кварталов

а)



б)



Рис. 2.96 Подземная автостоянка в скальных породах, Норвегия



Рис. 2.98 Автоматическая парковочная система в Цевене, Италия



Рис. 2.97 Расположение автоматической парковочной системы в городском квартале



Рис. 2.99 Подъемник лифтовой парковочной системы



Рис. 2.100 Железобетонный силос парковочной системы



Рис. 2.101 Модули стоянки автомобилей



Рис. 2.102 Размещение лифтовой системы в парковочном цилиндре



Рис. 2.103 Схема размещения магазинов и сервисных служб в подземной пешеходной сети Торонто



Рис. 2.104 Деталь интерьера подземного комплекса Торонто

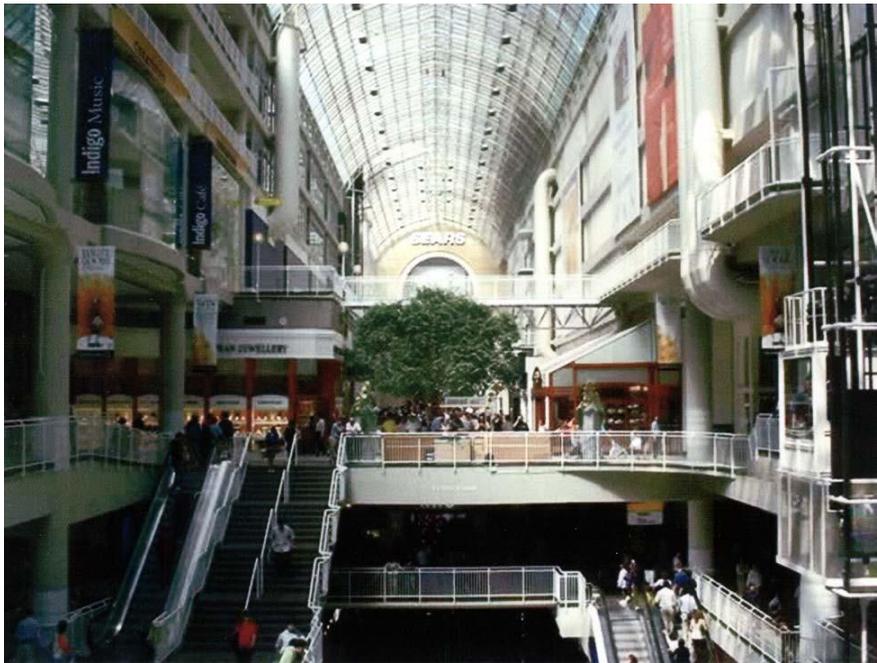


Рис. 2.105 Интерьер атриумного зала комплекса Торонто

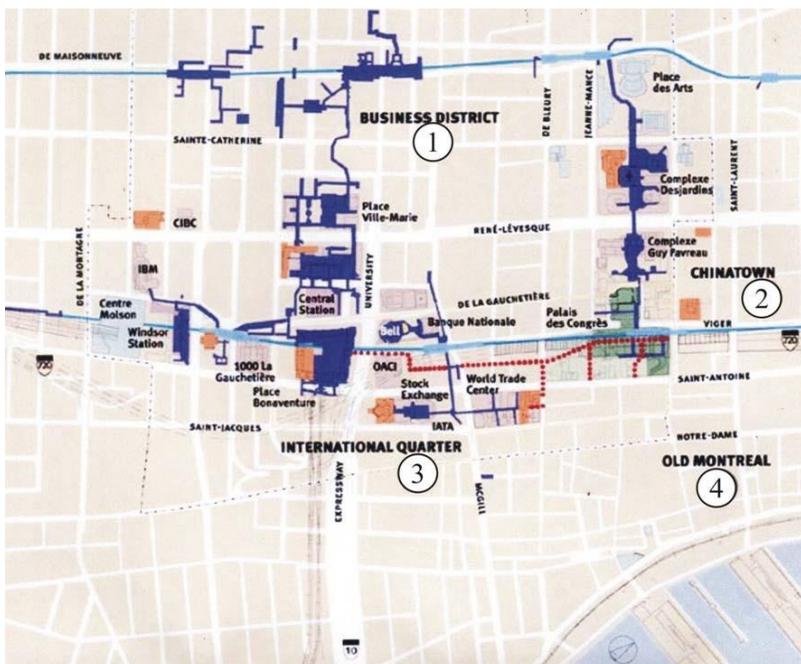


Рис. 2.106 План подземной пешеходной сети Монреаля

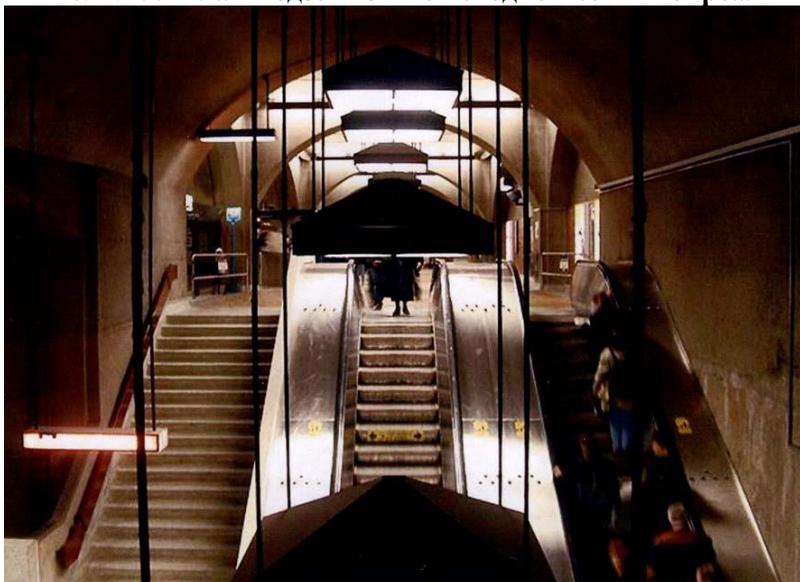


Рис. 2.107 Фрагмент интерьера подземного комплекса Монреаля

a)



Рис. 2.108 Интерьеры залов подземного комплекса Монреаля

б)



в)



Рис. 2.108 (окончание)

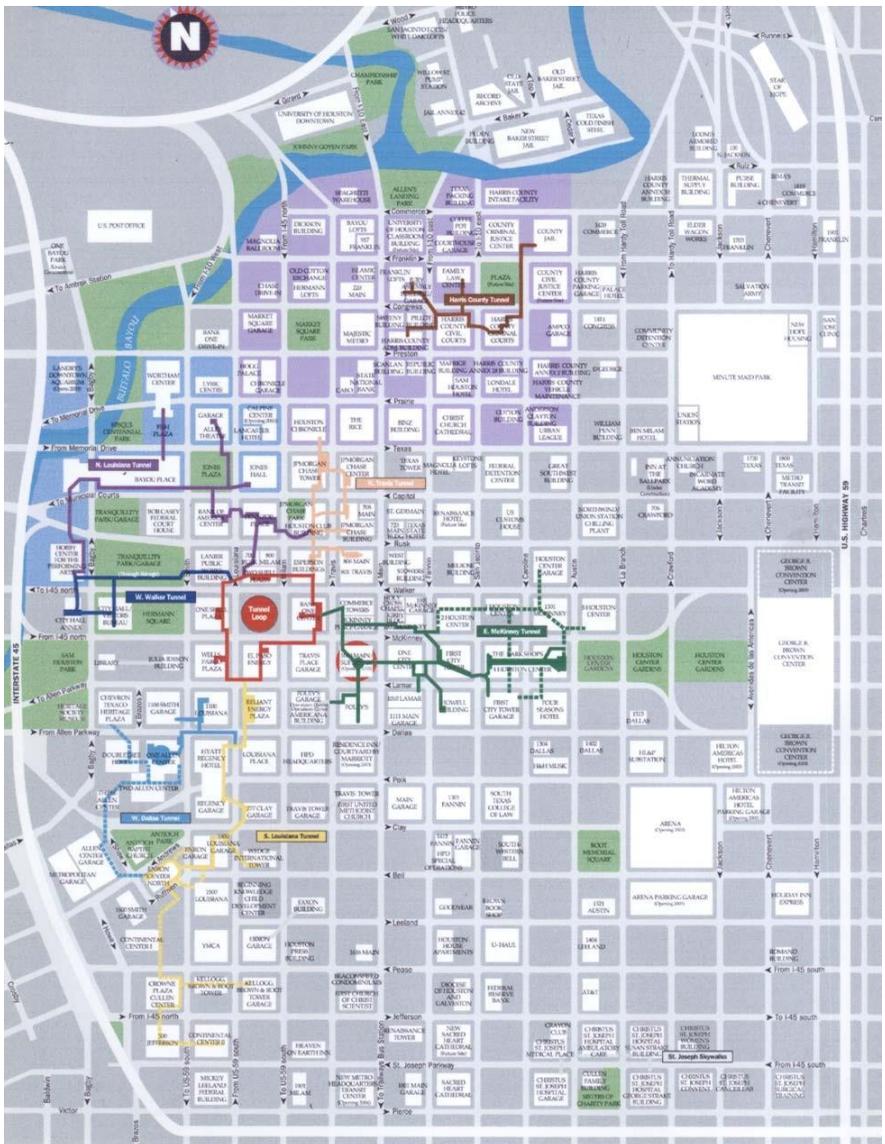


Рис. 2.110 Карта пешеходных туннелей Хьюстона

а)



б)



Рис. 2.111 Интерьеры пешеходных туннелей Хьюстона

a)



б)

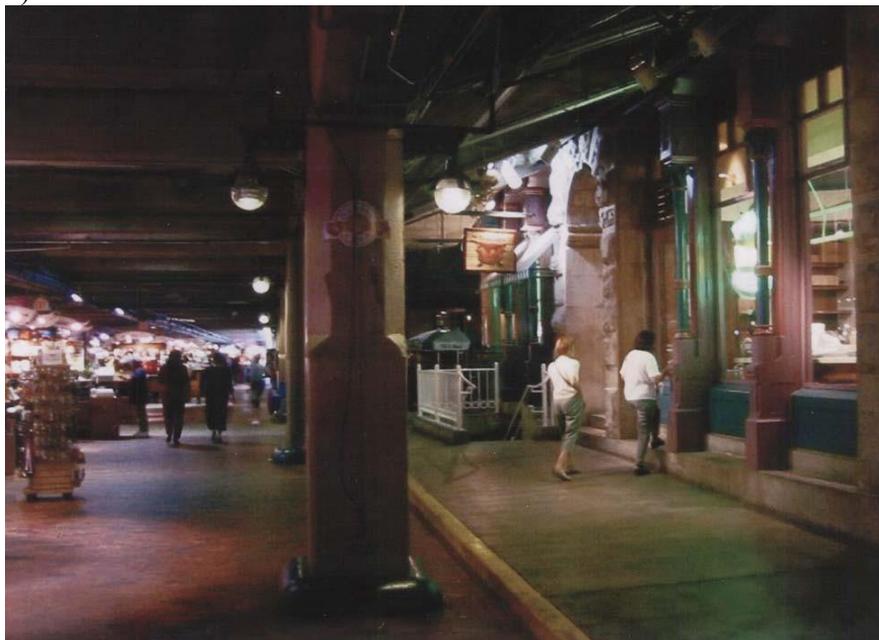


Рис. 2.112 Подземный комплекс Атланты



Рис. 2.113 План подземного комплекса Сабтрополис в Канзас-Сити



Рис. 2.114 Карта расположения комплекса Сабтрополис в Канзас-Сити



Рис. 2.115 Грузовой въезд в подземный комплекс



Рис. 2.118 План подземного комплекса Осака

а)



б)



Рис. 2.119 Интерьеры подземного комплекса Осака



Рис. 2.120 Макет комплекса нового всемирного торгового центра в Нью-Йорке

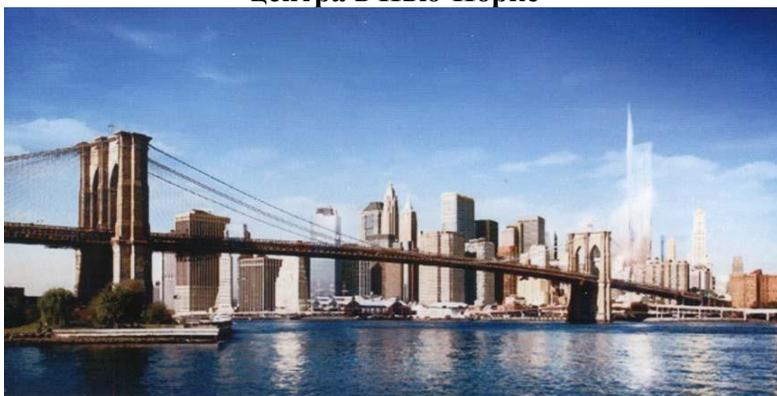


Рис. 2.121 Вид на новый всемирный торговый центр со стороны Бруклинского моста через Ист-Ривер

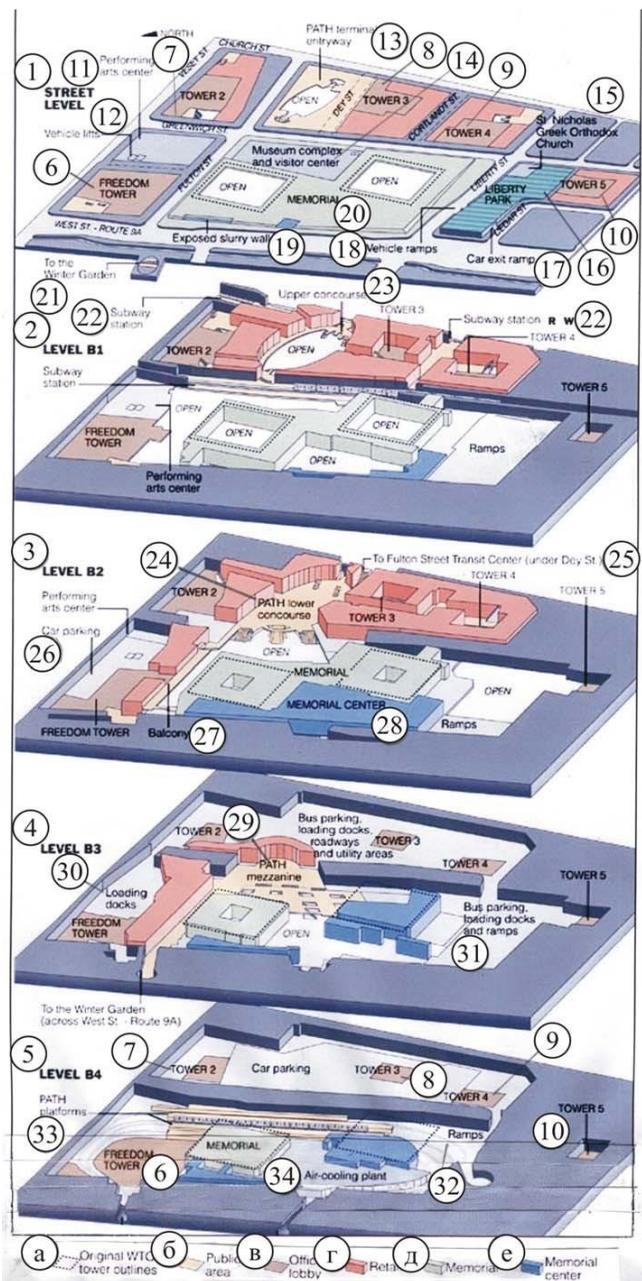


Рис. 2.122 Планы подземных этажей нового всемирного торгового центра в Нью-Йорке

а)



б)



в)



Рис. 2.126 Схемы и макеты заглубленных домов различных видов

a)



б)



в)



Рис. 2.127 Построенные заглубленные дома различных видов

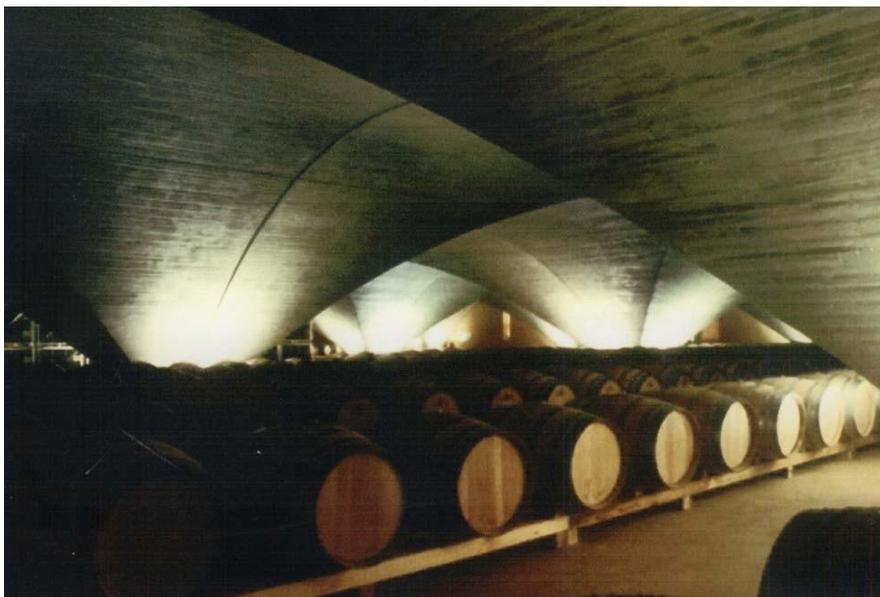


Рис. 2.130 Сводчатая конструкция современного винного погреба

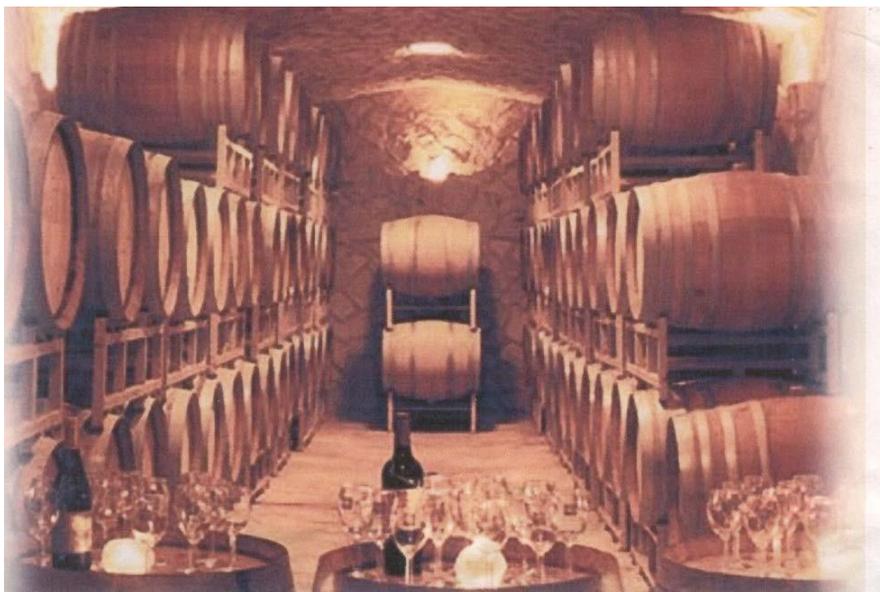


Рис. 2.131 Многоярусное расположение бочек в винном погребе

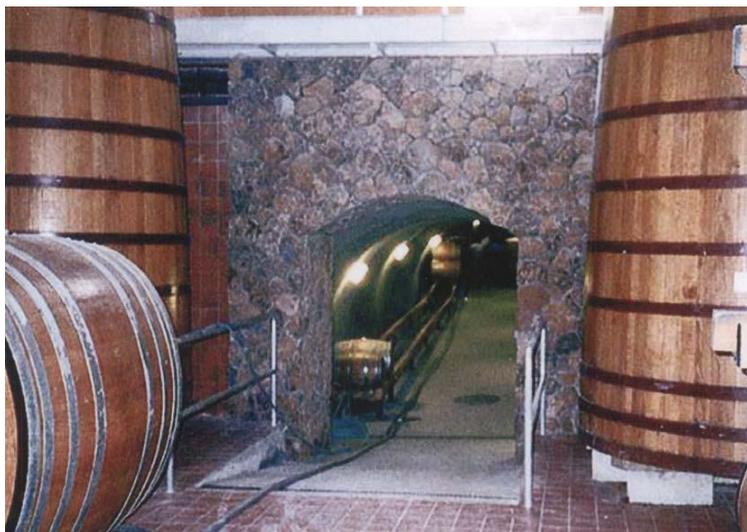


Рис. 2.132 Вход в винный погреб

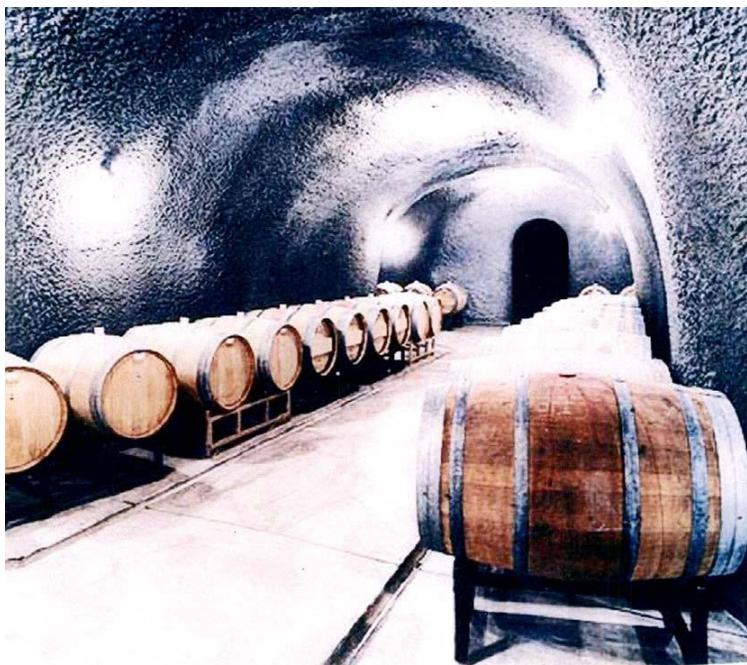


Рис. 2.133 Туннель винного погреба

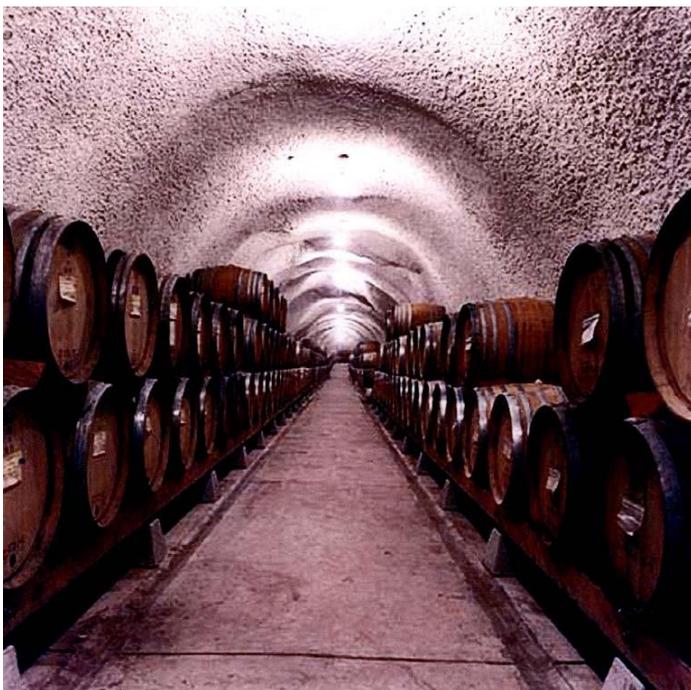


Рис. 2.134 Туннель винного погреба

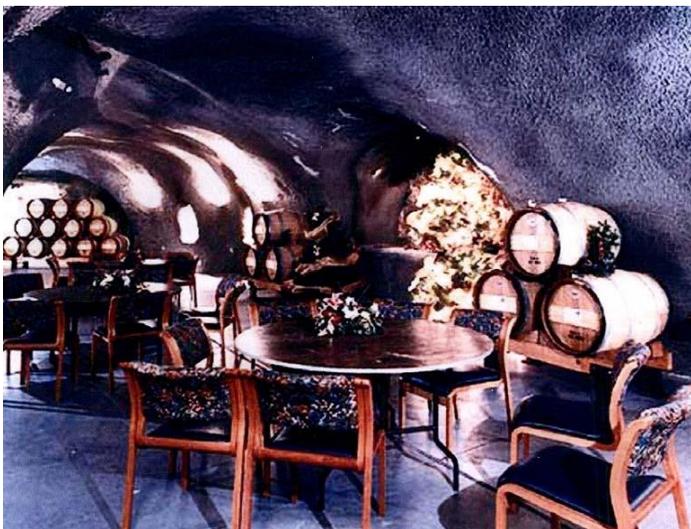


Рис. 2.135 Туристическая трапезная в винном погребе

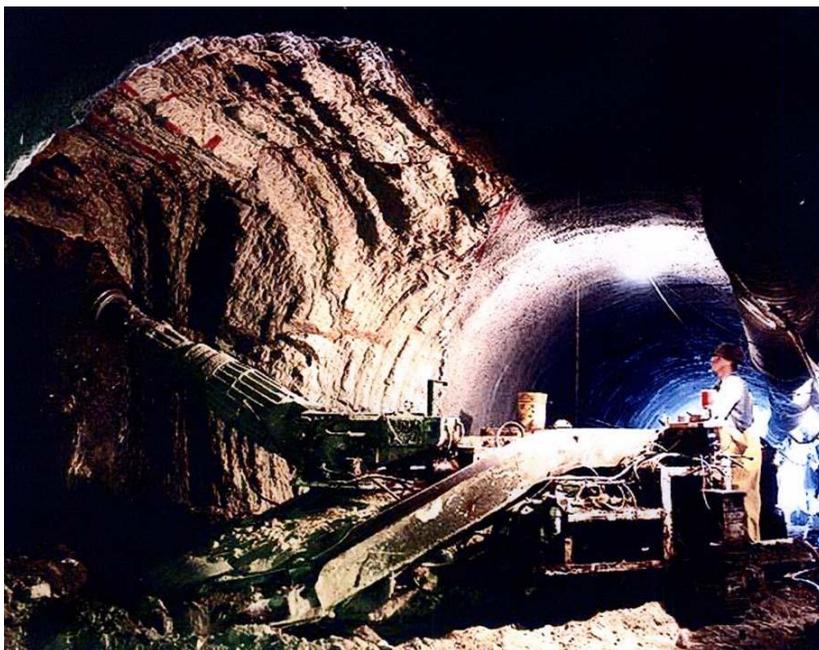


Рис. 2.136 Проходческие работы с использованием комбайна



Рис. 2.137 Погрузка породы после проведения взрывных работ при сооружении винного погреба

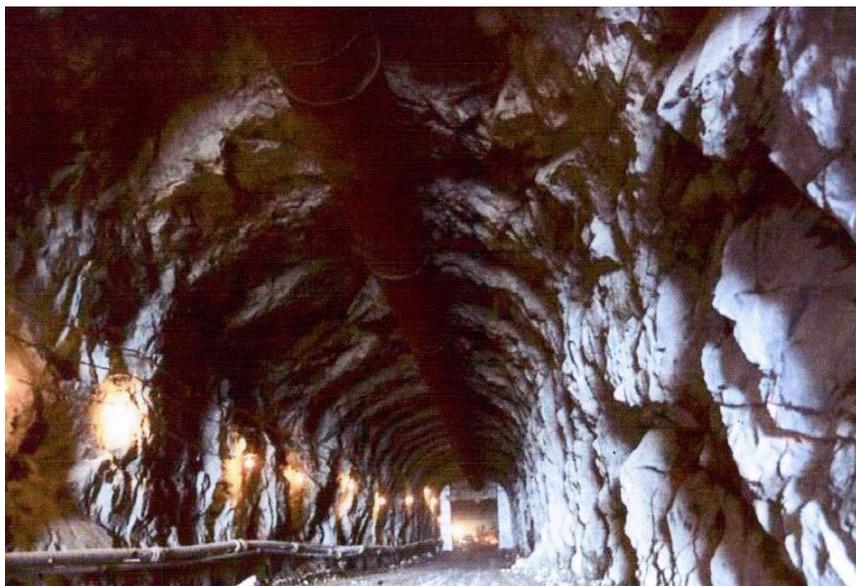


Рис. 2.138 Контур подземной полости при взрывных работах неудовлетворительного качества

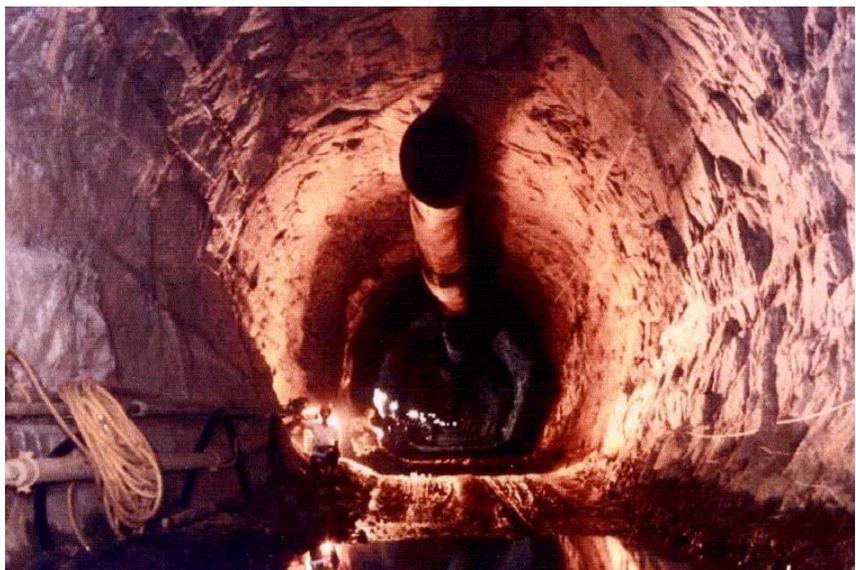


Рис. 2.139 Контур подземной полости при качественных взрывных работах.

Рис. 2.140 Вид с воздуха на хранилище Форт-Нокс

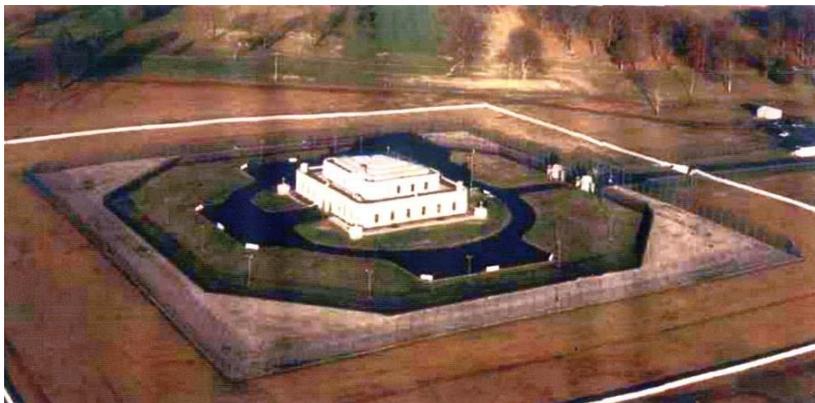


Рис. 2.141 Здание Федерального резервного банка в Нью-Йорке



**Рис. 2.142
Хранение
ЗОЛОТЫХ
СЛИТКОВ
В
ШТАБЕЛЯХ**

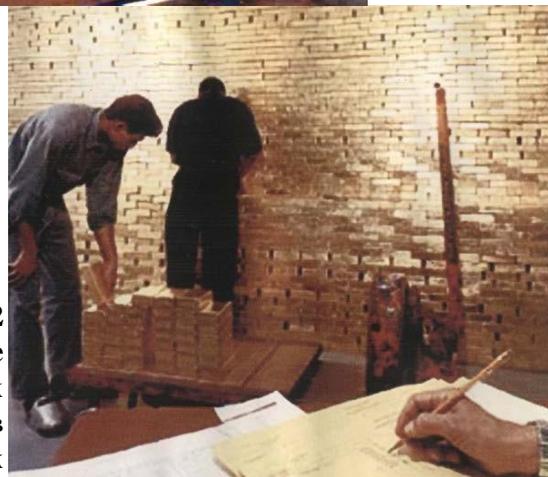




Рис. 2.143 Порталы хранилища Гранит Маунтейн Рекорд Волт



Рис. 2.146 Хранение информационной документации фирмой Перпечуал Сторидж

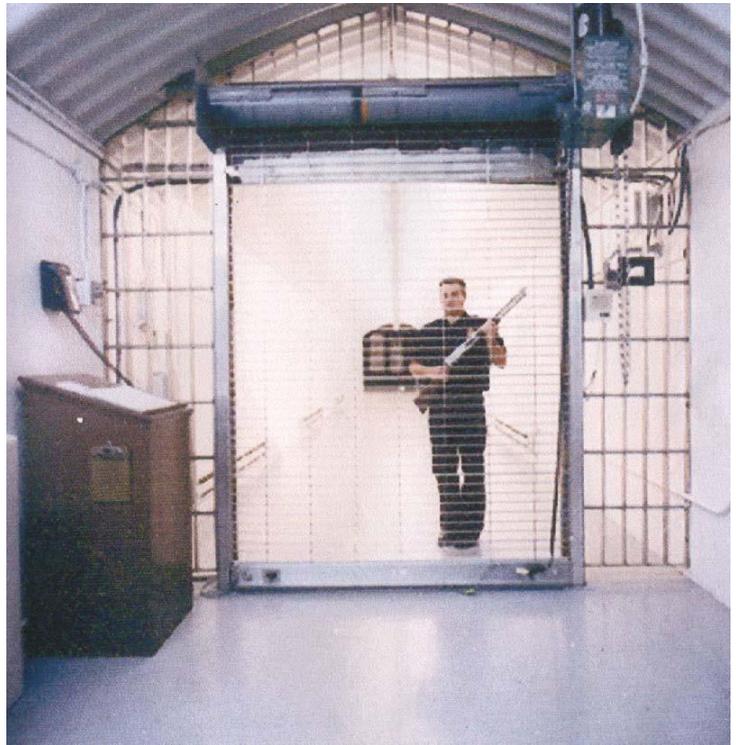


Рис. 2.147 Охрана подземного хранилища

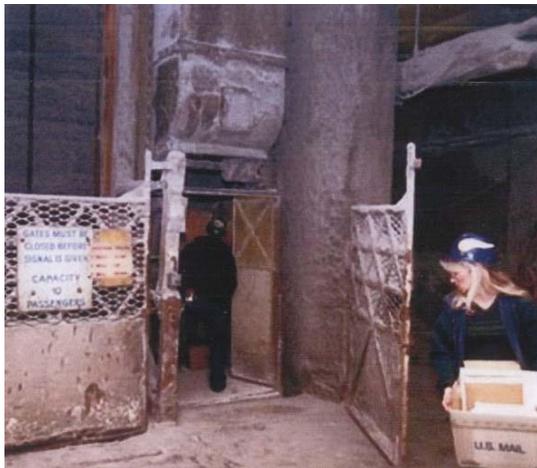


Рис. 2.151 Со-
пряжение ствола
шахты Хатчин-
сон с примы-
кающей выра-
боткой

Рис. 2.152 Хра-
нилище доку-
ментации в ста-
рой соляной
шахте

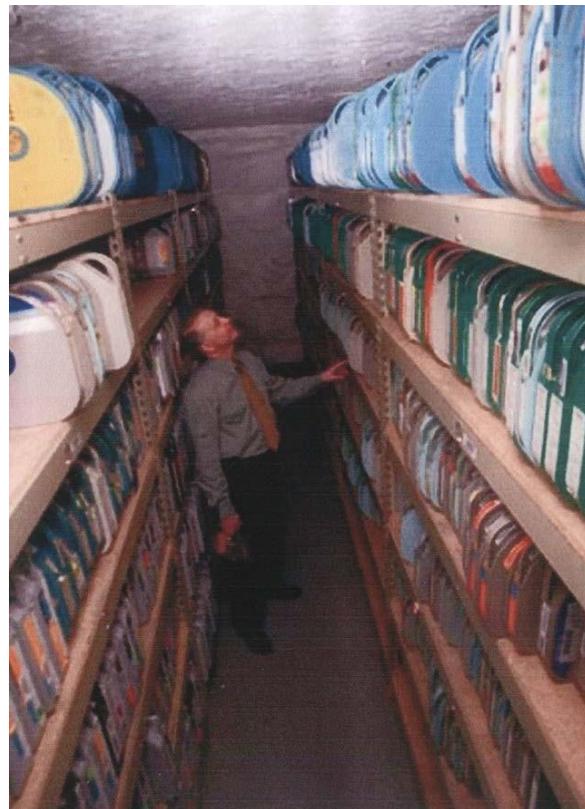


Рис. 2.153 Хранилище записей средств
массовой информации



Рис. 2.155 Строительство новой полости Норвежского национального архива



Рис. 2.156 Погрузка породы после проведения взрывных работ

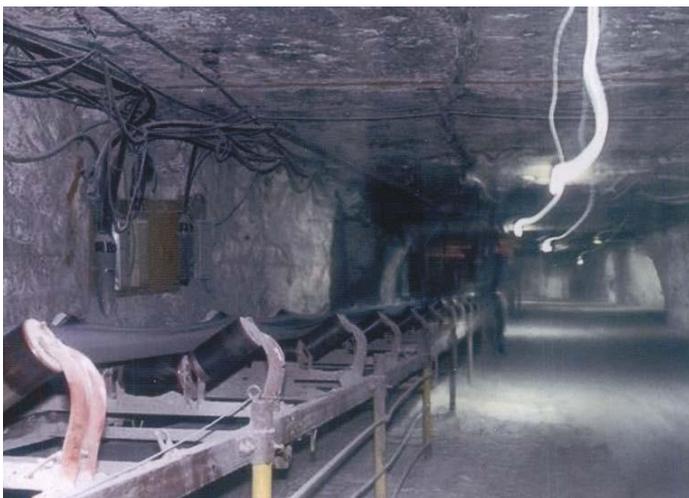


Рис. 2.157 Транспортировка отбитой породы ленточным конвейером

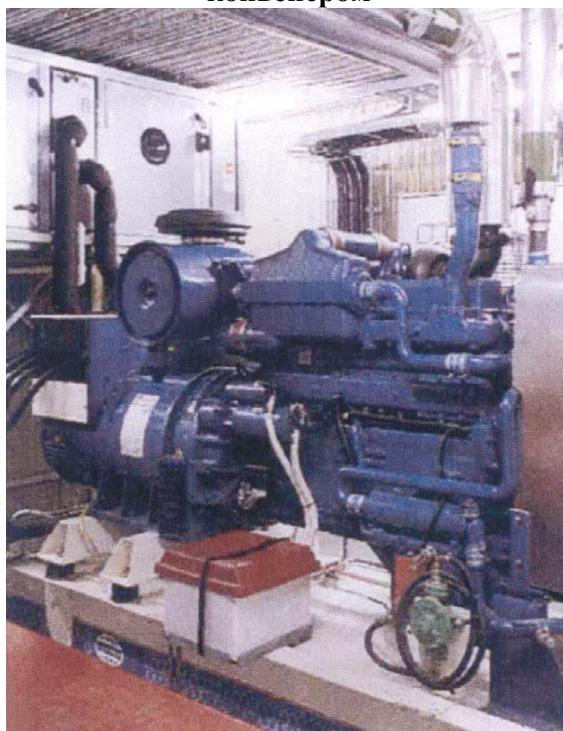


Рис. 2.158 Машинное помещение Норвежского национального архива

a)



б)



Рис. 2.164 Туннель для снабжения водой Хельсинки

а)



б)

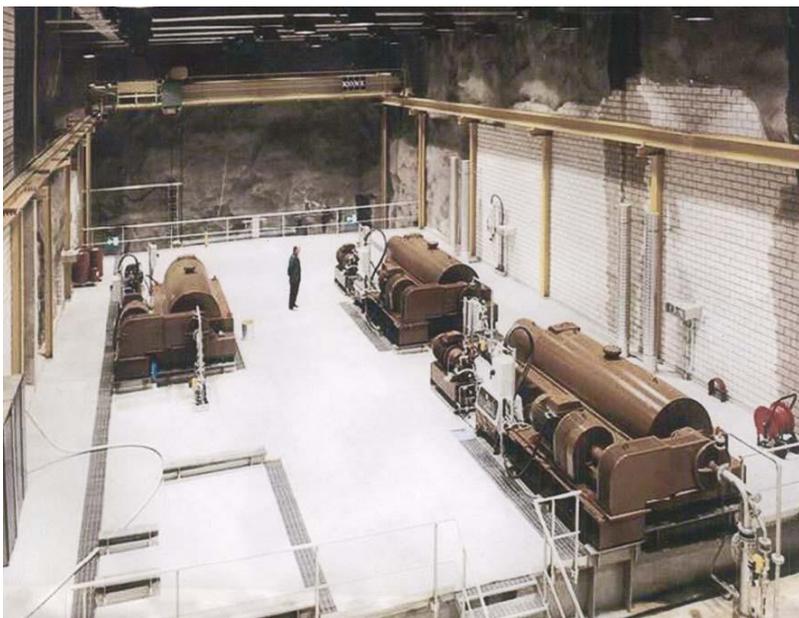


Рис. 2.168 Машинные залы подземных очистных сооружений



Рис. 2.170 Городская застройка вдоль русла реки, Токио

Рис. 2.171 Комплекс подземного амортизирующего пруда

а)



б)



Рис. 3.7 Схема пусковой шахты «Атлас»

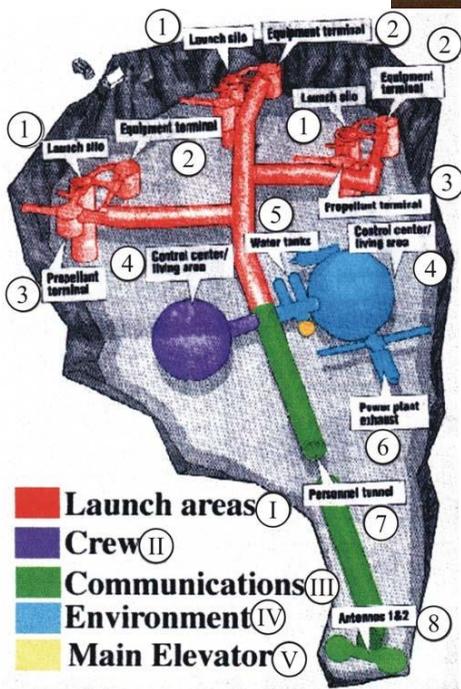


Рис. 3.3 Пусковая структура трех ракет «Титан»

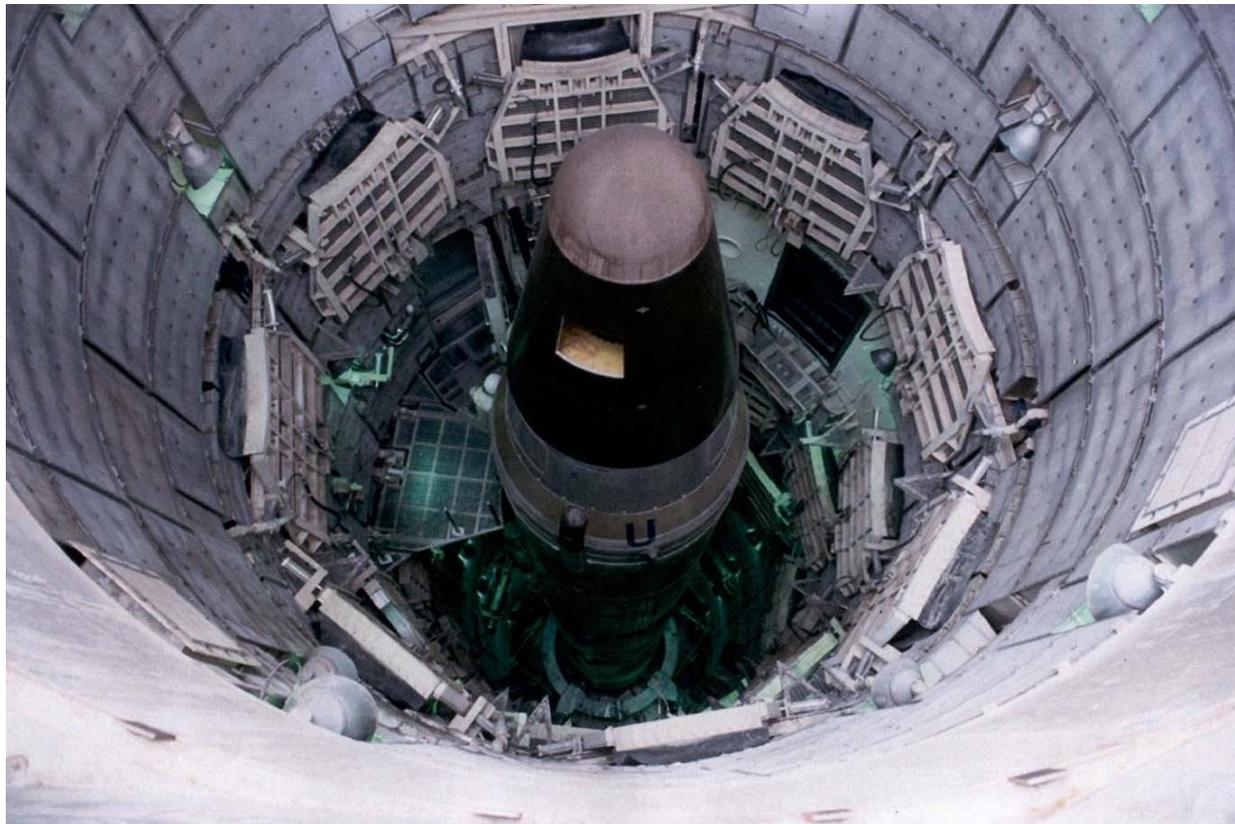


Рис. 3.4. Размещение ракеты в пусковой шахте

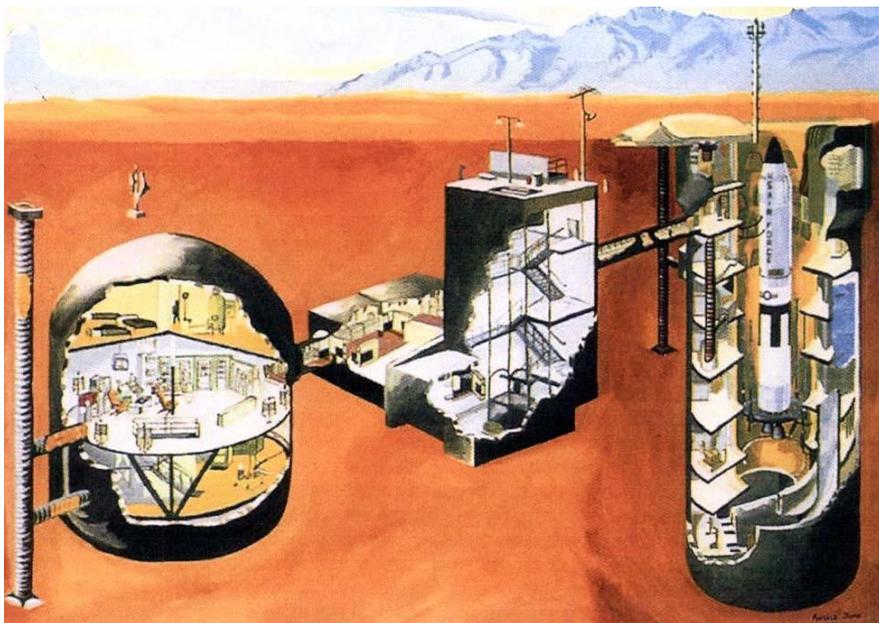


Рис. 3.5 Схема пускового комплекса «Титан»

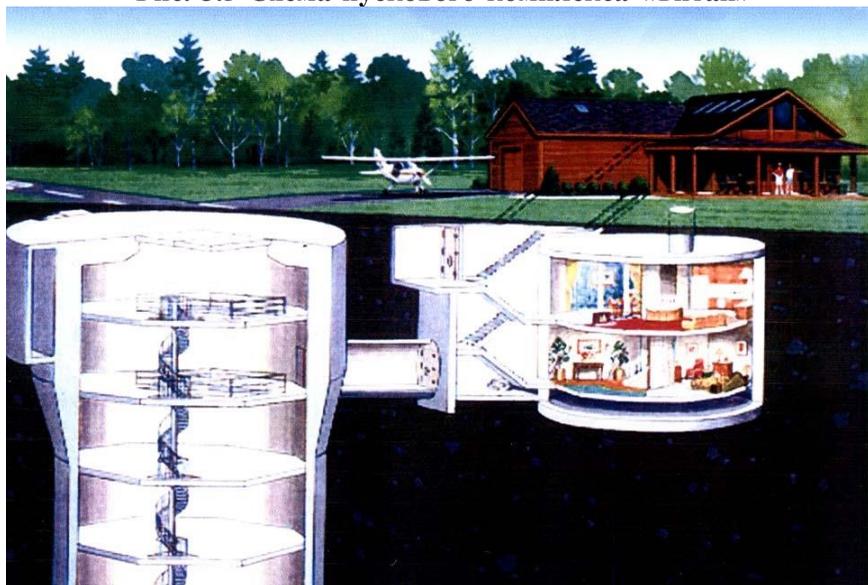


Рис. 3.6 Схема пускового комплекса «Атлас»

Рис. 3.15 Поземный комплекс орудия калибра 120 мм береговой артиллерии, Норвегия

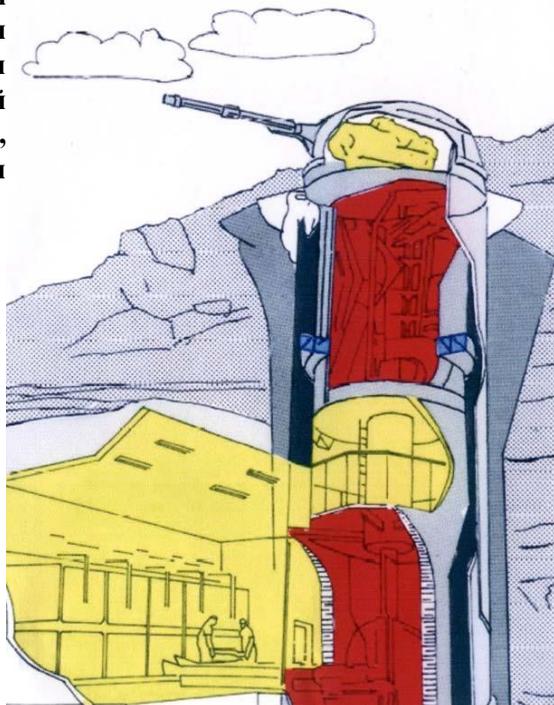


Рис. 3.16 Топографическая карта расположения комплекса Сайт-Р Равен Рок, США

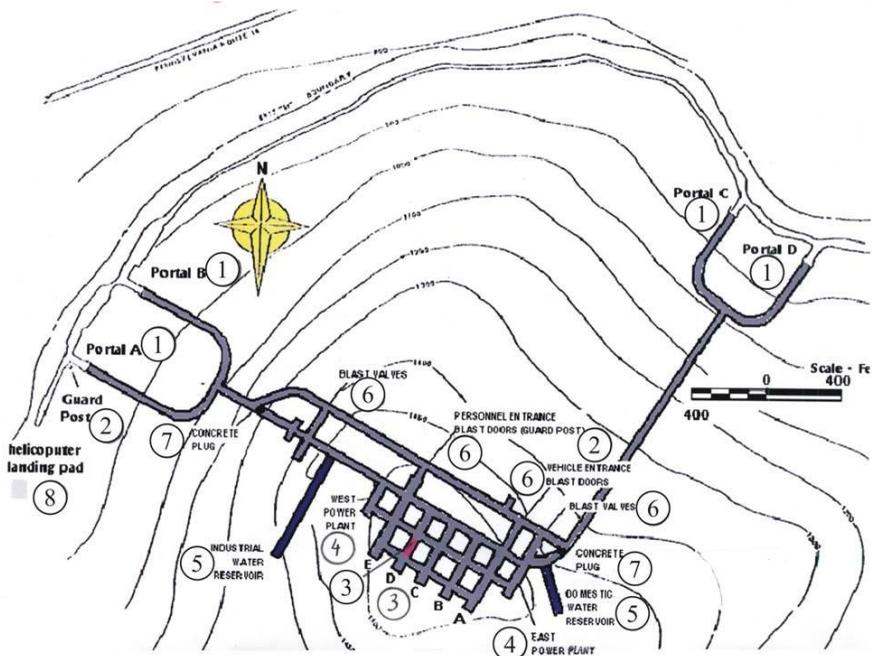


Рис. 3.17 Схема поземных сооружений комплекса Сайт-Р Равен Рок



Рис. 3.18 Порталы входных туннелей



Рис. 3.21 Один из машинных залов комплекса
Сайт-Р Равен Рок



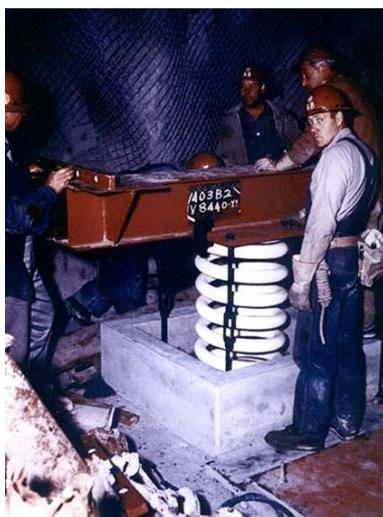
Рис. 3.22 Взрывозащищенная дверь

Рис. 3.23 Стабилизирующие пружины строений комплекса
Сайт-Р Равен Рок

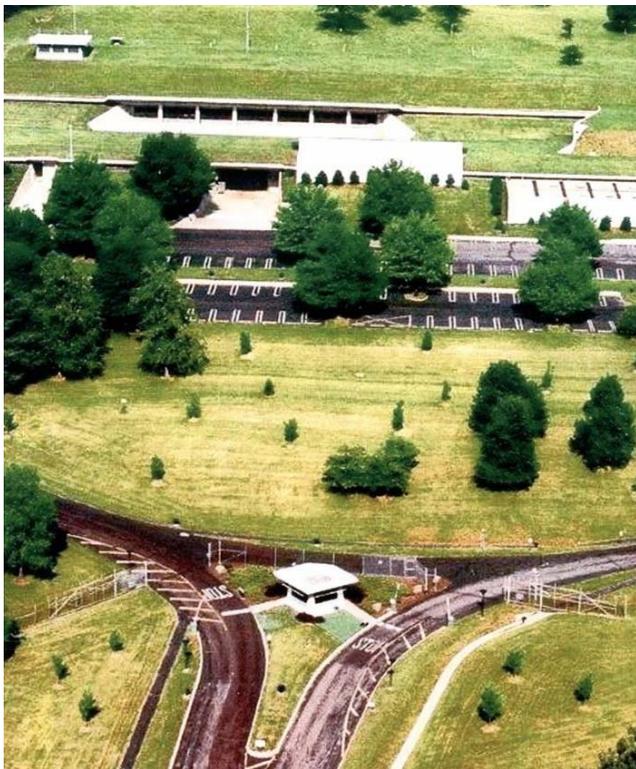
а)



б)



а)



б)



в)

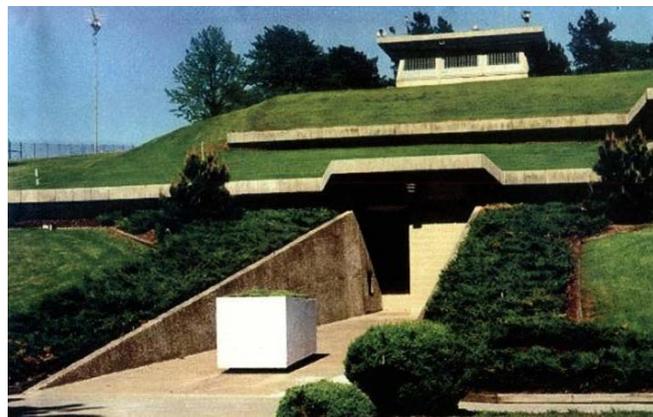
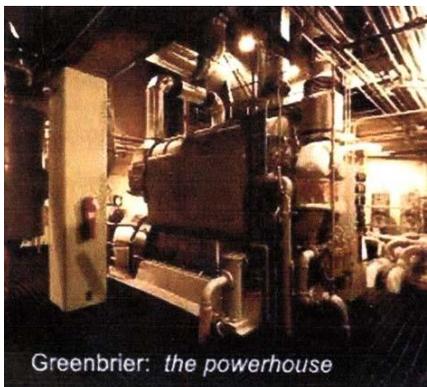


Рис. 3.24 Комплекс Маунт Пони

a)



б)



в)



г)

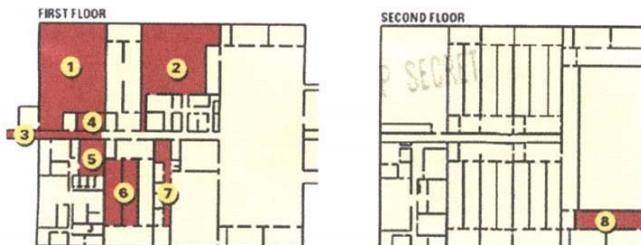
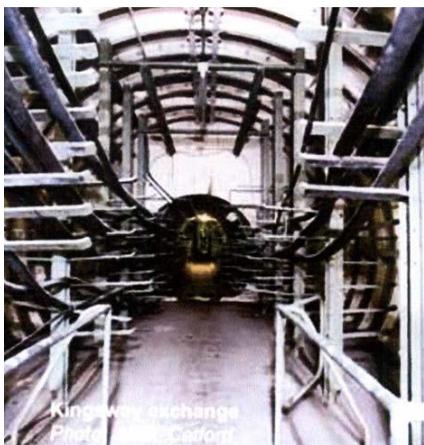


Рис. 3.25 Подземный центр управления Конгресса США в отеле Гринбрир

a)



б)



в)



Рис. 3.26 Подземные телефонные станции центров военного управления, Великобритания

а)



б)



Рис. 3.28 Отдельно стоящее крупное укрытие



Рис. 3.29 Наземные здания школы Або



Рис. 4.1 Каминная в пещере Хоул-Эн-Рок



Рис. 4.2 Детская в пещере Хоул-Эн-Рок



Рис. 4.3 Портал пещеры Бекхэм-Крик

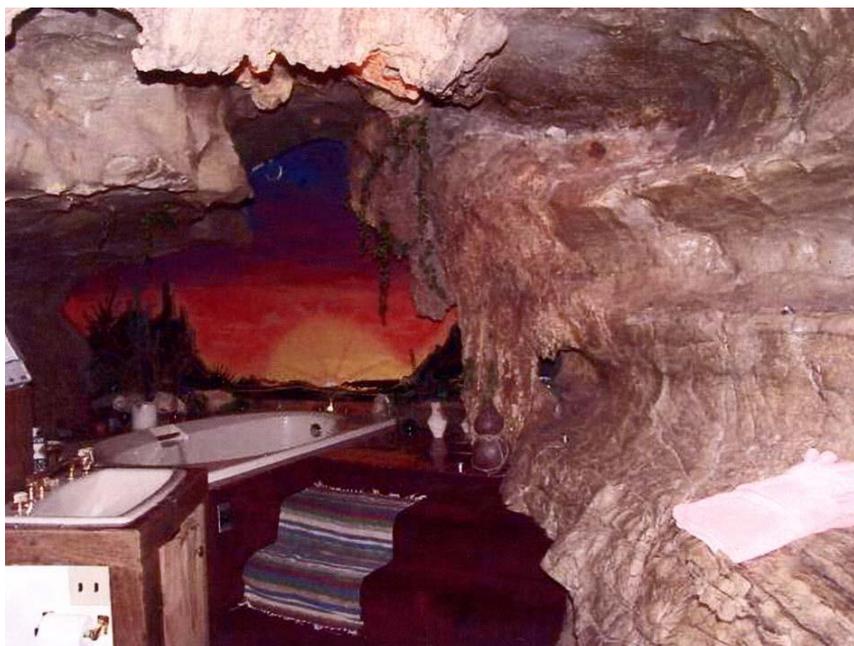


Рис. 4.4 Ванная в пещере Бекхэм-Крик

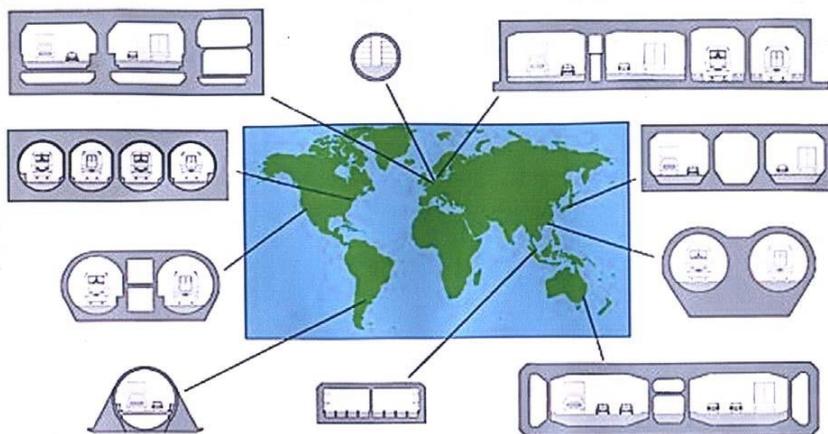
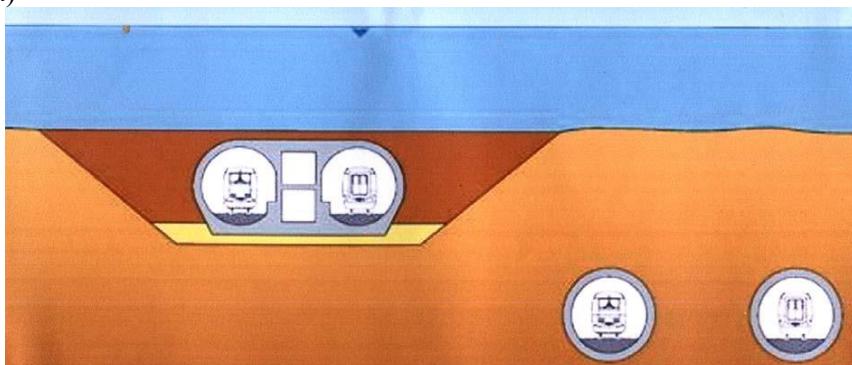


Рис. 5.1 Сечение погружных туннелей, построенных в странах мира

а)



б)



Рис. 5.2 Сравнение подземного и погружного туннелей



Рис. 5.4 Строительство железобетонных туннельных секций в бассейне (сухом доке)



Рис. 5.5 Всплытие туннельных секций при заполнении бассейна



Рис. 5.6 Выход туннельной секции за пределы бассейна



Рис. 5.7 Транспортировка туннельной секции к месту установки

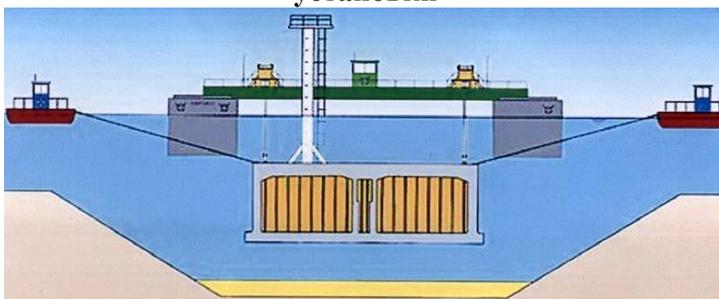


Рис. 5.8 Схема установки туннельной секции в траншее

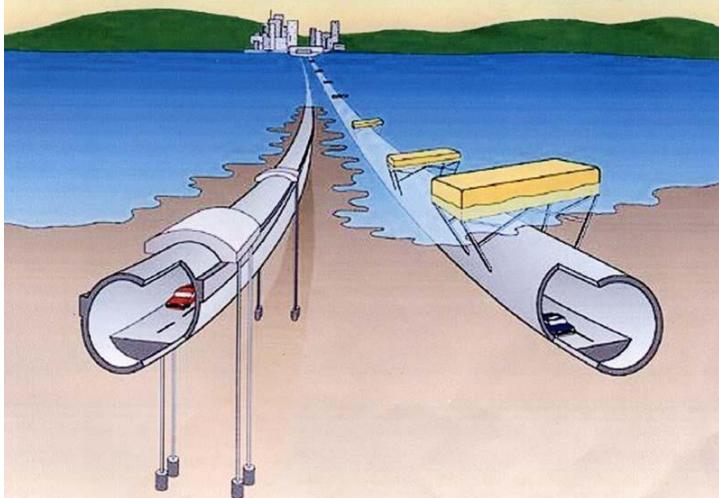


Рис. 5.9 Новые направления строительства погружных туннелей



Рис. 5.11 Секции туннеля Макгенри в сухом доке

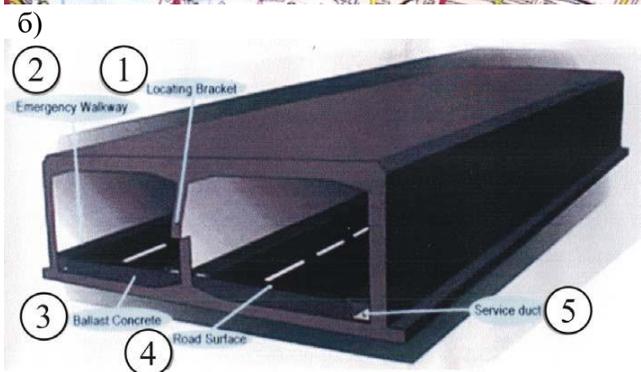
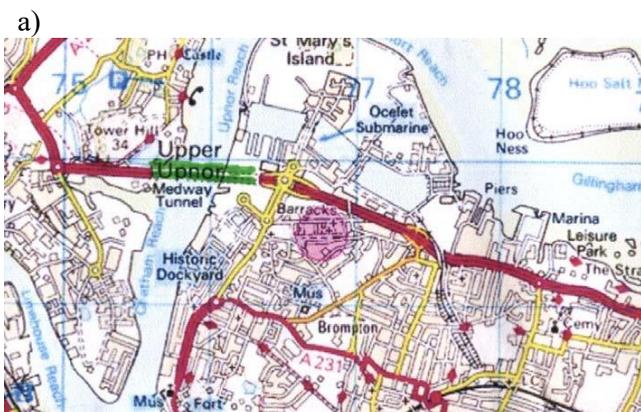


Рис. 5.14 Строительство погружного туннеля Медвей

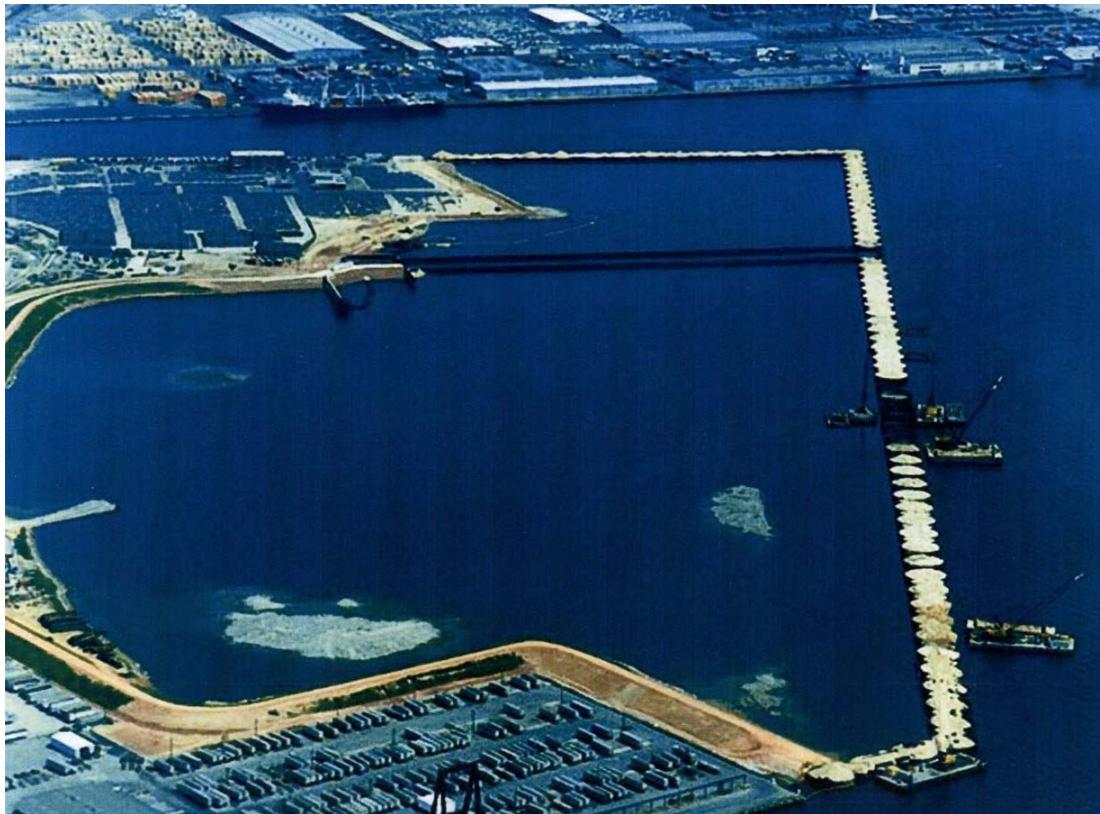


Рис. 5.12 Место сброса грунта, огороженное ячеистой плотиной



Рис. 5.19 Сталкивание с берега реки готовой секции в траншею туннеля Конви

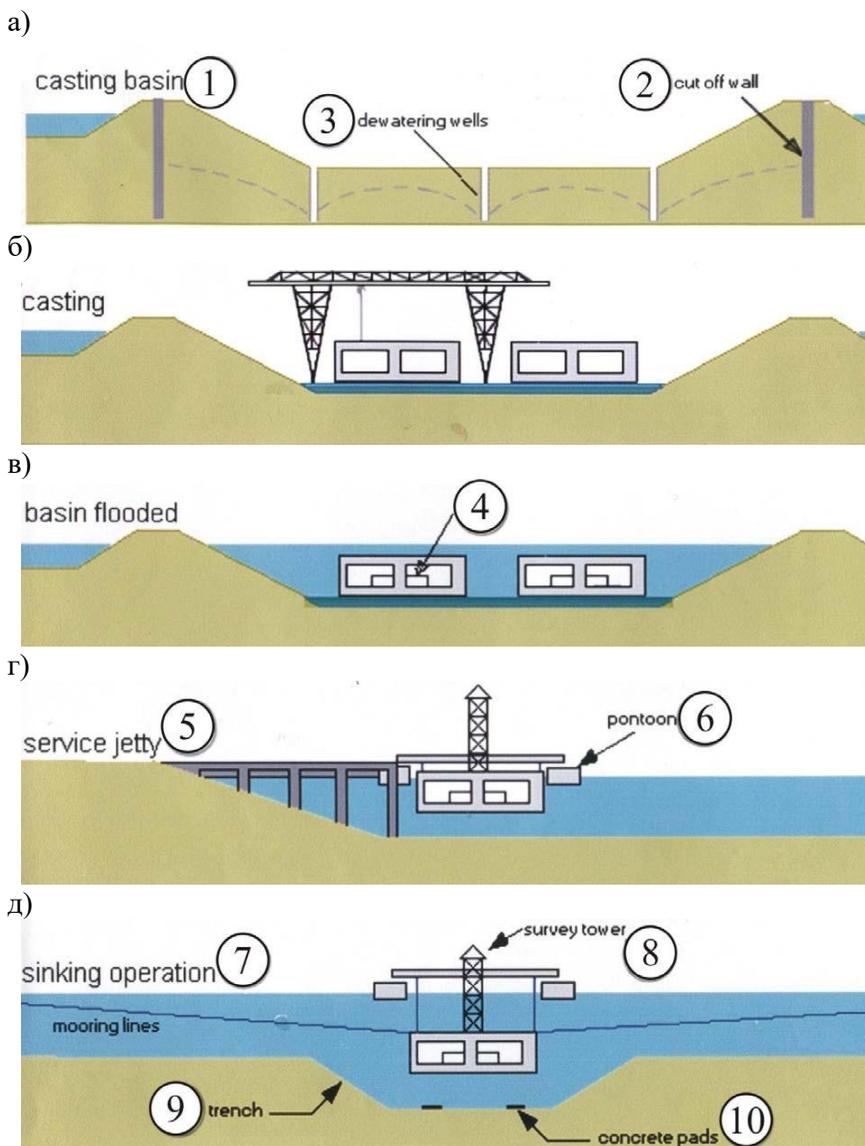


Рис. 5.20 Последовательность строительства туннеля через реку Конви



Рис. 5.22 Панорама строительства туннеля Конви

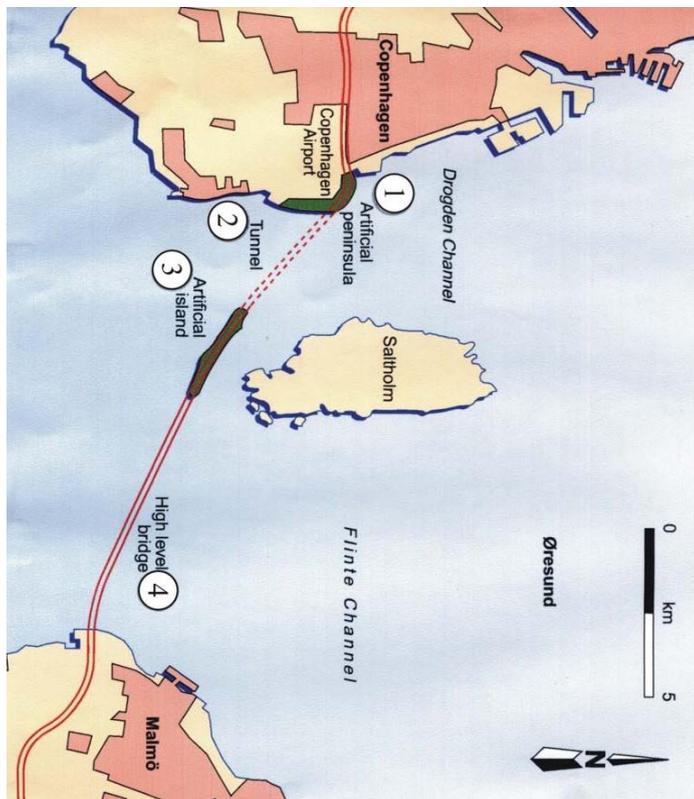


Рис. 5.23 Схема расположения транспортного комплекса туннель-мост в проливе Оресунд

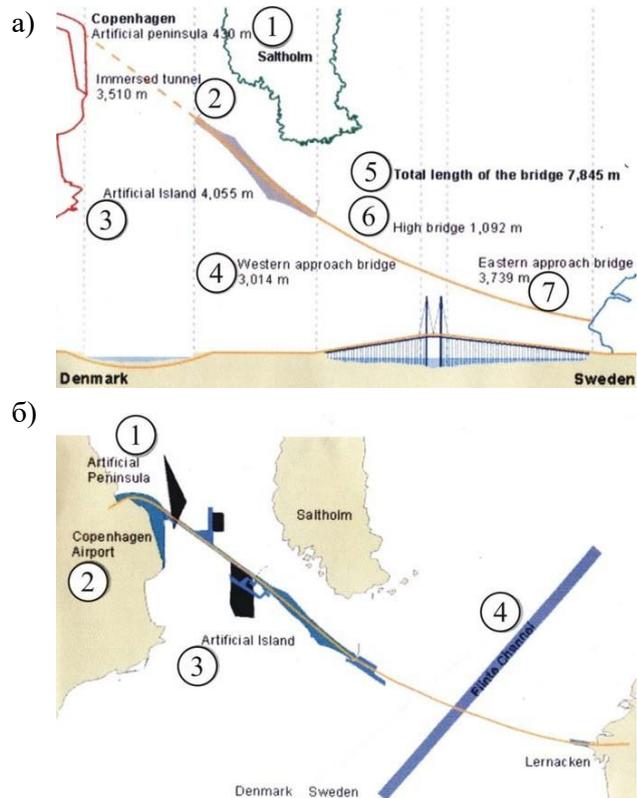


Рис. 5.24 Расположение транспортных объектов в проливе Оресунд

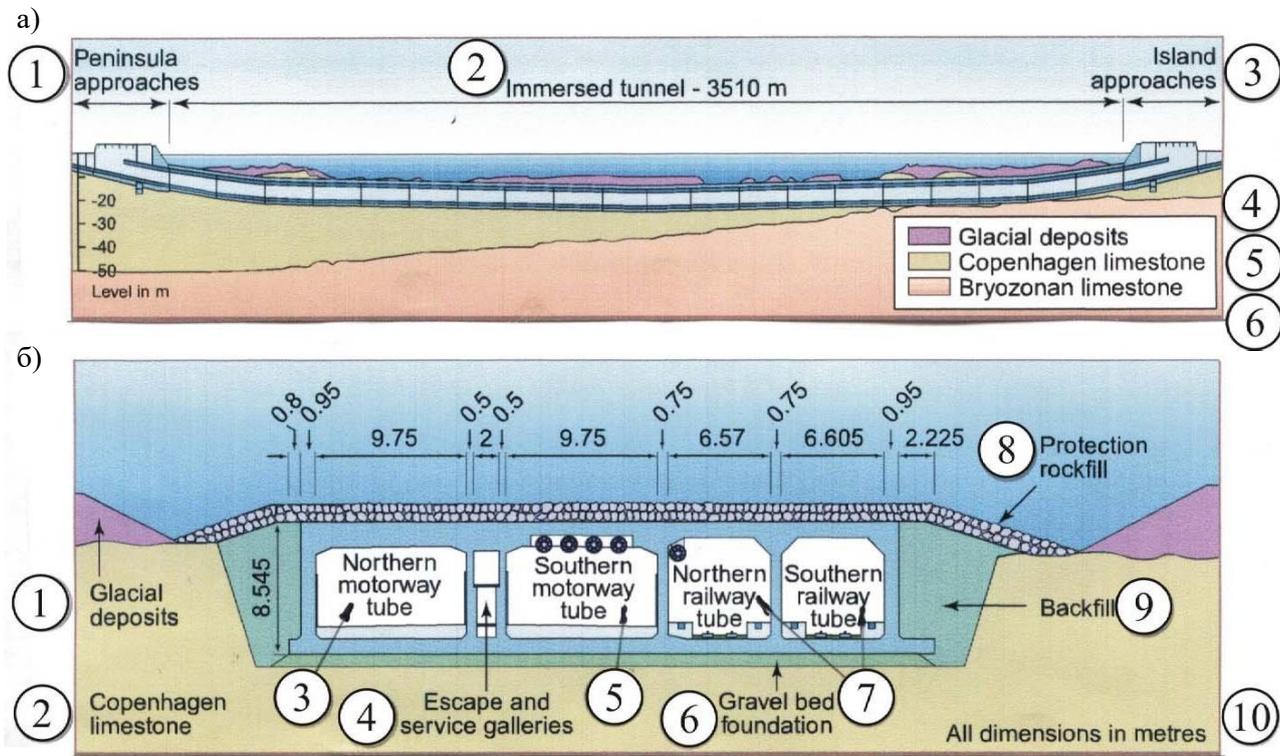


Рис. 5.25 Основные параметры туннеля Оресунд

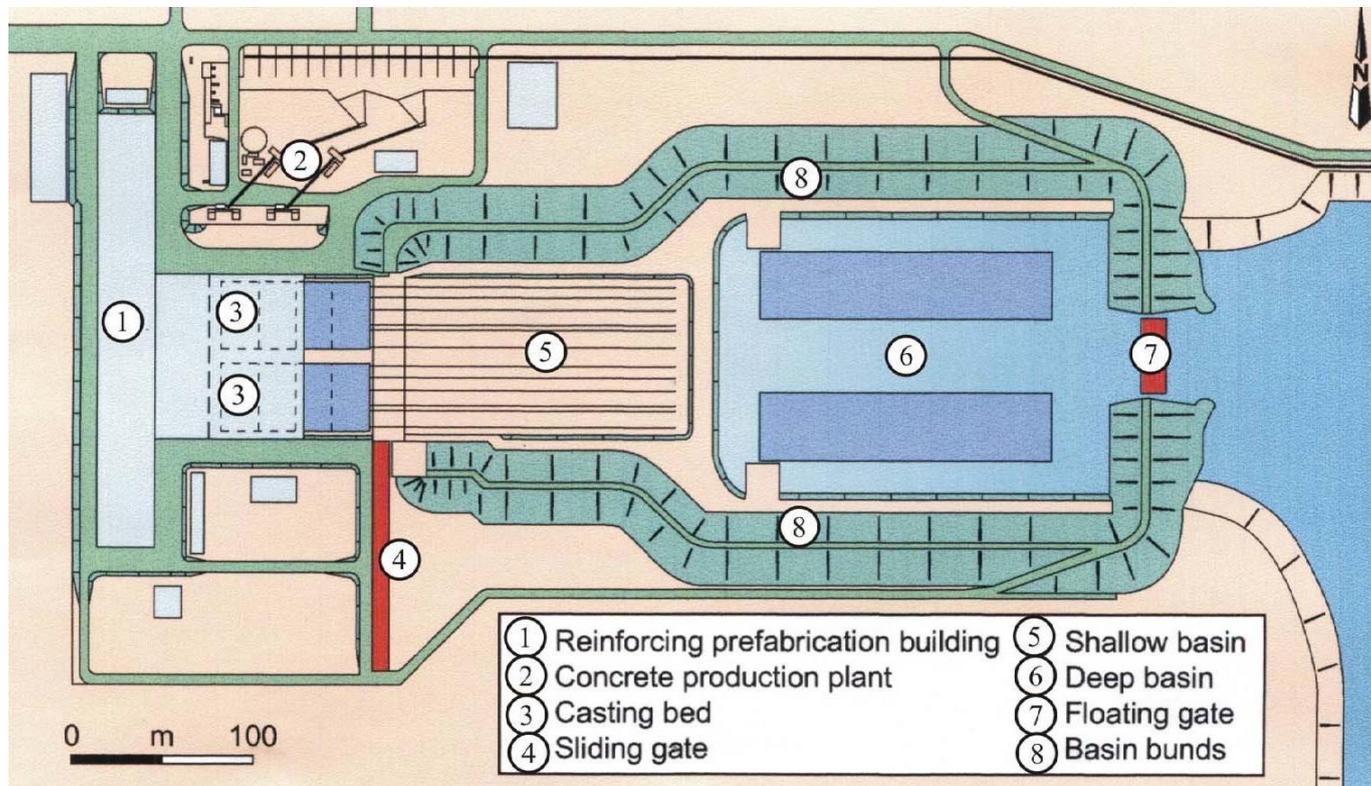


Рис. 5.26 План бассейна (сухого дока) с производственными строениями

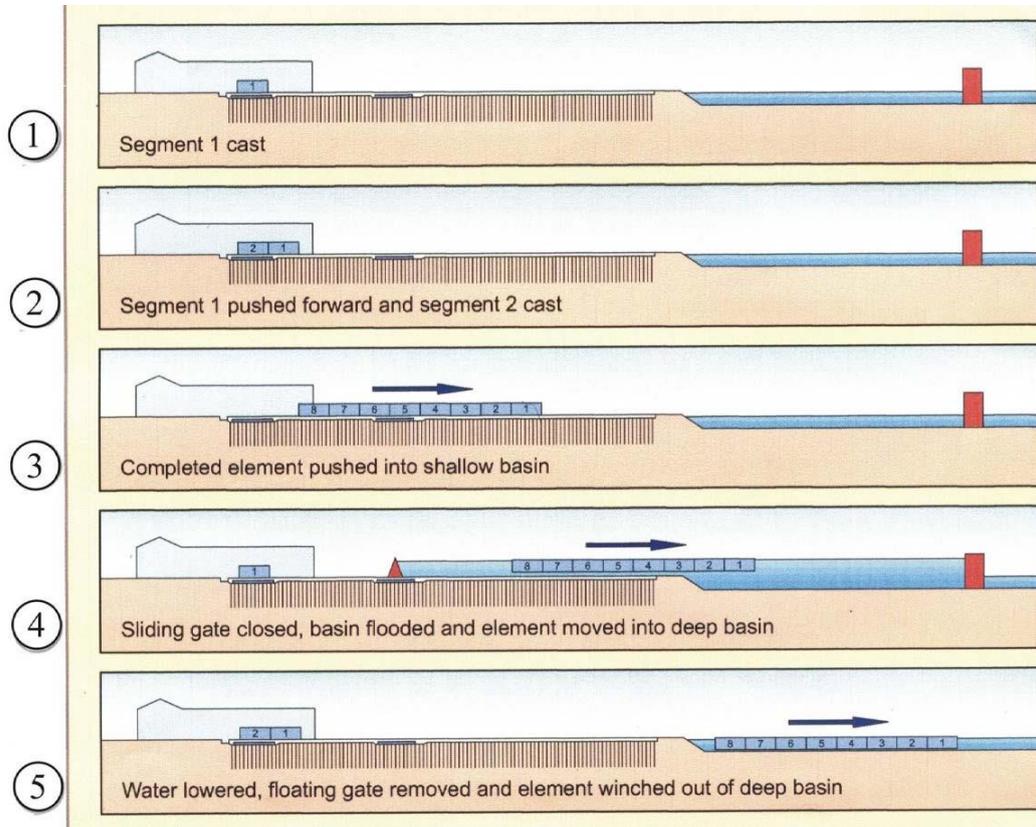
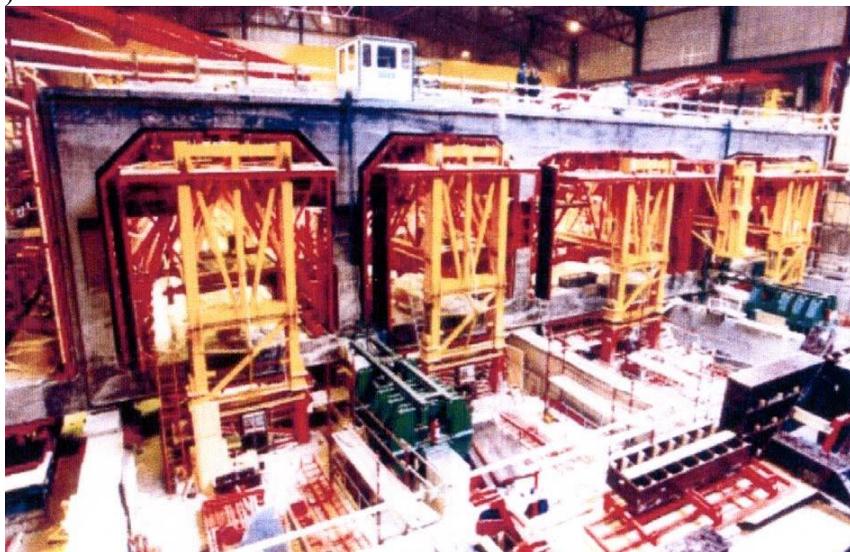


Рис. 5.27 Последовательность изготовления туннельных секций в бассейне

а)



б)

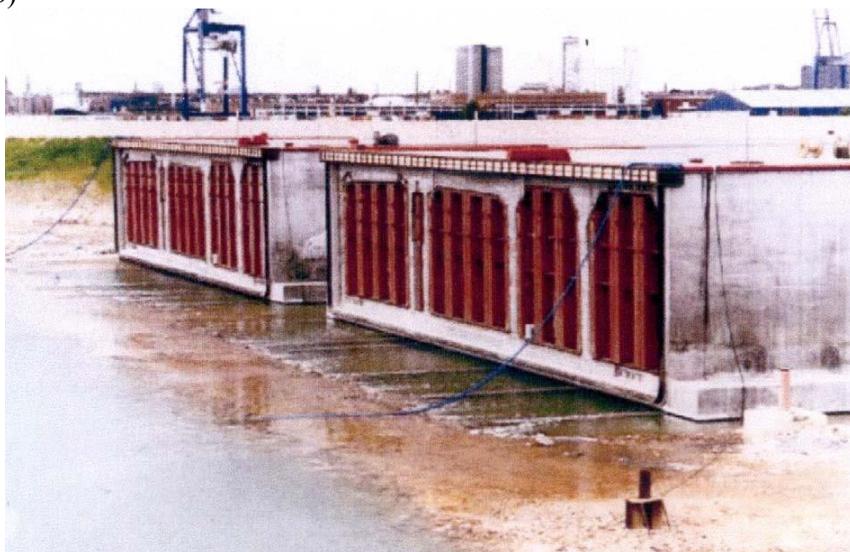


Рис. 5.28 Изготовление и транспортировка туннельных секций

а)



б)



Рис. 5.29 Искусственные земляные сооружения



Рис. 5.31 Панорама транспортного комплекса в проливе Оресунд

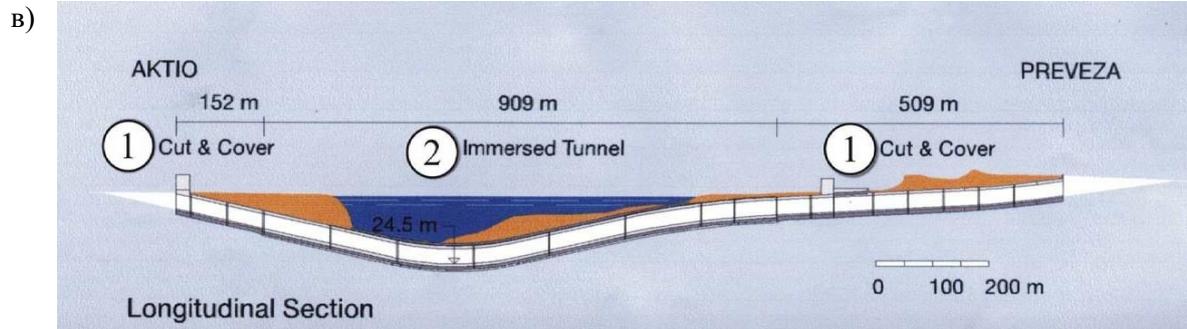
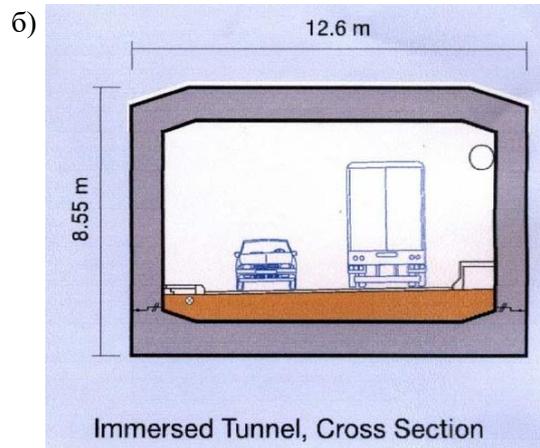
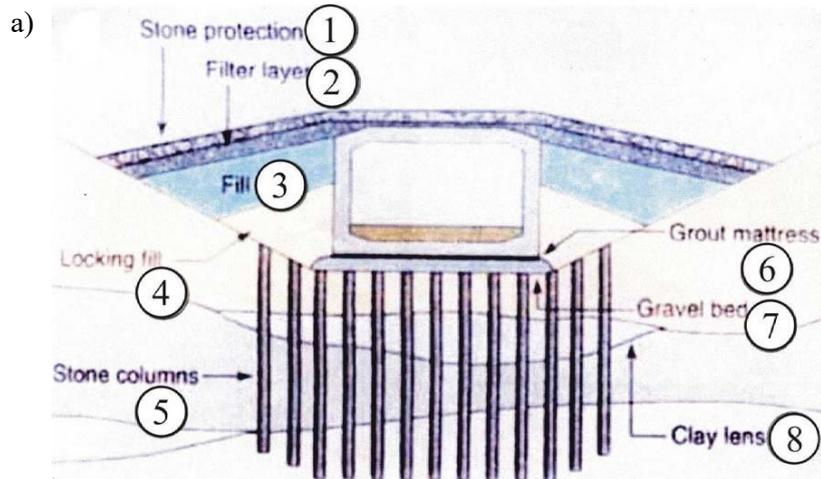


Рис. 5.32 Строительство погружного туннеля Превеза-Актио

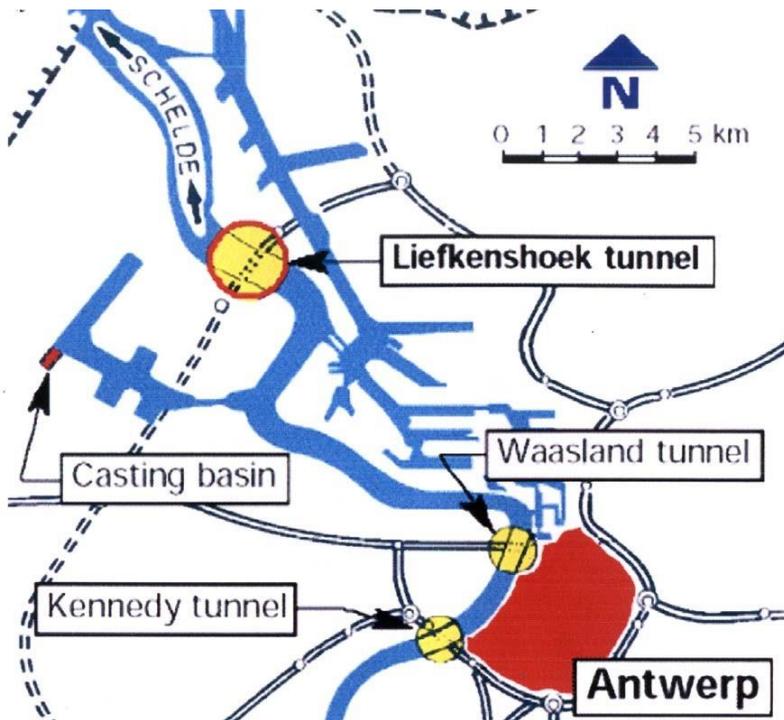


Рис. 5.33 Схема расположения туннеля Лифкеншок

а)



Рис. 5.34 Этапы строительства туннеля Лифкеншок

б)



в)



Рис. 5.34 (продолжение)

г)



д)



Рис. 5.34 (окончание)

a)



b)

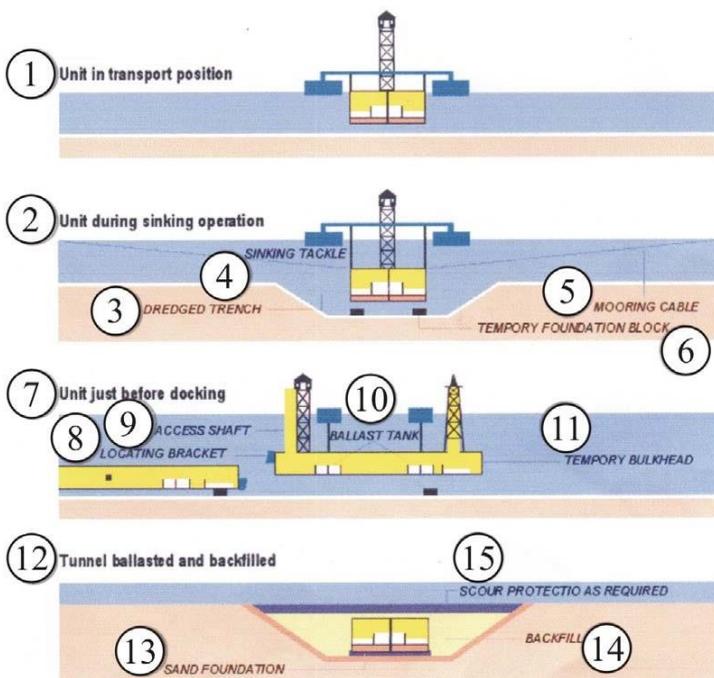


Рис. 5.35 Строительство туннеля гавани Портсмут

GZmdh_ \b^Zggy

DZmnfZg E_hg ^ EZaZj_bq
Ebk dh\ ;hjbk :jl_fh\bq

— 3 !

QZk1bgZ 2

Fhgh]jZn y

Jhk ckvdhx fh\hx
< Z\lhjkvd c j_^Zdp

Ih^ibkZgh d i_qZlb 12.10 NhjfZl x84 1/16.
Mke i_q e 13,5 I_qZlv eZa_jgZy AZdZa LbjZ` wda

Hli_qZlZgh \lbih]jZnbb HHH Ghj^ Dhfvxl_j gZ pbnjh\hf eZa_jghf
ba^Zl_evkdhf dhfie_dk **Rank Xerox DocuTech 135.**
: ^j_k] >hg_pd me Mgb_jkb1_1kdZy, **112.** L_e **86-35-76**

DZmnfZg E E Eukbdh\ ; : Ih^a_fgu_kljmdlmju.
D-72 \ ^qZklyo qZklv 2 Fhgh]jZnby DZmnfZg E E Eukbdh\ ; :
->hg_pd Ghj^-Ij_kk -216 k

ISBN 96-8085-92-2

Dgb]Z y\ey_lky h[ahjh^ aZjm[_`gh]h kljhbl_evkl\Z ih^a_fguo
khhjm`_gbc b bkihevah\Zgby _kl_kl_gguo ih^a_fguo kljmdlmj Ij^eh
^_gZ deZkkbnbdZpby ih^a_fguo h[t_dlh\ b ijb_^_gu oZjZdl_jgu_ ijb
f_ju

< -mx qZklv \dexq_gu kihkh[u ih^a_fgh]h ojZg_gby wg_j]_lb
q_kdbo j_kmjkh\ kdeZ^bjh\Zgb_ jZ^bhZdlb\guo hloh^h\ b gZmqgu_eZ[h
jZlhjbb jZkiheh`_gg_u ih^a_fe_c <h -mx qZklv \hreb hibkZgby]jZ`
^Zgkdbo b \h_gguo h[t_dlh\ Z lZd`_ ih^a_fgh]h kdeZ^bjh\Zgby ijbjh^h
hojZggh]h gZagZq_gby - ijhfure_gguo hloh^h\ b iZjgbdh\uo]Zah\

:\lhju gZ^_xlky qlh dgb]Z [m^_l ihe_agZ ki_pbZebklZf klm^_g
lZf ^jm]bf qb1Zl_eyf bgl_j_kmxsbfky bkihevah\Zgb_f ih^a_fgh]h ijb
kljZgkl\Z

M>D

; ;D