

Лысиков Б.А., Каплюхин А.А.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА



**Норд-Пресс
Донецк – 2005**

Лысиков Б.А., Каплюхин А.А.

***ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
ПОДЗЕМНОГО
ПРОСТРАНСТВА***

**Норд-Пресс
Донецк – 2005**

80-летию кафедры
*«Строительство шахт и
подземных сооружений»*
ДонНТУ
ПОСВЯЩАЕТСЯ

Лысиков Б.А., Каплюхин А.А. Использование подземного пространства. Монография. – Донецк: «Норд-Компьютер», 2005. – 390 с.

Lisikov B.A., Kapluchin A.A. Utilisation of underground space. Monography. – Donetsk: «Nord-Press», 2005. – 390 p.

Книга об одном из важнейших, но в настоящее время наименее изученном направлении освоения недр. В ней рассказывается об истории использования подземного пространства, его роли в решении неотложных проблем развития крупных городов, строительстве межконтинентальных транспортных тоннелей и создания единой Всемирной системы железных дорог между континентами Земли. На фактическом отечественном и зарубежном материале рассматривается комплекс вопросов создания подземных сооружений нового поколения, достойных XXI века, применения перспективных технологий в строительстве подземных сооружений. Представлены гидрогеологические условия сооружения и эколого-экономическое обоснование освоения подземного пространства. Обоснована возможность и целесообразность повторного использования выработанного пространства рудных, галогенных и угольных месторождений.

Книга может быть использована при обучении студентами горно-строительного профиля и специалистами, работающими в области освоения подземного пространства. Но главное, она дает такую информацию, которая делает ее интересной для широкого круга читателей.

Рецензенты:

Шашенко А.Н. – докт.техн.наук, проф., зав. кафедрой «Строительные геотехнологи и геомеханика» Национального горного университета, г. Днепропетровск

Е.Б. Дружко – докт. техн. наук, проф. каф. «основания, фундаменты и подземные сооружения» Донецкой национальной академии строительства и архитектуры (ДонНАСА)

Рекомендована к печати Ученым советом Донецкого национального технического университета (протокол № 4 от 20.05.2005 г.).

УДК 622.016

ББК 33.1

ISBN 966

© Б.А. Лысиков,

А.А. Каплюхин, 2005

© ООО „Норд-Компьютер”, 2005

This book is about one of the most important but less direction of depths mastering. This book tells about the history of underground space usage, its role in solving urgent problems of big cities development, construction of intercontinental tunnels and creation of the unified World railway road system between earthcontinents. The complex of questions such as creation of new generation underground structures which are worth of the XXI century, application of perspective technologies in underground structure construction are taken into consideration based on factual domestic and foreign materials. Hydro geological construction conditions and ecological economic ground for underground space usage are represented. The possibility and advisability of the second usage for produced space of mineral, halogen and coal occurrences are based.

The book is for wide range of readers and it may be used by the students for mining-construction direction. It also represents the interest for that audience who is interested in the problem of underground space mastering.

О Г Л А В Л Е Н И Е

	Стр.
Предисловие	12
Глава 1. История использования подземного пространства	15
Глава 2. Подземные сооружения XX века	29
2.1 Общие сведения об использовании подземного пространства	29
2.2 Геологические условия строительства и эксплуатации подземных сооружений.....	37
2.3 Промышленные объекты.....	42
2.4 Хранилища углеводородного сырья и топлива.....	49
2.5 Захоронение промышленных и радиоактивных отходов.....	56
2.6 Подземные энергетические сооружения.....	62
2.7 Подземные гаражи и автостоянки	75
2.8 Подземные сооружения стратегического назначения	81
2.8.1 Подземные сооружения ставок Гитлера.....	81
2.8.2 Бункер Сталина	92
2.8.3 Подземный «военный кабинет» Черчилля.....	95
2.8.4 Подземные укрепления президентов США и России	98
2.8.5 Секретные линии Московского метрополитена	103
2.8.6 Подземное укрытие для подводных лодок.....	106
2.9 Подземные сооружения неизвестного назначения	110
2.10 Подводные железнодорожные тоннели	113
2.10.1 Тоннель под Ла-Маншем.....	113
2.10.2 Тоннель Сэйкан под Сангарским проливом (Япония).....	122

2.11 Японский «Аквалайн» - достоинство тоннеля и моста	129
Глава 3. Современная технология и техника строительства подземных сооружений .	133
3.1 Новоавстрийский способ тоннелестроения.....	133
3.2 Новые технологии строительства тоннелей в сложных горно-геологических условиях.....	141
3.3 Тенденция совершенствования тоннелепроходческих комплексов для выработок большого сечения	156
3.4 Современная зарубежная технология сооружения метрополитенов.....	162
3.5 Совершенствование буровзрывных работ при строительстве подземных сооружений	170
3.6 Безвзрывная экологически чистая технология проходки тоннелей гидромолотами	184
3.7 Зарубежный опыт возведения набрызгбетонной крепи.....	189
3.8 Нетрадиционная технология крепления подземных сооружений набрызгбетоном с непрерывной его обработкой.....	197
3.9 Микротоннельная технология при строительстве подземных сооружений.....	203
3.10 Сооружение тоннелей проходческими комплексами со ступенчатым рабочим органом и квазиквадратной формой поперечного сечения выработки.....	215
Глава 4. Перспективы освоения подземного пространства в XXI веке	225
4.1 Межконтинентальные подводные железнодорожные тоннели – будущая основа всемирной системы железных дорог.....	225
4.2 Подземные сооружения XXI века	249
4.2.1 Этапы строительства Сен-Готардского тоннеля (Швейцария).....	249

4.2.2	Строительство тоннеля под Босфором.....	252
4.2.3	Плавающий тоннель в Норвегии	253
4.2.4	Подземная железнодорожная станция в центре г. Болонья (Италия).....	256
4.2.5	Автомобильный тоннель Суешан (Тайвань) – пятый в мире по протяженности	258
4.2.6	Подводный тоннель под Керченским проливом.....	260
4.2.7	Автомобильные тоннели в г. Киеве.....	265
4.2.8	Освоение подземного пространства под Манежем в г. Москве	267
4.2.9	Строительство подземной части делового центра «Москва-Сити»	269
4.3	Перспективы повторного использования выработанного пространства.....	272
4.3.1	Общие сведения	272
4.3.2	Концепция использования выработанного пространства негорючих месторождений.....	274
4.3.3	Использование выработанного пространства угольных месторождений.....	289
Глава 5.	Экономико-организационные предпосылки использования подземного пространства	305
5.1	Перспектива освоения подземного пространства в условиях рыночной экономики.....	305
5.2	Менеджмент в подземном строительстве	307
5.3	Эколого-экономическое обоснование использования подземного пространства	314
5.4	Надежность и долговечность подземных сооружений	330
	Заключение	339
	Литература	342

CONTENTS

	Page
Preface	12
Chapter 1. The history of underground space utilisation	15
Chapter 2. Underground constructions of the XX century	29
2.1 General information about underground space usage.....	29
2.2 Geological conditions for construction and exploitation of underground structures	37
2.3 Industrial establishments	42
2.4 Depository of hydrocarbon raw materials and fuel.....	49
2.5 Entombment of industrial and radioactive debris	56
2.6 Underground energy structures.....	62
2.7 Underground garages and car parks.....	75
2.8 Underground structures for strategic assignment.....	81
2.8.1 Underground structures of hitles stakes	81
2.8.2 Stalin bunker.....	92
2.8.3 Churchill underground “military cabinet”.....	95
2.8.4 Underground fortifications for presidents of the USA and Russia	98
2.8.5 Secret directions of Moscow underground.....	103
2.8.6 Undergruond shelters for submarines	106
2.9 Undergruond structures of unknown assignment.....	110
2.10 Submarine railway tunnels.....	113
2.10.1 Tunnel under English Chanel.....	113
2.10.2 Tunnel Sejkan under Sangarskij chanel (Japan)	122
2.11 Japanese “Aqualine” – dignity of tunnel and brige.....	127
Chapter 3. Modern technology and techniques for underground struture constructions	133

3.1 New Austrian way of tunnel construction	133
3.2 New technologies of tunnel construction in difficult mining geological conditions	141
3.3 Tendency of perfection for tunnel complexes of large section output	156
3.4 Modern foreign technology of underground construction	162
3.5 Perfection of drill and fire works in underground structure construction.....	170
3.6 Explosiveless pollution-free technology of tunnel drifting by hydro hammers.....	184
3.7 Foreign experience of cathode sputtering concrete lining construction.....	189
3.8 Untraditional technology of underground structure bracing by cathode sputtering with its continuous treatment.....	197
3.9 Micro tunnel technology in underground structure construction.....	203
3.10 Tunnel construction with the help of tunnel complexes with stepped wheel organ and quasi square form of cross section	215
Chapter 4. Perspectives of underground space mastering in the XX century	225
4.1 Intercontinental submarine railway tunnels – the base of world railway road system	225
4.2 Underground constructions of the XX century.....	249
4.2.1 Construction stages of Sen-Gotard tunnel.....	249
4.2.2 Tunnel construction under Bosfrom.....	252
4.2.3 Floating tunnel in Norway.....	253
4.2.4 Underground railway station in centre of Bologna (Italy).....	256
4.2.5 Road-transport tunnel Sujeshan (Taiwan) – the fifth length one in the world	258
4.2.6 Submarine tunnel under Kerchin Channel.....	260
4.2.7 Road-transport tunnels in Kiev.....	265

4.2.8 Underground space mastering under Manege in Moscow	267
4.2.9 Underground centre construction “Moscow- city”	269
4.3 The second usage perspectives of underground manufactured space	272
4.3.1 General information	272
4.3.2 The concept of manufactured space usage of noncombustible depths.....	274
4.3.3 Manufactured space usage of coal depths	289
Chapter 5. Economic organized implications for un- derground space usage.....	305
5.1 The perspective of underground space mastering in market economy conditions	305
5.2 Management in underground construction.....	307
5.3 Ecological economic ground for underground space usage	314
5.4 Reliability and durability of underground struc- tures	330
Conclusion	339
Literature	342

Предисловие

Под **использованием подземного пространства**, естественно, следует понимать возможность применения, утилизации его природных ресурсов.

В конкретном утилитарном смысле подземное пространство представляет собой объем естественных и техногенных полостей в горном массиве, а возможность их инженерного и социального использования в различных целях отождествляется с пространственными ресурсами недр. В самом широком толковании под подземным пространством необходимо понимать часть окружающей природной среды ниже земной поверхности, то есть в целом недра Земли, а не только их «незанятую» горными породами долю.

В отличие от таких ресурсных сред, как мировой океан, атмосфера и космос, земные недра обладают не только максимальной плотностью и труднодоступностью, но и наибольшей «ресурсонасыщенностью». Возможным вариантом использования в настоящем и будущем одного из видов этого ресурса, а именно подземного пространства, и посвящена предлагаемая монография.

В настоящее время наблюдается рост численности населения крупных городов мира, в некоторых странах доля населения городов достигает 80% общей численности населения. Плотность населения в городах достигает 150 тыс. чел./км² и продолжает расти. В подобных условиях резко обострились проблемы развития мегаполисов, особенно такие, как создание транспортных сетей и структуры жизнеобеспечения. Одним из наиболее эффективных путей решения этой проблемы является освоение подземного пространства.

Современные города уже не способны обойтись без использования подземного пространства, которое может явиться ключом к сохранению окружающей среды и улучшению условий жизни людей. В последние годы не сущест-

вует альтернативы сооружению тоннелей в большинстве случаев, когда дело касается транспортных связей и безопасного использования перенаселенных районов в больших городах. Это подтверждено положительными примерами во многих городах Европы, Азии, Америки, Японии. В крупных городах сочетание строительства метрополитенов с переносом загруженных внутренних автодорог под землю, превращение железнодорожных линий в высокоскоростные подземные трассы и, наконец, размещение в подземном пространстве гражданских и промышленных объектов позволяет существенно сэкономить значительные площади дорогостоящей земной поверхности, особенно в густонаселенных районах крупных промышленных городов.

Об актуальности использования подземного пространства говорит, в частности, тот факт, что в последнее десятилетие проведено несколько международных конгрессов и конференций по проблемам освоения подземного пространства. В настоящее время процесс освоения подземного пространства практически получил от общества социальный заказ на решение острейших и неотложных проблем развития крупных городов путем создания их подземной инфраструктуры. Этому способствует внедрение высоких технологий и механизированных комплексов для проведения тоннелей со скоростью 40 м/сутки. Достигнутый уровень технологий строительства подземных сооружений локального типа в пределах одного города или страны позволил перейти к сооружению подземных транспортных артерий между странами. Блестящее завершение строительства и успешная эксплуатация тоннеля под Ла-Маншем позволила Международной тоннельной Ассоциации приступить к разработке плана соединения подводными железнодорожными тоннелями Чукотки с Аляской, о. Сахалина с Материком, Японии с о. Сахалином, Испании с Африкой и создания единой Всемирной системы железных дорог.

Выбирая факты и примеры из области использования подземного пространства и создания подземной инфраструктуры городов для воплощения замысла книги, авторы ни в коем случае не претендуют на полноту освящения столь актуального и многогранного вопроса, как освоения подземного пространства, т.е. к созданию всеобъемлющего учебника.

Авторы на отдельных примерах стремились показать возможности многогранного промышленного использования подземного пространства в XX веке и перспективы первых десятилетий XXI века, что существующая технология и техника позволяет в XXI веке иметь все предпосылки для более интенсивного и многоцелевого использования подземного пространства.

В предлагаемой монографии главы 1, 5 подготовлены проф. Каплюхиным А.А., главы 2–4 – проф. Лысиковым Б.А. Параграф 3.5 – канд.техн.наук Лабинским К.Н., параграф 5.4 написан асп. Резник А.В., параграф 3.6 – студ. Рублевой О.И., параграф 2.10.2 – студ. Дубининым А.А.

Авторы будут признательны за конструктивные предложения и замечания по монографии и благодарны за отправления их по адресу: 83000, г. Донецк, ул. Артема 58, ДонНТУ, каф. «Строительство шахт и подземных сооружений», 9 корпус, комн. 414.

E-mail const@mine.dgtu.donetsk.ua



ГЛАВА 1

ИСТОРИЯ ОСВОЕНИЯ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА

По имеющимся сведениям человек издавна использовал полости в земле для жилья, погребения или в качестве убежища. В доисторические времена и на заре цивилизации человек обычно жил в пещерах, которые образовывались в известняках за счет медленного, но непрерывного растворения карбоната кальция природными водами. Именно эти простые геологические факторы определили места некоторых самых ранних поселений, возникших в те незапамятные времена, когда нашим предкам приходилось искать убежища. Люди постепенно перешли от простого использования природных пещер сначала к их расширению и углублению, а затем к созданию новых подземных жилищ.

В плиоцене еще жили только животные, но в пещерах постплиоценового периода наряду с костями животных уже попадаются кремниевые орудия, явно изготовленные руками человека. Поэтому пещерный этап – период исторического развития человека. Лучшим доказательством этого сегодня может служить пещерный город Петра, расположенный в пустынной части Иордании, в 480 км к востоку от Каира. Петра – преимущественно подземный город, его храмы и залы вырублены в красном песчанике ориентировочно в III в. до н.э. На протяжении нескольких тысячелетий этот подземный город служил жителям пустыни, а в начале новой эры стал религиозным центром. Сегодня совершенство его подземных храмов лишней раз напоминают, что вовсе не у современного человека впервые появилась мысль о возможности использования подземного пространства и обеспечить себе безопасность, спрятавшись под землю. Петра не единственный пример такого рода. Долина реки Нил долгое время являлась одной из колыбелей цивилизации. Здесь также есть подземные храмы и другие сооружения высеченные в твердых породах. Пожалуй, наибольшей известностью пользуются храмы Абу-Симбела, которые находятся в 280 км вверх по течению от высотной Асуанской плотины. Сооружение храмов датируют XII в. до н.э. или раньше. Храмы вырублены в массиве розового

или раньше. Храмы вырублены в массиве розового песчаника. Большой храм высечен в скале, размер вырубки 16,2x17,4 м и связан с внутренним святилищем, идущим до 60 м в глубь скалы. Поэтому все более широкое использование подземного пространства не является чем-то совершенно новым. Это возвращение в какой-то степени к практике древних эпох.

В IV в. до н. э. в районе Пергама сооружается подземное здание храма бога-врачевателя Асклепия. Впервые такое сооружение строится открытым способом с последующим возведением каменных стен, сводов, опорных колонн и засыпкой с поверхности. Сохранившееся здание включает два тоннеля (рис. 1.1а цветн. вкладка) длиной по 50 м (высота 2,5 м) и зал с опорными колоннами высотой 5 м [1]. Уникальным по масштабам и техническим решениям было строительство подземных городов в Каппадокии (Анатолия), начавшееся в I-II вв. до н. э. (открыты и исследованы в 1963). Подземный город (достраивался до V-VI вв. н. э.) состоит из 18 этажей, соединенных наклонными проходами с вырубленными ступенями, на общую глубину до 80 м (до подземных источников). Четыре сквозных вертикальных ствола диаметром около 1,5 м пройдены на всю глубину до водоносного горизонта и соединены многочисленными отводами с основными подземными помещениями. Своды крупных по размерам помещений поддерживаются целиками (рис. 1.1б цветн. вкладка), проходы снабжены закрывающимися затворами (рис. 1.1в цветн. вкладка). Один из таких городов «Глубокий колодец» включает около 2000 помещений на 10000 человек и имеет около 600 выходов на поверхность. Город имел систему вентиляции (52 вертикальных ствола), включавшую несколько камер, где жгли костры для обеспечения нормальной циркуляции воздуха (а также и бытовых целей). Высота камер свыше 2 м. Имелись помещения для хранения воды, молитвенных обрядов (первые христиане), загоны для скота (верхние этажи), приго-

товления вина и т.п. (рис. 1.2 цветн. вкладка). Площадь наиболее большой камеры – свыше 300 м². В помещениях зимой и летом температура постоянная (9-10⁰С). Всего в Каппадокии насчитывается 36 подземных городов. В I в. н. э. в Каппадокии начинается строительство подземных сооружений пещерного типа с многоярусной планировкой. Эти сооружения включают постройки религиозного назначения с настенными рисунками (первые христианские церкви) и жилые помещения. Позднее подземные сооружения пещерного типа строятся в других регионах. В средние века в целях защиты от набегов в скалах сооружались жилые, культовые, военные и другие помещения (например, Чуфут-Кале в Крыму). Сохранились остатки подземных монастырей VI-XIII вв. в Грузии.

Крупный подземный городской комплекс пещерного типа Вардзиа (конец XII-XIII вв., Грузия) включал около 500 помещений, расположенных в 5-6 ярусах над рекой Кура. Сохранившиеся горные выработки позволяют судить о хорошо продуманной системе сброса и отвода дождевой воды и других достаточно сложных технических решениях, обеспечивавших автономную жизнь подземного города. Аналогичные подземные жилые постройки в вулканических туфах, известняках, плотных песчаниках сооружались в раннем средневековье также на территории Китая, Болгарии и других стран.

Естественным развитием применения пещер для жилья и убежища, а также культовых сооружений была постройка тоннелей.

Идея создания подземных проходов и тоннелей возникла, вероятно, у древних строителей при наблюдении за реками, уходившими под землю, где они продолжали свой путь по подземным каналам.

Согласно историческим данным подземные работы древние египтяне вели за 3 тыс. лет до н.э. Первый (пока известный) подземный ход по приказу царя Навуходоносора

был сооружен длиной 1 км от царского дворца к храму Ваала под рекой Евфрат. Высота его 3 м, он хорошо украшен и сохранен. Древний историк Геродот дает описание тоннеля на острове Самос в Эгейском море примерно за 700 лет до нашей эры, пробитый через горный кряж, протяженностью 1,5 км в крепких породах (известняках) и предназначенный для водоснабжения Самоса. Работы велись вручную с помощью зубил и молотков. Имеется достаточно полная информация о некоторых тоннелях, сооруженных во времена Римской империи.

Большинство из тоннелей того времени были гидротехническими, предназначенными для водоснабжения больших городов или мелиорации земель, а размеры – впечатляющими. Плиний описывает строительство тоннеля в районе озера Фучино, длина которого была более 5,5 км, а высота – 6 м. Для его сооружения было пройдено 40 вертикальных стволов глубиной до 120 м. В течение 11 лет на возведении этого объекта работало 30 тыс. человек. Использование этого тоннеля началось за полвека до нашей эры.

Все упомянутые выше тоннели в соответствии с уровнем производительных сил при рабовладельческом строе были сооружены исключительно при помощи ручного труда, при крайне несовершенных инструментах. Скалистые породы разрабатывались большей частью огневым способом; скалу раскаляли при помощи огня, а затем поливали ее холодной водой.

После падения римской империи в тоннельном строительстве наступил период длительного застоя, продолжавшийся в течение многих столетий, почти до конца средних веков. Лишь в 1450 г. приступили к сооружению тоннеля под так называемыми морскими Альпами на высоте 1800 м для дороги из Ниццы в Геную. Вскоре, однако, работы были приостановлены. Через 300 лет во второй половине XVIII века проходка тоннеля была возобновлена, но через 12 лет,

а именно в 1794 г. окончательно прекращена. При Наполеоне над этим незаконченным тоннелем была устроена обыкновенная дорога.

Изобретение пороха произвело настоящий переворот, как в горной промышленности, так и в тоннельном строительстве; это последнее велось в течение последующих полутора веков исключительно на водных путях. Объясняется это тем, что до появления железных дорог основными транспортными артериями как внутри отдельных стран, так и для сообщения их друг с другом являлись реки. Между этими естественными артериями создавались искусственные водные пути (каналы), при постройке которых в гористых местностях и возникли судоходные тоннели. Если не считать тоннеля, сооруженного у г. Селенции (на территории современной Турции) около 1600 лет тому назад и выполнявшего одновременно функции водопровода и подземного водного пути, то родиной судоходных тоннелей следует признать Францию, где интенсивное строительство каналов началось еще в XVII столетии – задолго до возникновения железных дорог.

Первый судоходный тоннель во Франции был сооружен в 1679-1681 гг. на участке Лангедокского канала, соединявшего р. Гаронну со Средиземным морем. Этот тоннель длиной всего 164 м, высотой 8,2 м и шириной 6,7 м пересекает возвышенность Мальпас к северу от Пиренеев. Мальпасский тоннель был пробит в туфах с применением впервые в истории тоннельного дела пороха и взрывных работ.

Сто лет спустя, а именно в 1784 г., в отдельном бьефе канала Нивернэ, между реками Сенной и Луарой, было начато строительство трех судоходных тоннелей, длиной от 212 до 761 м при ширине 7,0 м. Сооружение этих тоннелей велось с большими перерывами, измерявшимися десятками лет, и было закончено только в 1838 г.

В 1787-1789 гг. на Центральном канале, соединяющем реки Лауру и Сену, был сооружен тоннель Торси длиной 1276 м при ширине в свету всего 2,6 м и высоте 2,9 м. Впоследствии этот тоннель был заменен открытой выемкой, глубина которой не превышала 30 м.

За период с 1802 г. по 1809 г. на Сен-Кантенском канале, соединяющем р. Уазу с Шельдой, были сооружены тоннели - Рикеваль длиной 5670 м и Тронкуа длиной 1098 м; ширина того и другого тоннеля составляет 8,0 м. При сооружении этих двух тоннелей были впервые разработаны методы подземной проходки в мягких грунтах.

Рекордным как по длине (7118 м), так и по ширине (22,0 м) является известный Ровский тоннель на канале, соединяющем нижнее течение р. Роны с Марселем. Общее число судоходных тоннелей во Франции достигает 40.

Помимо Франции судоходные тоннели имеются в Англии, Германии, США и Японии. В Англии строителем первых судоходных тоннелей был известный инженер Бриндлей. Им в 1766-1769 гг. на канале, соединяющем окрестные каменноугольные копи с г. Манчестером, было сооружено 5 судоходных тоннелей; самый большой из них (Харкэстль) имел длину 2632 м при ширине всего в 2,7 м и высоте 3,7 м. В 1825-1827 гг. на расстоянии 23,8 м ось от оси был пробит параллельный тоннель длиной 2675 м, шириной 4,3 и высотой 4,9 м. Всего в настоящее время в Англии насчитывается около 60 судоходных тоннелей.

Первый судоходный тоннель в США был сооружен в 1818-1821 гг. на Шюйкильском канале и притом в такой местности, где надобность в нем не могла быть технически оправдана. При длине 137 м, ширине 6,1 м и высоте 5,5 м этот тоннель (Обэрн) был заложен на глубине всего в 13,4 м. Владельцы канала, в состав коего входил тоннель Обэрн, приступили к его сооружению исключительно с целью привлечения на канал новых пассажиров, не знакомых еще с необычайным путешествием на лодках под землей. Впо-

следствии этот старейший американский тоннель был укорочен, а в 1855-1856 гг. полностью раскрыт в выемку.

В 1828 г. в одном из угольных районов Пенсильвании был построен судоходный тоннель Лебанон длиной 223 м, шириной 5,5 м и высотой 4,6 м. Через некоторое время канал, в состав которого входил этот тоннель, не выдержал конкуренции с параллельной ему железной дорогой и был заброшен.

Свое дальнейшее развитие тоннелестроение получило на строительстве железных дорог. Освоив весь предшествовавший богатый опыт водников, строители-железнодорожники двинули тоннелестроение вперед с такой стремительностью, что прогресс в этой области строительства в течение нескольких десятилетий оказался значительно большим, чем за все 18 предшествующих столетий.

Еще в конце XVIII века возникла идея соединить Италию с континентальной Европой и пробить через Альпы тоннель. 23 февраля 1796 г. Директория французской республики назначила генерала Бонапарта главнокомандующим своих войск в Италии. Наполеон начал действовать со свойственной ему быстротой. Через несколько дней он направил в Альпы техническую комиссию для установления возможности строительства дороги и тоннелей через Альпы. Выбор пал на Сен-Готардский перевал, т.е. специалистам предложили перевал, который Суворов избрал для соединения с армией, стоящей под Цюрихом. Высота перевала 2 км и протяженность тоннеля, пересекающего центральные Альпы – 12 км. Однако работы по сооружению этого тоннеля были начаты только в 1857 году и рассчитаны на 50 лет. Проходка осуществлялась так называемым «Бельгийским способом». За 15 лет (1857-1872 гг.) было пройдено 4 км, а в 1880 г. строительство было завершено. Столь быстрое завершение работ связано с именем Жермена, руководителя работ с французской стороны. Он изобрел механический буровой станок и скорость буровых работ возросла в

10 раз. Увеличению скорости проходки тоннеля (80 м/месяц) способствовало применение нового высокороботоспособного взрывчатого вещества – динамита. Рудольф Нобель впервые применил здесь свое изобретение – динамит.

При проведении этого тоннеля строители впервые испытали прорыв горячей воды ($T^{\circ} = 60 - 65^{\circ}\text{C}$), высокую влажность в забое. Рабочие выдерживали не более 3-х месяцев, появлялись тропические язвы.

Торжество завершения строительства тоннеля сменилось разочарованием после прохода первого поезда – машинист и члены экипажа погибли. Только четвертый экипаж остался жив с явными признаками отравления угарным газом.

Начиная с XVIII в., со времен промышленной революции, центром тоннелестроения становится Англия. Здесь тоннели сооружались, в основном, на трассах многочисленных каналов, а с XIX в. началось строительство железнодорожных тоннелей.

Надо сказать, что в технологии проходки тоннелей до конца XVIII в. мало что изменилось со времен Римской империи, если не считать того, что для взрывания шпуров стал использоваться черный порох. Только в XIX в. произошли большие изменения в данном направлении.

Великими инженерами-тоннелестроителями являются Марк Брунель (1769-1849), эмигрировавший из охваченной революцией Франции в Англию, и его сын Исамбар (1806-1859). Марк Брунель пришел к следующему заключению: в мягких грунтах обделку в тоннеле необходимо возводить сразу вслед за разработкой, а призабойное пространство по периметру и частично или полностью грудь забоя должны быть защищены щитом. В 1818 г. Брунель запатентовал цилиндрический проходческий щит, передвижка которого осуществлялась с помощью винтовых домкратов, упирающихся в устраиваемую за щитом обделку тоннеля из кирпича, а исполнительный орган роторного типа приводился в

действие физической силой рабочих. Этот щит Брунелем никогда не был использован.

Зато им эксплуатировался другой щит подковообразной формы для прокладки транспортных тоннелей в мягких грунтах под р. Темзой. Их строительство началось в марте 1825 г. Стартовая шахта диаметром 25 м проходила методом опускного колодца. Кирпичное сооружение имело стальную облицовку и нож. За три недели на глазах многочисленной публики конструкция весом 910 т была опущена в проектное положение. В шахте были смонтированы два проходческих щита и начата проходка тоннелей с обделкой из кирпича.

История строительства этих тоннелей полна неоднократных аварий, затоплений, многочисленных жертв и остановок. Стоимость проведения работ превысила расчетную во много раз. Только благодаря незаурядным организаторским способностям Брунеля финансирование раз за разом удавалось возобновлять.

Строительство этих тоннелей под Темзой было завершено только в 1843 г. Сначала тоннели использовались как пешеходные, а в последствии и как транспортные. В настоящее время они эксплуатируются Лондонским метрополитеном.

Брунелями было построено в Англии немало железнодорожных тоннелей, в частности, между Лондоном и Бристолем длиной 3,2 км и между Шеффилдом и Манчестером – 4,8 км.

Большие изменения в технологии проходки тоннелей произошли во второй половине XIX в. В 1849 г. американец Джонатан Коуч предложил конструкцию сверла для бурения шпуров ударно-вращательным способом с помощью энергии сжатого воздуха. Только в начале 60-х годов эту идею удалось реализовать на практике европейцам Зоммайлеру, Грандису и Граттони. Использование пневматического перфоратора уже к 70-м годам позволило на порядок

увеличить скорость выполнения самой продолжительной операции проходческого цикла – бурения шпуров.

В это же время началось широкое применение нитроглицериновых взрывчатых веществ.

Английским инженером Питером Барлоу в 1864 г. был запатентован проходческий щит цилиндрической формы – прообраз современных агрегатов. В 1870 г. подобным щитом, конструкция которого была доработана Грейтхэдом, был пройден пешеходный тоннель в Лондоне под р. Темзой. Щит диаметром 2,4 м передвигался с помощью 6-ти винтовых домкратов, распиравшихся в тоннельную обделку. Конструкция из чугунных тюбингов собиралась под оболочкой щита. За сборную обделку нагнетался цементный раствор. Сооружение тоннеля было завершено через 6 месяцев после начала работ и поразило современников не только скоростью и безопасностью строительства, но и своей сравнительно небольшой стоимостью.

Одним из наиболее успешно реализованных проектов конца XIX в. можно считать трансальпийский Симплонский тоннель между Швейцарией и Италией, длительное время остававшийся самым протяженным транспортным сооружением в мире. Несмотря на сложные условия строительства, тоннель длиной около 20 км был сдан в эксплуатацию в 1906 г., всего через 7,5 лет после начала проходки.

Работами руководил Альфред Брандт – изобретатель передовой в то время бурильной установки. Строительство началось в августе 1898 г. одновременно с итальянской и швейцарской сторон. При подготовке проекта был учтен негативный опыт прокладки Сен-Готардского тоннеля, где произошли крупные аварии с многочисленными человеческими жертвами. Учитывая большие сложности с вентиляцией забоев при проходке Сен-Готардского тоннеля, Брандт принял решение о строительстве не одного двухпутного, как это делалось в последние годы, а двух однопутных тоннелей. При этом через каждые 200 м между тоннелями уст-

раивались вентиляционные сбойки. На порталах было установлено самое современное вентиляционное оборудование, позволявшее подавать в тоннели свежий воздух в 25 раз больше, чем при строительстве Сен-Готардского тоннеля.

При проходке первых километров тоннелей продолжительность цикла составляла 5 ч., что обеспечивало скорость около 5,5 м в сутки. Для обуривания забоев использовались буровые рамы, сконструированные с таким расчетом, чтобы на каждый перфоратор приходилось только по 4 шпура. Во время отгона рамы на безопасное расстояние шпуры заряжались патронами с желатина-динамитом. Взорванная порода грузилась в узкие вагонетки, размещенные под буровой рамой.

После проходки 3,5-4 км условия трассы осложнились. Начались прорывы термальных вод (температура воды достигала 60⁰С), температура пород в забое доходила до 54⁰. Высокое горное давление приводило к деформированию стальных арок (максимальная глубина заложения тоннеля составляла 2100 м). Для усиления временной крепи на этих участках производилось обетонирование арок, что позволило в дальнейшем успешно продолжать проходку тоннеля.

Полтора года работы шли успешно. 24 июля 1908 г. произошел неожиданно мощный прорыв воды. Сметая все на своем пути, поток воды погубил технику и проходчиков. Все находившиеся в тоннеле люди погибли. Так сказался прорыв реки Кандер в выработку через 200-метровую пробку породы. Работы прекратились. Хотели бросить строительство тоннеля, но было предложено соорудить 10-ти метровую стену, отгородить место прорыва и в обход этого места продолжить строительство. Тоннель сделал дополнительный крюк длиной в 1 км и благополучно был завершён в 1922 году.

Симплонский тоннель был построен с небольшим числом человеческих жертв, что было необычным для того времени.

При сбойке забоев расхождение осей в плане составило 20 см, а по высоте – 9 см. Это подтвердило высокую квалификацию специалистов и хорошее качество инженерной подготовки строительства.

Есть примеры успешного сооружения протяженных тоннелей и в Российской Империи.

У наших отечественных метро- и тоннелестроителей тоже были свои предшественники. Все крепости и монастыри, которые строили для защиты от иноземных захватчиков, имели подземные ходы и различные потайные тоннели. Например, в Новодевичьем монастыре, построенном в 1524 году на южной окраине Москвы, один подземный ход из монастыря-крепости вел к берегу Москвы-реки. А второй строители провели под одним из четырех прудов, расположенных под стенами монастыря. Тоннели почти непроницаемы для воды и участками хорошо сохранились до наших дней.

Впрочем, даже в более позднее время этот опыт был забыт, в возможность строительства тоннелей под реками и водохранилищами мало кто верил. Например, инженер-самоучка Торговатов подал в свое время в инстанции проект устройства тоннеля под Невой. Александр I (1801-1825 гг.), которому доложили об этом, милостиво наложил такую резолюцию: «Выдать ему двести рублей и обязать подпиской, чтобы он впредь прожектками не занимался».

Развитие экономики и особенно железнодорожного транспорта в России потребовало строительства множества тоннелей. Первые тоннели на сети железных дорог были проложены в России в 1850-1862 гг. (Ковенский тоннель длиной 1280 м и Виленский – 430 м). В 1890 г. пустили в эксплуатацию большой четырехкилометровый Сурамский тоннель шириной 9 м и высотой 7 м от головки рельсов.

При строительстве тоннеля использовались передовые для того времени проходческие технологии и оборудование, в частности, буровые машины системы Брандта. Скорость

проходки достигала 10,67 м в сутки. 12 октября 1888 г., через два года после начала работ, произошла сбойка встречных забоев. А вот железная дорога, огибающая озеро Байкал, прошла уже через 39 подземных путепроводов.

За границей интенсивное строительство железных дорог также началось во второй четверти XIX столетия. Первый из них протяженностью 1190 м, соорудили англичане на линии между Ливерпулем и Манчестером в 1826-1830 гг. Его автором был известный изобретатель Джордж Стефенсон.

В Швейцарии к 1915 г. общее число тоннелей составляло 627 и общая их протяженность – 281 км.

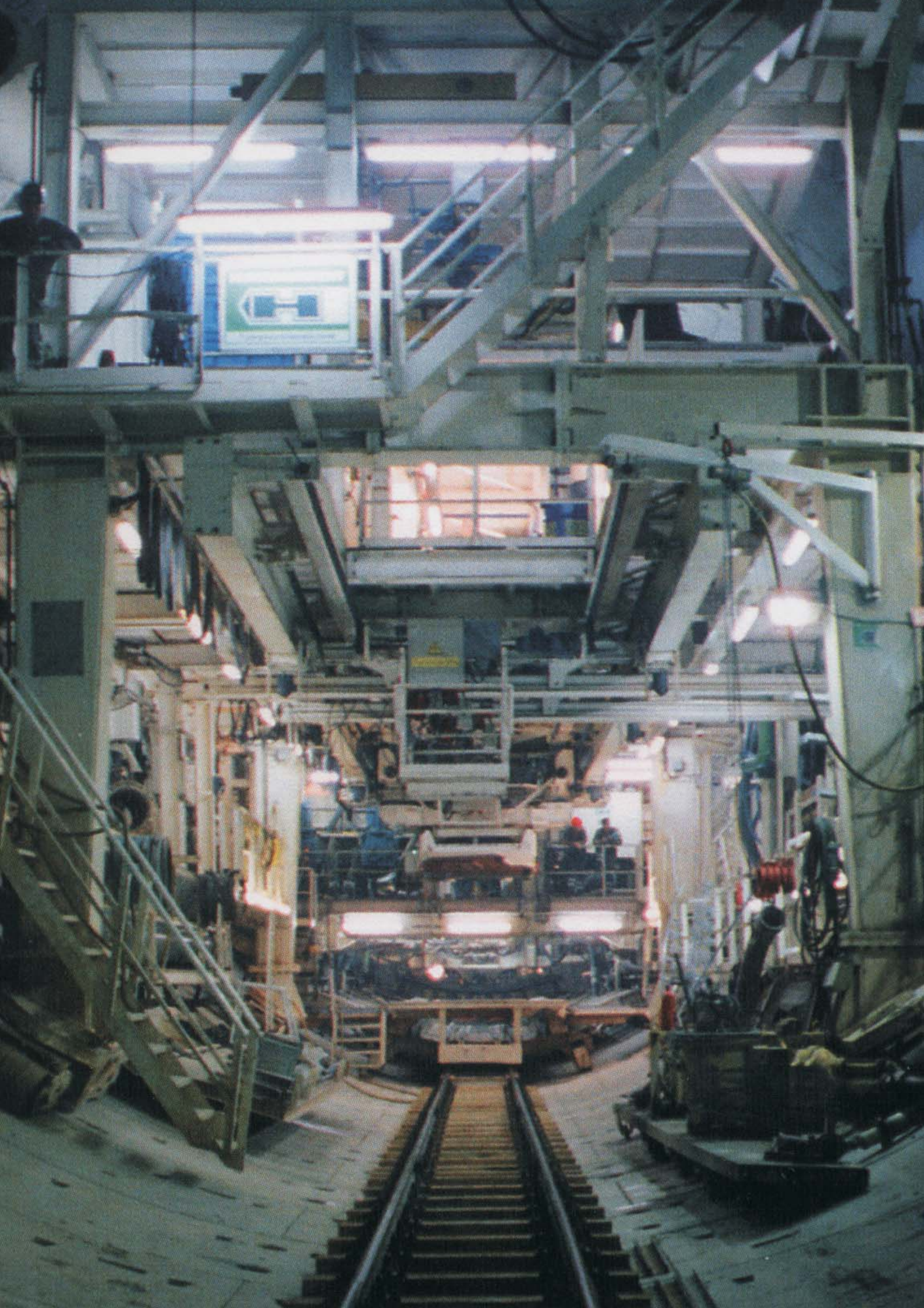
Конец XIX – начало XX вв. справедливо считается «золотой» порой в тоннелестроении. Тогда было проложено большое число из эксплуатируемых и в настоящее время железнодорожных и гидротехнических тоннелей. В ряде крупных городов мира началось строительство метрополитенов. В те годы была заложена основа современных тоннелепроходческих технологий.

В Японии в настоящее время 3062 железнодорожных тоннеля протяженностью 2150 км при общей длине железных дорог 20,7 тыс. км, т.е. протяженность тоннелей на железных дорогах составляет около 10%, а протяженность автодорожных тоннелей – 2200 км, из которых 450 км на современных автодорожных трассах.

В Китае на железнодорожной линии Бао-цейм – Чэнду протяженностью 668 км действует 286 тоннелей общей длиной 81 км.

Самый длинный тоннель в мире, утверждают финны, находится в их стране. Он расположен между столицей Хельсинки и городом Лахти. Действительно на этом отрезке пробивали скальный проход, который вошел в эксплуатацию в 1982 году, он длиннее Симплонского тоннеля на 100 км. И по 120-ти километровому тоннелю не идут поезда и

не несутся автомобили. По нему течет чистейшая вода из озера Пайяне в столицу Финляндии.



ГЛАВА 2

ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ XX ВЕКА

2.1 Общие сведения об использовании подземного пространства

Вопросами комплексного **использования подземного пространства** занимается область градостроительства – подземная урбанистика, главная цель которой – обеспечение оптимальных условий труда, быта и отдыха жителей мегаполисов, увеличение площади открытых зеленых пространств на поверхности, формирование здоровой, удобной и эстетически привлекательной городской среды. Планомерное использование подземного пространства ведется во взаимосвязи с поверхностной планировкой и застройкой, с различными видами и типами имеющихся подземных сооружений и учетом последующих этапов развития города. Это требует разработки специальных разделов в генеральных планах городов и в проектах детальной планировки и застройки.

Степень использования подземного пространства, техника и технология ведения работ зависит от величины города, характера и содержания исторически сложившейся и перспективной застройки, концентрации дневного населения в различных частях города, уровня автомобилизации, природно-климатических, инженерно-геологических и др. условий. В соответствии с этим в генеральном плане города и проекте детальной планировки выделяются зоны с различной степенью и очередностью использования подземного пространства.

Современный комплекс подземного пространства мегаполиса обычно включает:

- инженерно-транспортные сооружения;
- предприятия торговли и общественного питания;
- зрелищные, административные и спортивные здания и сооружения;
- объекты коммунально-бытового обслуживания и складского хозяйства;

- объекты промышленного назначения и энергетики;
- инженерное оборудование.

К подземным инженерно-транспортным сооружениям относятся пешеходные, автодорожные и железнодорожные тоннели, станции (рис. 2.1 цв. вкл., рис. 2.2 цв. вкл.) и тоннели (рис. 2.3 цв. вкл.) метрополитенов, скоростного трамвая, автостоянки и гаражи, автовокзалы.

В некоторых городах составной частью подземных инженерно-транспортных сооружений являются надземные линии метрополитенов, расположенные на эстакадах и многоуровневые транспортные развязки (рис. 2.4 цв. вкл.).

Предприятия торговли и общественного питания включают торговые залы и вспомогательные помещения кафе-буфетов, столовых, закусочных и ресторанов, торговые киоски, магазины, отдельные секции универсальных магазинов, торговых центров и рынков.

Зрелищные, административно-спортивные здания и сооружения – это кинотеатры, выставочные и танцевальные залы, отдельные помещения театров и цирков, залы заседаний и конференцзалы, книгохранилища, запасники музеев, стрелковые тиры, плавательные бассейны.

Объекты коммунального обслуживания – приемные пункты, ателье, фабрики бытового обслуживания, парикмахерские, бани и душевые, прачечные, продуктовые и промтоварные склады, овощехранилища, холодильники, ломбарды, резервуары для жидкостей и газов, склады горюче-смазочных и других материалов.

К объектам промышленного назначения и энергетике, размещаемых под землей, относятся отдельные лаборатории, цехи и производства (особенно те, которым необходима тщательная защита от пыли, шума, вибрации, перемены от температуры и др. внешних воздействий), тепло-, гидро- и атомные электростанции, склады и хранилища.

Инженерное оборудование – располагается в коммунальных тоннелях с расположением в них трубопроводов

водоснабжения, канализации, теплоснабжения, газоснабжения, водостоков и ливнепроводов, кабелей различного назначения. Сюда же относятся общие коллекторы подземных сетей, трансформаторные подстанции, вентиляционные камеры, бойлерные и котельные, газораспределительные станции, очистные и водозаборные сооружения.

Использование подземного пространства наиболее актуально в центральных, отличающихся плотной застройкой и наиболее посещаемых районах, а также в отдельных специализированных центрах и в так называемых общественно-транспортных комплексах массового посещения (рис. 2.5 цв. вкл. и 2.6 цв. вкл.). При этом перспективно создание подземных сооружений, помещений и устройств, эксплуатация которых связана с кратковременным пребыванием людей, поскольку согласно санитарно-гигиеническим и психико-физиологическим требованиям продолжительность пребывания людей в подземных условиях не должно превышать 3-4 ч. По сравнению с наземными объектами подземные сооружения могут располагаться под существующими и проектируемыми зданиями, коммуникациями и даже под руслами рек. На пространственную организацию подземных сооружений почти не оказывает влияние рельеф, что позволяет обеспечить самые удобные условия передвижения людей и транспорта (по кратчайшим расстояниям и с минимальным перепадом высот).

Особенность планировки при подземном строительстве состоит в том, что подземные сооружения не нуждаются в каких-либо разрывах между собой и в отдельных районах крупных городов иногда образуют сплошной подстилающий слой.

К инженерному обеспечению подземных сооружений предъявляются более высокие требования, чем к наземным объектам. Подземные сооружения должны быть обеспечены постоянным надежным искусственным освещением, доходчивой зрительной и звуковой информацией, непрерывной

приточно-вытяжной вентиляцией. Например, в подземных переходах зального типа должны осуществляться четырехкратный воздухообмен зимой и шестикратный летом, обеспечивающий необходимую чистоту подаваемого воздуха, влажность, температуру и подпор, чтобы отработанные газы, находящиеся в наружном воздухе, не проникали в подземные сооружения.

Одной из главных задач, возникающих при проектировании городской подземной среды для ее обитателей является преодоление средствами архитектуры ощущения «подземности» путем создания больших, ценных и как бы «переливающихся» пространств, в которых переход из одного помещения (или уровня) в другое осуществляется с минимальными затратами времени и сил пешеходов. При этом необходимо не только подчеркивать надежность и прочность используемых конструкций, но и вместе с тем создавать впечатление определенной их легкости и эстетической привлекательности. С этой целью используются многообразие композиционных приемов с контрастным или нюансным сочетанием внутренних объемов, различных по размерам и форме помещений с лестницами, пандусами и коридорами, чередующимися с открытыми световыми двориками и видовыми террасами, элементами озеленения и малыми формами.

Важным средством формирования интерьера подземных сооружений является **искусственное освещение**, которое зрительно преобразует пространство, создает и снимает неприятные ощущения от пребывания под землей. Художественно-эстетическая привлекательность интерьера достигается также выбором определенных цветовых сочетаний, пластики и фактуры соответствующих элементов стен, полов, потолков. На архитектурно-пространственное решение отдельных подземных сооружений и узлов городского архитектурного ансамбля, наряду с традиционными для них функционально-техническими факторами значительное

влияние оказывают природные условия и характер исторически сложившейся городской среды, наличие ранее уложенных коммуникаций, фундаментов имеющихся зданий, которые должны составлять с новыми сооружаемыми объектами единую взаимосвязанную систему. Они определяют возможность и масштабы строительства, конструктивные решения и организацию ведения работ.

Выбор зон наиболее активного строительства подземных сооружений определяется градостроительными и функциональными требованиями, технической и экономической целесообразностью использования, а также социально-экономическим эффектом от строительства и эксплуатации объектов.

Эффективность использования подземного пространства и окупаемость капитальных вложений в подземное строительство (по сравнению с наземными аналогами) достигается за счет экономии и рационального использования городской территории, сокращения эксплуатационных расходов и экономии топливно-энергетических ресурсов (на отопление или охлаждение воздуха, особенно для складов и холодильников), уменьшения протяженности инженерных коммуникаций, а также уменьшения затрат общественно полезного времени и улучшения качества обслуживания населения в сфере транспортных (создание более удобных многоуровневых пересадочных узлов, рис. 2.7 цв. вкл. и 2.8 цв. вкл.), культурно-бытовых и других видов услуг.

Приближение предприятий торговли и общественного питания, зрелищных и коммунально-бытовых объектов к участкам концентрации населения увеличивает их посещаемость, повышает их покупательскую способность и рентабельность эксплуатации.

В Москве, Санкт-Петербурге, Киеве, Харькове сооружены метрополитены, станции которых благодаря своим высоким эксплуатационным качествам, красоте и выразительности архитектуры завоевали славу лучших в мире.

Впервые в мировой практике станции и вестибюли указанных метрополитенов проектировались с учетом художественно-эстетических требований, индивидуализации облика отдельных сооружений и преодолением ощущения «подземности» за счет использования специальных архитектурных приемов и средств (рис. 2.9а, цв. вкл. и 2.9б цв. вкл.).

Подземная инфраструктура городов включает крупные комплексы подземных сооружений, в которые входят тоннели для грузового автомобильного транспорта, разгрузочные устройства и склады, устройства для водоснабжения, конденционирования воздуха и пылеудаления построены в Москве на Новом Арбате, в гостинице «Россия». Все большее распространение получает сооружение подземных строительных выставочных залов, ресторанов, кафе.

При использовании подземного пространства обычно выделяют следующие предпосылки: социальные, горно-технические, экономические и оборонные [2].

Социальные предпосылки использования подземного пространства заключаются в росте народонаселения и происходящих демографических преобразованиях, неизбежных техногенных изменениях окружающей среды, необходимости сохранения земельных фондов и улучшения рекреационных возможностей людей и санитарно-гигиенических условий их труда. Увеличение количества создаваемых площадей в подземном пространстве позволяет снизить выбывшие из пользования сельскохозяйственных угодий.

Считается, что использование подземного пространства целесообразно в районах с высокой плотностью населения, плодородными почвами, развитой горно-добывающей промышленностью, благоприятными инженерно-геологическими условиями для подземного строительства. Выгодно строить подземные склады на Севере. Переносить под землю предприятия с высокими уровнями пожароопасности и шумообразования также полезно для окружающей среды.

Горно-технические предпосылки заключаются в том, что в идеальном случае для использования подземного пространства горные породы должны быть прочными, монолитными, устойчивыми и одновременно легко разрабатываемыми, стойкими к окислительным процессам, необводненными и не выделяющими ядовитые газы, инертными по отношению к хранимым в них материалам, непористыми, не содержать агрессивных растворов. Однако современные технологии в большинстве случаев позволяют ликвидировать действия всех перечисленных факторов.

Геологические предпосылки освоения подземного пространства заключаются в необходимости достаточно подробного изучения верхних слоев земной коры, которое бы позволило объективно принимать решения о выборе места размещения подземного объекта и технологий его создания.

Экономические предпосылки освоения подземного пространства объясняется тем, что подземное пространство позволяет снизить сезонные колебания энергопотребления, т.к. горные породы служат аккумулятором солнечной энергии, обладают низкой теплопроводностью и способны удерживать тепло. В связи с этим подземные полости могут использоваться как теплоаккумуляторы. В северных странах энергетический вопрос оказывает большое влияние на выбор подземного размещения зданий, и все большее применение находит подземное жилье.

Оборонные предпосылки использования подземного пространства заключаются в необходимости защиты людей, материальных ценностей, производства от военных действий, в том числе и ядерного взрыва.

Считается также, что подземные сооружения при незначительных дополнениях имеют высокую сейсмостойкость, стабильные температуру и влажность, чистоту помещений, т.е. те параметры, для обеспечения которых на по-

верхности необходимо дополнительно 25-40% объема строительно-монтажных работ.

Надежность и долговечность подземных сооружений значительно выше, чем поверхностных. Срок службы многоэтажных зданий – 100 лет, жилых домов особой капитальности – 125 лет, фруктохранилищ – 28 лет. Период эксплуатации подземных сооружений гораздо выше. Например, для тоннелей эти нормы составляют 500 лет. Известно также немало случаев, когда подземные сооружения сохранялись в течение тысячелетий. Затраты на ремонт подземных сооружений ниже, чем наземных, т.к. они не подвержены климатическим факторам. Для естественного разрушения горных пород требуются десятки и сотни тысяч лет.

Считается, что основным полезным свойством подземного пространства является их способность вмещать в себя какие-либо объекты или процессы. Однако в отличие от остальных пространственных ресурсов подземное пространство обладает некоторыми другими полезными характеристиками: имеет относительно стабильные климатические характеристики (температурно-влажностный режим); изолировано от разного рода поверхностных воздействий, таких как шум, вибрация, радиоактивность и т.д.; относительно герметично, а также способно удерживать тепловую и другие виды энергии. Кроме того, влияние любого объекта, расположенного под землей, на окружающую среду значительно ниже и в лучшей степени может контролироваться; подземные здания часто не требуют существенных затрат на внешнюю отделку, служат значительно дольше и требуют более низких эксплуатационных затрат, чем поверхностные; подземное пространство в ряде случаев легче осваивать, чем поверхностное, так как оно не зависит от топографии и дробления на частные участки.

К преимуществам заглубленных гражданских зданий относят: эстетические (взаимосвязи с окружающим ландшафтом); более рациональное использование земли; сниже-

ние уровня шума и вибрации; уменьшение эксплуатационных расходов (на ремонт здания, гидро- и теплоизоляцию и др.); пожарная безопасность (распространение огня ограничено); сейсмостойкость; защита от ядерного взрыва и радиоактивных осадков; защита от штормов и торнадо; сохранение энергии.

Однако, наряду с преимуществами использования подземного пространства, существуют и некоторые сложности, обусловленные свойствами данного ресурса. Это психологические, технические и юридические сложности.

Психологическая проблема заключается в субъективном мнении людей о том, что условия пребывания в подземном пространстве должны быть хуже, чем на поверхности. Техническая проблема включает в себя сложности с дренажем воды, канализацией, водостоком и вентиляцией. Юридическая проблема наиболее свойственна США и другим странам, где исторически собственность на землю включает в себя собственность на подземное пространство.

К основным недостаткам подземного пространства по сравнению с поверхностным относят высокую естественную влажность, отсутствие дневного света, невозможность свободного доступа с поверхности земли, т.к. спуск и подъем осуществляется через определенные выработки (в некоторых случаях это является достоинством), наличие горного давления и возможность сдвижения горных пород вследствие создания или использования подземных пустот, более высокие капитальные затраты при строительстве здания под землей, чем на поверхности [2].

2.2 Геологические условия строительства и эксплуатации подземных сооружений

Важность геологического обоснования подземного строительства подчеркивается тем обстоятельством, что ни одна инженерная конструкция не находится в такой зависи-

мости от состава, строения, водообильности и других характеристик горных пород, как подземное сооружение. Именно перечисленные особенности во многом определяют затраты на подземное строительство, безопасность работ при строительстве и эксплуатации подземных объектов, продолжительность и трудоемкость горнопроходческих работ, условия и бесперебойность эксплуатации. Поэтому вопросам геологического обоснования подземного строительства уделяется большое внимание, особенно в высоко развитых странах. Анализ подземного строительства, например, в Швеции показал, что затраты на эти цели составляют в основном 1-2% стоимости подземного объекта, а на обеспечение длительной устойчивости выработок – от 4 до 70%. Более того, ясно прослеживается зависимость между тщательностью инженерно-геологических исследований и затратами на строительство подземного сооружения. Чем детальнее и достовернее геологическая информация, тем меньше расходы на сооружение подземного объекта, ибо она позволяет не только выбрать участок, благоприятный для строительства, но и предусмотреть возможные при этом осложнения. Потом можно принять окончательное решение: использовать данный участок недр, выбрать другой или использовать более дорогие способы проведения и крепления выработок, которые смогут нейтрализовать такие неблагоприятные факторы, как трещиноватость, большие водопритоки, пучение, усадки горных пород и др. Крайне нежелательно, если об этих осложняющих факторах станет известно лишь в процессе строительства, что всегда ведет к увеличению его стоимости и удлинению сроков.

Поскольку горные породы являются средой, где находятся подземные объекты, и одновременно несущей конструкцией, то прежде всего необходимо выделить горные породы, в наибольшей степени пригодные для строительства подземных сооружений, и определить территории распространения этих пород. При строительстве подземных объек-

тов, помимо физических и химических свойств горных пород, конкретные требования предъявляются к геологическому строению района или участка, к его гидрогеологическим особенностям. В первую очередь это относится к мощности слоя, который должен вместить подземные сооружения, глубине залегания, углу падения, способу вскрытия. В благоприятных для подземного строительства условиях мощность рабочего слоя превышает 10-15 м, угол его падения близок к горизонтальному, водоприток минимальный, глубина залегания от поверхности не более 100-150 м, рельеф местности со склонами создает возможность для штольневого вскрытия.

Иногда выбор участка для строительства подземного объекта диктуется общеэкономическими условиями района: удобным расположением относительно смежных предприятий, потребителей готовой продукции и поставщиков сырья и полуфабрикатов, близостью к транспортным коммуникациям и линиям электропередачи; наличием источников водо- и энергообеспечения; обеспеченностью рабочей силой и т.д. Тем не менее и в этом случае при технико-экономическом обосновании строительства подземного объекта важную роль будут играть факторы, обуславливаемые характером и особенностями инженерно-геологической обстановки.

К горным породам, удовлетворяющим требованиям подземного размещения объектов, исходя из общегеологических соображений и имеющегося опыта, относятся скальные и полускальные породы: магматические (базальты, граниты, диориты, габбро, диабазы), метаморфические (гнейсы, андезиты, мраморы, кристаллические сланцы, кварциты), осадочные обломочные сцементированные (конгломераты, песчаники, туффиты), осадочные биохимические (известняки, доломиты), осадочные химические (гипс, ангидрит, галит, сильвин), осадочные биогенные (известняки-ракушечники). Все же наиболее широкое применение на-

шли весьма распространенные по территории страны карбонатно-сульфатные и галогенные отложения – гипсы, известняки, соли.

Выделение внутренне однородных объемов пород – литосферных тел, соизмеримых с объемами, вмещающими целые системы горных выработок, - задача далеко не простая и до сих пор не решенная применительно к приповерхностному ярусу земной коры. Последний, как мы указывали выше, представлен сложной физико-геологической системой, состоящей из ряда меньших по размеру и составу и интервалами значений основных параметров, определяющих их состояние и свойства физико-геологических систем. К параметрам состояния относятся давление, температура, влажность и плотность. Физико-геологической системой можно назвать любой объем земной коры, внутренне однородный и внешне ограниченный поверхностями резких изменений состава. Близкое к нему общепринятое понятие – геологический блок, т.е. объем месторождения, характеризующийся более или менее одинаковыми геолого-промышленными показателями: мощностью и строением тела полезного ископаемого, условиями его залегания, его составом, свойствами и качеством, горнотехническими условиями и т.д.

Вопросы подземного строительства требуют качественно нового подхода к рассмотрению основных аспектов инженерно-геологического обоснования. Применение методик инженерно-геологических изысканий для проектирования наземных зданий и сооружений не обеспечивает получение всей горно-геологической информации, необходимой для проектирования подземных сооружений.

Одна из основных задач – изыскание однородных и устойчивых объемов горных пород, благоприятных для подземного строительства. Для этого необходимо:

- получить достаточную информацию для определения и учета тех физико-геологических факторов, которые опре-

деляют рациональность строительства и эффективность эксплуатации подземного объекта;

- обосновать рациональную технологию горнопроходческих работ, включая конструкцию крепи;

- определить эффективные технические приемы мелиорации пород в целях повышения их устойчивости (т.е. способности сохранять необходимую форму и размеры поперечного сечения), снижения деформируемости и водопроницаемости;

- дать прогноз формы и меры воздействия и изменения свойств пород в данном объеме (массиве, пласте, толще) в окрестностях выработки.

При проектировании подземных объектов необходимо в первую очередь обеспечить выбор оптимального варианта его размещения с учетом охраны недр. Поэтому стремятся обеспечить устойчивость горных пород вокруг выработок и частей массива, в котором она пройдена, для обеспечения безопасности людей и объектов в зоне влияния горных работ (в том числе объектов на земной поверхности).

Массивы горных пород для размещения в них объектов должны обладать устойчивостью к окислительным процессам, связанным с поглощением кислорода элементами выработок, достаточно большой плотностью и механической прочностью, малой влажностью, водопроводностью и теплопроводностью, устойчивостью к экзогенным процессам.

При определении пригодности участка подземного строительства часто становятся решающей гидрогеологическая обстановка. Это положение пояснений не требует. При выборе следует отдавать предпочтение массиву, в котором глубина залегания первого от поверхности водоносного горизонта больше глубины залегания подошвы подземного сооружения.

Работы по изучению инженерно-геологических условий подземного строительства целесообразно разделить на несколько последовательных этапов. Начальным является

тщательный анализ инженерно-геологических факторов, влияющих на условия вскрытия, конструктивные параметры, объемно-планировочные решения рассматриваемых объектов или их группы, требования к геометрической форме горных выработок. Следующим этапом может быть составление специальных инженерно-геологических карт или схем районов страны в целом. Это обычно либо обзорные карты мелкого масштаба, либо безмасштабные схемы. Они предназначены для решения задач перспективного планирования отраслей народного хозяйства (например, для хранения нефтепродуктов), заинтересованных в подземном размещении своих предприятий, а также для выбора наиболее благоприятных районов в целях более глубокого изучения. Такие схемы составляются на основании имеющихся картографических и общегеологических материалов, а также данных аэрофотосъемки.

При выполнении геологических исследований следует руководствоваться главной задачей – обеспечить проектировщиков строительства подземных объектов данными, необходимыми для принятия наиболее экономичных технических решений.

2.3 Промышленные объекты

Строительство таких сложных объектов, как подземные заводы, имеет солидный полувековой стаж. Патриарх подземной урбанистики Э. Утюджан описывал успешную работу построенных еще в предвоенные годы в некоторых западноевропейских странах авиационных, оружейных заводов и даже текстильных фабрик. Но толчком для развертывания подземного промышленного строительства послужила вторая мировая война [3].

В 1935 г. руководство концерна "Мессершмидт" представило Гитлеру доклад о целесообразности "упрятать" под землю важнейшие предприятия авиационной промышлен-

ности. Однако фашистское руководство, уверенное в неуязвимости Германии, не придало этому предложению внимания, и к началу войны лишь незначительное число производств было построено в сооружениях котлованного типа под мощным железобетонным колпаком (так называемые "бункеры"). Только в начале 1944 г. все усиливавшиеся разрушительные последствия налетов авиации союзников привели германское руководство к решению о тотальном перебазировании важнейших военно-промышленных объектов под землю. Были составлены тщательные планы и начаты обширные работы сразу по всей территории Германии с использованием труда военнопленных. Планировалось в течение нескольких лет перевести в подземные условия производства точных приборов, авиамоторов, оружия, шарикоподшипников, реактивных самолетов и снарядов, синтетического бензина и каучука.

Для размещения заводов и отдельных производств планировалось использовать горные выработки рудников и шахт, тоннели, пещеры, специальные подземные сооружения и даже винные погреба общей площадью 9 млн. м². Но было уже поздно, война близилась к концу. Было освоено только 1,3 млн. м² подземных площадей (из которых свыше половины составили имеющиеся горные выработки), и еще 5 млн. м² находились в стадии освоения. Все же к концу войны в Германии работало 143 подземных завода и отдельных производств, на которых производились гироскопы, прецизионные приборы и инструменты, стрелковое вооружение, шарикоподшипники, все реактивные самолеты и самолеты-снаряды, 20% всех авиационных кабин и 60% авиадвигателей, работал один из шести запланированных заводов синтетического каучука. Наряду с небольшими производствами работал целый ряд крупных подземных заводов. Так, завод по производству самолетов-снарядов ФАУ-2 размещался в известняковых выработках с пролетами 20 м на площади 1,6 млн. м². Один из авиамоторострои-

тельных заводов имел площадь подземных помещений 830 тыс. м². Завод по производству реактивных самолетов "Хейнкель-162" был оборудован на глубине 300 м в выработках соляного рудника, имевших пролет 18 м и высоту 12 м. Изготовленные самолеты поднимались по ночам большим лифтовым подъемником на взлетную полосу.

Крупный завод по изготовлению ФАУ-1 и ФАУ-2 был построен в Нордхаузене. Он имел развернутую площадь 15 га и штат 9 тыс. человек. Завод размещался в холме, в котором были сооружены два параллельных железнодорожных тоннеля большого поперечного сечения, между которыми были пройдены 46 камер.

Интересно отметить, что союзники знали о расположении большинства подземных заводов и подвергали их интенсивным бомбардировкам. Однако подземные предприятия оказались неуязвимыми, и только нарушение транспортных связей между разбросанными производствами снижало эффективность их работы. Заводы строились в большой спешке, производство разворачивалось в недооборудованных в инженерном отношении помещениях, однако в них применялось то же оборудование и использовались те же стандарты, что и на наземных предприятиях, причем качество продукции было не ниже. После окончания войны германские подземные заводы были обследованы специалистами и получили высокую оценку.

Не меньший ущерб от налетов авиации испытывала военная промышленность Англии. В годы войны там получило развитие строительство подземных заводов: использовались выработки известняковых и меловых шахт, тоннели метрополитена.

Франция еще в предвоенные годы имела ряд военных подземных заводов, которые располагались в обширных галереях протяженностью в несколько километров. На этих предприятиях были осуществлены эффективные мероприятия по созданию комфортных условий труда.

Особый интерес представляет опыт Скандинавских стран, особенно Швеции - страны традиционно высокой культуры строительства подземных сооружений в скальных массивах. В связи с угрозой нападения со стороны Германии еще в предвоенные годы в стране началось строительство подземных объектов. Одной из первых построила вблизи Стокгольма подземный завод по выпуску прецизионных приборов и инструментов компания "АГА Балтик". Завод размещался в камерах с пролетом 15 м, сооруженных в гранитном массиве. Всего за два года был построен в г. Эскильстуна крупный подземный завод по производству авиадвигателей компании "Болиндер Мунктель". Цехи завода размещались в выработках камерного типа, облицованных деревом, имели протяженность 30-100 м, пролет 14,2 м и высоту 6,7 м. К концу войны вступили в строй подземный авиазавод компании "СААБ Эйркрафт", занимавший площадь 14 тыс. м², а несколько позже - завод по изготовлению реактивных двигателей компании "Волво Флигмотор" и оружейный завод "Бофорс", имевший площадь подземных помещений 25 тыс. м². В послевоенные годы фирма "Атлас Копко" соорудила вблизи Стокгольма испытательный тоннель. Примеры можно продолжить.

Опыт работы этих предприятий показал настолько хорошие результаты, что они продолжали успешно функционировать и после войны. Шведские специалисты еще в 1946 г. отмечали, что строительство подземных заводов целесообразно и по экономическим соображениям: хотя первоначальная стоимость строительства их выше на 15% по сравнению с наземными заводами, однако с учетом значительно меньших эксплуатационных затрат эта разница быстро компенсируется. Действительно, на подземных заводах расходуется меньше тепла, нет необходимости мыть окна, ремонтировать кровлю, уменьшается и пожароопасность. На них уделялось большое внимание созданию комфортных условий труда. Обследование выявило улучшение зрительного

восприятия как результат рациональной организации освещения, отсутствия солнечных бликов и резких перепадов освещенности. Стены и потолки окрашивались в светлые гармоничные тона, что снижало ощущение ограниченного объема.

Шведский опыт показал, что работа на хорошо оборудованных подземных предприятиях не оказывает вредного воздействия на здоровье персонала. Более того, отмечается, что число заболеваний и несчастных случаев на этих предприятиях ниже, чем на наземных заводах.

Подобные предприятия в послевоенные годы построены и в других Скандинавских странах. Так, в Финляндии эксплуатируется подземный завод по сборке дизельных двигателей.

В США сразу же после окончания войны были проведены большие исследования, которые показали, что под землей несложно и целесообразно размещать предприятия не требующие установки кранового оборудования: точного приборостроения, легкого и среднего машиностроения. Все известные нам примеры такого строительства осуществлены в США в выработках известняковых и некоторых других шахт. Обращает на себя внимание разнообразие выпускаемой на них продукции: спортивные суда из фибerglassа, металлические цистерны, конвейеры, цементные трубы, изделия из предварительно напряженного бетона, проволочные изделия и др.

С 1968 г. корпорация "Аллис Чалмерс" расширяет производство сельскохозяйственных машин за счет использования известняковых выработок в районе Канзас-Сити. Общая площадь производства первоначально составила 80 тыс. м² и продолжает расти. Совершенствуются конвейерные системы, внедряется вычислительная техника. Регулируемая влажность воздуха обеспечивает антикоррозионную стойкость оборудования, благодаря хорошим условиям хранения потери готовой продукции практически отсутствуют.

Расходы на отопление минимальны, так как естественная температура в выработках 14°C отвечает требованиям производства. Как отмечает фирма, международное признание этих машин является лучшей рекламой подземного производства.

В последние годы в известняковых выработках в районе Канзас-Сити в очень короткий срок оборудован цех по сборке цветных телевизоров, имеющий три сборочные линии протяженностью по 120 м.

Мировую известность завоевал завод по производству прецизионных оптических изделий компании "Брунсон инструмент". Он размещен в 1954 г. в известняковых выработках на глубине 24 м под улицами Канзас-Сити и занимает площадь 24 тыс. м². До перевода в подземные условия завод мог нормально функционировать только в ночное время, когда затихало уличное движение. Подземное размещение обеспечило идеальные условия для производства из-за отсутствия вибрационного фона и влияния внешней среды. Многократно увеличилась точность работ, сведен до минимума брак продукции, завод перешел на круглосуточную работу. По сравнению с аналогичным предприятием на поверхности потребление тепла снизилось в 3 раза, расходы на кондиционирование воздуха - в 10 раз. Намечается расширение производства с доведением численности персонала до 500 человек. Многолетний положительный опыт работы этого предприятия изучают специалисты разных стран.

Широко используются горные выработки для нужд горнодобывающей промышленности. Во многих странах, в том числе и у нас в Украине, под землей работают мощные самосвалы, экскаваторы, комбайны. Спускают их в шахту в разобранном виде по вертикальным стволам. А как же быть, если техника требует сложного ремонта? Поэтому во многих рудниках в зарубежных странах ремонтные мастерские сооружают под землей. Эти мастерские представляют собой

как бы небольшие механические заводы, оборудованные мостовыми кранами и другими подъемными механизмами.

Иногда в горных выработках размещают дробильно-сортировочные и даже обогатительные комплексы, которые обычно строят на поверхности. Так, в выработках свинцово-цинкового рудника в Гренландии под землей работает флотационная фабрика. Такое необычное решение было оправдано тем, что добываемая руда содержала до 80% пустой породы, которую более целесообразно оставлять в старых выработках, а с другой стороны, суровыми северными условиями, затрудняющими наземное строительство. В Чили высоко в горах найдено месторождение богатых медных руд. Как же их извлечь на поверхность? Как организовать строительство в местах, характеризующихся суровыми климатическими условиями и подверженных сходу снежных лавин? Эти обстоятельства и предопределили нестандартное решение: весь горнодобывающий, дробильный и флотационный комплекс вырублен в рудном теле, при этом высотная технологическая схема обеспечила движение медного концентрата под действием силы тяжести через весь комплекс, связанный с поверхностью двумя тоннелями.

Примеры строительства подземных производств можно продолжить. Но особые перспективы имеют, по нашему мнению, подземные производства прецизионного приборостроения, электроники и электронной техники. Эволюция развития техники, связанной с изготовлением таких приборов, идет в направлении повышения сложности, надежности и компактности. Для достижения этих требований используют элементы электроники и точной механики, при производстве которых требуются особые условия: чистота помещений, отсутствие вибрации и шумов, постоянство микроклимата. На повестке дня стоит вопрос о сверхточности изготовления многих изделий. Счет идет уже на доли микрона, что в обычных условиях наземного производства обеспечить чрезвычайно сложно. В этом смысле горные выра-

ботки оказались почти идеальной средой: уже на глубине 30 м они обеспечивают безвибрационный фон. После окончания добычных работ в выработках очень мало "собственной" пыли, а уличная пыль в них практически не проникает. Перспективно размещать под землей и испытательные "безэховые" станции. Ведь недаром на первом подземном заводе, построенном в Германии еще в 1917 г., производились точные приборы.

Из сказанного понятно, на чем основан оптимизм: в недалеком будущем под землей будут работать бесшумные, автоматизированные современные производства, хорошо освещенные, с чистым кондиционированным воздухом и условиями труда отнюдь не худшими, чем на наземных заводах.

2.4 Хранилища углеводородного сырья и топлива

В наше время растут добыча и потребление жидких и газообразных углеводородов. Они служат "пищей" транспортных средств, без них немыслима современная химия. Благодаря интенсивному развитию нефтяной, газовой, нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности постоянно увеличиваются объемы резервуарных парков. Они обеспечивают покрытие сезонных и суточных колебаний их производства и потребления, технологические нужды, экспортные поставки. Для смягчения кризисных ситуаций как нефтедобывающие, так и страны - импортеры нефти стремятся создать стратегические запасы.

Жидкое и газообразное сырье и топливо традиционно хранятся в металлических и железобетонных резервуарах. На их сооружение затрачивается много металла, отводятся большие территории, повышенные пожаро- и взрывоопасность делают их крайне нежелательными соседями для жителей городов. А нельзя ли их упрятать под землю? Оказывается, можно.

Первые подземные хранилища горючего в Германии, Японии и США построены в начале 40-х годов в целях защиты от нападения противника. В Германии крупное хранилище емкостью 200 тыс. м³ было сооружено в действующей соляной шахте на глубине 220 м. Горючее хранилось в металлических резервуарах, установленных в выработках. Для хранения горючего на японской военно-морской базе в г. Йокосука было построено несколько подземных резервуаров емкостью по 30 тыс. м³. Резервуары были сооружены в вулканических породах и представляли собой вертикальные цилиндрические емкости с железобетонными стенками, днищем и перекрытием. Подобное хранилище было построено и американцами на военно-морской базе в Перл-Харборе.

В послевоенные годы подземное хранение углеводородного сырья и топлива получило широкое распространение, и теперь оно является одной из самых динамичных отраслей. И это неудивительно. По сравнению с наземными металлическими резервуарами подземные хранилища характеризуют более высокая экономическая эффективность, незначительная наземная площадка, уменьшение потерь от испарения легких фракций продукта, незначительная металлоемкость, высокая степень защиты от возможных диверсий, низкие пожаро- и взрывоопасность, отсутствие утечек продукта и малая вероятность загрязнения грунтовых вод, высокая устойчивость к землетрясениям. Подземные хранилища возможно сооружать под промышленными предприятиями и даже жилыми массивами. И что не менее важно, они имеют бесспорное преимущество в экологическом отношении.

В настоящее время подземные хранилища построены в 23 странах мира. В них хранится сырая нефть, бензин, реактивное и дизельное топливо, природный газ, концентрат гелия, предельные и непредельные углеводороды. На начало 2005 г. объем подземных хранилищ (в млн. м³) составил: в

США -131, Франции, Германии и Скандинавских странах - 144. Большое количество подземных хранилищ строится и эксплуатируется в Англии, Канаде, Японии, Италии, Бельгии. Общий объем таких хранилищ за рубежом, по самым осторожным оценкам, превышает 300 млн. м³ [3].

Подземные хранилища в зависимости от назначения, метода строительства, вида хранимого продукта, геологических условий и места строительства отличаются большим разнообразием. Они могут сооружаться как в естественных, так и в искусственных полостях.

В естественных полостях хранят главным образом природный газ. Для этого используют пористо-трещиноватые пласты-коллекторы (отработанные нефтяные и газовые месторождения), а также геологические структуры с водоносными пористыми пластами.

К искусственным полостям, используемым под хранилища, можно отнести полости в отложениях каменной соли, образованные геотехнологическим способом, горные выработки, сооруженные обычными способами или методом выпаривания в вечномерзлых породах, а также полости, создаваемые в пластичных глинах методом внутренних взрывов. К особой группе относятся хранилища, сооружаемые в отработанных шахтах или камерах рассолопромыслов.

Широкое применение находят резервуары, создаваемые в отложениях каменной соли путем ее подземного растворения водой, нагнетаемой с поверхности земли через буровую скважину. Процесс образования резервуара происходит непрерывно с одновременным извлечением образовавшегося рассола на поверхность земли. Как правило, подача воды для растворения соли и извлечение образовавшегося рассола производится по одной вертикальной или наклонной скважине, в которой располагаются две свободно висящие колонны труб: по одной из них подается вода или выдается рассол, а по межтрубному пространству отбирается

рассол или подается вода. Выдача продукта производится аналогично - путем вытеснения его рассолом. Резервуары имеют форму тел вращения с купольной кровлей. Их диаметр достигает 40-50 м, объем - до 100 тыс. м³, глубина - до 1500 м, а продолжительность сооружения - от 100 до 700 сут. Сложной представляется проблема складирования рассола. Наиболее целесообразно передать его предприятиям содовой, хлорной, пищевой промышленности, поэтому стремятся территориально совместить эти предприятия и подземные хранилища.

Хранилища шахтного типа сооружаются прежде всего в горных породах, непроницаемых для продукта и являющихся по отношению к нему химически нейтральными. Они представляют собой камерные выработки-хранилища, связанные с поверхностью вертикальными, наклонными стволами или штольнями. Закачка и выдача на поверхность продукта осуществляется самотеком, центробежными или погружными насосами. Глубина их расположения зависит от залегания пород, пригодных для хранения, но большинство из них расположены на небольших глубинах - от 30 до 100 м. А можно ли хранить продукт в трещиноватых горных породах? Оказывается, можно, причем весьма эффективно. Шведский инженер Эдхольм еще в 40-х годах обратил внимание на то, что нефтепродукты легче воды и не смешиваются с ней. Для условий Скандинавии характерно широкое распространение скальных трещиноватых, обводненных пород. И Эдхольм предложил оригинальный способ хранения - в камерах, сооруженных на такой глубине, при которой максимальный уровень нефти или нефтепродуктов при любых условиях остается не менее чем на 5 м ниже наименьшего уровня грунтовых вод в районе хранилища. Этим обеспечивается разность давлений, препятствующая фильтрации продукта в окружающие породы. Эксплуатация хранилища сводится главным образом к поддержанию постоянной разницы давлений путем периодической откачки во-

ды из хранилища. Этот тип подземных хранилищ широко используется в Скандинавских странах.

Шахтные хранилища сооружают и в вечномерзлых породах, которые обладают достаточной прочностью и экранирующей способностью по отношению к нефтепродуктам. Камеры-хранилища сооружаются, как правило, горным способом, а на их внутренние поверхности намораживается ледяная облицовка. Делается это оригинальным способом: сначала выработка заполняется водой, а после намораживания ледяной облицовки незамерзшую воду откачивают. Эти хранилища располагаются на небольшой глубине и имеют сравнительно небольшие объемы.

Наибольшей эффективностью характеризуются подземные хранилища сжиженных углеводородных газов, что естественно, учитывая то большое давление, под которым производится их хранение, и свойства горного массива выдерживать это давление.

Наша страна располагает множеством месторождений каменной соли и других горных пород, пригодных для создания подземных хранилищ. В большинстве случаев эти месторождения совпадают с районами размещения крупных промышленных комплексов, производящих и потребляющих нефть, газ и продукты их переработки. Успешно функционируют хранилища в каменной соли, сооруженные геотехнологическим способом.

С начала 80-х годов XX в. бурное развитие подземного хранения нефти, нефтепродуктов, природных и сжиженных газов наблюдается в США. Хранилища самых различных типов сооружены в соляных отложениях, глинистых сланцах, гранитах, отработанных гипсовых, известняковых и даже угольных шахтах и естественных полостях. В последние годы осуществляется государственная программа создания подземных хранилищ стратегических запасов, общий объем которых должен составить свыше 100 млн. м³. По мнению американских специалистов, устойчивый интерес к

созданию подземных хранилищ объясняется их высокой экономической эффективностью. Так, стоимость 1 м³ подземного хранилища в 3-4 раза меньше, чем 1 м³ стального резервуара [4].

Способы подземного хранения в различных странах зависят от горногеологических условий. Так, в Канаде намечается использовать выработки железорудной шахты; в ЮАР используются около 5 млн. м³ выработок рудников; в Италии и Бельгии - плотные глины. В Англии хранение газа осуществляется в соляных формациях и намечается строительство нефтехранилищ шахтного типа в известняках. Первые хранилища во Франции сооружены в соляных отложениях. Затем появились хранилища природного газа в водоносных структурах, нефти и нефтепродуктов - в непроницаемых породах, а сжиженных углеводородных газов - в меловых отложениях. Крупное хранилище дизельного топлива емкостью 5 млн. м³ построено в выработках старой железорудной шахты вблизи г. Кан (рис. 2.10). Германия располагает всеми типами подземных хранилищ углеводородов - в соляных отложениях, непроницаемых породах, в выработках отработанных шахт.

Основным типом подземных хранилищ в Скандинавских странах являются шахтные хранилища в скальных породах. Если первые такие хранилища имели емкость 10-30 тыс. м², то в настоящее время построены хранилища емкостью 200 тыс. м³ и более, а крупнейшее из них, в Финляндии (в Порвоо), - более 1 млн. м³. Суммарная их емкость в Скандинавии оценивается в 30-40 млн. м³. Характерная их особенность - близость к нефтеперерабатывающим заводам и причалам, что позволяет осуществлять закачку нефти в хранилища непосредственно из танкеров (рис. 2.11). Обращает на себя внимание сооружение крупных хранилищ непосредственно под жилыми массивами, что говорит о высокой надежности хранилищ. Как полагают специалисты, преимущество таких подземных хранилищ перед наземным

резервуарным парком становится очевидным, начиная с емкости в 30-40 тыс. м³.

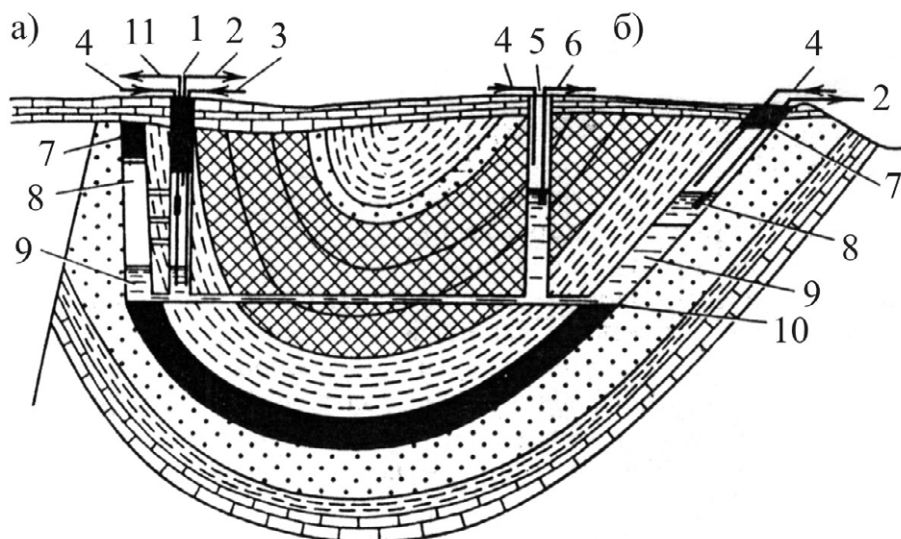


Рис. 2.10. Поперечный разрез нефтехранилища в выработках отработанной шахты (Франция)

а – северный участок; б – южный участок; 1 – фланговая скважина; 2 – забор продукта; 3 – закачка воды; 4 – то же, продукта; 5 – центральная скважина; 6 – откачка воды; 7 – горная выработка; 8 – хранимый продукт; 9 – вода; 10 – минимальный уровень продукта; 11 – водозабор

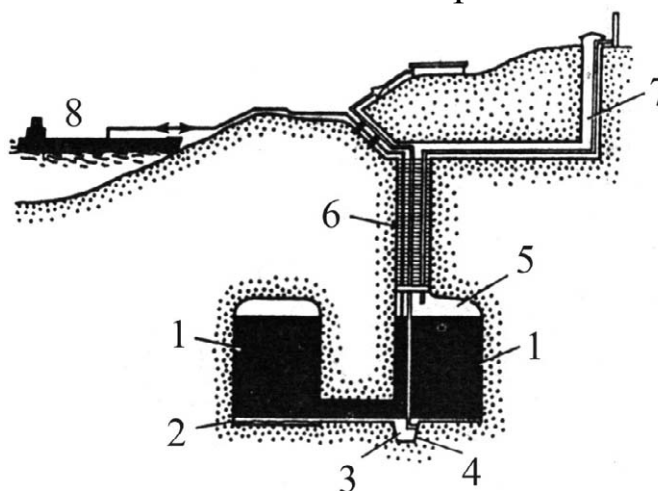


Рис. 2.11. Вертикальный разрез подземного нефтехранилища (Франция)

1 – нефть; 2 – слой воды; 3 – насос для перекачки просачивающейся грунтовой воды; 4 – насос для перекачки нефти; 5 – воздух; 6 – вертикальная шахта, заполненная водой; 7 – вентиляционная скважина; 8 – танкер

В отличие от США и стран Западной Европы строительство подземных хранилищ для нефти в Японии началось только во второй половине 80-х годов XX века. Здесь длительное время опасались негативных последствий экологического плана от землетрясений. К настоящему времени находятся в эксплуатации три подземных нефтехранилища объемом 1,5-2 млн. м³ каждое. Они, как правило, представляют собой несколько (8-12) параллельно расположенных протяженных (длиной 300-500 м) выработок с площадью поперечного сечения 350-500 м². Обычная крепь таких выработок – анкера длиной до 6 м и набрызгбетоном толщиной 10-20 см. На рис. 2.12 показано сечение камеры нефтехранилища Куджи.

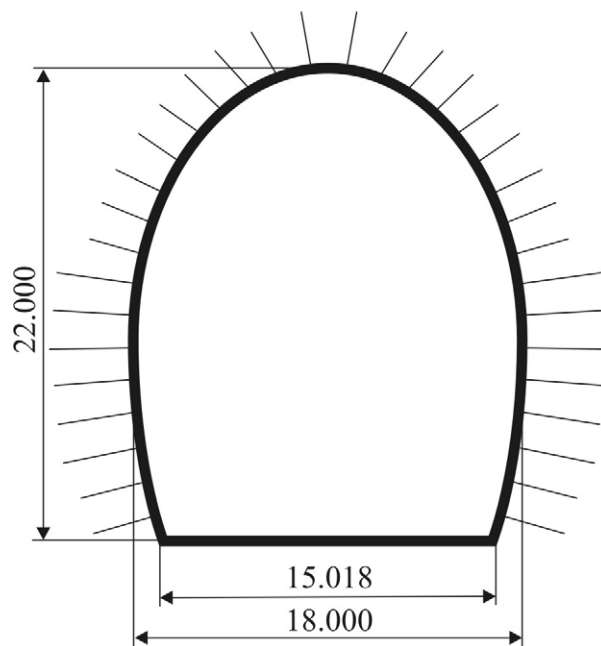


Рис. 2.12. Поперечное сечение камеры нефтехранилища Куджи

2.5 Захоронение промышленных и радиоактивных отходов

Захоронение высокотоксичных и радиоактивных отходов промышленности и энергетики привлекает все возрастающее внимание не только экологов. Число новых токсичных веществ растет, а количество способов борьбы с отхо-

дами, экономичных и щадящих природную среду, даже уменьшается, ибо многие из них в наше время уже не приемлемы. Неудивительно, что основные надежды специалистов связаны с возможностью захоронения отходов в недрах Земли. И если техническая сторона сооружения подземных хранилищ вполне разрешима, то выбор участков недр, пригодных для надежного хранения отходов на тысячи лет, требует особо тщательного подхода.

Жидкие отходы чаще всего закачиваются через скважины в глубинные горизонты Земли в так называемые коллекторы - пористые структуры, надежно изолированные от водоносных горизонтов водоупорными породами. Например, отходы Первомайского химического завода (Украина) закачиваются в недра в виде рассола хлористого натрия. На предприятиях объединения "Оренбурггазпром" сточные воды после обработки закачивают в трещиновато-карстовые коллекторы на глубину 2500-3000 м через поглощающие скважины. Наряду с прямым экономическим эффектом, оцениваемым в 2 млн. грн. в год, подземное захоронение отходов предотвращает ущерб водному и рыбному хозяйству бассейна реки Урал в сумме 5 млн. грн. и обеспечивает санитарную охрану водоемов [5].

Для захоронения твердых отходов наиболее пригодными считаются соляные породы. Например, в Германии для захоронения сыпучих промышленных отходов используют выработки калийных и соляных шахт, а также полости, сооружаемые геотехнологическим способом на глубинах 350-1500 м. Объемы камер-хранилищ в этих породах достигают десятков тысяч кубометров. Соляные породы, непроницаемые по отношению к жидкостям и газам, обеспечивают надежную изоляцию хранящихся отходов. В то же время принимается во внимание, что предназначенные для хранения отходы не должны вступать в реакцию с соляными породами и между собой. Поэтому такие отходы (в виде сыпучих материалов или в таре) хранятся в отдельных камерах. Схе-

ма на рис. 2.13 дает представление о хранилище, сооруженном в массиве каменной соли. Интересно отметить, что из одного из таких подземных хранилищ в г. Тюниген с 1987 г. стали извлекать газ, который используется для производства керамзита.

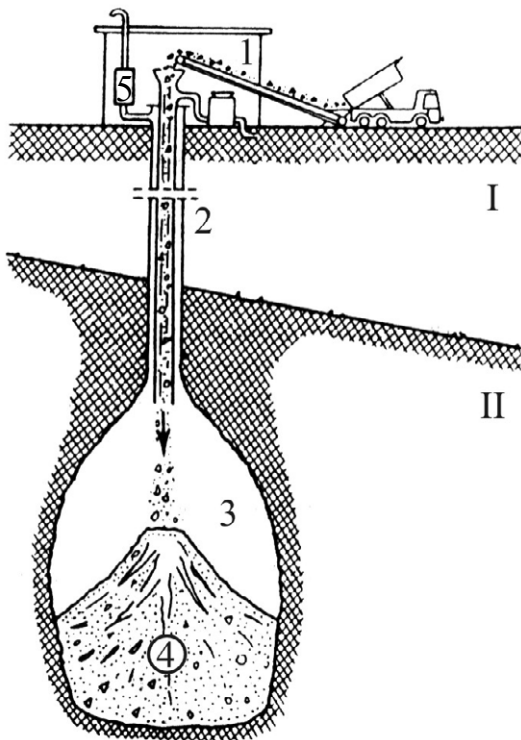


Рис. 2.13. Подземное хранилище отходов в соляной камере

I – верхний пласт; II – каменная соль; 1 – загрузочный механизм; 2 – буровая скважина; 3 – подземная камера; 4 – хранимые отходы; 5 – вытяжная вентиляция

В связи с развитием атомной энергетики все большее значение приобретают вопросы захоронения радиоактивных отходов. В мире возрастает тревога по поводу лавинообразного характера нарастания отходов атомной промышленности и сопряженного с ней ядерного топливного цикла. Отходы зарубежных АЭС до 2005 г. составили 125 тыс. т, в странах СНГ этот объем достиг 30 тыс. т.

В настоящее время наиболее распространен так называемый открытый ядерный топливный цикл, при котором отработанные топливные элементы (ТВЭЛы) несколько лет хранятся в бассейнах выдержки при АЭС или в отдельных хранилищах, в которых их радиоактивность снижается. Сейчас наблюдается тенденция к

переходу на замкнутый цикл - с переработкой на радиохимических заводах облученного топлива. При регенерации топлива из ТВЭЛов извлекают уран, плутоний, некоторые полезные радиоактивные изотопы. Остающиеся после этого отходы необходимо захоронить, а до этого они должны храниться в специальных баках из нержавеющей стали с теплообменниками и непрерывным гидрогеологическим и ра-

диометрическим контролем, укрытых в железобетонных котлованах. Но что же дальше? Ведь высокоактивные отходы с периодом полураспада отдельных элементов сотни тысяч лет являются, по выражению журналистов, "смертью во временном хранении". Хранение в таких "могильниках" кардинально проблемы не решает.

Прежде всего, необходимо радиоактивные отходы перевести в более стабильные и прочные твердые формы. Большинство развитых в ядерной области стран обладают в настоящее время опытной технологией химической переработки топлива и обработки радиоактивных отходов. Среди них США, Франция, Великобритания, Германия, Япония и др. В России также имеется надежная технология, однако к широкой промышленной переработке ядерного топлива еще не приступили. Один из проверенных способов переработки отходов - включение их в тугоплавкое стекло, стойкое к любому воздействию окружающей среды. Кубы из этого стекла и намечается в дальнейшем захоронить в недрах.

Подземное хранение высокоактивных отходов - проблема чрезвычайно сложная. Главное здесь - обеспечить надежное и безопасное, по существу вечное хранение. Этим вопросом занимаются более 30 лет во многих странах мира, ибо отсутствие практически проверенной технологии захоронения долгоживущих радиоактивных отходов служит серьезным препятствием на пути дальнейшего развития ядерной энергетики. Изучаются различные варианты - захоронение в недрах, на морском дне и под ним и даже выброс ракетами за пределы атмосферы. Однако перспективным признано захоронение отходов в недрах, концепция которого базируется на сочетании природных защитных барьеров с искусственными, уменьшающими возможность миграции радионуклидов в биосферу. Максимальная глубина заложения хранилища регулируется соотношением литостатического давления и общего сопротивления вмещающей породы. Сопротивление и теплопроводность последней должны

быть достаточно высокими, чтобы обеспечить целостность хранилища и рассеять тепло, выделяемое при радиоактивном распаде.

Проведенные исследования показали, что многие геологические формации могут быть использованы для этой цели, и прежде всего - каменная соль, глинистые и скальные породы. Соляные породы широко распространены, имеют достаточную теплопроводность, гидронепроницаемость, не обводнены, пластичны, в них отсутствует трещиноватость. Возможность их использования изучается в основном в США и Германии, опирающихся на данные гидрогеологии, климатологии, сейсмологии и геохимии.

В Германии произведена оценка свыше 200 соляных пластов, и наиболее перспективным признан район Нижней Саксонии. В 1996 г. начаты опытно-экспериментальные работы по хранению слабо- и среднеактивных отходов в выработках соляной шахты. Хранение осуществляется в бочках и 200-литровых барабанах. Было складировано свыше 100 тыс. таких барабанов. Намечалось приступить и к захоронению высокоактивных отходов в сферической полости объемом 10 тыс. м³, сооруженной на глубине 960 м и соединенной с поверхностью стволом диаметром 1,5 м. Однако в связи с протестом общественности промышленное внедрение приостановлено.

В США комиссия по атомной энергии в 50-х годах пришла к выводу о целесообразности использования соляных формаций. После 15 лет исследований в 1970 г. было принято решение о создании центрального хранилища на площади 400 га - так называемого Канзасского ядерного парка. Хранение намечалось в контейнерах, опускаемых через пробуренные в почве соляных камер скважины на глубине до 600 м. Построено несколько опытных хранилищ. В настоящее время в США разработана обширная программа строительства подземных хранилищ высокоактивных отходов АЭС, на реализацию которой ассигновано 30 млрд.

долл. Для строительства хранилищ выбраны участки в 17 штатах страны. Намечается использовать главным образом скальные породы, причем начать промышленную эксплуатацию хранилищ планируется не позднее конца 2005 г. Отходы намечается помещать в контейнеры, опускаемые на глубину 600-900 м через вертикальные стволы или транспортируемые по штольням (в условиях горного рельефа). Три таких хранилища уже строятся. Они представляют собой камеры, сооружаемые в скальных породах на глубине 444 м (штат Невада), 766 м (штат Техас) и 1020 м (штат Вашингтон).

Активно ведутся исследования по строительству подземных хранилищ отходов АЭС в скальных породах также во Франции, Великобритании, Канаде, Швеции, хотя и отмечается существенный недостаток этих пород с точки зрения экологии - неспособность к "самозатягиванию" трещин.

Хотя в Швеции в соответствии с референдумом строительство новых АЭС не ведется с 1980 г., проблеме захоронения отходов придается большое значение. Вблизи г. Оскарсхамн построено подземное хранилище для отходов девяти АЭС, рассчитанное на 12 тыс. т. Хранилище располагается на глубине 25-30 м в скальных породах, а собственно камеры хранения имеют размеры в плане 120x21 м при высоте 27 м. В г. Линдесберг построено экспериментальное хранилище радиоактивных отходов в гранитном массиве на глубине 340 м. Вблизи АЭС в г. Форсмарк сооружается подземное хранилище для низко- и среднеактивных отходов реакторов объемом 90 тыс. м³. Хранилище скального типа располагается на глубине 50 м и состоит из двух камер цилиндрической формы диаметром 25 м и высотой 50 м, соединяющихся транспортным тоннелем. С поверхностью комплекс связан также тоннелями длиной 1 км. Расчетный срок хранения отходов составляет 500 лет. Начато также строительство системы подводных сооружений для хранения отходов АЭС. Она включает в себя восемь горизон-

тальных и четыре вертикальных камеры и несколько тоннелей. Хранилище расположено в 1200 м от побережья и общается с ним тоннелями большого сечения.

В Финляндии строится подземное хранилище для среднеактивных отходов. Оно сооружается в скальном массиве на глубине 500 м.

И хотя ученые пока не могут решить проблему, где и как хранить высокоактивные отходы АЭС, а промышленное внедрение подземных хранилищ в большинстве стран планируется не ранее начала XXI в., следует присоединиться к мнению генерального директора МАГАТЭ Х. Бликса: «В настоящее время не существует никаких научно-технических препятствий на пути решения этого вопроса».

2.6 Подземные энергетические сооружения

К подземным энергетическим сооружениям относятся:

- гидроэлектростанции (ГЭС);
- гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС);
- атомные электростанции (АЭС).

Строительство гидроэлектростанции на равнинной местности сопряжено с затоплением больших территорий, при этом под водой оказываются плодородные пойменные земли, леса, населенные пункты, памятники культуры, зачастую и месторождения полезных ископаемых. И не даром еще в начале XX века там, где это позволяли условия рельефа местности (т.е. в горных и гористых районах), строились ГЭС, ряд сооружений которых размещались под землей. Это и машинные залы, и деривационные тоннели (тоннели, служащие для подвода или отвода воды к гидроагрегатам), и камеры затворов. Подземные энергетические системы в отличие от транспортного строительства характеризуются не отдельными тоннелями, а комплексом сложнейших сооружений, располагающихся на разных горизонтах. Конечно, и для этих ГЭС необходимо сооружение плотины

и создание водохранилища. Однако в горных районах используется рельеф местности. Там водохранилища не разливаются на большой площади; их форма, как правило, вытянутая и повторяет складки местности.

Преимущества подземных энергетических сооружений по сравнению с наземными аналогами заключаются в следующем:

- улучшаются энергетические показатели благодаря уменьшению гидравлических потерь напора, поскольку сокращается длина деривации;

- строительные работы можно производить круглый год, независимо от климатических условий, что особенно важно в условиях сурового климата;

- позволяют иметь более свободный выбор участка использования реки и компоновку узлов сооружений почти в любой точке деривации, при условии, что геология не накладывает никаких ограничений;

- расходы по эксплуатации и ремонту подземных энергетических сооружений не превышают расходов наземных аналогов;

- для АЭС высокая степень безопасности при различного рода аварий путем локализации и изоляции от окружающей среды.

Недостатки подземного расположения энергетических сооружений:

- строительство их в более значительной степени зависит от инженерно-геологических условий;

- для осуществления горно-строительных работ требуются рабочие более высокой квалификации и сложное горно-проходческое оборудование;

- узкий фронт горных работ вызывает удлинение сроков строительства.

Строительство гидроэлектростанций с подземным расположением всех сооружений (**подземных ГЭС**) впервые было осуществлено в 1904-1907 гг. в Швеции и Германии. В

последующие годы строительство подземных ГЭС приобрело большое распространение. Так в 1914 г. всего их было сооружено – **14**, в 1940 – **97**, в 1990 – **400**, а в 2004 – **402** с суммарной мощностью порядка 50000 МВт.

Объем горно-строительных работ при сооружении подземных ГЭС достигают весьма значительных величин по выемке породы и расходу бетонной смеси при возведении обделки. Так, например, при строительстве Нурекской ГЭС (р. Вахш, Таджикистан) объем выемки породы составил 2,5 млн. м³ и расход бетона 1,1 млн. м³. На Ингури ГЭС (р. Ингури, Грузия) эти объемы соответственно равны 3,2 млн. м³ и 1,3 млн. м³. При строительстве Рогунской ГЭС (р. Вахш, Таджикистан) объем выемки породы составил 5,1 млн. м³ и бетонной смеси - 1,6 млн. м³, число выработок и камер различного назначения – **294** единицы с общей протяженностью **62 км**.

Строительство подземных ГЭС осуществляется в районах с гористым рельефом и в благоприятных горно-геологических условиях.

Подземные ГЭС (с подземным машинным залом) могут иметь три компоновочные схемы (рис. 2.14). В головной схеме подземный машинный зал находится вблизи водоприемника и отводящая (низовая) деривация имеет большую протяженность. В концевой схеме подземный машинный зал размещается в конце подводящей (верховой) деривации и отвод воды от гидротурбины осуществляется коротким тоннелем. В промежуточной схеме подземный машинный зал располагается на трассе водоводов между водоприемником и выходным порталом отводящего тоннеля. При этом как верховая, так и низовая деривация имеют большую протяженность.

Выбор схемы зависит от напора на гидроэлектрической установке, инженерно-геологических и топографических условий района строительства.

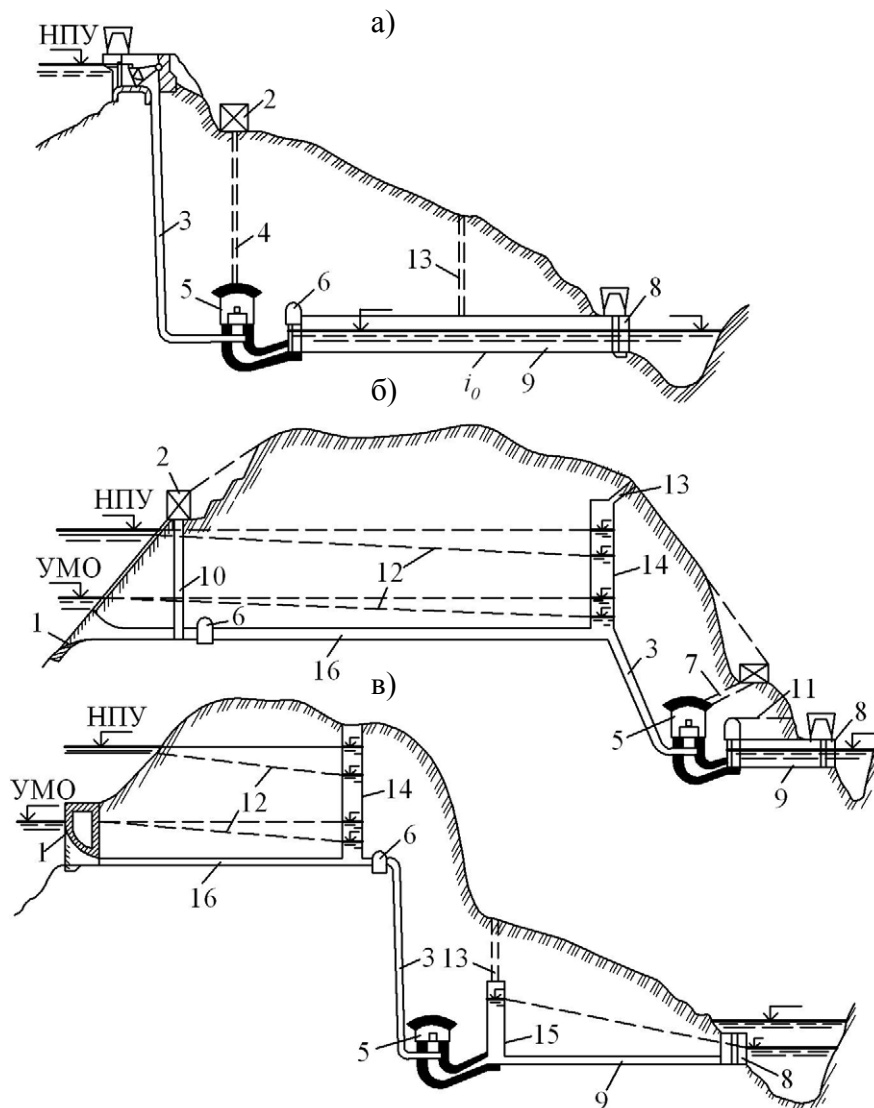


Рис. 2.14. Схемы компоновок подземных ГЭС

а – головная; б – концевая; в – промежуточная; 1 – водоприемник; 2 – подъемные механизмы; 3 – энергетические водоводы; 4 – грузовая и аэрационная шахты; 5 – машинный зал; 6 – помещение затворов; 7 – выходы генераторного напряжения; 8 – выходной портал тоннеля; 9 – низовой деривационный водовод; 10 – шахта затворов; 11 – транспортный тоннель; 12 – пьезометрический уровень; 13 – аэрационная шахта; 14 – верховой уравнильный резервуар; 15 – то же, низовой; 16 – верховой деривационный водовод

Подземные ГЭС имеют перед наземными (открытыми) ГЭС ряд преимуществ: более свободный выбор участка использования реки и геологических условий строительства; улучшение энергетических показателей благодаря уменьшению гидравлических потерь напора в результате сокращения длины деривации; турбинные водоводы шахтного

типа короче открыто расположенных; резкое сокращение расхода металла на их сооружение в скальных породах; обеспечение естественной защиты от лавин, снегопадов, камнепадов.

В основе строительства подземных ГЭС лежат и чисто экономические соображения, подтверждением чему служит то обстоятельство, что большинство их в зарубежной практике построено частными фирмами. И не даром в большинстве стран мира перспективные планы развития гидроэнергетики предполагают непрерывный рост объемов строительства различных подземных гидротехнических сооружений. В настоящее время подземные ГЭС эксплуатируются более чем в 30 странах мира в Европе, Азии, Америке, Африке, Австралии и Океании. До 1940 г. они строились в основном в европейских странах. После войны строительство ГЭС с подземным расположением машинного зала развивалось особенно интенсивно в странах Северной и Южной Америки, Африки, Азии и Австралии. Наблюдается явная тенденция к росту их мощности, которая достигает 1 млн. и более кВт. Во многих странах доля подземных ГЭС в выработке электроэнергии значительна. В Италии она превышает 30% общей выработки ГЭС, во Франции - более 40%, в Норвегии и в Швеции приближается к 50%. В Швеции, Норвегии и Финляндии насчитывается свыше 120 подземных ГЭС суммарной мощностью около 14 млн. кВт. В США и Канаде подземных ГЭС меньше, однако мощности их значительны и превышают 5 млн. кВт в каждой из этих стран. Крупнейшей в мире является подземная ГЭС в Канаде - Черчилл-Фоллс - мощностью свыше 5 млн. кВт, расположенная на глубине 270 м. Для ее сооружения потребовалось извлечь 1,8 млн. м³ скального грунта. Машинный зал имеет внушительные размеры: ширину 25, длину 305 и высоту 46 м. Стоимость ее строительства в 2 раза меньше наземной ГЭС той же мощности, ниже оказались и эксплуатационные расходы.

Япония, несмотря на относительно небольшие размеры страны и отсутствие крупных рек, входит в число двадцати ведущих стран мира по выработке электроэнергии на гидроэлектростанциях, а по степени освоённости гидроэнергоресурсов занимает одно из первых мест в мире. Большинство электростанций с подземными комплексами и в общей сложности в Японии 4700 км энергетических тоннелей. Машинные залы подземных ГЭС имеют овальную форму поперечного сечения, при которой с максимальной степенью используются возможности массива горных пород для обеспечения устойчивости выработки.

Одной из особенностей камер такой формы является отсутствие железобетонного свода. Устойчивость и стен, и свода в них обеспечивается анкерами (в том числе и предварительно напряженными) длиной до 15-20 м и набрызгбетоном толщиной 25-40 мм. Так подземная камера Казуногава-ГЭС сооружена в массиве песчаников и аргиллитов с пределом прочности на сжатие от 35 до 245 МПа. Максимальная величина смещения контура была зафиксирована по одной из стен камеры на участке аргиллитов и составляла 67 мм. Большой объем натурных наблюдений (использовались многоточечные экстензометры и датчики нагрузки в анкерах) и своевременные меры в случае отключения показаний контрольно-измерительной аппаратуры от расчетных величин позволили избежать аварийных ситуаций в период проведения работ. Строительство Казуногава-ГЭС было начато в 1993 г., а первый агрегат был сдан в эксплуатацию в 1999 г.

В настоящее время в Японии возводится еще две крупные подземные ГЭС: Канагава (2700 МВт) и Омаругава (1200 МВт).

Строительство подземных гидротехнических сооружений в СНГ интенсивно ведется с начала 60-х годов. Наряду с гидротехническими тоннелями сооружены многочисленные подземные камеры затворов, трансформаторные поме-

щения, уравнивательные резервуары и другие крупные подземные камеры ГЭС. Развернулось строительство крупнейших тоннелей на Нурекской, Ингурской, Токтогульской, Чарвакской, Чиркейской и других ГЭС. На севере также велось строительство тоннелей и подземных машинных залов Хантайской, Верхнетуломской, Виллойской ГЭС. Были сданы в эксплуатацию уникальные подземные комплексы Нурекской и Ингурской ГЭС с тоннелями общей протяженностью по 30 и 40 км, построена Колымская ГЭС в условиях вечной мерзлоты. Развернуто строительство одной из крупнейших подземных ГЭС в мире - Рогунской с тоннелями общей протяженностью **60 км**. Крупнейшие подземные комплексы Ингурской, Нурекской и Рогунской ГЭС являются уникальными в отечественной и зарубежной практике. Мощность Нурекской ГЭС - 2700 МВт, Рогунской - 3600 МВт. Пролет подземного машинного зала на этой ГЭС составляет 27 м, а высота 40 м. При ее сооружении вынуто 4 млн. м³ скальных пород.

Всего в республиках СНГ построено и эксплуатируется около 50 гидроэлектростанций с тоннельной деривацией, из них 11 подземных ГЭС.

Известно, что тепловые и атомные электростанции не приспособлены к переменному режиму работы, когда в энергосистеме имеются избыточные мощности. Для удовлетворения пиковых дневных и сезонных потребностей разработаны методы консервации энергии, вырабатываемой в периоды ее наименьшего потребления промышленными предприятиями и коммунальными хозяйствами. К числу основных методов консервации излишков энергии относится энергия падающей воды. Этот процесс осуществляется на **гидроаккумулирующих электростанциях - ГАЭС**. В периоды недогрузки электростанций их энергия используется для перекачки воды из нижнего расходного резервуара в верхний напорный резервуар, расположенный на определенной высоте относительно генераторов ГЭС. В период

наибольшей дневной электронагрузки накопленная впрок вода из верхнего резервуара, как говорят энергетики, "срабатывается" и под напором приводит в действие электротурбины, выравнивая суточное потребление электроэнергии. Разность в высотах между верхним, аккумулирующим резервуаром и гидроагрегатами ГАЭС в зависимости от топографических особенностей местности колеблется обычно от 100 до 500 м. В местностях, где условия рельефа не позволяют создать необходимый напор между нижним и верхним резервуаром, строят подземные ГАЭС, в которых турбины, насосные станции для перекачки воды, нижний резервуар и щиты управления располагаются в подземных сооружениях (рис. 2.15). Напор в таких ГАЭС в отдельных случаях достигает 1 км.

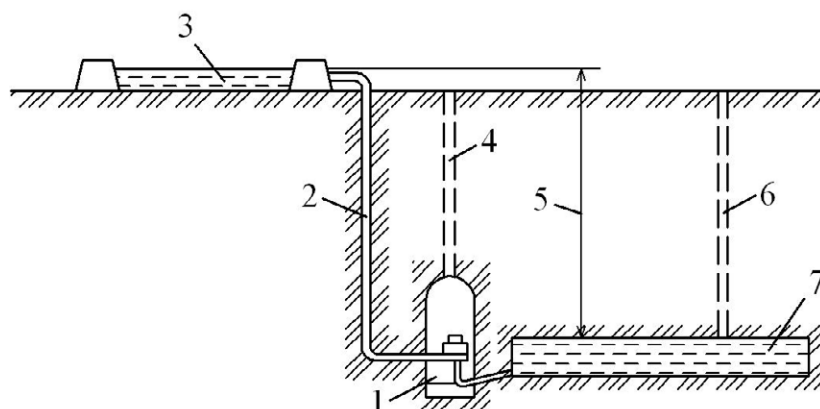


Рис. 2.15. Схема гидроаккумулирующей электростанции (ГАЭС)

1 — подземный машзал с насосной станцией; 2 — напорные водоводы; 3 — верхний (напорный) бассейн; 4 — служебная шахта; 5 — рабочая высота падающей воды; 6 — воздушная скважина; 7 — нижний (расходный) бассейн

Подземные ГАЭС являются сложными инженерными комплексами. Длина напорных тоннелей - 10-15 км, размеры машзалов - ширина до 30 м, высота до 40 м и длина до 160 м. Значительны и их мощности, превышающие, как правило, 500 МВт. Например, мощность ГАЭС "Дрей-

кенсберг" в ЮАР 100 МВт, "Монтезил" во Франции - 910 МВт, "Окуйо-Шино" в Японии - 1206 МВт.

По последним данным, в мире насчитывается более 200 ГАЭС суммарной мощностью 40 тыс. МВт, в стадии строительства находится еще 55. В Украине таких станций пока нет.

Первая в мире **подземная АЭС** мощностью 5 МВт была пущена в СССР в г. Обнинске в 1954 г. Вслед за ней начали действовать более мощные АЭС в Великобритании (1956 г.) и США (1957 г.). Первые 25 лет развития атомной энергетики внушали оптимизм, и к началу 1988 г. в 26 странах мира насчитывалось свыше 400 ядерных энергоблоков в АЭС, АТЭЦ (атомных теплоэлектроцентралях) и АСТ (атомных станциях теплоснабжения) суммарной мощностью 317 млн. кВт. По данным МАГАТЭ (Международного агентства атомной энергетики), доля АЭС в производстве электрической энергии в мире составляет 16%. В республиках СНГ действуют 46 энергоблоков общей мощностью 40 млн. кВт, к началу XXI века мощность АЭС планировалось довести до 100 млн. кВт, что должно было обеспечить 20% выработки электроэнергии (против 10% сейчас).

В начале 80-х годов отношение к атомной энергетике стало меняться, а различные неполадки и аварии на АЭС вызвали растущую настороженность. За годы существования атомной энергетики случились три крупные аварии на АЭС: в 1957 г. (Уинсдейл, Великобритания), в 1979 г. (Три-майл Айлендер, США) и в 1986 г. (Чернобыль). За последние 10 лет только в США случилось 169 аварий на АЭС. Там же за период 1971-1978 гг. при перевозке радиоактивных веществ, произошло 389 аварий, в ряде случаев сопровождавшихся утечкой радиоактивных веществ. В 1980 г. зарубежные специалисты подсчитали, что в случае аварии на АЭС площадь заражения радиоактивными веществами с большим периодом полураспада будет в 100-150 раз больше, чем площадь заражения при ядерном взрыве, и районы

размещения АЭС были определены как зоны высокого риска. По последним оценкам американских специалистов, катастрофа на АЭС, размещенной в густонаселенной местности, может нанести ущерб в 150 млрд. долл. и привести к гибели 140 тыс. человек. Человечество почувствовало опасность, и это привело к тому, что уже в начале 80-х годов программы развития ядерной энергетики во многих странах были пересмотрены в сторону значительного сокращения. В Швеции проведенный в 1980 г. референдум по вопросу атомной энергетики выявил негативное отношение к ней населения. Правительством принята программа, предусматривающая ликвидацию к 2010 г. последнего из 12 эксплуатирующихся в настоящее время энергоблоков. И это несмотря на то, что сейчас доля их в производстве электроэнергии составляет 50%. Полностью отказались от ядерных энергетических программ и некоторые другие страны. В США на 100 АЭС введен запрет на эксплуатацию, что вызвано несоответствием их современным нормам безопасности, растущими издержками, спадом потребления электроэнергии. Не введенные в эксплуатацию АЭС демонтируются и переоборудуются для других нужд. Таким образом, можно констатировать, что в мире наблюдается явно выраженный спад интереса к развитию ядерной энергетики. Устойчиво падают заказы на строительство новых АЭС, что связано в равной степени с быстро растущей стоимостью вырабатываемой на них энергии и политическими мотивами – настороженностью населения.

Известно мнение акад. А.Д. Сахарова о том, что будущее атомной энергетики связано с подземным размещением атомных реакторов, тем более, что за рубежом накоплен многолетний опыт их эксплуатации [4].

Зарубежные специалисты уже на первом этапе развития атомной энергетики начали исследования по размещению ядерных реакторов под землей. Ведущее место в этой области заняли европейские страны и особенно скандинав-

ские, накопившие большой опыт строительства крупных подземных сооружений. Первая подземная экспериментальная АЭС в Хальдене (Норвегия) мощностью 20 МВт была сооружена еще в 1960 г. Реакторный зал размещен в скальных породах (гнейсах) на глубине 30-60 м и имеет размеры в плане 10x30 м при высоте 26 м. Турбины и генераторы размещены на поверхности станции, и связь их с подземным реакторным залом осуществляется по тоннелю длиной 60 м, в котором устроены две герметичные двери, рассчитанные на аварийное давление 0,3 МПа. На случай особых утечек радиоактивных веществ, предусмотрены устройства для обрызгивания водой поверхности выработок. Подземное размещение реактора вызвано, с одной стороны, тем, что в радиусе 1 км проживает 5 тыс. человек, а с другой - стремлением максимального приближения станции к потребителям пара.

Аналогичная схема размещения оборудования принята на более крупной подземной АЭС в г. Авеста (Швеция), построенной в 1964 г. Реакторный зал сооружен в гнейсах на глубине 17 м в камере размерами в плане 16x53 м при высоте 40 м, закрепленной бетоном и стальной оболочкой. Мощность станции 20 МВт (электрическая) и 80 МВт (тепловая). Достаточно крупная подземная АЭС в г. Шюз (Франция) была сооружена в 1967 г. Мощность ее составляет 275 МВт (э) и 905 МВт (т). Реактор и вспомогательное оборудование реактора расположены в двух выработках, пройденных в кристаллических сланцах на глубине 50 м. Размеры камеры реактора в плане 18,5x21 м при высоте 43 м. Выработки закреплены бетоном и облицованы листовой сталью. Генераторы и турбины расположены в наземных зданиях, связанных с подземной частью станции тоннелем длиной 30 м. В экспериментальной атомной энергетической установке, построенной в 1968 г. в г. Люцен (Швейцария), все оборудование АЭС размещено под землей на глубине 40 м. Объем выработок составил 7600 м³, площадь - 2100 м².

Реакторный зал имеет диаметр 18 м и высоту 30 м. Мощность станции 8,5 МВт (э) и 30 МВт (т).

В 70-80-е годы во многих странах проводились исследования и разрабатывались проекты строительства подземных АЭС, однако данные об их реализации противоречивы, и сказать, сколько таких станций построено за эти годы, авторы затрудняются. По некоторым данным, в США имеется подземная АЭС мощностью 1060 МВт, был разработан проект другой подобной станции. Исследуются различные варианты компоновки станций, их размещения относительно поверхности земли (подземные, котлованного типа), с расположением генераторов и турбин под землей совместно с реакторами или на поверхности. В последние годы наблюдается тенденция к увеличению мощности АЭС и глубины их расположения, при этом наряду с штольневыми рассматриваются и вертикальные транспортно-технологические связи с поверхностью. Например, в штате Миннесота (США) реактор был опущен в подземный зал по вертикальному стволу. В проекте подземной АЭС фирмы "Харца инжиниринг" (США) оборудование размещается в подземных помещениях, сооруженных на разных уровнях. Два реактора мощностью по 1000 МВт располагаются в выработках на глубине 140 м, имеющих размеры в плане 25x168 м при высоте 58-73 м. Турбины, генераторы и другое оборудование располагаются в заглубленном помещении высотой 45 м, перекрытие которого находится на уровне земли.

Преимущества подземных АЭС заключается в следующем. Прежде всего, это обеспечение высокой степени безопасности при различного рода авариях путем локализации и изоляции от окружающей среды реакторов и других объектов, представляющих собой радиационную опасность. Отмечается и то обстоятельство, что строительство подземных АЭС может оказаться особенно эффективным в районах с повышенной сейсмической активностью и высокой плотностью населения благодаря высокой стойкости под-

земных сооружений к сейсмическим инерционным нагрузкам. Рассматриваются и экономические аспекты. Конечно, подземные АЭС по стоимости строительства дороже наземных. Это удорожание оценивается для различных стран и условий строительства от 10 до 36%, при этом и срок строительства увеличивается на 12-30 мес. В то же время известно, что затраты на вывод наземных АЭС из эксплуатации (а срок их жизни невелик - 25-30 лет) и их захоронение примерно равны стоимости их строительства. С учетом всех этих обстоятельств зарубежные специалисты считают, что удорожание строительства подземных АЭС окупается их явными преимуществами перед наземными станциями.

Обеспечение безопасности на подземных АЭС имеют свою специфику. Прежде всего, сам реактор не имеет непосредственного контакта с атмосферой. Но при его аварии радиоактивные элементы могут туда попасть через подходы тоннели и грунт. Герметические двери и другие инженерные мероприятия могут с достаточной надежностью не допустить выход на поверхность радиоактивных элементов. Однако у них есть и другие пути: радиоактивные газы могут выйти на поверхность через систему трещин; нелетучие радиоизотопы могут попасть в грунтовые воды; радионуклиды могут мигрировать через грунт за счет диффузии. Именно поэтому так важно правильно выбрать участки горных пород для строительства АЭС. Они не должны быть связаны с водоносными горизонтами, а их трещиноватость должна быть минимальной.

Но самое важное - это обеспечить локализацию аварий, связанных с расплавлением активной зоны реактора и взрывами реактора. Такие технические решения предложены, и связаны они с принципом устройства двойной защитной оболочки реакторного зала. Последний выполняется капсульно-цилиндрической формы. Поверхности подземного сооружения крепят бетонной газонепроницаемой облицовкой. В пространстве между двумя оболочками укладывают

упруго-дренажную прослойку, служащую для гашения избыточного давления из реактора. Под фундаментной плитой реактора устраивают ловушку для задержания расплава ядерного топлива. Шведские и финские специалисты для защиты подземного реакторного зала с советскими реакторами типа ВВЭР предлагают дополнительно сооружать тоннель для сброса давления, в котором газы, образующиеся при расплавлении активной зоны, улавливаются и обезвреживаются, а затем по скважине выпускаются на поверхность.

2.7 Подземные гаражи и автостоянки

Подземные гаражи и автостоянки, как показывает мировой опыт развития больших городов, - являются важным элементом использования подземного пространства мегаполисов, особенно в центральных полностью застроенных районах. От этого фактора во многом зависит деловая и финансовая жизнь городов.

В решении этой проблемы в настоящее время отсутствует универсальный подход, хотя у специалистов нет расхождений в вопросе о необходимости строительства подземных сооружений в городах, прежде всего для стоянки автомобилей. Других альтернативных путей решения этой проблемы не видно. К тому же необходимо отметить важное достоинство подземных гаражей: наличие в них постоянной температуры порядка $+10^{\circ}\text{C}$, что облегчает, например, запуск двигателя автомобиля зимой.

Бесприютные автомобили заполняют проезжие части улиц и переулков, дворы и проезды к ним. Для таксопарков и некоторых учреждений строились и, по-видимому, будут строиться отдельно стоящие здания-гаражи различной конструкции. Однако, строительство надземных, в том числе многоэтажных гаражей, неминуемо связано с отчуждением достаточно значительной территории, что с развитием ин-

ститута частной собственности становится весьма затруднительным, а в центральной части города, особенно в условиях исторически сложившейся застройки, включающей к тому же здания и памятники архитектуры – практически невозможно. Дефицит мест для стоянки автомашин повсеместно возрастает. К тому же при пуске двигателя в холодное время года неприятный запах выхлопа распространяется на 70-100 м в окружающее пространство и проникает в административные и жилые помещения. Электромобили в широком использовании появятся не скоро. Какова нужна территория, чтобы обеспечить местами стоянки все легковые автомобили? Расчеты показывают, что даже если принять количество автомобилей на 1000 жителей в скромных 150 единиц, то для их размещения в условиях миллионного города потребуется 670 га земли. Если же сюда добавить троллейбусы, автобусы и трамваи, получим в итоге 800-1000 га. С учетом экономической оценки земли сумма составит несколько сот миллионов гривен.

Сейчас в городах строятся, как правило, полуподземные гаражи-стоянки, занимающие под многоэтажными наземными зданиями один-два подземных яруса. К сожалению, следует отметить, что, несмотря на очевидную необходимость строительства подземных стоянок автотранспорта, число их в наших городах крайне незначительно, тогда как, например, в Японии в подземных гаражах размещаются десятки тысяч автомашин. Любопытно, что там место в гараже обходится значительно дороже, чем стоимость самого автомобиля. Однако без доказательства наличия места хранения автомобиля он продан не будет.

Процесс сооружения открытым способом подземного отдельно стоящего гаража сопряжен с необходимостью выделения на весь период строительства свободной территории достаточно больших размеров, а также уборки и переносе существующих подземных коммуникаций. Во время строительства в ближайшем районе существенно осложня-

ется дорожное движение, условия жизни и перемещения людей, а также деятельность учреждений и организаций. К тому же возможность последующего увеличения вместимости гаража практически исключается. Поэтому в больших городах повсеместно приобретает практика строительства подземных стоянок автомашин горным способом.

В результате анализа небольшого практического опыта и имеющихся технических публикаций по подземным гаражам специалисты НТЦ Мосинжстроя выявили одно из возможных и рациональных решений задачи строительства подземных гаражей для легковых автомобилей в центральных районах большого города – прокладку тоннелей-гаражей на глубинах 5-12 м (расстояние от поверхности до свода) закрытым и в первую очередь щитовым способом [6].

Применение щитового способа [7] по сравнению с так же возможным новоавстрийским способом более рационально, так как в последние десятилетия в значительной степени благодаря усилиям фирм Японии, Германии, Канады, Англии и Франции щитовой способ был настолько усовершенствован, что с его помощью стало возможным осуществлять практически безосадочную проходку тоннелей (осадки 5 - 8 мм) в широчайшем диапазоне грунтовых условий, начиная от водонасыщенных песков (пльвунов) при высоком гидростатическом давлении (до 0,3-0,4 МПа) и кончая скальными породами с пределом прочности на сжатие до 200 МПа. В щитовую отрасль широко пришла электроника, что позволяет полностью контролировать процесс взаимодействия головной части щита с грунтом и этим исключать осадки перед щитовым агрегатом. При использовании средств, позволяющих осуществлять регулируемое нагнетание за щитом в заопалубочное пространство различных, в том числе изолирующих растворов, решается задача практического устранения осадков за щитом. Следует отметить также, что созданные зарубежными фирмами элек-

тронные системы позволяют дистанционно контролировать работу основных элементов щитового комплекса, обеспечивая длительные остановки для ведения ремонтных работ.

В зависимости от реальных градостроительных, природных и технико-экономических условий и ограничений строительство тоннельных гаражей возможно осуществлять по двум схемам.

По первой схеме - тоннель, используемый в качестве автогаража (внутренний диаметр тоннеля 8,2 м, а при необходимости и более), сооружается между двумя шахтами-камерами с железобетонными стенками и днищем. При этом щит монтируется в начальной (стартовой) шахте, в которой собирается свой собственный узел приготовления бетона, и демонтируется в конечной, а шахты-камеры в последующем используются для размещения в них лифтовых подъемников на два автомобиля, лестничного схода и кабины для обслуживающего персонала. В местах нахождения камер на поверхности сооружается защитный павильон легкого типа или ограждение с информационным табло. Внутри тоннеля устраиваются две или три разделительно-опорные плиты для проезда и стоянки автомобилей.

По второй схеме - в специально подобранном месте сооружается, например, способом опускного колодца (в водонасыщенных грунтах - в тиксотропной «рубашке») с использованием конвейерной системы для выдачи грунта основной шахтный ствол наружным диаметром 18 м, из которого веерообразно (возможно на разных уровнях) проходит несколько тоннелей заданной длины с разделительно-опорными плитами, заканчивающихся периферийными шахтами-камерами с сечением, достаточным для выполнения операций по монтажу или демонтажу щитового оборудования и последующего размещения в них лифтовых подъемников. Здесь же одна из периферийных шахт-камер используется для размещения узла приготовления бетона. Места периферийных шахт-камер также выбираются с уче-

том градостроительных условий и потребной вместимости той или иной ветви веерного гаражного узла. Основной шахтный ствол используется для размещения однополосной одноходовой или двухходовой рампы для выезда, а при необходимости и въезда автомобилей. Число ветвей лучше назначать четным, с тем чтобы без демонтажа щита можно было проходить сразу две тоннельные ветви.

Весьма существенной особенностью предложения является возведение круговой обделки тоннелей-гаражей с использованием защитовой скользящей опалубки из монолитно-прессованного бетона или фибробетона, что позволяет практически полностью отказаться от использования арматуры, а также устранить осадки, возникающие в хвостовой части щита.

Применение монолитно-прессованного бетона при его предварительном изготовлении в одной из шахт-камер значительно снижает стоимость строительства по сравнению с применением сборной обделки. Следует иметь в виду, что по японскому опыту сооружение тоннеля с пресбетонной обделкой уже сегодня возможно вести при гидростатическом давлении до 0,2 МПа и со скоростями до 200-300 м/мес.

Важным преимуществом предлагаемого решения является и то, что собственно строительство тоннельных гаражей не мешает текущей жизни города. При этом высотное положение и направление тоннелей может быть выбрано таким образом, чтобы резко сократить, а в некоторых случаях полностью устранить необходимость перекладки подземных коммуникаций.

Очевидно, что наиболее эффективным и целесообразным решением для обеспечения проходки тоннелей-гаражей в различных грунтах, в том числе водонасыщенных, и тем более высокими темпами (10-15 м/сут.), а также под зданиями и сооружениями с обеспечением минимальных и допустимых осадок поверхности является сегодня использование

специального механизированного щита с грунтово-глинистым или пеногрунтовым пригрузом.

Согласно предварительному расчету строительномонтажная стоимость одного машино-места в гараже длиной 300 м и внутренним диаметром 8,2 м, сооруженном по линейной схеме, составит порядка 7,3 тыс. долл. США. Срок окупаемости такого гаража при арендной плате за 1 ч хранения 2 долл. и ежедневной аренде 10 ч, не превысит 1,5 лет. Срок окупаемости гаража, сооруженного по веерной схеме, составит порядка одного года.

В решении проблемы строительства подземных гаражей закрытым способом заслуживают внимание последние публикации о подготовке в Японии к строительству по существу автоматизированного тоннельного гаража (**револьверного (карусельного) типа**) с железобетонной обделкой диаметром 13,5 м (рис. 2.16, рис. 2.17 цв. вставка). Подвесные станочные боксы образуют карусельный механизм с горизонтальной осью вращения, имеющей выход на центральный стационарный проезд. Въезд автомобилей на центральный проезд возможен как своим ходом, так и с помощью автоматизированного податчика в безлюдном режиме. Предлагаемая схема имеет следующие преимущества:

- автостоянки могут сооружаться в местах, где работы открытым способом исключаются, в том числе под парками, реками, улицами и зданиями;

- благодаря применению закрытых способов работ, сооружение автостоянок не наносит вреда окружающей природной среде, не нарушает уличного движения;

- на основе предлагаемой концепции можно оборудовать многоместные подземные автостоянки, включающие в себя несколько револьверных ячеек, а также варьировать их сообщение с дневной поверхностью (наклонные ходы, лифты, штольни и т.п.).

По приблизительным оценкам строительномонтажная стоимость револьверной подземной автостоянки может со-

ставлять 30 тыс. долл. США за одно стояночное место. Это больше, чем в среднем за подземные традиционные автостоянки, стоившие до 1975 г. 10-20 тыс. долл., но примерно на уровне новейших подземных стоянок с современным оборудованием (30-40) тыс. долл./место.

2.8 Подземные сооружения стратегического назначения

2.8.1 Подземные сооружения ставок Гитлера

Терзаемый манией величия Адольф Гитлер мечтал управлять миром из неприступных мест: либо с горных высей, обосновавшего, например, в замке «Орлиное гнездо» в Оберзальцберге, либо из-под подземных бункеров Майбах, Вервольф или Беренхель. Впрочем, дело не только в извращенных эстетических вкусах фюрера: германские подземные объекты, как и другие – английские, американские или российские имели стратегическое назначение.

В 1936 г. в 2,5 км южнее небольшого немецкого городка Цоссен начались строительные работы, суть которых тщательно скрывалась не только от местного населения, но и от самих строителей. Официально возводили просто большой учебный лагерь. Действительно, на территории около 200 га выросли 156 одно- и двухэтажных домиков. А остальные этажи, числом от 2 до 7, расположились под землей. Так возник комплекс «**Майбах**» [8].

Ударные темпы проходки, монтажа и отделки позволили уже через несколько лет вселить туда жильцов – офицеров генерального штаба сухопутных сил Германии во главе с генерал-полковником Францем Гальдером. В 1940-м он вел здесь тайные переговоры с начальником штаба финской армии генералом Хейнриком о взаимодействии немецких частей, дислоцированных в Норвегии, с финскими в войне против СССР. Именно в Цоссене уточнялся и окончательно доводился до ума печально знаменитый план «Барбаросса».

Во время войны «Майбах» состоял из многочисленных субъединиц, построенных по единому плану (рис. 2.18). «Майбах-1» включал собственно командный пункт (КП), узел связи, 12 «сигар» конусообразных бомбогазоубежищ глубиной 18 м и рассчитанных на 350 человек и укрытие с комнатами, окруженное 12 двухэтажными бункерами. Последние располагались под так называемыми рабочими корпусами – домиками в типично немецком духе в два этажа, островерхая крыша. Здесь жили штабные офицеры с обслуживанием. Внизу же находились кабинеты, оборудованные фильтровентиляционными установками. Корпуса имели кодовые наименования А-1, А-2 и т.д. Стояли они вокруг кольцевой бетонной дороги, «продублированной» туннелем на глубине 6-8 м – тот аналогичным образом соединял между собой мини-бункеры. В одном месте (между А-3 и А-4) от него с уклоном уходил осевой туннель к узлу связи, заглубленному примерно на 10-15 м. Связь поддерживалась не только со всей Европой (частично дружественной, частично завоеванной), но даже с Африкой, где Эрвин Роммель – «лиса пустыни» - показывал бездарным генералам Муссолини, как надо воевать...



Рис. 2.18. Схема расположения подземного комплекса «Майбах»

Тот же осевой туннель, выйдя за пределы узла связи, сворачивал к северо-востоку и постепенно поднимался и оканчивался в подвале одного из домиков крошечного поселка. Этим въездом пользовались высокопоставленные лица, не желавшие привлекать к себе излишнего внимания. С него по туннелю правительственные автомобили за минуту достигали границ «Майбаха» - точнее, одного из зданий на территории, где был оборудован грузовой подъемник на две легковушки. Ствол уходил вглубь на шесть этажей: на минус пятом – гараж, остальные занимала библиотека, амбулатория, столовая, кинозал. «Майбах-2» расположенный юго-восточнее основного объекта, отличался от него лишь отсутствием узла связи да еще тем, что рабочих корпусов с двухэтажными бункерами было 11. В них размещались технические службы и охрана.

После поражения фашистской Германии «Майбах» унаследовали советские победители. Но распорядились они своим трофеем на редкость не по-хозяйски: что-то взорвали, что-то замуровали и засыпали. Лишь спустя годы малую часть комплекса удалось восстановить. Ей присвоили название «Третий городок», оборудовали, вновь засекретили и сделали командным пунктом советского контингента в ГДР. В таком качестве объект и прослужил до 1994 г. – до вывода Западной группы войск.

Какова дальнейшая судьба «Майбаха», частично уцелевшего подземного комплекса стратегического назначения военного и послевоенного периода – не известно. Возможно, он станет военным музеем.

После успешного начала военных действий на Восточном фронте гитлеровское командование решило приблизить ставку к месту боевых действий. Сооружение ее планировалось около Лубен в Полтавской области. Но поражение гитлеровцев под Москвой и действия партизан, заставили перенести ее в «тихое место» - Винницу.

В конце 1941 г. в лесу близ села Стриженовка под Винницей началось строительство одного из крупнейших подземных ставок Гитлера – «бункера «Вервольф»» [9]. Это название объект получил после окончания строительства в декабре 1943 г. Первая очередь была завершена в апреле 1942 г. и носила название «Вооруженный волк» или «Оборотень». Работой руководила немецкая строительная компания «Тодт». Участвовали многие фирмы и специалисты из Германии, Голландии, Чехословакии.

«Вервольф» строился очень быстрыми темпами: документ от 10 апреля 1942 г. уже сообщал о завершении основных работ. Согласно этому источнику, на стройке тогда трудилось 4086 человек, в том числе 991 гражданин Германии, 1425 иностранцев, около 500 солдат стройбатов и 1100 военнопленных.

Подземные сооружения включали бомбоубежища – железобетонные, массивной конструкции. Форма бомбоубежищ – коробчатая. Фундаменты – сплошные железобетонные, толщина перекрытий 4,5 м, толщина стен 2,5-3 м. Глубина расположения – 20 м. Сверху на перекрытиях находился слой земли и для маскировки были посажены кусты и деревья (сосны). Размеры бункеров составляли: первый – 7x17 м, второй – 8x11 м и личный гитлеровский – 8,5x8,5 м. Топография центральной части «Вервольфа» представлена на рис. 2.19.

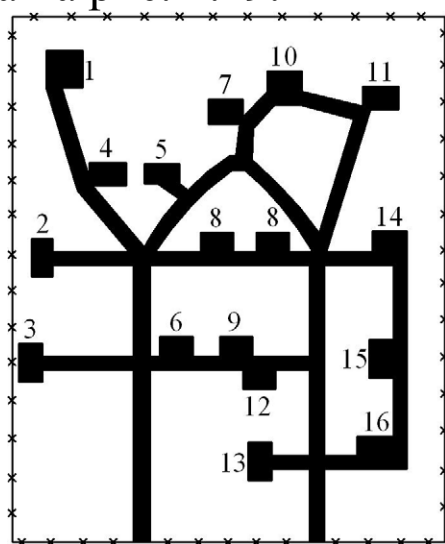


Рис. 2.19. Топография центральной части стратегического объекта «Вервольф»

1 – бассейн; 2 – секретариат; 3 – пресс-центр; 4 – парикмахерская; 5 – помещение для услуги; 6 – узел связи; 7 – адъютантская; 8 – столовые; 9 – баня и спортзал; 10 – дом Бормана; 11 – дом и бункер Гитлера; 12 – «общий» бункер; 13 – служба безопасности; 14-16 – дома генштабистов

Не смотря на капитальность и массивность подземных сооружений объект «Вервольф» («Оборотень») соответствовал своему названию, с виду был прозрачен – несколько строений, выкрашенных для маскировки зеленым, в частности, кирпичный дом фюрера, с той же целью обложенный бревнами, - зато внутри представлял собой чудо инженерно-фортификационной техники. Три железобетонных бомбоубежища.

С северной стороны под лесом – электростанция. Поблизости – две радиостанции, водокачка, телефонный узел, обеспечивающий прямую связь с Берлином, Киевом, Ростовом, Харьковом, Днепропетровском, Житомиром. Рядом со ставкой – посадочная площадка для связных самолетов. Еще один аэродром неподалеку, в Калиновке; около него штаб-квартира Геринга, тоже с бункером. Вся территория обнесена густой стальной сеткой высотой 2 м, на метр заглубленной в землю, и несколькими рядами колючей проволоки, через которую пропущен ток высокого напряжения. Вокруг – 36 наблюдательных вышек. Вдоль железнодорожной линии Калиновка-Винница постоянно курсирует бронепоезд. В бараках поблизости – войска СС. В лесу и по дорогам через каждые 200 м – секретные спецзаставы. И, разумеется, особый режим. Посторонние, узнавшие о ставке, подлежат немедленному расстрелу, за чем неусыпно бдит спецподразделение СД под командой унтерштурмфюрера СС Даннера. Последний неоднократно удостоивался наград рейхсфюрера за карательную деятельность.

Непосредственно охраняла ставку спецчасть дивизии «Великая Германия», официально поименованная «батальоном сопровождения фюрера». В конце декабря 1941-го в «Вервольф» прибыла также охранная группа «Ост», подчиненная непосредственно начальнику службы госбезопасности при ставке оберфюреру СС Гансу Раттенхуберу, и сразу принялась очищать район от «подозрительных лиц». В донесении от 14.08.1942 отмечалось, что за период с

15.12.1941 арестован и «передан... в полицию безопасности Винницы 151 партийный активист, в том числе 6 политических комиссаров». А ради «профилактики» партизанского движения решили выселить 58000 украинцев и переселить на их место 12-14 тыс. «фольксдойч» - лиц немецкого происхождения; к счастью, это мероприятие не состоялось.

Строительные работы в ставке, прерванные в апреле 1942 г., возобновились осенью того же года и продолжались до осени 1943 г., откуда видно, что немцы даже тогда еще не смирились со своими поражениями на фронтах. А статус «Вервольфа» рассматривали не только как пункт управления летним наступлением на Восточном фронте в 1942 г., но и полагали основным его назначением – как центр руководства дальнейшими боевыми действиями в направлении Ирана и Индии [9].

Ставку «Вервольф» Гитлер посещал неоднократно. Впервые он прибыл туда 16 июля 1942 г., чтобы быть ближе к войскам, которые еще 28 июля начали грандиозное летнее наступление на Восток. Вместе с Гитлером в Винницу переселился и штаб сухопутных войск в полном составе. Здесь фюрер подписал важнейшую директиву об овладении Черноморским побережьем Кавказа и Сталинградом и дальнейшем наступлении на Баку. Как известно, благодаря героизму советских войск, она не была выполнена.

С 27 сентября по 4 октября 1942 г. Гитлер находился в Берлине, а 5 октября вернулся в «Вервольф», где 14 октября подписал приказ о переходе к стратегической обороне на Восточном фронте. 31 октября он уехал в Восточную Пруссию, в «Вольфсшанце». В третий раз Гитлер побывал в «Вервольфе» со 2 февраля по 13 марта 1943 г. – после того провел в Запорожье большое совещание по вопросу о контрнаступлении на Харьков, недавно взятый Красной Армией.

В августе 1943 г. советские войска приступили к освобождению Донбасса. Для обсуждения катастрофической си-

туации Гитлер 27 августа 1943 г. совещался в «Вервольфе» с командующим группой армии «Юг» генерал-фельдмаршалом Эрихом фон Манштейном. Это был последний визит фюрера в полевую ставку под Винницей.

Судьба «Вервольфа» была решена 28 декабря 1943 г., когда Гитлер распорядился его уничтожить. Приказ старательно выполнили в марте 1944 г.

«Немцы при уничтожении сооружений ставки Гитлера в качестве зарядов взрывчатых веществ использовали авиабомбы... Можно предполагать, что величина зарядов взрывчатых веществ доходила до нескольких тонн. Так, например, кусок железобетона размером 8х5х2,80 (110) кубических метров, весом около 200 тонн силой взрыва был отброшен на расстояние 60 метров».

Разрушение этого подземного сооружения ставки Гитлера началось еще в конце 1942 г. советской авиацией. Так, во время решающих боев Сталинградской битвы, десятки бомбардировщиков, сопровождаемые мощным эскортом истребителей, волна за волной уничтожали объекты этой штаб-квартиры фюрера, превращая их в груды развалин. Но были разрушены лишь первые три яруса ставки до глубины 10 м. Главные помещения остались не разрушенными. После освобождения города Винницы советскими войсками специальная оперативная группа НКГБ СССР обследовала «Вервольф» и в «Справке о результатах обследования бывшей ставки Гитлера...» отметила, что на ее территории найдены остатки 81 сожженного здания и трех взорванных бункеров. Согласно «Справке», почти все наземные постройки – деревянные с деревянными крышами; возле каждой находилось по несколько противопожарных колонок; канализационные трубы от зданий выходили в канал, который вел к фильтровальным сооружениям возле водонасосной станции на берегу Южного Буга.

Сегодня от «Вервольфа» мало что уцелело. Но завеса секретности вокруг ставки Гитлера под Винницей остается

и до наших дней. Так, снимки местности с космоса обнаружили подземное многоэтажное помещение размером 300x700 м. Секреты не исчезли и после экспедиции профессора Л.З. Бобровникова, исследования которого дают основания предполагать, что подземные казематы, как минимум, были покрыты 6 м толщей песка и размещены в граните. Позднее, в одном из интервью 1992 г. Бобровников превратил ставку в трехярусное сооружение: первый ярус – надземный, второй, глубиной до 8 м, включает служебные и оборонительные помещения, третий – до 50 м под землей – составляют многоэтажные бункеры и тоннели, где по узкоколейкам некогда курсировали аккумуляторные поезда.

В 1990 г. экспедиция Лоджевского с помощью новейшей аппаратуры обнаружила на глубине 20 м, под 10 м толщей гранита, около 70 помещений бывшей ставки объемом несколько тысяч кубометров.

Вероятно, чтобы развеять все тайны и домыслы о «Вервольфе» необходимо проникнуть в подлинные тайны ставки – а значит иметь доступ по данному вопросу в архивы России, Украины, Германии и других стран.

О подземных сооружениях ставок Гитлера **«Медвежья берлога» (Беренхель)** в Красном Бору под Смоленском (рис. 2.20) сведений, пожалуй, меньше чем о любых других [10].

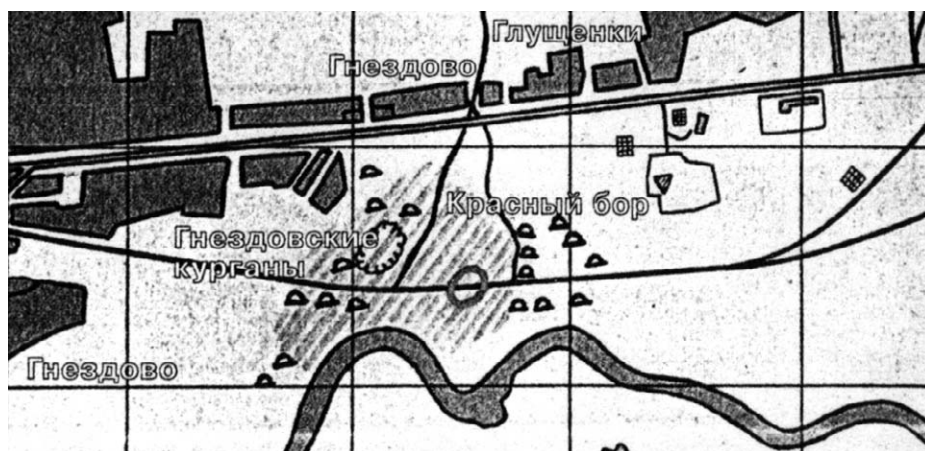


Рис. 2.20. Место расположения (отмечено кружком) подземного комплекса «Беренхель» в окрестности с. Гнездово Смоленской области

Известно, что в центральном бункере на глубине 30 м располагался зал заседаний и есть неопровержимые данные, что в систему ставки входило еще десять бункеров, полевой аэродром и два тоннеля протяженностью по 1,5 км каждый – от конференц-зала к аэродрому и к Днепру. Таким образом подземные сооружения «Медвежьей берлоги» предстают объектом на редкость масштабным и технически очень трудным. Строительство осуществлялось немецкой фирмой «Тодт», а подсобные работы выполняли несколько тысяч военнопленных, которых по завершению работ – уничтожали или увозили в неизвестном направлении. Сооружение этого секретного объекта началось осенью 1941 г. и, согласно «Докладу о деятельности Особой команды «Беренхель»», в августе 1942 г. еще продолжались. Известно, что подземные сооружения комплекса «Медвежья берлога» служили ставкой фельдмаршала Клюге (командующего группой «Центр»), а Гитлер побывал там только дважды. Обстоятельства его кратких визитов по сей день не преданы гласности. Кроме одного, последнего в марте 1943 г., известного неудачным покушением на фюрера.

После освобождения города Смоленска специальная инженерная бригада тщательно забетонировала многие входы, заваривала металлические люки, сняла мощные энергетические и телефонные кабели, уцелевшее оборудование и наглухо законопатил фюреру «берлогу».

По свидетельству военных мемуаристов инженеры действовали не по собственному произволу, а выполняли «вышестоящие» указания, т.к. в Красном Бору под Смоленском может храниться великая тайна второй мировой войны.

Загадочными объектами* являются подземные сооружения на северо-западе Польши в районе города Мен-

* По данным статьи В. Егорова и Ф. Аксенова «Грезы мирового господства» [8]

зижеч (немецкая транскрипция Мезериц), расположенного в окрестности Кеньшицкого озера. В этом районе во время войны располагался немецкий гарнизон.

В 1945 г. во время наступления советских войск, когда немцам стало ясно, что их гарнизон (два полка, школа дивизии СС «Мертвая голова» и части обеспечения) рискует попасть в окружение, он... исчез. То есть не отступил, а просто пропал! Правда, отступить ему было решительнейшим образом некуда: единственную дорогу захватили гвардейские танкисты. И гарнизон, оборонявший Мезериц, как в воду канул. Или лучше сказать – сквозь землю провалился?..

С 1945-го территория, прилегающая к поселку Кеньшица, находилась под присмотром управления безопасности Мензижеча и командира дислоцированного поблизости польского артиллерийского полка. В конце 50-х бывший немецкий военный городок временно передали советской бригаде связи. Ее командование в соответствии с правилами расквартирования войск провело тщательную инженерно-саперную разведку местности. Результаты слегка обескуражили. Для начала возле озера, в железобетонном коробе, обнаружился заизолированный выход подземного силового кабеля – приборные замеры на его жилах показали ток в 380 В. Потом наткнулись на бетонный колодец, в который неведь откуда непрерывно низвергалась вода, и тем не менее он не переполнялся. Поступили также сведения, что озеро как-то сообщается с окружающими водоемами, коих здесь немало. Не наводит ли все перечисленное на мысль о подземной электростанции, чьи турбины вращает падающая в колодец вода? К сожалению, ответ саперы получить не смогли.

В начале 60-х гг. Кеньшицу впервые посетил военный прокурор Александр Лискин, ныне полковник юстиции в отставке. Его воспоминания опубликованы в первом томе книги «Тайны тысячелетий» (Москва, Издательский дом

«Вокруг света», 1996). Офицеры бригады показали Лискину на восточном берегу озера несколько мощных холмов-терриконов с потайными лазами. Один из них и несколько серых бетонных куполов, похожих на доты, оказались замаскированными входами в просторный и неведомо куда уходящий тоннель. Затем: посреди озера находился остров, который, как случайно заметили часовые, медленно дрейфует, будто стоя на якоре. Наконец, однажды в ясную погоду в восточной, более глубокой (до 20 м), части водоема на дне разглядели нечто, пугающе похожее на глаз. Присмотревшись, солдаты поняли, что лицезреют огромный люк. Уж не его ли должен был прикрывать плавучий остров во время воздушных налетов? А что он собой представляет? Скорее всего, это кингстон для экстренного заполнения... чего? И, коли, он цел, и не потревожен, видимо затопление не состоялось?

Дальше. С юго-запада озеро имеет аппендикс явно искусственного происхождения, глубиной всего 2-3 м. В центре его – мрачная железобетонная башня, напоминающая воздухозаборник московского метро...

Тогда и позднее Лискин беседовал с многими людьми, служившими в Кеньшицкой бригаде с 1958 по 1992 г. Их слова свидетельствовали: под озером и поселком – **целый подземный город**, рассчитанный на автономное проживание в течение многих лет. Участникам поисковой группы, производившей инженерно-саперную разведку, довелось побывать в подземной трассе, вероятно, связывающей его с внешним миром. Выглядело это так: туннель на глубине до 50 м с железнодорожной колеей, кабелями вдоль стены и потолком, без признаков копоти от паровозного дыма. Короче – действительно метро. Куда оно ведет – установить не удалось, но предположение, что трасса связывает потайной город с Берлином не кажется столь уж диким.

Один из последних командиров бригады – полковник В.И. Спиридонов – полагал, что о кеньшицкий terra incog-

nita многое мог бы рассказать некий доктор Подбельский, краевед из Мензижеча. Правда, ему уже за 90, и к разговорам он не шибко склонен... Но все же поведал Спиридонову, что на рубеже 40-х – 50-х через обнаруженный им лаз неоднократно посещал подземный город. Подбельский убежден, что немцы начали строить его еще в 1927-м, а по-настоящему развернули работы после прихода Гитлера к власти. В 1937-м, как говорят, фюрер лично прибыл на объект по рельсам секретной подземки из Берлина. С той поры «Лагерь дождевого червя» (Regenwurmlager и его местоположение обозначалось на штабных картах) фактически перешел в пользование вермахта и СС. Скрытые коммуникации связывают его с заводом и хранилищами, тоже подземными, в районе сел Высока и Пески.

К сожалению, приведенные сведения никак нельзя считать документально подтвержденными. Скрытый город на северо-западе Польши пока, строго говоря, остается гипотезой. То обстоятельство, что он не был затоплен немцами при отступлении, позволяет зайти в предположениях еще дальше: не законсервирован ли он до лучших времен? Если да, то кем и зачем. В любом случае этот грандиозный и загадочный объект ждет своего исследователя.

2.8.2 Бункер Сталина

Агрессия Гитлера в конце 30-х годов XX века вызвала всплеск строительства подземных сооружений оборонного назначения, т.к. даже Кремль к началу войны 1941 г. не имел собственного бункера. Советское руководство задумалось о подземных укрытиях после сооружения бункера под имперской канцелярией в Берлине.

После нападения фашистской Германии на бывший СССР, наверстывая упущенное, за полгода в ударном порядке завершили сооружение бункера ПВО в Москве и за год самарский спецобъект – **бункер Сталина** или убежище

для Председателя Государственного Комитета обороны страны, который возводили под существовавшим зданием местной партийной цитадели – обкома партии, теперешней Академии культуры и искусства [11].

Подземные сталинские апартаменты, спроектированные архитектором Юлианом Островским, свидетельствуют о том, что главнокомандующий советскими войсками из-за угрозы захвата Москвы немцами намеревался покинуть столицу.

Строительство секретного бункера началось в конце февраля 1942 г. К этому времени г. Куйбышев (ныне г. Самара), куда было эвакуировано из Москвы советское правительство и аппарат ЦК ВКП(б) и 22 иностранные миссии, официально являлся запасной столицей Советского Союза. Если бы Москва была взята врагом, руководство военными действиями осуществлялось с волжских берегов, возможно, из бункера.

Бункер был построен по приказу Сталина, после прорыва немцев к Можайскому шоссе. Строительство велось 9 месяцев. Было извлечено 25 тыс. м³ земли и уложено 10 тыс. тонн бетона. Общий вес конструкций этого подземного сооружения превышал 5 тыс. тонн. При этом сооружение этого подземного объекта оставалось не замеченным даже для жителей соседних с объектом домов.

В настоящее время журналистам удалось разыскать 15 строителей (из 600) этого сооружения, но они наотрез отказались сообщить, как извлекали землю и куда она вывезена, т.к. в свое время дали подписку о неразглашении этой государственной военной тайны. Предполагают, что была сооружена временная штольня, выходящая от объекта строительства за территорию обкома на расстоянии 1 км, по которой на склон балки вывозили грунт и тщательно маскировали его. Аналогично, в обратном направлении поступали строительные материалы.

Бункер Сталина, сохранившийся до настоящего времени, представляет 12-этажное подземное сооружение глубиной 37 м. Для сравнения личные убежища Черчиля и Рузвельта располагались всего лишь на уровне «минус второго этажа», гитлеровский бункер в Берлине уходил в землю на 12 м, знаменитое «Вольфшанце» под Винницей – на 16 м. С дневной поверхностью бункер соединялся двумя вертикальными стволами и наклонным тоннелем со 192 ступенями под мрамор. Суммарная жилая площадь убежища – 200 м² не считая технического этажа, в котором располагались камеры жизнеобеспечения (фильтровально-вентиляционная), автономная электростанция, личное убежище вождя и командный пункт. Для крепления подземного сооружения использовали чугунные тубинги с резиновыми прокладками между стыками. Снаружи тубинги обклеивались гидроизоляцией и дополнительно были защищены метровой железобетонной рубашкой. Сверху объект прикрыт железобетонной плитой толщиной 4 м, способный выдержать любые удары авиабомб. На отметке 34 м – технический этаж и галерея камер с системой жизнеобеспечения.

В бункере имеется автономная система регенерации воздуха. Кстати, все это до сих пор находится в рабочем состоянии. Бункер и по сегодняшний день сохранил герметичность и рассчитан на полную автономность в течении пяти суток. Некогда секретное подземелье представляет собой многоэтажное сооружение, снабженное лифтами. На самом нижнем этаже находится зал заседаний на 115 человек. На верхних этажах помещения для охраны, складов, служб технического обеспечения.

Большой рабочий кабинет Сталина, он же зал заседания Политбюро, представляет интерьер аскетически официальный. Длинный стол посередине с 14 стульями для заседающих и второй возле стены для стенографистов. Еще два небольших стола у двери: справа для личного секретаря Сталина, слева для дежурного офицера охраны. На стене

огромная карта военных действий. Вождь народов ни разу не посетил этот бункер, навевались Берия, Шверник, Андреев.

Комната отдыха Иосифа Виссарионовича не больше 20 м². Старинный письменный стол с зеленым сукном. Диван под серовато-белым чехлом. Светлый паркет, высокий сводчатый потолок с алебастровой лепкой. На стенах панели, обитые голубоватой материей – что-то вроде ложных окон. Шесть дверей, из которых одна входная, одна в туалет, а четыре ведут ... в никуда. Открываешь – глухая стена. Эти ложные двери снимали гнетущее ощущение замкнутого пространства. Ведь за всякой дверью автоматически предполагаешь коридор, другое помещение или улицу. Таково воздействие этой нехитрой психологической уловки.

До 1990 г. бункер Сталина был строго засекреченным объектом, о котором на протяжении полувека знали только ограниченный круг людей. Сейчас так называемый бункер Сталина, который считается самым глубоким подземным сооружением подобного рода времен второй мировой войны, пользуется среди иностранных туристов, приезжающих в Самару, особой популярностью, учитывая, что данное подземное сооружение является наиболее мощным из ныне рассекреченных бункеров. С мая 1991 г. он начал функционировать как музей. С тех пор его посетили 200 тыс. гостей из 50 стран мира. Шеститомная книга отзывов полна восторженных записей, многие из которых посвящены таланту безызвестным строителям этого уникального подземного сооружения.

2.8.3 Подземный «военный кабинет» Черчилля

Бункер Черчилля «военный кабинет» по советским меркам нельзя считать бункером - правильнее называть его бомбогазоубежищем третьего разряда [12]. Просто подвальный этаж, приспособленный для нужд военного штаба

и заглубленный всего на 10 футов (около 3 м). Для сравнения: бункер Сталина в Самаре уходит под землю на 37 м.

Впервые о необходимости подземного укрытия для главы британского правительства и его штаба в Лондоне заговорили летом 1938 г. А осенью, после мюнхенского кризиса, предприняли практические шаги - иными словами, приступили к строительству (рис. 2.21). И за неделю до вступления Англии в войну в подземелье на Кинг-Чарлз-стрит начала действовать так называемая «комната карт» (map room) - своего рода центр по изучению военной обстановки в мире. 21 октября 1939-го в «военном кабинете» Черчилля тогда еще морского министра – состоялось первое совещание британских стратегов под председательством премьера Чемберлена.

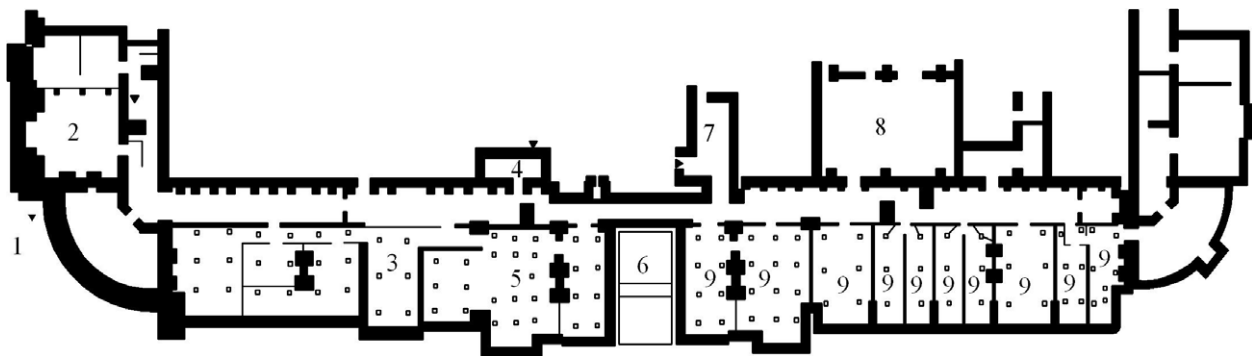


Рис. 2.21. План бункера премьер-министра Великобритании Уинстона Черчилля

1 – ныне действующий вход с улицы; 2 – кабинет; 3 – жилая комната премьер-министра; 4 – комната международной телефонной связи; 5 – «комната карт»; 6 – смежное с ней помещение, залитое бетоном; 7 – вход, действовавший во время войны; 8 – оранжерея; 9 – служебные помещения

Едва став главой правительства Черчилль понял, что европейская (пока еще «кампания» принимает затяжной характер. 14 мая 1940-го сдалась Голландия, 24 мая Бельгия, 22 июня капитулировала Франция... «Отсюда я буду управлять войной!» решил премьер, имея в виду бункер, и с июня 1940 обосновался там, в комнате 65А, пока строили его личный кабинет и спальню. Говорят, Черчилль любил работать

лежа в постели, так что премьерское ложе частенько играло роль письменного стола. Над кроватью располагался деревянный ящик для особо важных государственных бумаг - с ним премьер не расставался, как сегодня главы сверхдержав не расстаются с «ядерными чемоданчиками».

Планировка бункера напоминает расположение кают на корабле: все вдоль борта с проходом в длинный коридор, скругляющийся в «корме» и к «носу». Скромное жилище премьера соседствует со святой святых - уже упомянутой комнатой карт. Стальная дверь, ведущая в нее, задраивается опять-таки по-корабельному - клиновыми запорами. За ней по-прежнему кипит повседневная штабная жизнь: трезвонят телефоны, стучат телетайпы, слышны чьи-то шаги, голоса... Не поймите сказанное буквально: просто, как и большинство британских музеев, бункер Черчилля озвучен - ради максимального приближения к исторической действительности. Манекены, достойные коллекции мадам Тюссо, облаченные в мундиры, весьма оживляют интерьер помещений. Тут же - телефонистки и секретарши, одетые в скромные платья фасона 40-х гг., занимаются своими важными делами. Морской офицер с капитанскими нашивками отмечает на карте цветными шерстяными нитками линии фронтов: Британия в опасности! Над Лондоном гудят моторы бомбардировщиков, чертят небо самолеты-снаряды «Фау»...

В самый разгар войны - в конце 1941-го - комендант бункера заметил серьезную опасность, исходившую от мраморной лестницы, которая вела на верхние этажи здания: при попадании бомбы она бы наглухо забаррикадировала выход из «комнаты карт». Пришлось срочно реконструировать убежище. Смежную с Map room комнату залили бетоном до потолка, предусмотрев в ней туннельный проход - на случай завала.

Неразвезанные страхи, мгла государственных и военных тайн, напряженность коллегиальной мысли - будто по сей день витают в темных углах правительственного подземе-

ля. И когда выходишь на поверхность и слышишь гул летящих над городом рейсовых «боингов», невольно хочется втянуть голову в плечи - до того погружает воющий полумрак бункера в атмосферу воздушного налета. Впрочем, время от времени под кирпичными сводами сверхсекретного некогда объекта раздаются совсем иные звуки: звон бокалов, постукивание вилок о тарелки, шипенье шампанского, негромкие тосты... Суровые комнаты подземного убежища превращаются в банкетные залы. В частном порядке и за особую плату здесь можно отметить любое событие жизни, сыграть свадьбу, провести презентацию или брифинг, устроить товарищеский ужин ветеранов ПВО...

Последнее боевое дежурство в «комнате карт» состоялось 15 августа 1945 г.». Счастливым случаем и мастерством английских зенитчиков уберегли «военный кабинет» Черчилля от прямых попаданий снарядов. Ныне англичане хранят его бережно и любовно - как любой памятник старины.

2.8.4 Подземные укрепления президентов США и России

Бункер президента США и его команды представляет собой суперсовременное подземное сооружение, оборудованное в толще скал Виржинии в 85 км к югу от Вашингтона [13]. В начале XX века там располагался метеорологический пост национального бюро погоды. В 1936 г. территория была передана в ведение Бюро геологии, исследователи которого пробили в одной из наиболее прочных и плотных скал несколько разведочных штолен на глубинах от 75 до 90 м. Одну из них удлиннили до полукилометра – она стала входом в бункер. В 1954 г., после испытания Страной Советов атомных и водородной бомб, началось интенсивное строительство в обстановке строжайшей секретности и трудового накала, что позволило завершить его за три года. Но мелкие доработки и переделки продолжались вплоть до

1968 г. В результате толща горы оказалась изрезана многочисленными полостями высотой до 3 м и шириной – 60 м. Было сооружено 20 подземных офисов. Для выдерживания ядерной волны атомных взрывов конструкции подземных сооружений закреплены 21 тысячью стальными анкерами длиной от 2,4 до 3,2 м.

В настоящее время бункер для президента США и его команды известен под кодовым названием «Муэнт Уэзе» и оперативно подчиняется управлению по чрезвычайным ситуациям (ФЕМА), до недавнего времени официально отрицающего существование подобного объекта. Бункер обнесен трехметровым забором, который тщательно закамуфлирован. По периметру постоянно дежурят вооруженные патрули. Недавно Пентагон рассекретил свой главный объект и превратил воздушное пространство над ним в открытую зону, над которой можно часами кружить на самолете или вертолете и не разглядеть ничего особенного.

В подземных сооружениях «Муэнт Уэзе» кроме жилого комплекса и 20 офисов имеются огромный резервуар с питьевой водой, совершенная система фильтрации стоков. В «жилых кварталах» бункера могут разместиться сотни государственных служащих. Система экстренной радио и телетрансляции дает возможность президенту выступить с обращением к нации. Дизель-генераторы обеспечивают убежище теплом и светом. Запасы пищи в холодильниках в течение весьма длительного времени могут поддерживать силы его обитателей. Есть также госпиталь, кафетерий и бассейн. Наземные сооружения включают в себя десяток тщательно укрепленных зданий с различными ретрансляторами и передатчиками, объектами правительственной связи, имеющими дублирующие устройства в подземном пространстве.

Главный комплекс соединяется с поверхностью системой вентиляционных тоннелей. При необходимости все они, а также входной тоннель, могут быть герметически за-

крыты. Металлическая плита полуметровой толщины перекрывает единственный вход, в воздушных шахтах захлопнутся створки шлюзов.

В «Муэнт Уэзе» постоянный штат сотрудников – 240 чел. Стоимость комплекса 962 млн. долл.

Самое уязвимое место в данном подземном сооружении имеет все-таки не технический, а психологический характер. Бункер не рассчитан на «семейных» постояльцев.

Бункер президента России. Защита президента имеет несколько уровней. Во-первых, Кремль находится под достаточно надежным «зонтом» ПВО. Даже дежурный офицер может принять решение об уничтожении летающих объектов, приближающихся к резиденции № 1.

Под Кремлем на глубине 90 м, недостижимой для атомного удара, находится бункер (сооруженный горным способом), который связан с разветвленной сетью подземных секретных линий метрополитена, по которым глава государства может выехать за пределы города на один из аэродромов. Для управления страной не из Москвы существуют секретные пункты управления. Один из них находится под Екатеринбургом.

К подземным сооружениям стратегического назначения относится **бункер Генштаба России**, который сооружался в 1933-36 г. под ул. Кирова в Москве и имеет выход как на станции «Чистые пруды», так в подвалы дома по ул. Кирова, 37. Это крупный подземный объект длиной 180 м, шириной 15 м и высотой в несколько этажей. Конструкция бункера трехслойная: мощный каркас из высокопрочного монолитного бетона, обклеенного гидроизоляторами, а поверх монолитная железобетонная рубашка толщиной 20 см. это обеспечивало защиту от бомбовых ударов и вечную защиту от грунтовых вод. Это многоэтажное сооружение со стволом и лифтами имеет и наклонный тоннель с 276 ступенями, длинный широкий сводчатый зал, в котором когда-то стояла аппаратура и работали офицеры-штабисты. Авто-

номная дизель электростанция. Подземный телефонный узел, действующий до сих пор. Второй этаж с рабочими кабинетами. Стены в отличие от оштукатуренного первого этажа облицованы мрамором темно-красного цвета.

Бункер штаба ПВО г. Москвы начали возводить с большим опозданием, во второй половине 40-х годов. Располагался между ст. «Площадь Свердлова» и «Маяковской». Подземный комплекс располагался параллельно тоннелям метрополитена, но ни какой связи с ними не имел. В стволе, закрепленном монолитным бетоном (из-за сложных гидрогеологических условий) в процессе проходки полноценную гидроизоляцию осуществить не успели и поэтому имели сильные течи. Было решено внутри ствола смонтировать чугунный цилиндр, а зазор между ним и бетонной крепью залить тампонажный раствор. Ствол находится в рабочем состоянии до наших дней.

Бункер штаба пожарной охраны г. Москвы на случай войны расположен глубоко под зданием МИД на Смоленской площади и нашпигован как дореволюционными катакомбами, так и системой ходов и современными подземными сооружениями.

В ежегодном издании Министерства обороны США «Советская военная мощь» за 1992 г. утверждается, что в Москве не менее 15 подземных объектов, в том числе и штаб ПВО, соединенных тоннелями секретного метрополитена.

Гигантский супербункер существует в Германии. Это самое крупное в Европе подземное ядерное убежище включает 939 спальных мест, 897 офисов и 20 км подземных тоннелей. Строительство его началось после Кубинского кризиса в 1962 г., осуществлялось на глубине 100 м под виноградниками в предместье западногерманской столицы Бонне и было закончено в 1972 г. Запасов продовольствия (включающего 100 тыс. пайков сушеной свинины со сроком годности 25 лет), воды и топлива было рассчитано на 30 лет

после ядерного взрыва. Бункер предназначался для 3000 ключевого персонала: политиков, военных и высших чиновников Бонна. Жилищные условия весьма скромные. Отдельные комнаты предназначались только для президента и канцлера. Для остальных – по четыре койки в комнате. Таковую роскошь как ванна мог себе позволить лишь глава государства. В подземном комплексе до сих пор сохранились военные штабы с настенными картами. Рядом с картами магнитные оранжевые маркеры для указания места первого ядерного взрыва и ответных ударов.

В настоящее время немецкое правительство приняло решение о ликвидации супербункера, которое обойдется Германии в 46 млн. долл. Деньги, ранее предназначенные на содержание в боевой готовности этого бункера будут направляться на восстановление природного ландшафта.

Подземные сооружения Ямантау*. Ямантау – самая высокая гора южно-уральского горного массива с плоской вершиной размером в два футбольных поля и бетонированной вертолетной площадкой. Ее высота – 1640 м. Внутренний объем горы оценочно 268,3 млрд. м³ (объем средней 3-х комнатной квартиры до 150 м³, т.е. в горе Ямантау до 1,7 млрд. таких квартир).

Газета «Нью-Йорк таймс» сообщила о загадочном гигантском подземном объекте в районе Уральских гор. К спрятанному внутри горы Ямантау в районе г. Белозерска на Южном Урале огромному комплексу подведена железная дорога и автомагистраль. В создании сооружения были задействованы тысячи рабочих. Гадать о назначении объекта можно до бесконечности – добыча руды, хранилище государственных ценностей, резерва пищевых продуктов или бункер для российского правительства на случай ядерной угрозы. Но однозначного ответа нет. Американцы утвер-

* По материалам газеты «Нью-Йорк таймс» от 16 апреля 1996 г. и «7-я» № 7 от 15 февраля 2005 г.

ждают, что этот объект – военный. Действительно, область горы Ямантау считается запретной для всякого посещения. Отчасти это объясняется повышенной радиоактивностью в этом районе, так что версия о тайном убежище для командного состава, вероятно, отпадает.

Есть сведения, что этот подземный объект под названием «Площадка-3» разработан и строился силами Управления Строительства-30, которое является одним из самых больших строительных организаций военного ведомства России. В состав этой организации входят около сотни строительно-монтажных управлений.

Сам комплекс представляет собой сложную подземную систему включающую:

- 8 стволов диаметром по 30 м и глубиной 500 м каждый, которые распределены по участкам;
- многокилометровые тоннели различного сечения;
- подземные камеры малых и больших объемов.

Никто, работая на этом объекте, не знает назначение этого комплекса. Самое вероятное объяснение – это действительно правительственный комплекс, который расположен практически в центре стратегически важных для России объектов (Карталы, Южноуральск, Орск, Челябинск, Снежнянск). По данным гидрогеологов при возможном глобальном накрытии этого района термоядерными зарядами, вода в комплексе будет оставаться чистой в течение 300 лет.

Сейчас объект практически законсервирован. Необходимые работы выполняются вахтовым способом. Но с 2005 года начнется расконсервация объекта и продолжение его строительства для целей...

2.8.5 Секретные линии Московского метрополитена

Линии метрополитена г. Москвы имеют свои стратегические секреты. Утверждают, что дача Сталина в Кунцеве

была связана подземной дорогой с домом по ул. Кирова, 37, под которым находился Генеральный штаб армии [14].

6 ноября 1941 г., когда немецкие войска подошли к Москве, в нижнем вестибюле ст. «Маяковская» состоялся знаменитый митинг, на котором выступил Сталин. Как он попал на ст. «Маяковская», если известно, что из Кремля он не выезжал. Только на локомотиве по особому тоннелю.

Писатель Владимир Гонкин посвятил едва ли не всю жизнь исследованию московского подземелья, в 1993 г. издал книгу «Преисподняя», в которой упоминает о существовании некоторых линий секретного «Метро-2», которые связывают между собой правительственные объекты. Тайна линий «Метро-2» охранялась настолько надежно, что даже А. Черняев, помощник М.С. Горбачева, был чрезвычайно удивлен, когда ему предоставили возможность воспользоваться услугами «секретного» метро (в дни августовского путча 1991 г.) и вывезли в Кремль из здания ЦК КПСС, которое было оцеплено.

В настоящее время известно, что «Метро-2» как такового не существует. Функционируют отдельные ветки, которые связывают между собой подземные правительственные объекты. Включить их в общую метросеть не так-то просто: во-первых они значительно удалены друг от друга, а кроме того, проложены либо выше, либо ниже действующих линий метрополитена, да и ширина тоннелей нестандартная.

Ежегодник военного министерства США «Советские Вооруженные Силы» в 1991 г. опубликовал карту-схему трех спецлиний метро, идущих на глубине 100-200 м от бункеров под Кремлем (рис. 2.22 см. цв. вкладка).

Первая (юго-западная) линия сдана в эксплуатацию в 1967 г. ведет к правительственному аэродрому «Внуково-2», расположенному на расстоянии 27 км от центра Москвы. Проходит под Смоленской площадью с выходом на стратегические объекты под зданием МИД России, соеди-

няя резиденцию бывшего президента бывшего СССР на Ленинских горах с командным пунктом «Раменки» и с подземным городом вместимостью 15 тыс. жителей под Раменками. Эта линия соединена пешеходным тоннелем с подземными сооружениями главного здания Московского Государственного университета и с академией ФСБ. В 1986-87 гг. эту линию удлиннили до военного городка Одинцово-10, где сооружен командный комплекс РВСН с 4-х ярусным бункером и резиденцией их командующего. В 1986-87 гг. построили новый 12-ти ярусный бункер в двух километрах от старого. Кстати, о «Раменках»: как утверждал на страницах «Аргументов и фактов» некий офицер КГБ, это не просто командный пункт, а целый подземный город с прекрасно оборудованными жилыми строениями, складами продовольствия и одежды, прачечными, кинотеатрами и т.д. Он сооружен в несколько уровней на глубине от 70 до 120 м и рассчитан на автономное проживание 15 тыс. человек в течение 25-30 лет. В случае нанесения по Москве атомного удара невидимый город должен был приютить все руководство страны вместе с семьями...

Вторая (южная) линия заканчивается в 60 км от Москвы в бункерах Генерального штаба ВС и руководства страны. Сдана в начале 1987 г. начинается линия от Кремля, затем идет на юг параллельно Варшавскому шоссе через с. Видное и правительственный пансионат «Бор», в бункерах которого расположен запасной командный пункт Генштаба. Эту линию должны продлить в новый бункер Вороново в 74 км к югу от Кремля.

Третья (восточная) линия сдана в эксплуатацию в 1987 г. и соединяет Кремль с главным комплексом командования ПВО страны, расположенным в 25 км от Москвы. Проходит через подземные сооружения Лубянки, и штаба ПВО Московского военного округа на Кирова 33. Который в свою очередь имеет автомобильный тоннель к даче Сталина в Кунцеве.

2.8.6 Подземное укрытие для подводных лодок

Подземное укрытие для подводных лодок, сверхсекретный «объект № 825» - так назывался в документах этот комплекс, задуманный Сталиным как сооружение против атомной защиты первой категории. Вождь был потрясен результатами бомбардировок Хиросимы и Нагасаки и решил таким подземным сооружением защитить от возможного атомного нападения подводный флот, чтобы гарантировать нанесение ответного удара. Данный сверхсекретный объект начали сооружать в середине 50-х годов XX века после Карибского кризиса в толще скал на глубине 180 м от дневной поверхности в районе г. Севастополя, на мысе Алсу (Балаклава) [15]. В тот период США и СССР стали раскручивать витки атомной гонки. Несколько раньше Сталин утвердил комплексный план защиты от ядерных ударов основные промышленные и оборонные объекты страны. Проект – балаклавского подземного завода по ремонту подводных лодок вождь рассматривал и визировал лично. Это был единственный в мире (таковым он считается и по сегодняшний день) подземный завод по ремонту подводных лодок.

В этот период обе сверхдержавы поспешно наращивали арсенал атомных бомб. В США и СССР, Швеции и Германии, Франции и Китае развернулось подземное строительство. Под скалы и в шахты укрывали командные пункты и баллистические ракеты, ангары и военные заводы.

Вот тогда летом 1957 г. в Балаклаве появились первые военные строители, которые при сооружении этого объекта работали круглосуточно, как шахтеры, в четыре смены, извлекая шаг за шагом скальный грунт, объем которого превысил 60 тыс. м³ и вывозили его на переработку лишь по ночам. В скальной толще западного утеса мыса Алсу возникли рукотворные пещеры, которые превращались в подземные дороги, шлюзовые камеры, цеха, арсеналы, хранилища, причалы, глубоководный канал и сухой док, в кото-

рый могли войти подводные лодки 613 и 633 проектов (рис. 2.23-2.26 см. цветн. вкладки).

Прелесть и своеобразие Балаклавы состоит в уникальной длинной и глубокой бухте, по одну сторону которой на горе высятся живописные развалины средневековой генуэзской крепости Чембало, а по другую – поднимается гора Таврос, что в переводе с тюркского значит «пустая». В ней-то и был сооружен целый подземный город. Работу начинали усилиями стройбатов, потом были привлечены московские метростроевцы. Его помещения были выдолблены в скале и покрыты железобетоном, толщина которого составляла 5-6 метров.

В случае угрозы прямого ядерного удара – а объект мог выдержать прямое попадание заряда мощностью до 100 килотонн ядерного удара, пятикратно мощнее чем в Хиросиме – толстенные герметичные двери закрывались, и завод способен был самодостаточно существовать 3 года, вместив при этом 3000 человек – все тогдашнее население Балаклавы. Автономная подача воздуха, мощные дизель-генераторы, топливные и водяные магистрали, подземные рельсовые пути давали возможность полностью изолировать объект от внешней среды. Здесь были прекрасно оборудованные командные пункты, хлебопекарни, склады для хранения продуктов и горюче-смазочных материалов, госпиталь, жилье для личного состава, столовые, кухни, ванны, душевые и даже комнаты отдыха.

С военной точки зрения «Объект № 825» представлял собой комбинированный подземный водный канал с сухим доком, цехами для ремонта, складами для хранения торпедного и иного вооружения. Здесь было два выхода по обе стороны горы. Со стороны бухты был вход в штольню. В случае необходимости он перекрывался плавучим ботопортом, который поддувался воздухом и всплывал. Для выхода в открытое море был оборудован выпуск на северной стороне горы, который также перекрывался ботопортом. Оба

отверстия в скале были искусно закрыты маскировочными приспособлениями и сетями. С моря этот объект защищали специально обученные боевые пловцы – дрессированные дельфины.

Строили подземный завод пять лет с 1957 по 1961 гг. Горная выработка в арочном железобетоне представляла собой объект противоатомной защиты I категории. Подземный канал позволял входить в него не появляясь на поверхности воды до семи подводных лодок. При угрозе атомного нападения в штольнях подземного города площадью 14 тыс. м² могли укрыться целая бригада субмарин и несколько тысяч человек. Длина подземных ходов – 3000 м. Общий объем сооружения – 45 тыс. м³, в том числе воды – 20 тыс. м³. Площадь водной поверхности – 3000 м². Длина канала 360 м, глубина – 9 м, ширина от 12 до 22 м, высота до свода – 12 м. Параллельно каналу располагался 107-метровый док шириной – 9 м и глубиной – 6 м. Он осушался за два часа. На техобслуживании лодка стояла от трех до шести недель. Аккумуляторы заряжали мощной генераторной станцией, топливо и воду заливали из подведенных коллекторов. Терминал с вертикальными емкостями хранил 9,5 тыс. тонн солянки. К причалу из арсеналов доставлялись ракеты, снаряженные требуемой боеголовкой (в том числе и атомной). Ядерные боеголовки содержались в Балаклаве с 1963 г. и до развала СССР.

Канал, как и сухой док, перекрывался 150-тонными шлюзами (8 м под водой и 7 м над водой). Одновременно в штольнях и главном зале могло находиться 8 подлодок. Подступы к объекту тщательно маскировались, так что с 10 м вход уже нельзя было заметить. Не просматривался объект и с космоса. Для бдительных разведывательных служб и американских служб, начиная с 1960-х, некоторые подводные лодки ВМС бесследно исчезали. Правда, столь же неожиданно исчезнувшие объекты слежки затем появлялись

вновь. Все это творилось на Черном море у Балаклавской бухты.

Было предусмотрено на глубине 180 м по невиданной тем временам аппаратуры, позволяющей через спутник поддерживать связь со всеми кораблями и подводными лодками в мировом океане. В подземном заводе был сооружен информационно-вычислительный центр с автономной системой жизнеобеспечения, электростанцией, резервуаром для питьевой воды, столовой, медпунктом. Глубоко под землей в замкнутом пространстве, без подъемных кранов были смонтированы четырехэтажные здания.

Эксплуатировали этот уникальный стратегический подземный комплекс почти треть века до 1993 г., когда его передали Украине. В настоящее время секретный объект оказался брошенным. Предприимчивые дельцы вывезли все, что можно забрать с собой.

Этот грандиозный подземный морской комплекс, в который вложены миллиарды рублей с системой шлюзования и жизнеобеспечения является уникальным и единственным в мировой истории военно-морских держав. Он не имеет аналогов в мировой практике.

В настоящее время имеются проекты его восстановления – от выращивания шампиньонов до международного яхтклуба, благо своды и канал укрытия позволяет крейсерским яхтам заходить в подземную гавань со своим стоячим такелажем. На конверсионном объекте уже побывали торговые пресс-атташе из 43 стран.

Сейчас здесь филиал Центрального музея Вооруженных сил Украины. В соответствии с концепцией научного совета Центрального музея Вооруженных сил Украины в будущую экспозицию намечено включить разделы по военной истории самой Балаклавы, Крымской войны, участию и роли Севастополя в Великой Отечественной войне и истории ВМС Украины. Для наглядности в ныне пустом канале

планируется установить макеты подводных лодок, будто все еще стоящих на ремонте.

Говорят, что общая площадь всего подземного пространства под Севастополем достигает около 350 тысяч квадратных метров. Чтобы восстановить информацию обо всех подземных объектах города, специальная комиссия городской госадминистрации с 1984 по 1987 год вела поисковые работы, в ходе которых было выявлено и описано более 600 подземных сооружений: командные пункты, узлы связи, береговые батареи и казематы, хранилища для ракет, торпед, мин, пороховые погреба, хранилища техники и продовольствия, убежища для личного состава войск и населения. Можно сказать, что все отдохавшие в Крыму во времена СССР загорали в полном смысле слова на пороховой бочке.

2.9 Подземные сооружения неизвестного назначения

Подземные сооружения неизвестного назначения обнаружены в Крыму [16]. Научно-исследовательская группы геофизиков производя в 2001 г. раскопки в районе Камышевой бухты в окрестностях г. Севастополя зафиксировала сверхчастотное поле в радиусе 100 м. На глубине 9,5 м наткнулись на высокопрочный купол пирамиды высотой 45 м и сторонами основания по 72 м. Отношение стороны основания к высоте пирамиды составляет 1,6, что является стандартом для всех известных в настоящее время пирамид – египетских, тибетских и на о. Пасхи, и пирамид под водами океанов в районах Бермудского треугольника и Австралийского «Бермудского треугольника», а теперь еще и Крымских. Обнаруженная пирамида представляет собой полое сооружение с оплавленной кварцевой внутренней поверхностью, а снаружи гипсосиликатным слоем, в котором присутствовал белок. Мастера древних цивилизаций скрепляли плотно подогнанные огромные известковые блоки

яичными желтками и белками, глиной и замазкой из медного купороса.

Несколько глубже справа и слева обнаружили еще четыре подобных сооружения, но меньших размеров. В настоящее время количество раскопанных пирамид в Крыму исчисляется десятками и расположены они на прямой линии Форос - Севастополь на протяжении 40 км.

Конструкция пирамид позволяет предположить специалистам международного центра "Терра", что они предназначены для ... передачи энергии в космическое пространство. Обосновывается это положение тем, что в центре нашей планеты в радиусе двух тысяч километров идет непрерывный ядерный синтез, т.к. обнаружены все возможные составляющие термоядерной реакции. По аналогии с реакторами на АЭС реакции в ядре Земли происходят в графитовой оболочке, вокруг которой находится слой урана, затем следует толща конгломерата из расплавленных металлов, начиная с самых легких и кончая свинцом. Наружная оболочка ядра, толщиной около четырехсот километров, состоит из глины, графита и алмазов. Поэтому есть основания полагать, что через пирамиды может идти прямое управление из Космоса реакциями синтеза и распада в земном ядре с помощью особых энергий, характерных для тонких материй. В то же время кристаллы алмазов в наружной оболочке ядра, накапливая высокочастотную энергию, работают как миллиарды лазеров, отдавая ее пирамидам по управляющему сигналу из Космоса, а пирамиды передают ее в космическое пространство. Но этот энергетический мост имеет свою особенность. Благодаря тому, что в слое, покрывающем Крымские пирамиды присутствует белок, в структурных элементах пирамиды идет отбор только того сигнала, который близок к энергополю белковых существ и прежде всего к энергетической ауре человека, которая, вероятно, необходима и Космосу. Подтверждением этого является отличное самочувствие специалистов, которые ря-

дом с древними стенами пирамид ощущали необычный прилив бодрости и энергии.

Специалисты научного центра «Терра» имеют основание утверждать, что в звездной системе Плеяд обнаружена планета с белковыми формами жизни, однако утверждать, что ее населяют подобные нам существа пока нет оснований.

В настоящее время известно, что смесь окиси алюминия (глина в гранях пирамиды) и закиси меди (замазка из медного купороса) – это готовый полупроводник, обеспечивающий преобразование энергии в определенную частоту, а нежелательные сигналы просто отсеиваются. Грани крымских пирамид подобны современным радиолокационным антеннам, состоящим из ячеек резонаторов энергии, поступающей от наружной оболочки земного ядра. Причем потоки энергии в Космос и из Космоса – взаимные и определенным образом влияют на организм человека. Нарушение этой энергетической связи Земли и Космоса является причиной участвовавших земных катаклизмов, войн, появления таких заболеваний как рак, СПИД, о которых древние земляне и не подозревали.

Количество пирамид – рукотворных генераторов гармонии, открытых на Крымском полуострове уже достигло тридцати семи.

Проведенный анализ [17] географического расположения существующих пирамид, расположенных на земной суше (египетских, тибетских, мексиканских на о. Пасхи) и на дне мирового океана в районах Бермудского треугольника, Австралийского «Бермудского треугольника» и Северного полюса свидетельствует, что они имеют строго определенную систему. Так, если линию на глобусе вести от горы Кейлас (тибетская пирамида) к египетским пирамидам, то продолжение ее ведет точно на пирамиды о. Пасхи. То же самое, если провести линию от горы Кейлас к мексиканским пирамидам, то продолжение опять-таки выводит к пи-

рамиде на о. Пасхи. Складывается впечатление, что на Земле существует строгая пирамидально-географическая схема кем-то созданная. Пирамиды обнаруженные под водами мирового океана Бермудского треугольника, Северного полюса и Австралийского «Бермудского треугольника» вписывается также в четкую систему пирамид на поверхности земли. Поэтому есть основания утверждать, что на Земле существует строгая система пирамид. Мировую систему пирамид построили, несомненно, люди предыдущих цивилизаций, потому что даже современный уровень науки не позволяет передвигать блоки, из которых, например, построена пирамида Хеопса весом от 2,5 до 600 тонн. Глобальная система пирамид, вероятно, была создана для того, чтобы обеспечивать Землю необходимыми видами тонкой энергии или для передачи энергии в космическое пространство, т.е. система пирамид может представлять подобие существующей современной единой энергетической системы, где вместо проводов и высоковольтных столбов выступают пирамиды. Возможно Крымские пирамиды являются элементом этой системы.

2.10 Подводные железнодорожные тоннели

2.10.1 Тоннель под Ла-Маншем

Приоритет создание этого тоннеля под Ла-Маншем принадлежит французскому инженеру Альберту Матье, который в 1802 году высказал идею сооружения, освещенной лампами подземной трассы с вентиляционными трубами, выступающими над водой.

В последующие десятилетия к данному проекту неоднократно возвращались, внося различные дополнения и изменения и к 1988 году (началу строительства) за 186 лет

существования идеи соединения Англии с Материком было предложено 130 вариантов [18].

Первая попытка сооружения тоннеля была предпринята в 1875 г. и строительство велось до 1882 года. Было пройдено в плотных меловых отложениях 620 м тоннеля без крепления. Этот участок до сих пор (через 100 лет) успешно сопротивляется горному давлению и другим «факторам риска».

В течение столетия еще неоднократно предпринимались попытки сооружения этого тоннеля, которые останавливались по техническим, политическим и экономическим соображениям.

20 января 1986 г. главы государств окончательно обсудили 5 проектов, представленные в октябре 1985 г. на суд экспертов, и выбрали наиболее экономичный «Франция – Ла-Манш», о котором пойдет речь впереди.

Коротко об остальных:

I – проект «Транс – Ла-Манш Экспресс».

Поезда и автомобили следуют по двум тоннелям, в обоих рельсовый путь проложен параллельно автодороге. Перед каждым поездом движется служебное транспортное средство, оповещающее свободен ли путь. Вентиляционные ходы, расположенные на расстоянии 1700 м отводят загрязненный воздух к фильтрам и электростатическим сбрасывателям, а чистый воздух поступает через скважины.

II - проект Ван ден Путтена.

Две приливные электростанции в виде дамб частично перегораживают пролив с обеих сторон, оставляя 6 км фарватер. Поезда и авто движутся по дамбам, затем спускаются в тоннель и по нему пересекают фарватер.

III – проект «Евромост».

В 70 м над волнами глухая труба, подвешенная к фермам на понтонах, а в ней – рельсы, асфальт, освещение и т.п. Внутри опор моста – вытяжные трубы.

IV – проект «Евродорога» - транспортные средства по 9-км подвесному мосту достигают искусственного острова (где выстроены гостиницы, магазины и т.п.), затем по винтообразному скату съезжают в тоннель длиной 19 км, попадают на второй искусственный остров и по следующему мосту прибывают на побережье. Посреди пролива третий искусственный остров, куда выходят вентиляционные каналы.

V вариант – “Франция – Ла-Манш” – три тоннеля, два транспортных и между ними служебный. Проектом предусмотрено сооружение тоннелей в 30-ти метровом слое голубого мела, прослеживающегося почти по всей трассе, в кровле и почве которого залегают мощные слои водоупорных пород (известняк и глина) (рис. 2.27 см. цветн. вкладки). Пассажиры, автомобили и грузы транспортируются на поездах трех типов.

Основные параметры принятого варианта:

- длина трассы с входными тоннелями – 49,4 км;
- длина подводного тоннеля – 38 км;
- глубина от поверхности воды – 100 м;
- глубина от дна пролива – 30-40 м.

То, что называют тоннелем под Ла-Маншем, на самом деле представляет систему трех параллельных тоннелей с расстоянием между ними – 30 м (рис. 2.28, рис. 2.29, см. цветн. вкладки). По двум из них (транспортных) диаметром 10 м происходит одностороннее движение поездов, в третьем, (техническом) диаметром 7 м расположена обслуживающая система.

После ратификации парламентами Англии и Франции соглашения о строительстве тоннеля под Ла-Маншем политическое разногласие было устранено.

Учитываю уровень развития тоннелепроходческой техники и опыт сооружения в период 1964-1987 гг. 54 километровой тоннеля диаметром 11 м под Сангарским проли-

вом, соединившим японские острова Хоккайдо и Хонсю, техническое обеспечение строительства тоннеля под Ла-Маншем не представляло сложности.

Для устранения экономических трудностей, заключающихся в необходимости выделения из бюджетов Англии и Франции 10 млрд. долл. США было предложено привлечь к строительству тоннеля негосударственный капитал, который определенным бременем ложился бы на налогоплательщиков, а частный.

С этой целью в апреле 1986 г. было основано акционерное общество компания «Евротоннель», которая привлекла к финансированию строительства капиталы 220 частных банков из 26 стран мира и 550 тыс. акционеров (физических и юридических лиц), что позволило сконцентрировать в банке компании средства для обеспечения полного строительства тоннеля.

В 1988 г. началась проходка в начале технического тоннеля диаметром 7 м, которая завершилась в декабре 1990 г. 36 месяцев понадобилось проходчикам чтобы пройти встречными забоями 50 км трассы. Скорость подвигания одного забоя составила 700 м/мес. А через полгода в июне 1991 г. завершилась проходка сбойкой основных транспортных тоннелей диаметром 10 м, которая продолжалась 40 мес. и было пройдено 50 км трассы, а 6 мая 1994 г. тоннель сдали в эксплуатацию, началось регулярное движение.

Отклонение по осям встречных забоев, протяженностью каждого 25 км, составило 5 см. Трасса прокладывалась лазерным лучом с помощью спутниковой обсерватории со специально запущенного спутника.

Технический тоннель сооружался первым с опережением, что обусловлено:

- окончательной проверкой и корректировкой трассы, которая изучалась чуть ли не сто лет и которая оставалась в пределах 30-метрового слоя голубого мелового мергеля. Эту породу принято считать одной из

самых однородных безопасных вмещающих пород для тоннелей;

- дополнительной разведкой трассы. С этой целью щит останавливали через каждые 75 м и производили керновое бурение по оси выработки впереди забоя на 100 м. На это уходило одна 8-часовая смена, что обусловило меньшую скорость проходки технологического тоннеля.

Проектом строительства тоннеля предусмотрено через каждые 375 м соединение всех трех тоннелей коммуникационным тоннелем с противопожарным оборудованием. Транспортные тоннели через каждые 320 м соединяются воздуховодами для выравнивания воздушного давления мчащегося поезда со скоростью 140 км/ч уплотняющего перед собой и оставляющего за собой разреженное пространство.

В тоннеле предусмотрены съезды, позволяющие переходить поездам с одного тоннеля в другой – на время технического обслуживания одного из тоннелей либо в чрезвычайных ситуациях.

Проходку тоннелей осуществляли 11 щитовых комплексов фирмы «Роббинс» (США), (рис. 2.30 см. цветн. вкладку) каждый из которых представлял поразительное инженерное сооружение высотой 10 м, длиной со служебным помещением 260 м (больше 2 футбольных полей), весом 1100 т и стоимостью 13 млн. долл. США. Вольфрамовые резцы головной режущей части комплекса под воздействием 12 гидродомкратов, развивающие суммарное усилие 2000 тыс. т врезались в породу, делали 2-3 оборота в мин. Глубина заходки (продвижения) составляла 1,4 м. Для перемещения остальной части комплекса (подтягивания) использовали 26 гидроцилиндров, развивающих усилие 11500 т. Для фиксации в определенном положении ком-

плекс снабжен 10 боковыми гидроцилиндрами общим усилием 5400 т для опирания о стенки тоннеля.

Разрушенная порода ($200 \text{ м}^3/\text{час}$) поступала на конвейер и через весь комплекс к хвостовому отсеку комплекса в грузовой поезд. Была испытана новая немецкая технология транспортирования, позволяющая удалять $100 \text{ м}^3/\text{час}$ отбитой породы на расстояние 1800 м. Такой вид транспортирования был применен с английской стороны.

Французы отбитую породу перемешивали с водой и полученную пульпу по трубопроводам выкачивали на берег за искусственно сооруженную дамбу высотой 53 м. После проходки тоннелей на искусственно намытой территории создали терминал перед входными порталами и парк.

Всего было извлечено 13 млн. м^3 породы (железнодорожный состав протяженностью 2,5 тыс. км).

Выемочной частью проходческого комплекса управлял экипаж машинистов с помощью компьютерных дисплеев и телевизионных мониторов, которые давали информацию:

- о действиях врезного щита;
- об удалении разрушенной породы;
- о продвижении машины и еще о 24 параметрах, обеспечивающих скоростную и безопасную проходку.

Крепление тоннеля осуществлялось 5 железобетонными полукруглыми блоками весом 8 т метровой толщиной, которые образовывали 40 т крепежное кольцо.

Для получения бетона для блоков использовали гранитный щебень, добытый в недрах Шотландских гор. Блоки изготавливались на специально построенных бетонных заводах на о. Грей в Англии и Сантгетто во Франции. На участках с более сложными горно-геологическими условиями или в местах съездов с одного тоннеля на другой (для случаев чрезвычайных ситуаций) железобетонные сегменты заменялись на чугунные толщиной 200 мм с болтовыми со-

единениями. Таких участков по расчету было 5% - реально оказалось – 12%. Блоки крепежного кольца устанавливали в требуемое положение блокоукладчиком и распирались боковыми клиновыми сегментами. Всего было уложено в каждый тоннель 180 тыс. блоков, что составило 36 тыс. колец. Кольцевой зазор 20 мм между кольцом крепи и породой заполнялся специальной бетонной смесью в два приема высоконапорными насосами.

Подача материалов осуществлялась через береговые шахты (стволы) диаметром 35 м и глубиной 65 м.

Такая организация труда позволила каждому забою обеспечить скорость продвижения 1000 м/мес. Когда геологические условия улучшались, проходчики, наверстывая потерю времени вначале проходки, продвигались со скоростью 350 м/неделю или 50 м/сутки, т.е. 1500 м/мес., что гораздо больше чем строители обещали вкладчикам капитала.

В забое проходчики обеспечивались охлажденным коктейлем «Вперед», в состав которого входили женьшень, ром и лимонный сок. Для проходчиков и членов их семей продвижение каждые 1000 м «Евротоннель» отмечал банкетом. Удивительный факт – проходка тоннелей была окончена на три месяца раньше жестко составленного графика. На проходке участвовало 6 тыс. проходчиков, труд которых оценивался в 8-12 тыс. долл./мес. Всего на строительстве было занято 15 тыс. рабочих. За 5-летний период сооружения тоннеля погибло 7 человек с английской стороны. Суд вынес приговор по статье «Убийство по неосторожности» и обязал «Евротоннель» обеспечить жизненными благами семьи погибших проходчиков до третьего поколения.

В период эксплуатации тоннеля для перевозки пассажиров и грузов помимо рейсовых и грузовых составов, следующих с материка в Англию и с Англии на Европейский материк предусмотрены специально сформированные железнодорожные составы «Шатл» для перевозки автотранспорта с пассажирами или грузом, курсирующих между Па-

рижем и Лондоном. Длина каждого состава – 768 м, на котором размещаются 120 легковых автомобилей и 12 автобусов. Другой вид платформ предназначен для тяжелых грузовиков (трейлеров), на которой может разместиться 28 тяжеловозов, 12 двухъярусных вагонов для легковых автомобилей, 12 – одноярусных для автобусов и грузовиков плюс два вагона со специальными скатами – погрузочный задний и разгрузочный передний. Все это сопровождается двумя локомотивами мощностью каждый по 7600 л.с. Автомашин в порядке очередности (по габариту) заезжают в хвостовой вагон и через весь поезд продвигаются вперед – до его заполнения.

Время загрузки 8 мин. Движение круглосуточно. Интервал 3 мин., т.е. 20 поездов в час в каждом направлении. В часы пик для обеспечения четкости движения и с британской, и с французской стороны сооружены крупные терминалы площадью по 700 гектаров, на которых располагаются отели, магазины, таможенные и пограничные службы, специальные стойки, у которых путешественник оплачивает проезд не выходя из автомобиля. А дальше Вы въезжаете на специальную платформу-вагон, где в течение 35 минут, что длится переезд (из них 26 минут в самом тоннеле), Вы можете отдохнуть в уютном боксе или же оставаться в машине (время движения на пароме через пролив – 1,5 часа). Скорость движения поезда в тоннеле 140 км/час, по территории Франции – 290 км/час, по территории Англии – 80 км/час. Время в пути от Парижа до Лондона **3** часа. Стоимость билета (включая проезд по тоннелю) – **298** долларов США. Стоимость проезда только по тоннелю – **99** долларов США.

Проектируемая стоимость тоннеля под Ла-Маншем 10 млрд. долл. США. Реальная, окончательная со всеми прилегающими терминалами – **13,5** млрд. долл. США.

Ежегодная прибыль (по данным 1999 г.) составила не менее 530 млн. долл./год, т.е. тоннель окупится за 25 лет.

Большое внимание уделено безопасности эксплуатации тоннеля:

- поезда следуют в одном направлении, что исключает риск лобового столкновения;
- приподнятые платформы, которые тянутся в каждом тоннеле вдоль рельсового пути, защищают поезда от падения в случае схода рельсов;
- поперечные галереи снабжены противопожарными дверьми, выдерживающими температуру до 1000°C ;
- служебный тоннель вентилируется слегка надуваемым (1,1 – 1,2 атм.) воздухом, чтобы при пожаре в железнодорожном тоннеле дым не проникал в служебный;
- каждый поезд имеет два локомотива (в голове и в хвосте поезда);
- чтобы поддерживать комфортные условия (т.к. происходит разогрев воздуха от мчащихся поездов) предусмотрена система охлаждения, подающая 80 т ежеминутно охлажденной воды по водопроводной сети диаметром 0,5 м и общей протяженностью 540 км;
- за повседневной жизнью тоннеля наблюдают компьютеры, объединенные в три независимые системы информационного контроля и связи.

В 1999 г. пропускная способность Ла-Маншской трассы достигла 8 млн. пассажиров в год, причем приток пассажиров неравный. Из Франции в Англию 30-40%. Объясняется тем фактором, что французы вообще не любят ездить в Англию (выручает европейский пассажиропоток, в т.ч. многомиллионных туристов). Но главная причина в тихоходности поездов на острове (всего лишь 80 км/час), когда по территории Франции 290 км/час. В настоящее время прокладывается скоростная трасса Фолкстон-Лондон, которая должна устранить дисбаланс в пассажиропотоке.

*2.10.2 Тоннель Сэйкан под Сангарским проливом (Япония)**

СЭЙКАН - подводный тоннель, соединяющий острова Хоккайдо и Хонсю. Планы соединения подводным тоннелем двух крупнейших островов Японского архипелага существовали уже давно. Кое-кто из местных экономистов пытался привлечь внимание властей к этой идее еще до второй мировой войны.

К идее прокладки тоннеля под Сангарским проливом японцы вернулись вновь лишь в пятидесятых годах. К этому их подтолкнула трагедия, случившаяся в сентября 1954 г. в морском проливе, разделяющем острова Хонсю и Хоккайдо. Мощный тайфун раскидал и потопил пять кораблей-паромов, курсировавших между островами. 1150 пассажиров погибли. Шок от этой трагедии был так силен, что буквально через несколько месяцев, в 1955 г., начались изыскательские работы, а еще год спустя на стол премьер-министра лег доклад авторитетной комиссии с утверждением, что строительство грандиозного тоннеля технически возможно.

14 лет потребовалось, чтобы пробить тоннель Сэйкан. 13 марта 1988 г. он был введен в эксплуатацию.

Это событие, по мнению японской печати, являлось важным этапом в развитии путей сообщения страны. Дело в том, что здесь до настоящего времени не было единой системы наземных транспортных коммуникаций. В пределах каждого из четырех основных Японских островов (Хоккайдо, Хонсю, Сикоку и Кюсю) создана разветвленная сеть автомобильных и железных дорог протяженностью соответственно свыше 1 млн. км и около 28 тыс. км, которые обеспечивают связь практически с самыми отдаленными районами. Однако были соединены между собой транс-

* Автор студ. Дубинин А.А.

портные коммуникации только трех островов – Хонсю, Сикоку и Кюсю. Они связаны автомобильными и железнодорожными мостами, а между островами Хонсю и Кюсю, кроме того, проложены два подводных железнодорожных тоннеля. Поэтому ввод в строй подводного железнодорожного тоннеля Сэйкан, который соединил острова Хонсю и Хоккайдо, стало завершающим этапом создания в Японии единой наземной транспортной системы.

Тоннель связал расположенные на указанных островах пункты Хамана и Юносато, находящиеся соответственно в префектуре Аомори (о. Хонсю) и районе Хакодате (о. Хоккайдо, рис. 2.31 см. цветн. вкладку).

Окончательная длина Сэйкана составила 53,9 км, в том числе подводная часть – 23,3 км (рис. 2.32 цв. вкл.). Это вдвое больше, чем длина предыдущего «мирового чемпиона» - Симплтонского железнодорожного тоннеля в Швейцарских Альпах, протянувшегося на 19,7 км. Впрочем, название японского тоннеля покрасовалось в Книге рекордов Гиннеса сравнительно недолго. Вступивший в строй тоннель под Ла-Маншем имел длину подводной части 37,5 км – поболее, чем у Сэйкана, хотя общая длина подземной магистрали, соединившей Англию и Францию, на 4,7 км была короче японской.

Сэйкан был сооружен в наиболее мелкой части Сангарского пролива. От морского дна его отделяет сто метров.

В соответствии с проектом под дном пролива проложены три тоннеля: основной - диаметром 11 метров и два технологических по 5 метров (рис. 2.33). Первый из них после укрепления и облицовки стен имеет наибольшую ширину 9,6 метров, а высоту 9 метров (рис. 2.34).

В нем проложена двухпутная железнодорожная линия с шириной колеи – 1435 мм). Рельсы не имеют стыков, они сварены в единую 54-километровую плеть. Тщательно отбалансированное дорожное полотно исключает даже малейшие колебания вагона. Толщина бетонных стенок тонн-

неля – 70 сантиметров, но вода постоянно просачивается внутрь, ибо обеспечить полную герметичность не удастся. Поэтому в тоннеле работают насосные станции, ежеминутно выбрасывающие на поверхность до 16 тонн воды.

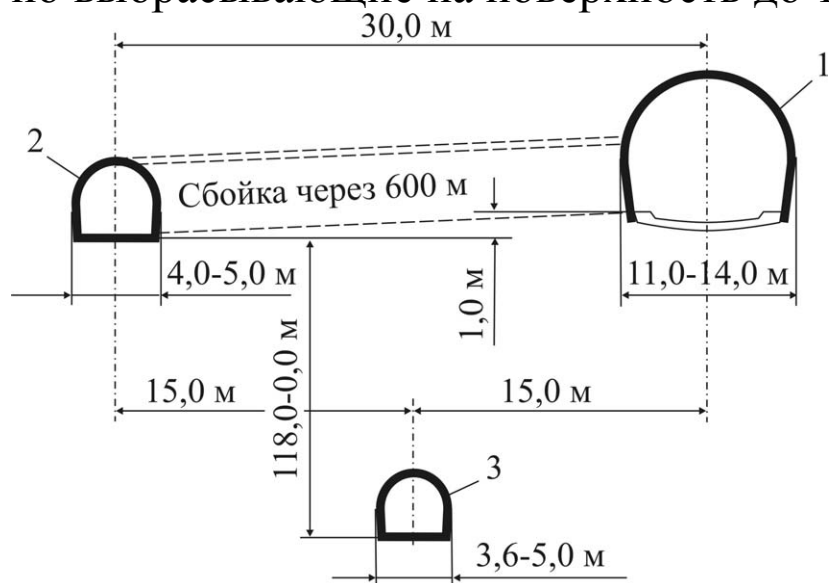


Рис. 2.33. Поперечный профиль системы тоннелей Сэйкан

1 – транспортный (основной) тоннель;
2 – вспомогательный (технологический); 3 – дренажный тоннель

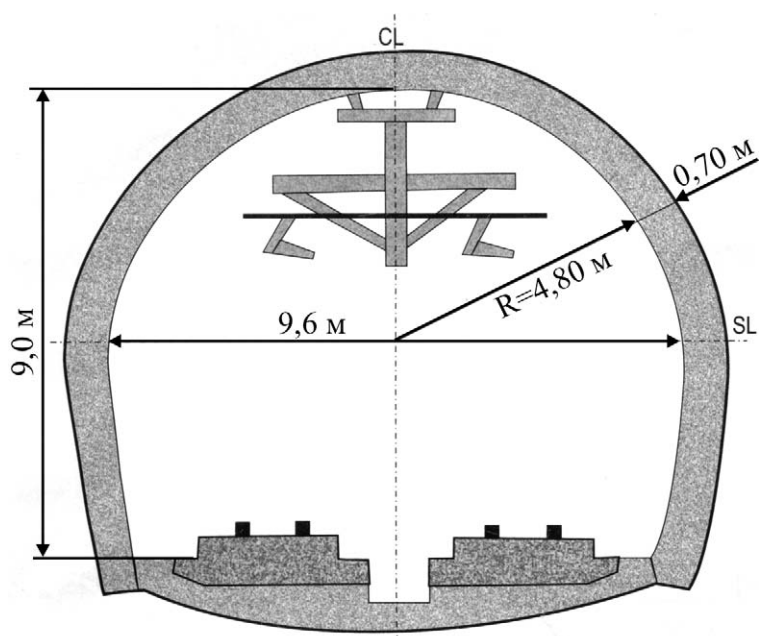


Рис. 2.34. Поперечное сечение тоннеля Сэйкан

Вдоль всей длины тоннеля установлены чувствительные датчики, способные уловить самые незначительные колебания земли. При землетрясении силой в 4 балла поезда автоматически останавливаются и пережидают подземную бурю. Внутри тоннеля построены две платформы для чрезвычайных остановок. От каждой из этих платформ в толщу земли пройдены 300 метровые герметизирующие тоннели-убежища с необходимым запасом кислорода, воды, продуктов и медикаментов.

До открытия движения через тоннель основной объем грузопассажирских перевозок между островом Хоккайдо и другими Японскими островами осуществлялся морским (грузовые перевозки) и воздушным (пассажирские) транспортом. Использование железнодорожного сообщения ограничивалось возможностями паромной переправы, действующей между городами Аомори и Хакодате, которая к тому же недостаточно надежна – в отдельные годы паромное сообщение через пролив из-за штормовой погоды прерывалось в общей сложности на срок до двух месяцев, имели место катастрофы со значительными человеческими жертвами. По расчетам проектировщиков, пропускная способность данного тоннеля составит до 30 пар поездов в сутки (25 млн. пассажиров и 20 млн. т различных грузов в год), что в несколько раз превысит возможность действующих на переправе паромов.

С пуском в эксплуатацию тоннеля Сэйкан одновременно планировалось решить и проблему сокращения времени поездки по железной дороге с о. Хоккайдо в другие районы страны. Так, если на поездку от Токио до г. Саппоро (административный центр о. Хоккайдо) по железной дороге с использованием паромной переправы Аомори – Хакодате требуется около 20 ч., то с началом эксплуатации тоннеля и пуском скоростных поездов время поездки сократится до 6 ч.

Важное значение вводу в строй нового тоннеля придавало японское военное руководство. Это связано с тем, что управление национальной обороны Японии под надуманным предлогом «возрастания северной угрозы» не раз упоминало, что в перспективе оно намерено создать на о. Хоккайдо крупную группировку войск для ведения боевых действий в северном направлении. Уже сейчас в ходе боевой подготовки «сил самообороны» отрабатываются задачи по быстрому наращиванию численности войск в северных районах страны. По оценке японского командования, наличие

тоннеля Сэйкан обеспечит возможность быстрой и скрытой переброски соединений и частей «самообороны» на о. Хоккайдо.

В последние годы из-за роста цен на железнодорожные перевозки и снижения их удельного веса в грузообороте между островами Хонсю и Хоккайдо некоторые японские экономисты высказывали предположения о возможной в будущем нерентабельности тоннеля. Был сделан вывод о том, что без существенной финансовой помощи, в том числе и со стороны государства, открытие железнодорожного сообщения нецелесообразно. Появились различные проекты использования тоннеля не по прямому назначению. В одном из них даже предлагалось создать там плантации для выращивания шампиньонов на экспорт. В правительственных кругах начались длительные дебаты. При этом на принятие окончательного решения об эксплуатации тоннеля существенно повлияла заинтересованность в данном объекте руководства управления национальной обороны.

В целом, как отмечают зарубежные военные специалисты, ввод в строй тоннеля Сэйкан имеет для Японии важное экономическое и военное значение, так как создает условия для развития одного из наиболее крупных ее островов, существенно повышает возможности транспортной системы севера страны по осуществлению военных перевозок.

Учитывая, что все Японские острова в настоящее время связаны между собой железной дорогой, Япония крайне заинтересована в сооружении Сахалинского тоннеля и в получении доступа к железнодорожной сети России (рис. 2.33 см. цветн. вставку), а в будущем Америки и Африки, используя проектируемые и уже сооружаемые железнодорожные подводные тоннели под Татарским, Беринговым и Гибралтарским проливами.

2.11 Японский «Аквалайн» - достоинство тоннеля и моста

АКВАЛАЙН - инженерное сооружение, вступившее в строй 18 декабря 1997 г., которое с полным основанием можно причислить к славному списку «чудес света». Транспортная артерия соединила город Кисарадзу в префектуре Тиба с городом Кавасаки в префектуре Канагава.

Расстояние между этими точками на карте Японии едва ли превышает 15 км, однако упомянутые города расположены по разным сторонам Токийского залива и 15 км, разделяющих концы этой подковы, были весьма неудобным препятствием для наземного автотранспорта. Причем неудобство это было настолько «жмущим», что Токио, раскинувшийся по берегам залива, мог расти свободно лишь в одну сторону - к Иокогаме. А вот в сторону Кисарадзу столичные коммуникации развивались весьма ограничено. Всего в нескольких десятках километров от центра Токио царила атмосфера, схожая с атмосферой японской глубинки: тихие поля и леса полуострова Босо, крестьянские фермы, устойчивая нехватка рабочих мест.

Проехать по земле из шумного и загазованного Кавасаки через Токио в тихий Кисарадзу можно было и раньше: 100 км по прибрежной дороге, 1,5-2 часа на автомашине. Но это уже никак не соответствовало потребностям Большого Токио. И вот в 60-х гг. строители стали все чаще задумываться, возможно ли соединить два мыса на противоположных сторонах Токийского залива мостом или тоннелем.

Задача оказалась архитрудной. Возведение моста могло бы надолго перекрыть путь морским судам, заходящим из океана в Токийский залив, и навсегда заузить морские ворота столицы. Прокладка тоннеля была также не идеальным решением, ибо под дном залива была очень неустойчивой и, по словам геологов, напоминала по консистенции майонез. При-

шлось объединять в одном проекте, получившем название «Аквалайн», достоинства и моста, и тоннеля.

Работы на трассе «Аквалайна» начались в мае 1989 г. И первым, за что взялись строители, была отсыпка двух искусственных островов посреди залива. Тот, что ближе к Кавасаки, названный «Кадзэ-но то» («Башня ветра»), вырос на 28-метровой глубине. Пришлось в зыбкую грязевую почву вбивать цилиндр диаметром 100 метров, ушедший на 86 метров в дно. На верхней плоскости цилиндра образовалась рабочая площадка для строителей. И с нее они стали закачивать в грунт отвердители и хлад-агенты в образовавшемся столбе была пробурена шахта, в которую опустили проходческие механизмы.

Одновременно из воды поднимался и второй остров, который просто отсыпали, сбрасывая на дно тысячи тонн грунта. Образовали участок земли длиной 650 метров, возвышавшийся над поверхностью воды на 100 метров. Его окрестили «Умихотару» («светлячок») рис. 2.35 - по названию одного из видов планктона, светящегося ночью. Именно на Умихотару и должен был произойти переход шоссе из одного качества в другое - из моста над морем в подводный тоннель. Такое инженерное решение позволяло избежать ряда проблем. Во-первых, на морской трассе, проложенной ближе к западному берегу залива, не возникало дополнительных препятствий. А во-вторых, значительная часть путепровода была построена более экономичным мостовым способом.



Рис. 2.35. Искусственный остров Умихотару в системе «Аквалайн»

Строителям пришлось немало поломать головы над тем, каким методом прокладывать туннель. Из трех основных методов рытья котлована с дальнейшим размещением в нем соединяемых бетонных коробов, бурения и взрывных работ - был выбран далеко не самый дешевый, но единственно возможный в данных условиях: бурение проходческими щитами. Японским машиностроителям были заказаны восемь крупнейших в мире проходческих комплексов диаметром 14,14 м, длиной 135 м и весом 3200 тонн каждый. Два из них вгрызлись в землю со стороны Кавасаки, два - со стороны Умихотару (рис. 2.36) и еще четыре стартовали с острова Кадзэ-но То (по два в противоположные стороны).

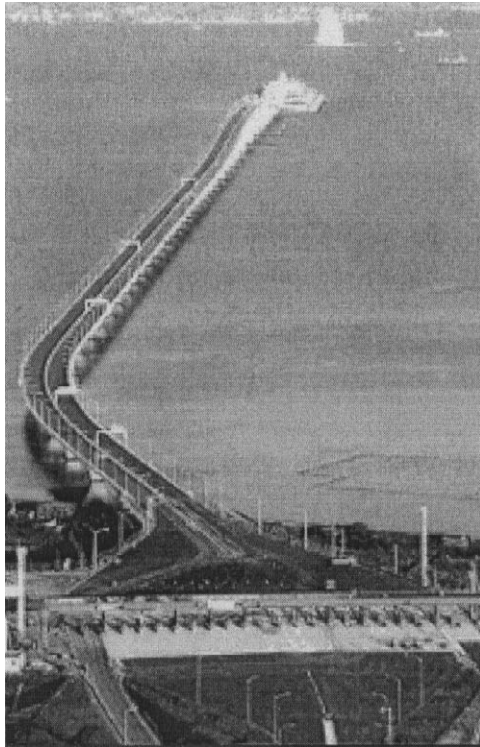


Рис. 2.36. Общий вид трассы Аква-лайн со стороны Кисарадзу. В конце эстакады – островок Умихотару. Белая овальная пирамидка на заднем плане – Кадзэ-но То (Башня Ветров), возведенная над тоннелем ровно на пол пути между Кавасаки и Умихотару

За каждым из проходческих щитов тянулся туннель диаметром 13,9 метра. Его стены были выложены железобетонными сегментами толщиной в 65 см. В свою очередь, эти сегменты были закрыты дополнительным слоем бетона в 35 см. Скорость проходки под дном залива достигала в среднем около 150 метров в месяц.

Между тем работа шла и по строительству надводного моста длиной 4,4 км между Кисарадзу и островом Умихотару рис. 2.37. Этот участок пролива сравнительно мелководен, но и здесь проходят маршруты судов водоизмещением до 2 тысяч тонн. Поэтому пришлось позаботиться и о высо-

те стальных опор (40 метров), и о ширине пролетов моста (27 метров).



Рис. 2.37. Вход открытого шоссе в тоннель – на искусственном острове Умихотару

Немало сил и средств было потрачено на обеспечение безопасности строительства и эксплуатации «Аквалайна» на всем протяжении - и над водой, и под морским дном. И, прежде всего - от последствий возможного землетрясения. Для этого были привлечены все новейшие технологии антисейсмического строительства. В тоннеле создана беспрецедентная система по борьбе с пожарами: под дорожным полотном проложены пути экстренной эвакуации, датчики дыма расположены через 10 метров, пожарные гидранты - через 50 метров. Десятки телекамер отслеживают ситуацию в тоннеле. В случае необходимости в тоннеле под дорожным полотном можно создать повышенное давление воздуха, что воспрепятствует проникновению дыма в эвакуационную зону.

Два искусственных острова, использовавшиеся при прокладке туннеля, продолжают играть очень важную роль в осуществлении поездов через залив. Кадзэ-но-то через свою вертикальную шахту обеспечивает вентиляцию туннеля, а на Умихотару создан рекреационный комплекс. По периметру острова воздвигнуто 5-этажное здание, напоминающее своими формами пассажирский лайнер. В нижних этажах здания оборудованы автостоянки на 480 автомобилей. На верхних этажах разместились рестораны, комнаты отдыха, смотровые площадки, с которых открывается панорама Большого Токио.

Теперь, чтобы добраться из Кавасаки до Кисарадзу, требуется всего 15 минут и 4000 иен с машины за право проезда. Пропускаемая способность «Аквалайна» составляет примерно 23 тысячи автомобилей в день.

Японцы справедливо гордятся «Аквалайном» как ове щественным свидетельством национального технического гения. Вся 9,5-километровая подводная часть между Кавасаки и Умихотару уступает по длине лишь тоннелю Сэйкан, соединяющему острова Хонсю и Хоккайдо, тоннелю под Ла-Маншем и тоннелю Син-Каммон между Кюсю и Хонсю. Однако вся эта славная «троица» построена исключительно для железнодорожных перевозок. А вот «Аквалайн» - самый длинный в мире автомобильный подводный туннель.



ГЛАВА 3

СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИКА СТРОИТЕЛЬСТВА ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

3.1 Новоавстрийский способ тоннелестроения

Возрастающие масштабы использования подземного пространства в настоящее время характерны для многих крупных городов и мегаполисов, где наряду с расширением существующих подземных транспортных систем ведется сооружение тоннелей и станций метрополитена, автотранспортных тоннелей, подземных автостоянок и гаражей, транспортных и многофункциональных комплексов.

Если указанные сооружения располагаются в центральных, плотно застроенных городских районах, их чаще всего проектируют глубокого заложения, что в наибольшей степени удовлетворяет экологическим требованиям минимизации нарушений окружающей городской среды. Имеются в виду ограничения сдвижений и деформаций грунтового массива, поверхности земли, находящихся поблизости поверхностных сооружений и инженерных коммуникаций, предотвращения загрязнения воздушного бассейна, поверхностных и подземных вод, снижения уровня шума и вибрации как на стадии строительства, так и при эксплуатации подземных сооружений.

Приведенным выше требованиям в наибольшей степени удовлетворяют закрытые (подземные) способы работ, среди которых наибольшее признание на современном этапе получил новоавстрийский способ тоннелестроения (НАТМ), с помощью которого в мировом тоннелестроении в настоящее время сооружается более 700 масштабных подземных объектов [19].

Новоавстрийский способ тоннелестроения разработан австрийскими учеными Рабцевичем, Мюллером и Пахером, основан на принципе максимального использования несущей способности породного массива и предназначен первоначально для использования в слабоустойчивых грунтах – глинистых, песчаных и гравелистых. В соответствии с применяемой у нас классификацией грунтов, это породы с ко-

эффицентом крепости по Протодьяконову $f = 1 - 2$ или трещиноватые скальные породы с коэффициентом крепости $f = 1,5 - 3,0$ [20].

В данном способе нашли отражение основные положения механики горных пород и давнее стремление горняков и тоннелестроителей использовать потенциальную несущую способность приконтурного массива для увеличения несущей способности выработки.

Технология работ по сооружению тоннеля новоавстрийским способом исходит из следующих основных пожеланий.

После проходки горной выработки порода в естественном массиве постепенно переходит из упругого состояния в состояние потери устойчивости и далее в неустойчивое состояние. Установка временной крепи во время проходки должна обеспечить устойчивость массива. При этом крепь может работать как жесткая опора для окружающего массива или как податливая конструкция, допускающая деформации совместно с массивом.

Податливая конструкция крепи дает возможность максимально использовать собственную несущую способность породного массива. При этом крепление выработки следует выполнять как можно быстрее после разработки породы с тем, чтобы эффективно использовать естественную устойчивость породы от перехода ее в неустойчивое состояние. Это достигается путем создания податливого свода, состоящего из тонкой оболочки набрызгбетона, плотно нанесенной на породу и армированной (в случае необходимости) сеткой или арками и слоя прилегающих к этой оболочке пород, включенных в работу свода путем установки в породу системы анкеров различной длины. В таком искусственно созданном податливом своде гибкая оболочка из набрызгбетона воспринимает лишь незначительные изгибающие нагрузки, а слой пород, закрепленной анкерами, принимает на себя основное горное давление.

Возведенное таким образом временное крепление, взаимодействующее с породой и плотно к ней прижатое по всему периметру выработки, искусственно удлиняет время сохранения устойчивости горными породами до тех пор, пока не будет возведена постоянная обделка. При этом сечение тоннеля освобождается в призабойной части, что дает возможность широко применять высокопроизводительные горнопроходческие механизмы, а постоянную обделку можно возводить на значительном удалении от забоя и сразу по всему сечению с использованием механизированной опалубки и бетоноукладочной машины.

Применение НАТМ дает возможность создавать самонесущую бетонопородную конструкцию и снизить нагрузки на элементы временной крепи. К основным достоинствам способа можно отнести его универсальность (выработки практически любых форм и размеров поперечного сечения в широком диапазоне грунтовых условий), гибкость технологии (возможность разработки породы буровзрывным способом или ТПМ стрелового типа, сочетание с различными способами стабилизации породного массива), сведение к минимуму осадок породного массива, поверхности земли, зданий и сооружений.

В ряде стран получили распространение модифицированные технологии НАТМ:

- с е в е р о а м е р и к а н с к а я , основанная на более интенсивном использовании стреловых ТПМ, преимущественном применении анкеров (без набрызгбетона), снижении объемов инструментальных измерений деформаций массива и крепи вследствие однородных геологических условий и точного прогноза геотехнической ситуации;

- н о р в е ж с к а я , главной особенностью которой является крепление выработки фибронабрызгбетоном, наносимым по «мокрой» технологии, и стальными анкерами.

Применение модифицированных технологий в трещиноватых скальных и полускальных породах обеспечивает

повышение скорости проходки по сравнению с традиционными технологиями НАТМ.

Основные современные тенденции развития НАТМ заключаются в следующем:

- увеличение размеров и площади поперечного сечения проходимых подземных выработок до 150-200 м² и более;
- возведение двух- и трехсводчатых подземных выработок с поэтапным раскрытием профиля;
- использование пилот-тоннелей или пилот-штолен условным диаметром 3-5 м, предварительно пройденных с применением роторных ТПМ;
- более широкое применение для разработки породы стреловых ТПМ;
- внедрение новой технологии крестообразных диафрагм (способ CRD), обеспечивающей надежное закрепление породного массива и элементов выработки, а также ограничение осадок поверхности земли.

Новоавстрийский способ проходки тоннелей уже во многих странах применяется в любых инженерно-геологических условиях и на любой глубине при сооружении выработок некругового очертания закрытым способом. Благодаря техническим и экономическим преимуществам новый метод в течение 10-15 лет стал стандартной технологией в области метростроения во всем мире. Фирма «Бетон унд Мониербау» (г. Инсбрук, Австрия) своими предложениями и инновациями внесла существенный вклад в разработку технологии НАТМ. Сущность этой технологии заключается в следующем:

- в единой системе «крепь - массив» вмещающих горных пород, управляемой на основе быстровозводимых торкрет-крепей, мониторинга, расчета крепей на моделях с использованием ЭВМ и последующей установкой постоянных крепей;

- в использовании стержневой модели расчета крепей (моделирование элементов породного массива стержнями) методом конечных элементов.

Большая гибкость НАТМ и значительная экономия средств при его применении оказали решающее влияние на быстрое распространение метода. Существенно расширили область его применения специальные меры по закреплению пород, такие, как понижение уровня грунтовых вод, инъецирование в породы укрепляющих растворов, замораживание пород, применение сжатого воздуха. С начала 70-х годов XX века при использовании НАТМ стали применять проходческие комбайны, например «Паурат Е 242», а теперь применяют и податливую тубинговую крепь с использованием элементов обжатия типа «Мейко».

В Вене и Копенгагене навоавстрийским способом проходки тоннелей построены метрополитены мелкого заложения в густонаселенных районах с применением инъекций укрепляющих растворов во вмещающие породы для предотвращения осадок и водопонижения до 10 м.

Строительство тоннелей в сейсмически опасных регионах требует дополнительного прогноза поведения пород при землетрясениях, применения податливых конструкций обделок тоннелей с одновременным усилением металлической арматуры в их обделках. Строительство участка К4 метрополитена в г. Дортмунде (Германия) проводилось последовательно по правилам НАТМ. Особенность этого способа состоит в том, чтобы при работах по отбойке при проходке выработки привести породный массив как можно быстрее к новому состоянию равновесия за счет системы из набрызгбетона, арматурной сетки и крепежных металлических арок в сочетании с самим породным массивом. Основным условием для этого является постоянное наблюдение за поведением породного массива, как в проходимой горной выработке, так и на поверхности. Особые требования предъявляются к измерительной технологии, тем более что

на строительном участке К4, несмотря на небольшое перекрытие, требовалась минимальная осадка: в районе перекрестка не более 40 мм, а в местах прохождения под скоростной железной дорогой – не более 20 мм. Отвечающая за техническую часть строительная фирма разработала для этого объекта особый метод измерения. Сбор, оценка, оптическая индикация и регистрация измеряемых данных проводились с помощью компьютера с современным математическим обеспечением, предоставлявшего информацию без потерь времени как руководству стройки, так и органам стройнадзора. Таким образом, при возникновении осадочных перемещений можно было немедленно принять необходимые меры. В результате осадку в зоне перекрестка удалось ограничить до 28 мм, а в зоне скоростной железной дороги – до 6-7 мм.

Технологические схемы НАТМ характеризуются различной последовательностью многоэтапного раскрытия выработок достаточно больших сечений в сочетании со специальными способами укрепления пород на основе инструментального мониторинга и расчета возможных деформаций методом конечных элементов.

На современном этапе полностью реализуются технико-экономические преимущества метода НАТМ при строительстве подземных объектов больших сечений различного назначения во всевозможных осложненных условиях. При этой технологии крепость массива горных пород, жесткость обделки и скорость проходки выработки используются как элементы напряженного состояния в системе «крепь - массив». Область эффективного использования НАТМ находится в пределах прочности на сдвиг и сжатие вмещающего выработку массива.

В Германии, Австрии и других крупных странах уже накоплен опыт применения нетрадиционной технологической схемы НАТМ для раскрытия больших сечений, предлагающей опережающую проходку центральной штольни, у

которой лишь небольшой участок свода представляет фрагмент постоянной крепи, а боковые стенки разрушаются уже на следующей стадии раскрытия калотты до проектного сечения. Штольню крепили стальными арками ТН13 с шагом 80 см, 20 см набрызгбетона во временных боковых стенах и 40 см в замковой балке, применяли штанговую опережающую крепь и нанесение набрызгбетона на лоб забоя. Раскрывая калотту, устанавливали расчетные арки с шагом 0,8-1 м и наносили 25-30 см набрызгбетона. При этом арочная крепь калотты устанавливалась под набрызгбетонную замковую арку, как подхват. При использовании проходческого комбайна «Паурат» скорость проходки опережающей штольни составляла 4 м/сут., раскрытия калотты – 2,4 м/сут.

Дальнейшим шагом развития технологической схемы с верхней штольной для выработок больших сечений является раскрытие от нее прорези по своду и боковым стенам выработки, в процессе которого центральное грунтовое ядро, также закрепляемое по мере обнажения бетонной оболочки, играет роль важного стабилизирующего элемента в системе «крепь - массив». Эффективная работа постоянной набрызгбетонной крепи по контуру выработки достигается ее замыканием на оболочку центрального ядра через временную крепь подошвы со скругленными сопряжениями. Дополнительно пять арок на каждой стадии закрепляются анкерами, как и в японских схемах.

В последние годы в мировой практике применения НАТМ взят новый рубеж, что выразилось в успешном сооружении целого ряда выработок различного назначения сечением около 250 м² при высоких технико-экономических показателях. При этом следует иметь в виду, что расчет устойчивости выработок производился на всех стадиях производства работ и на его основании принимались технологические решения (например такие: о разрушении временных набрызгбетонных стен лишь после раскрытия целика, об устройстве уширенных пят набрызгбетонной крепи в каж-

дом уступе, об анкерном креплении целика и др.) Способ НАТМ применяется при буровзрывных работах и при комбайновой проходке выработок. Число объектов, построенных в мире по технологии НАТМ, непрерывно увеличивается. При этом совершенствуются приемы работ, применяются новые конструкции. Метод стал настолько популярен, что на зарубежном рынке подрядов предложения о строительстве какого-либо сооружения не с помощью НАТМ неконкурентоспособны изначально. Основное достоинство этого метода заключается в возможности реального управления полями напряжений горных пород в процессе строительства подземных сооружений и более полном использовании несущих свойств массивов горных пород.

При новоавстрийском способе сооружения тоннелей закономерности поведения массива вмещающих пород выявляются инструментальными измерениями деформаций, полей напряжений и изменения структуры массива, а схема возможного управления полями напряжений при раскрытии сечения выработки по частям выбирается на основании расчетов на моделях с помощью численного метода конечных элементов (МКЭ), метода граничных элементов (МГЭ), а также их комбинации – МКГЭ. В процессе строительства подземного сооружения происходят фазовые переходы энергии во вмещающих горных породах за счет энергетической накачки и электронной перестройки структуры и связей горных пород, что подтверждается измерениями деформаций и полей напряжений и особенно заметно в экстремальных условиях. По этому поводу доктор Зауэр в своем докладе об особенностях НАТМ указывал: «С точки зрения предупреждения обрушений, приостановка забоя столь же потенциально опасна, как и слишком быстрое его продвижение. За время простоя разупрочнение массива и концентрация напряжений в нем могут развиваться до такой степени, что их не выдержит уже никакая тяжелая крепь. Оседание массива следует сдерживать путем увеличения количества и

длины анкеров, толщины набрызгбетонной оболочки и усиленного армирования последней дополнительными решетчатыми арками, проволочной сеткой или металлической фиброй».

Новоавстрийский способ сооружения тоннелей должен быть приспособлен к специфическим условиям нашей страны.

3.2 Новые технологии строительства тоннелей в сложных горно-геологических условиях

В настоящее время в практике мирового тоннелестроения в сложных горно-геологических условиях, во избежании нарушений устойчивости окружающего массива, интенсивно внедряются новые технологии проведения выработок, включающие:

- устройство защитного экрана из труб;
- предварительное создание щели по контуру выработки;
- опережающую бетонную крепь;
- технологию струйной цементации грунтов.

Защитный экран из труб по контуру выработки впервые был предложен и осуществлен в Донбассе еще в 60-х годах XX столетия для предотвращения выбросов угля и газа при вскрытии крутопадающих выбросоопасных угольных пластов, представленных мягкими сыпучими углями и слабыми боковыми породами [21]. Сущность способа заключается в предварительной изоляции металлическим каркасом выбросоопасного угольного пласта, находящимся в сечении вскрывающей горной выработки (квершлага), от массива выбросоопасного угольного пласта расположенного за пределами сечения вскрывающей выработки.

Для возведения защитного металлического каркаса из забоя выработки, расположенного на расстоянии нескольких метров от вскрываемого крутопадающего пласта, через

породную толщину по периметру выработки на расстоянии 30 см друг от друга бурили скважины с таким расчетом, чтобы они пересекали пласт и выходили в породу кровли (или почвы) пласта не менее чем на 0,5 м. В скважины вставляли металлические трубы диаметром 50 мм и под их выступающие концы в забое выработки возводили металлическую арку, которую прочно соединяли с трубами.

Аналогичную конструкцию защитных экранов из труб применяют в настоящее время при строительстве подземных сооружений мелкого заложения на застроенных городских территориях, а также под естественными и искусственными препятствиями [22]. При этом основные работы по разработке, погрузке и удалению грунта, а также по возведению временной и постоянной крепи выполняют по технологии горного способа.

Под защитой экрана из труб сооружают перегонные тоннели метрополитена, железнодорожные, автодорожные, пешеходные и коллекторные тоннели различных форм и размеров поперечного сечения длиной до 80-100 м и более. Увеличение длины экранов может быть достигнуто созданием промежуточных шахтных стволов или котлованов для задавливания труб, а также устройством опережающей крепи непосредственно из забоя выработки.

По такой технологии построены многие тоннели в Англии, Германии, Франции, Японии и др. странах.

Существуют различные модификации этого способа, отличающиеся материалом, формой и размерами труб экрана, способом их продавливания, наличием или отсутствием направляющих замковых элементов и пр.

В большинстве случаев применяют стальные трубы, продавливая их в один или два ряда вдоль оси тоннеля. В устойчивых грунтах их располагают с зазорами 20-30 см, в неустойчивых – соединяют между собой с помощью замковых устройств по типу шпунта. В этом случае повышается точность и упрощается контроль задавливания, так как зам-

ковые устройства служат направляющими для вновь задавливаемых труб.

Создано специальное оборудование для задавливания труб, извлечения из них грунта, соединения звеньев труб, заполнения их бетоном. Наибольшее распространение получили механизированные установки для прокола, продавливания и горизонтального шнекового бурения скважин, наращиваемых одновременно с задавливаемой трубой.

Широкие возможности при сооружении тоннелей большого сечения открывает применение для устройства экранов из труб микротоннельной технологии, основанной на проталкивании труб по периметру тоннеля вслед за управляемым щитовым проходческим комплексом малого диаметра.

Для устройства экранов из труб методами продавливания в Японии фирмой «Нисимацу Констракшн» разработана технология «Армор», предусматривающая задавливание стальных труб диаметром 267 мм со стенками толщиной 13 мм. В продольном направлении трубы соединяются муфтами, а в поперечном - посредством приваренных к ним элементов в виде уголков, швеллеров, труб малого диаметра с продольным пазом.

Японской фирмой «Окумура Корпорейшн» (г. Осака) разработана технология «ОНА» для продавливания стальных или железобетонных труб диаметром 300-1000 мм и создано специальное оборудование включающее направляющую трубу, шнек для разработки и удаления грунта, опорный каркас, гидравлический мотор, домкратную установку и контролирующие устройства. С применением этого оборудования в г. Курияме построен автотранспортный тоннель шириной 15 и высотой 8,7 м под железной дорогой в водонасыщенных глинистых, илистых, песчаных и гравелистых грунтах. Экран из труб диаметром 406 мм и общей длиной 1210 м заложен на глубине 0,8 м от рельсовых путей.

Подобное оборудование для задавливания труб в грунтовой массив имеется и в России, в частности грунтопроталкивающая установка «ГПУ»-600, состоящая из направляющей рамы, опорно-нажимной плиты, подвижного упора, гидравлических домкратов с насосной станцией. Установка предназначена для продавливания стальных труб диаметром 100-630 мм на длину до 80 м со скоростью 24 м в смену.

В плотных грунтах, когда задавливание стальных труб вызывает определенные трудности, их проталкивают в предварительно пробуренные скважины. Такую технологию применили, в частности, при строительстве станции «Омни» метрополитена в г. Атланте (США). Участок станции длиной 24 и шириной 17,1 м заложен на глубине 4 м под железнодорожными путями. Для устройства экрана из труб станком горизонтального бурения пробурили 48 скважин, в которые поместили стальные трубы диаметром 762 мм. Время бурения одной скважины и проталкивания в нее звеньев труб составляло 24 ч. Работы вели без перерывов в движении поездов по пересекаемой линии. Осадки насыпи не превышали нескольких сантиметров.

Аналогичным образом был создан экран из труб над наклонным эскалаторным тоннелем станции «Монумент» метрополитена в г. Ньюкасле (Великобритания).

С целью увеличения длины экранов из труб без устройства промежуточных шахт или котлованов разработана технология создания опережающих экранов непосредственно из забоя подземной выработки путем бурения наклонных скважин и проталкивания в них труб.

Данная технология аналогична предложенному в Донбассе способу борьбы с выбросами угля и газа при вскрытии выбросоопасных пластов.

Скважины забуривают из забоя тоннеля под углом 4-6° к оси передвижной установки на рельсовом ходу, состоя-

щей из порталной рамы арочной формы с двумя перемещающимися по ней буровыми механизмами.

В скважины помещают стальные трубы из отдельных звеньев длиной 2-3 м, соединенных между собой, и заполняют их бетонной смесью. Под защитой готового экрана раскрывают тоннельную выработку заходками, соответствующими длине экрана с подкреплением последнего стальными арками и набрызгбетоном, а затем с помощью передвижной опалубки возводят постоянную обделку.

Таким способом в мировой практике подземного строительства построены многие тоннели, заложенные не менее 2,5-3,0 м от поверхности земли.

В последние годы все большее распространение получает микротоннельная технология, которая позволяет механизировать и ускорить процесс устройства экранов из труб в широком диапазоне инженерно-геологических условий: от полускальных и мягких до слабых водонасыщенных грунтов с включениями гальки и валунов. Во многих странах созданы механизированные и автоматизированные щитовые комплексы для проходки тоннелей малых диаметров, которые успешно используют и для устройства экранов из труб.

По такой технологии построена станция «Венеция» метрополитена г. Милана (Италия). Подземная односводчатая станция длиной 216 и пролетом 28,2 м с двумя боковыми платформами заложена под застроенной территорией на глубине 3,9 м от поверхности земли в несвязанных и слабоустойчивых илистых, песчаных и гравелистых грунтах; уровень грунтовых вод располагается выше подошвы станции.

Сводовую часть станции раскрывали под защитой экрана из 10 железобетонных труб диаметром 2 и длиной 216 м.

В г. Атланте (США) при строительстве перегонных тоннелей метрополитена под скоростной 10-полосной автомагистралью с интенсивностью движения около тысячи ав-

томобилей в час применили опережающую крепь из пройденных по контуру микротоннелей, закрепляемых стальными трубами и заполненных бетоном.

Под экраном из труб был пройден тоннель в песках, гравии и иле под железной дорогой в Калифорнии (США). По контуру тоннеля с помощью микротоннельной технологии был устроен экран из 21 стальной трубы диаметром 762 мм (11 труб по перекрытию и по 5 труб по стенам тоннеля). Расстояние между трубами составило 30 см, а между верхом труб экрана и подошвой рельсов – 1,4 м. По мере продвижения микротоннельных комплексов продавливали трубы звеньями по 4,8 м. В полость каждой трубы укладывали арматурные стержни, а затем бетонную смесь. Под защитой экрана из труб разрабатывали грунт заходками по 1,2 м и устанавливали поддерживающие стальные рамы. Строительство тоннеля велось без перерыва движения поездов и без осадки грунтового массива.

Существенный прогресс в развитии технологии проходки тоннелей с использованием экранов из труб достигнут в Японии. Недавно реализован проект строительства двухъярусной подземной станции метрополитена в г. Сендай под 15 железнодорожными путями. Трехпролетное двухъярусное сооружение из монолитного железобетона шириной 18 м и высотой 12,3 м заложено на глубине 3,5 м от низа шпал в толще глинистых грунтов. Экран из труб диаметром 0,7 м был устроен по перекрытию и стенам сооружений на глубине 2 м от поверхности. Трубы были рассчитаны на восприятие изгибающего момента до 37 т.м. Строительство станции под экраном из труб сопровождалось осадками грунта не превышающими 13 мм, что меньше допустимых.

Приведенная выше технология является универсальной при проходке тоннелей как мелкого заложения (под улицами и дорогами вместо традиционных открытых способов), так и глубокого заложения в слабых и неустойчивых породах.

Предварительное создание щели по контуру выработки впервые было предложено и осуществлено в Донбассе в 60-х годах при проведении выработок по выбросоопасным породам, как способ предотвращения выбросов породы и газа [23].

Сущность предложенного способа заключается в изменении напряженного состояния массива, находящегося внутри контура выработки, и в его частичной дегазации, что приводило к локализации выбросоопасности породы внутри контура выработки, ограниченного разгрузочной щелью.

Было установлено, что предварительно созданная щель по контуру выработки является экраном, предотвращающим образование технологических трещин в законтурном массиве выработки при любой технологии разрушения пород внутри контура выработки, включая и буровзрывную. Это положение было использовано тоннелестроителями и в 90-х годах была предложена технология проходки тоннелей с предварительным щелеобразованием по контуру выработки в крепких породах на небольшой глубине [24]. Для нарезания щелей были изготовлены специальные буровые агрегаты на гусеничном ходу, оснащенные двух- или трехстреловыми рабочими органами, каждый из которых включает в себя блок из пяти гидравлических бурильных молотков, работающих одновременно. Длина блока 5,5 м, ширина 0,5 м и высота 0,6 м, масса 950 кг. Буровые штанги диаметром 31,5 мм, длиной 2,2 м включают в себя крестообразные буровые коронки диаметром 60 мм. Скорость вращения штанг 300 об/мин., давление рабочей жидкости 10-16 МПа, расход 30-70 л/мин. За один цикл каждый блок выбуривает щель из взаимно перекрываемых шпуров высотой 60, длиной 270 мм и глубиной 2,2 м.

Технологией с предварительным созданием щели по контуру выработки пользовались при сооружении автодорожного тоннеля в г. Кобе (Япония). Данный тоннель протяженностью 521 м сооружался под застроенной терри-

ей в устойчивых гранодиоритах прочностью на сжатие 100-200 МПа. Выработку расположенную на глубине 30 м и сечением 80 м² раскрывали заходками по 2 м ступенчатым забоем. Таким образом, зарубежный опыт строительства тоннелей с предварительным созданием щели по контуру выработки свидетельствует об эффективности рассматриваемой технологии, особенно в тех случаях, когда взрывные работы ограничены или невозможны. Создание разгружающих щелей обеспечивает дополнительные поверхности обнажения, что облегчает разработку основной массы породы и существенно сокращает расход ВВ. Предварительное щелеобразование способствует также защите породного массива за контуром выработки наземных зданий и подземных сооружений от шума и вибраций при проведении взрывных работ.

Дальнейшим развитием технологии проходки тоннелей с предварительным созданием щели по контуру выработки является создание опережающей бетонной крепи.

С у щ н о с т ь применения **опережающей бетонной крепи (ОБК)** заключается в предварительном создании впереди забоя выработки временной крепи путем бетонирования методом шприцевания предварительно созданной контурной щели длиной 3-4 м и высотой 10-20 см. Щель прорезается под небольшим углом (4-12°) к продольной оси тоннеля, чтобы обеспечить возможность возведения последующих секций ОБК. В отличие от традиционной крепи (арочной, анкерной, набрызгбетонной) ОБК стабилизирует породный массив до разработки и предотвращает его сдвигание. Практически исключаются переборы породы из-за ровного очертания контурной щели, сводятся к минимуму деформации породного массива и поверхности земли, повышаются темпы проходки. ОБК входит в состав постоянной конструкции тоннеля, в то время как другие виды крепи выполняют лишь временные функции.

Стоимость строительства с ОБК на 40-60% ниже, чем при сооружении традиционным способом. Целесообразная область применения ОБК – некрепкие скальные, полускальные и мягкие породы с коэффициентом крепости по М.М. Протодьяконову $f = 2 - 5$.

Рассматриваемую технологию успешно применяют на строительстве тоннелей метрополитена, железнодорожных и автодорожных тоннелей во Франции, Италии, Испании, Швейцарии, Венесуэле и Японии.

К настоящему времени с применением ОБК сооружен станционный комплекс «Адмиралтейская» Санкт-Петербургского метрополитена.

Для нарезания контурной щели создано специализированное оборудование с баровым рабочим органом, предназначенное для работы в породах различной крепости. При проходке тоннелей с ОБК во Франции применяли несколько видов щеленарезных машин. Машина для проходки в крепких породах, сконструированная французскими фирмами «Супремек» и «Перфорекс» и выпускаемая фирмой «Сершар», включает смонтированную на гусеничном ходу порталную раму, под которой свободно проходит оборудование для разработки и погрузки породы. К раме консольно прикреплен сборно-разборный металлический щит, очертание которого соответствует проектному контуру выработки. По двум зубчатым рейкам арочной формы в передней и задней частях рамы перемещается каретка с установленным на ней баровым органом; длина бара 2,27 м.

Машина позволяет нарезать щель глубиной 1,9 м, высотой 80-100 мм под углом не менее 10° к горизонтальной оси.

Большинство из построенных с применением ОБК тоннелей заложены в некрепких скальных, полускальных и мягких породах. Проходку тоннелей осуществляют горными способами нижнего уступа или сплошного забоя с раз-

работкой породы механизированным способами без применения буровзрывных работ.

В зависимости от требуемой толщины крепи высота щели изменяется от 10 до 20 см, глубина ее определяется глубиной проникновения рабочего органа щеленарезной машины и не превышает 5,0 м. Однако в слабоустойчивых нарушенных породах глубину щели следует уменьшать до 1-1,5 м.

В процессе нарезания щели рабочий орган машины наклонен наружу, так что щель приобретает коническую форму. Это дает возможность «перекрытия» соседних секций ОБК не менее чем на 0,3 м и создания непрерывной крепи. Увеличение длины «перекрытия» до 1-1,5 м хотя и повышает несущую способность обделки, но значительно снижает темпы проходки. Сразу же после нарезки очередной щели ее заполняют бетонной смесью по технологии набрызгбетонирования в торец щели.

Время набора прочности бетона в щели изменяется в довольно широких пределах: от 4-6 ч (Парижский метрополитен) до 10-15 ч (тоннель Акико, Япония) и 16-17 ч (тоннели Фонтенэ и Со, Франция). После того как бетон наберет требуемую прочность (порядка 8-10 МПа), под прикрытием ОБК разрабатывают породу в забое на величину заходки, используя тоннелепроходческую машину с рабочим органом избирательного действия или тоннельный экскаватор. По мере разработки породы ОБК подкрепляют стальными арками, располагая их с шагом 2-2,5 м.

Продолжительность нарезания щели в полускальных и мягких породах определяется возможностями щеленарезной машины и составляет 3-15 мин. при средней скорости резания 1 м/мин., а время цикла устройства одной секции ОБК составляет 3-5 ч. Постоянную обделку возводят на расстоянии 15-20 м от забоя с использованием передвижной опалубки.

Строительство тоннелей с ОБК в несвязных слабоустойчивых породах ведется почти так же, как в мягких. Однако глубина проникновения рабочего органа щеленарезной машины уменьшается до 1,5-1, а в некоторых случаях до 0,4 м. Скорость проходки тоннелей данной технологией составляет 40-60 м/мес.

Метод проходки тоннелей с ОБК имеет большие перспективы там, где применение традиционных технологий сопряжено с риском нарушения породного массива и где важно строгое соблюдение экологических требований. Применение рассмотренной технологии возможно в широком диапазоне инженерно-геологических условий (от скальных до несвязных грунтов) при проходке тоннелей различных форм и размеров поперечного сечения площадью более 30 м². При этом достигается полная механизация операций проходческого цикла, повышается безопасность работ, сводятся к минимуму нарушения окружающей среды, осадки грунтового массива и поверхности земли в 4-5 раза меньше по сравнению с традиционными способами в аналогичных условиях.

К достоинствам способа следует отнести также гибкость технологии, хорошую приспособляемость к изменяющимся инженерно-геологическим условиям. Проходка тоннелей с ОБК может составить альтернативу открытым способам строительства тоннелей мелкого заложения на застроенных участках городских территорий.

Технология струйной цементации грунтов заключается в использовании энергии высоконапорной струи цементного раствора для одновременного разрушения и перемешивания грунта с раствором в режиме «mix-in-place» (перемешивание на месте). После твердения смеси образуется новый материал – грунтобетон, обладающий высокими прочностными и деформационными характеристиками. По сравнению с традиционными технологиями струйная цементация позволяет укреплять практически весь диапазон

грунтов – от гравийных отложений до мелкодисперсных глин и илов.

Другим преимуществом технологии является возможность работы в стесненных условиях подземного пространства. В этом случае непосредственно на участке укрепления грунтов устанавливается только буровая установка, а весь инъекционный комплекс располагается на более удобной удаленной площадке.

Устройство грунтоцементных свай выполняют в два этапа – при прямом и обратном ходе буровой колонны. В первом случае бурят скважины до нижней отметки предполагаемой сваи, во втором – производят подъем колонны с одновременным ее вращением. При этом через сопла диаметром 1,6 – 3,0 мм, установленные на нижнем конце буровой колонны, подают водоцементный раствор под давлением 40-60 МПа. [25].

Новым элементом в рассматриваемой технологии является устройство грунтоцементных свай с уширенной пятой, за счет которой резко повышается их несущая способность.

Очень часто при сооружении фундаментов подземных сооружений требуется создать грунтоцементные сваи в слабых грунтах большой мощности. В этом случае опереть сваю на нижележащий слой прочного грунта либо не представляется технически возможным, либо нецелесообразно по экономическим причинам. Повышение несущей способности свай возможно только с помощью уширения ее пяты, которое достигается дополнительной операцией гидроразрыва.

Последовательность устройства грунтоцементной сваи с уширенной пятой состоит в следующем (рис. 3.1 цв. вкл.). После подъема буровой колонны, т.е. формирования сваи, в ее тело опускают металлическую трубу диаметром 57-89 мм, на нижнем конце которой расположены отверстия диаметром 5-8 мм. Для предотвращения попадания в трубу грунтобетона последние закрывают резиновыми манжета-

ми. После расчетного набора прочности грунтобетона через трубу в нижнюю часть сваи под давлением подают цементный раствор. Он сначала разрывает тело сваи, а затем прилегающий грунт. После отвердения цементного раствора в трещинах разрыва вокруг пяты формируется дополнительная зона из укрепленного грунта, которая значительно повышает несущую способность сваи.

Металлическая труба после проведения всех работ не извлекается и служит армирующим элементом, повышающим прочностные и деформационные характеристики сваи. Кроме того, часто труба является элементом сопряжения тела сваи с несущими конструкциями подземного объекта.

Для определения необходимого критического давления гидроразрыва необходимо знать только плотность грунта, глубину расположения подошвы сваи, а также прочность грунтобетона при сжатии и растяжении.

Прочностные свойства материала грунтоцементных свай зависят от многочисленных факторов: гранулометрического состава грунта, водоцементного отношения раствора, количества цементного раствора на 1 пог. м сваи, скорости подъема монитора.

Необходимо отметить, что в зависимости от технологических параметров, прочностные свойства свай даже для одного типа грунта могут изменяться в достаточно широком диапазоне. Так, например, при сооружении свай в супесях, снижая водоцементное соотношение рабочего раствора от $B : Ц = 1,0$ до $0,8$, можно повысить прочность материала сваи в 1,5 раза.

Технология позволяет изменять количество цементного раствора на единицу объема грунта в широких пределах, иногда до его полного замещения. В этом случае прочность материала свай, независимо от типа грунта, будет равна прочности отвердевшего цементного раствора. При отборе монолитов из участков тела свай, сформированных при

практически полном замещении грунта, установлено, что прочность материала сваи составляет 30-40 МПа.

Струйную цементацию применили в 1990-91 гг. в г. Бонне (Германия) при строительстве 497,5-метрового участка перегонного тоннеля метрополитена. Тоннель подкообразного поперечного сечения высотой 7,8 и пролетом 10 м заложен на глубине 3,3 м от поверхности земли в перемежающихся слоях неконсолидированных гравийных грунтов со средней водопроницаемостью 0,008 м/с, содержащих прослойки песка.

Проходку тоннеля вели с двух порталов одновременно, применяя новый австрийский метод в сочетании со струйной цементацией.

Для струйной цементации использовали два агрегата «Родио» RS-510 длиной 19,6 м. С их помощью по периметру свода и стен тоннеля забуривали скважины глубиной 12 м и диаметром 114 мм, в которые под давлением нагнетали цементный раствор. Таким образом, создавали опережающую крепь из взаимно пересекающихся свай диаметром 600 мм, расположенных под углом 10° к оси тоннеля с перекрытием соседних секций на 3 м.

Со стороны северного портала забурили 37 скважин, на что ушло 3 сут. После этого бригада бурильщиков перешла к южному portalу, а со стороны северного начинали проходческие работы. За 3 суток забой продвигали на 9 м заходками по 3 м, причем вначале разрабатывали калотту, затем 4-метровую штроссу и далее – обратный свод.

После каждого продвижения на 1 м в кровле на все открытые поверхности наносили 30-50-миллиметровый слой набрызгбетона и устанавливали две секции стальных арок. К ним крепили стальную сетку и наносили два слоя набрызгбетона толщиной 150 и 50 мм. Грунт по контуру выработки разрабатывали стреловой тоннелепроходческой машиной «Демаг»-41 на гусеничном ходу, а в ядре – ковшовым экскаватором.

Чтобы компенсировать неровности внутреннего контура выработки, вызванные наклоном опережающей крепи, на каждой секции длиной 9 м для бетонной обделки использовали опалубку.

В процессе проходки тоннеля осуществляли мониторинг деформаций грунтового массива по 70 закрепленным на поверхности реперам. Результаты измерений обрабатывали компьютерной системой с точностью ± 1 мм. Суммарное смещение дневной поверхности, вызванное проходкой тоннеля, не превышало 2 мм.

Наиболее интересным объектом является строительство автодорожного тоннеля в г. Перми. Он был пройден в теле насыпи из мелкозернистого песка, сооруженной в начале века на обводненной территории, на которой располагаются русла трех подземных рек. Именно поэтому основание насыпи сложено двухметровым слоем сильно сжимаемого торфа, ниже которого находятся текучие суглинки, подстилающиеся твердыми глинами.

Последний этап строительства был связан с необходимостью полного укрепления грунта в основании труб лотковой части тоннеля. С целью получения надежных результатов было принято решение о сооружении грунтоцементных свай с помощью технологии струйной цементации.

Бурение скважин на порталных участках производили установкой УРБ-2А-2 (Россия), а в ограниченном пространстве тела тоннеля – с помощью установки РС-950. Цементную смесь с В : Ц = 0,8-1,0 готовили в миксере ТW021 (Италия) и инъецировали высоконапорным насосом ТW351. Давление нагнетания составляло 40-45 МПа, расход цементного состава – 80-105 л/мин., диаметр свай в песках и суглинках – 700 мм, а в слое торфа доходил до 850 мм.

Глубина свай, в зависимости от геологического строения участка, достигала 9,5-11,5 м. Подошва свай опиралась на плотные аргилитоподобные глины.

Сваи сооружали после разработки всего объема грунта. Для этого в замках труб вырезали отверстия, на которые устанавливали кондуктора в виде труб диаметром 159 мм. Их соединяли с арматурным каркасом лотка. После его бетонирования через трубы производили бурение лидирующих скважин и устройство грунтоцементных свай. Всего на площадке строительства тоннеля было выполнено 250 свай. Их шаг и расположение в теле тоннеля показаны на рис. 3.2 (цв. вкл.).

Таким образом, представленные современные технологии строительства подземных сооружений в сложных горно-геологических условиях позволяют избежать нарушения устойчивости окружающего массива и обеспечить минимальные смещения дневной поверхности.

3.3 Тенденция совершенствования тоннелепроходческих комплексов для выработок большого сечения

Строительство подземных сооружений буровзрывным способом неизбежно связано с нарушением законтурного породного массива, а при неглубоком заложении и с поверхностных строений. Поэтому, наряду с дальнейшим совершенствованием техники и технологии буровых и взрывных работ, предпринимаются попытки более широкого внедрения тоннелепроходческих машин (ТПМ) с рабочим органом роторного действия, обеспечивающих высокие скорости проходки, в 3-4 раза выше, чем при буровзрывных работах.

Сопоставление затрат на проходку тоннелей буровзрывным и механизированным способами показывает, что при строительстве протяженных тоннелей, длиной 1,5-3 км в достаточно однородных породах, когда могут быть достигнуты высокие темпы при сравнительно небольших затратах, более экономичным является механизированный способ с применением ТПМ. Однако, там где применение

буровзрывных работ неприемлемо и сопряжено с нарушениями породного массива и поверхностных условий, использование ТПМ оправдано вне зависимости от финансовых соображений.

Так, по данным [26] использование ТПМ при проходке тоннеля длиной 14 км и диаметром 5,5 м в Гонконге привело к удешевлению строительства в 3 раза, а при проходке тоннеля длиной 4,5 км и диаметром 2,5 м – на 25% по сравнению с буровзрывным способом. Вместе с тем, опыт строительства тоннелей в Швеции показывает, что использование ТПМ на современном этапе может быть конкурентоспособно с буровзрывным способом и при протяженности тоннелей в пределах 1000 м. К преимуществам ТПМ относятся исключение переборов породы и снижение расходов бетона, сокращение трудоемкости работ, т.к. оплата труда в общей стоимости тоннеля составляет при буровзрывной проходке 54%, а при использовании ТПМ – 33%. Срок службы ТПМ соответствует проходке 15-20 км тоннеля.

За последние два десятилетия в мировой практике наблюдается быстрый рост использования роторных ТПМ в тоннелестроении. Так, в 1960 г. протяженность тоннелей пройденных ТПМ составляла – 5 км; в 1970 г. – 75 км; в 1980 г. – 150 км; в 1990 г. – 200 км. Расширяется область их применения, совершенствуются конструкции машин и технология проходки.

В настоящее время ТПМ начали применять в более сложных условиях, которые ранее считались для них неблагоприятными: в твердых гранитах Гонконга, в слабых грунтах Тайваня, в базальтах со слабыми включениями Калифорнии [27]. Прочность пород в 400 МПа уже не считается предельной. Проходка стала более эффективной и экономной за счет увеличения диаметра шарошек, скорости вращения рабочего органа, улучшения качества конструкционных материалов.

Во многих странах накоплен значительный опыт применения роторных ТПМ для проходки тоннелей малых и средних диаметров (до 5-6 м). В последние годы созданы ТПМ для проходки автодорожных, железнодорожных и гидротехнических тоннелей, диаметр которых достигает 10-12 м. Большинство ТПМ большого диаметра изготовлены американской фирмой «Роббинс». Всего этой фирмой выпущено около 200 ТПМ диаметром от 2 до 12 м [28].

Используются ТПМ большого диаметра в основном в Швеции (45%), США (25%) и Китае (20%) [29]. Эти машины имеют рабочий орган, оснащенный 60-80 дисковыми шарошками, с помощью которых разрабатывается порода. Рабочий орган соединен с телескопическим корпусом, состоящим из двух частей, которые попеременно распираются в контур выработки радиальными гидроцилиндрами и обеспечивают поступательное перемещение машины.

При проходке тоннелей ТПМ работы по погрузке и транспортированию породы, установке временной крепи и возведению обделки ведут по технологии горного способа сплошного забоя с использованием стандартного горнопроходческого и бетоноукладочного оборудования, анкерной, арочной и набрызгбетонной крепи. Такая технология позволяет проходку тоннелей осуществлять с большими скоростями. Так, при строительстве в г. Милуоки (США) коллекторских тоннелей общей протяженностью 3,4 км в толще доломитовых известняков на глубине 90 м от поверхности земли с применением ТПМ фирмы «Роббинс» диаметром 9,75 м была достигнута рекордная скорость проходки: за 3 смены было пройдено 48 м и разработано 6000 м³ породы [30]. Также успешно был пройден тоннель диаметром 9,1 м и длиной 6,5 км в скальных породах ТПМ фирмы «Роббинс» диаметром 9,85 м со средней скоростью 27,7 м/сутки и максимальной 48 м/сутки.

Используя новую модель ТПМ 354-253 на строительстве тоннелей водопропускной системы TARP в г. Чикаго, ус-

тановили мировой рекорд скорости проходки. ТПМ диаметром 10,8 м было разработано 6292 м³ породы и пройдено 48,75 м тоннеля в сутки.

Дальнейшее повышение производительности сопряжено с совершенствованием конструкции ТПМ и, в частности, рабочего органа. Так, для оснащения рабочих органов ТПМ используют укрупненные дисковые шарошки диаметром 480-510 (вместо 280 мм), рассчитанные на нагрузки более 300 кН и обладающие высокой надежностью и износостойчивостью при разработке наиболее крепких скальных пород. С целью продления срока службы режущих инструментов предусматривается замена стали более износостойчивыми материалами. В частности, хорошие результаты получены за счет более широкого использования керамических материалов.

Большие надежды возлагаются на шарошки диаметром 510 мм с водяным охлаждением, разработанные шведской фирмой «Атлас Копко» для ТПМ «Ярва».

Одним из наиболее важных факторов, влияющих на темпы продвижения ТПМ, является частота вращения рабочего органа. Многочисленные исследования показали, что для каждого типа скальных пород должна выбираться оптимальная частота вращения рабочего органа, понижение и превышение которой приводит к замедлению темпов проходки. Регулирование частоты вращения рабочего органа является одной из причин существенного повышения средних темпов проходки тоннелей, которые за последние 20 лет возросли в 3-4 раза.

Современные ТПМ оснащаются станками разведочного бурения, устройствами для установки анкеров, арок, защитными козырьками, оборудованием для укрепительной цементации. Для большей маневренности ТПМ соединение корпуса с передней балкой распорного устройства делают шарнирным. В перспективе создание ТПМ с опорно-двигательной системой по принципу движения дождевого

червя или гусеницы. Это позволит обеспечить непрерывное перемещение машины без вынужденных остановок на передвижение корпуса.

Консорциум, в составе которого американская фирма «Роббинс» и немецкая «Херренкнехт», изготовил несколько крупных ТПМ диаметром более 10 м.

Одна из машин диаметром 11,8 м использовалась при проходке автодорожного тоннеля Бецберг (Швейцария) длиной 3,7 км [31]. Роторный рабочий орган обеспечивал разработку смешанных пород от твердых юрских отложений до плотных глин. Еще три ТПМ намечено использовать на строительстве транспортных тоннелей в США и Норвегии.

Мировая практика эксплуатации ТПМ большого диаметра (более 12 м) показала, что дальнейшее увеличение диаметров – нецелесообразно по ряду обстоятельств. Прежде всего, с увеличением диаметра рабочего органа возрастают усилия передвижения ТПМ (линейно) и требуемый момент его вращения (пропорционально квадрату диаметра).

Из-за ограничения линейной скорости шарошек максимальным значением 1,5 м/с при большем диаметре рабочего органа оказывается возможной частота его вращения порядка 2 об/мин. При этом максимальная скорость продвижения ротора не будет превышать 1,2 м/час, и, значит, средняя скорость проходки, с учетом возможностей современных средств механизации откатки и крепления, не будут выше, чем при буровзрывном способе. К тому же возрастает линейный пробег шарошек, что требует их более частой замены, что считается экономически нецелесообразным. Увеличение диаметра приводит к увеличению мощности и стоимости агрегата и к увеличению потребляемой энергии на разрушение 1 м³ породы и превышает 200 квт/ч, что является экономически не выгодным.

С увеличением диаметра (Д) ТПМ резко возрастает их стоимость (С). Так по данным фирм США

$$C = 4,3 \times D^2, \text{ долл.},$$

где, Д – диаметр в см.

По данным западно-европейских стран

$$C = 5 \cdot D \cdot 10^4, \text{ долл.},$$

где, Д – диаметр в футах, (1 фут = 30 см).

Следует также учитывать, что при увеличении диаметра ТПМ время, в течение которого незакрепленная выработка остается устойчивой – уменьшается. Если это время меньше критического, то выработку необходимо закреплять непосредственно за рабочим органом ТПМ, что снижает производительность проходки.

Целесообразность применения ТПМ большого диаметра исследовалась в связи со строительством 19 двухполосных тоннелей общей протяженностью 34 км на скоростной магистрали Ганновер-Вюрцбург (Германия) [32]. Для проходки этих тоннелей площадью поперечного сечения 148 м² потребовалась бы ТПМ диаметром 14,5 м. Фирма «Роббинс» отказалась от проектирования таких ТПМ в связи с очевидными техническими трудностями и экономической нецелесообразностью.

Помимо ТПМ с механизированным рабочим органом получают распространение машины с комбинированным **механогидравлическим рабочим органом**.

В настоящее время в мире насчитывается более 60 ТПМ, разрушающих породу комбинированным воздействием. Для этого они дополнительно оснащены гидромониторными установками, создающими высоконапорные водяные струи, которые прорезают в породе сетку борозд, ослабляя массив и облегчая его механическое разрушение.

Проведенные в США, Германии, Японии исследования и испытания показали, что гидравлическое разрушение породы способствует продлению срока службы механических породоразрушающих инструментов, уменьшает общий расход энергии, обеспечивает эффект пылеподавления. В дальнейшем предусматривается увеличение давления воды с 60-70 до 130-140 МПа и выше.

Для сокращения энергетических затрат разработаны специальные химические добавки к воде, позволяющие снизить коэффициент трения воды о стенки сопла и увеличить глубину прорезания породы в 1,5-1,7 раза.

Фирмы, проектирующие ТПМ, считают, что перспективным для разрушения породы является применение лазеров, ультразвука, термического воздействия, плазменной струи.

Таким образом, ТПМ со сплошным или ступенчатым рабочим органом могут использоваться при строительстве тоннелей различного назначения, подземных автостоянок, гаражей и комплексов тоннельного типа диаметром до 12 м в скальных породах средней крепости. Наиболее рентабельно использование ТПМ при строительстве протяженных (1,5-2 км) подземных выработок.

3.4 Современная зарубежная технология сооружения метрополитенов

В современном подземном строительстве метрополитенов все большее распространение получает разнообразная щитовая техника: механизированные и автоматизированные щитовые агрегаты для проходки тоннелей различных форм и размеров поперечного сечения в широком диапазоне горно-геологических условий. Установлено, что щитовой способ работ имеет целый ряд преимуществ перед горным способом. Поэтому ежегодно в мире изготавливают около **500** щитов, большинство из которых механизированные.

Сфера их применения постоянно расширяется, непрерывно совершенствуется конструкция рабочих органов, что повышает производительность работ, уровень механизации и автоматизации производственных операций и степень их безопасности.

Несмотря на высокую стоимость механизированных щитов (около 500 тыс. долл. США за 1 м диаметра рабочего органа) применение их оправдано, т.к. обеспечивает эффективную технологию проходки тоннелей с большими скоростями при низком коэффициенте использования щитового агрегата (0,2-0,4), что свидетельствует о больших резервах повышения производительности механизированной щитовой проходки.

В зарубежной практике средняя скорость проходки межстанционных тоннелей диаметром 5-6 м составляет 200 м/мес. Осадки поверхности земли, являющиеся одним из важнейших показателей проходки тоннелей не превышают 8-10 мм и свыше 60% механизированных щитов (в силу своих конструктивных особенностей) способны производить практически безосадочную проходку в водонасыщенных грунтах без применения специальных способов.

Наибольшее распространение щитовая техника получила в **Японии**, где щитами пройдено около 1000 км тоннелей, причем наибольшее распространение имеют щиты малых (до 3,5 м) и средних (5-6 м) диаметров, при помощи которых сооружают перегонные тоннели метрополитена, а также гидротехнические и коммунальные.

Представляет интерес разработанная в Японии автоматизированная система экспертной оценки и оптимизации проектных решений выбора щитового оборудования и технологии тоннельно-щитовых работ. Система включает в себя банк данных и программный компьютерный комплекс, позволяющий оценивать различные технические решения, производить необходимые расчеты с предоставлением результатов в цифровой и графической форме. В качестве ис-

ходной информации задаются длина и диаметр тоннеля, геометрические характеристики его трассы, тип грунтов и условия их залегания, расположение уровня грунтовых вод.

Важным этапом в развитии щитовой техники стало создание в Японии механизированных щитов нового поколения со спаренными рабочими органами роторного действия (рис. 3.3).

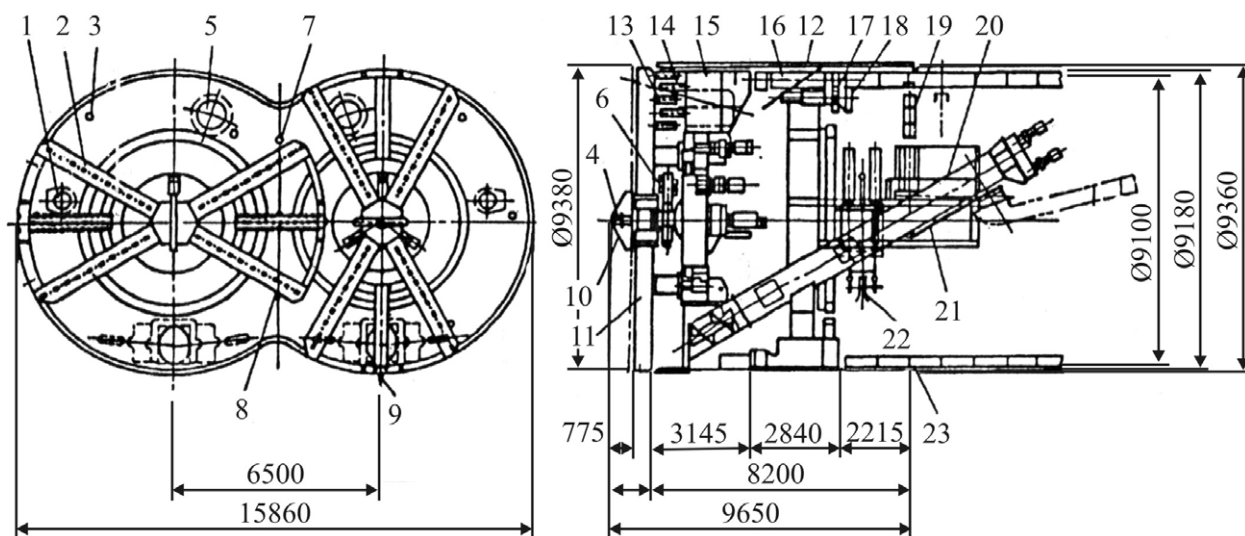


Рис. 3.3. Механический щит со сдвоенными рабочими органами (Япония)

1,5 – людской люк; 2 – лопасть резца; 3 – фиксированный резец; 4 – отверстие для нагнетания глинистого раствора; 6 – независимая мешалка; 7,8,15 – датчик давления грунта; 9 – копир-резец; 10 – забурник; 11 – планшайба; 12 – устройство для инъектирования тампонажного раствора в строительный зазор; 13 – перемешивающая лопасть; 14 – фиксированная лопасть; 16 – щитовой домкрат; 17 – домкрат для подъема блока обделки; 18 – измерительное устройство передвижения ротора; 19 – узел корректировки очертания выработки; 20 – шнековый конвейер; 21 – крышка домкрата; 22 – эректор; 23 – хвостовое уплотнение

Щиты с двумя рабочими органами позволяют вести проходку выработок бинокулярного поперечного сечения, в наибольшей степени приближающегося к габаритам подвижного состава двухпутных тоннелей метрополитена, которые, как правило, имеют внутренний диаметр 7,3 м, а од-

нопутные - 4,3 м. При этом излишки полезной площади в двухпутных составляют 39%, а у однопутных - 11%.

Впервые щиты со сдвоенным рабочим органом применили на строительстве метрополитена в г. Токио, где прошли участок двухпутного тоннеля бинокулярного поперечного сечения шириной 12 м и высотой 7,2 м. Механизированный щит с двойным рабочим органом был использован также на 850-м участке тоннеля метрополитена в г. Хиросиме. Щит был оснащен двумя роторами диаметром 6,09 м, расстояние между осями 4,6 м. Перекрытие обеспечивается за счет того, что режущие лопасти одного из дисков заходя в свободное пространство между лопастями другого. Максимальная ширина щита 10,69 м, длина 6,22 м, общее усилие подачи 6400 т. Для удаления разработанной породы предусмотрены два шнековых конвейера производительностью 150 т/ч. Дальнейшее развитие проходческих щитов подобной конструкции привело к созданию трехдисковых агрегатов сборно-разборной конструкции.

Щиты с тремя рабочими органами могут осуществлять сквозную проходку как двухпутных перегонных тоннелей, так и трехсводчатых станций метрополитена [33]. Основой этой модификации является центральный механизированный щит с рабочим органом роторного действия диаметром 10 м (рис. 3.4). Для сооружения станционных тоннелей щит переоборудуется путем снятия отдельных элементов корпуса и установки двух боковых вспомогательных рабочих органов диаметром 6,5 м, которые после проходки трехсводчатой станции демонтируются, а центральный рабочий орган используется для проходки перегонного тоннеля.

Предлагаемая технология по сравнению с традиционной имеет следующие преимущества:

- достигается существенная экономия затрат за счет сокращения количества щитов;

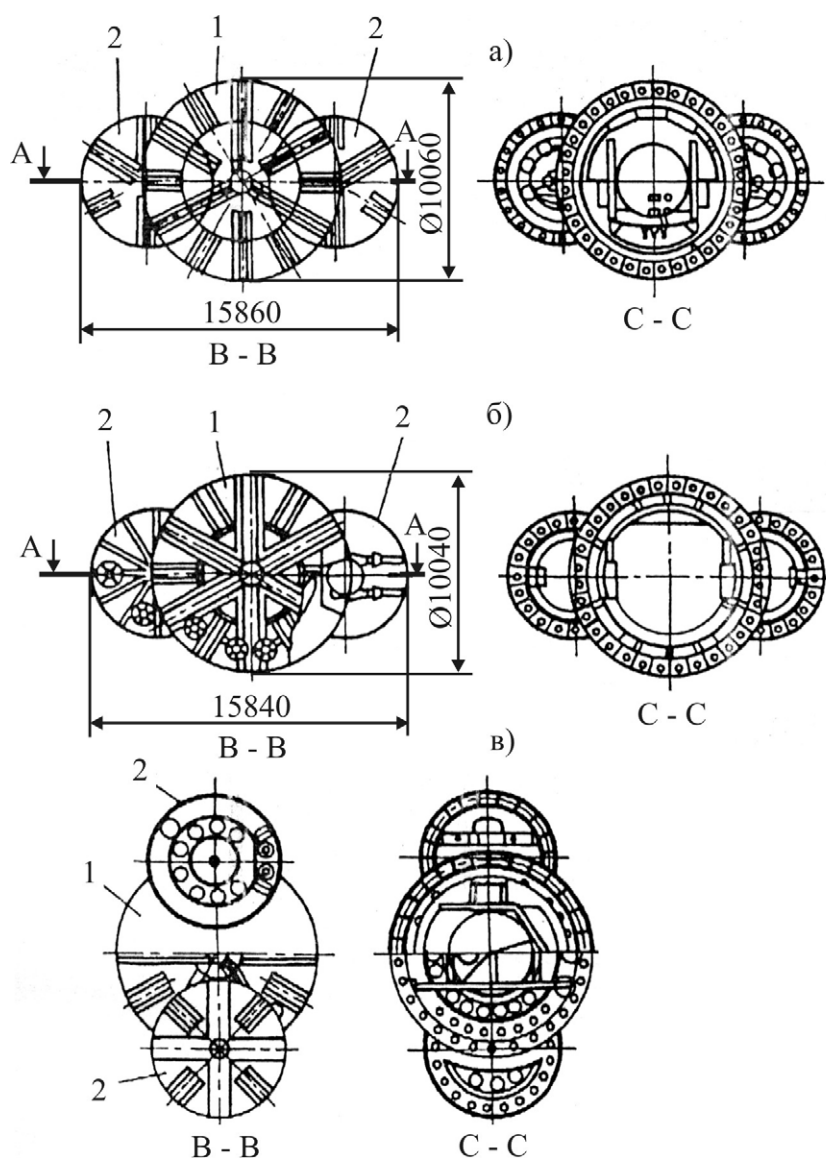


Рис. 3.4. Схемы трехдисковых щитовых агрегатов
 а – тип I; б – тип II; в – тип III; 1 – центральный щит; 2 – боковой щит

- сокращаются сроки строительства за счет увеличения темпов проходки;
- существенно упрощается устройство станционных конструкций, т.к. исключаются вспомогательные операции по раскрытию сечения среднего зала.

В настоящее время в практике мирового тоннелестроения используются три типа трехдисковых щитовых агрегатов, отличающихся принципом действия боковых щитов и их компоновкой. Первый и второй типы (рис. 3.4 а, б) имеют опережающий центральный рабочий орган, а третий

(рис. 3.4 в) - опережающие боковые. У агрегатов первого и третьего типов центральные и боковые рабочие органы - роторного действия, у второго - центральный роторного, а боковые рабочие органы качающего (маятникового) действия.

Один из агрегатов с тремя рабочими органами использовали на строительстве станции "Сироганедаи" и прилегающих к ней перегонных тоннелей к станции "Мегуро" **Токийского** метрополитена. Эта линия длиной 21,4 км пересекает Токио с севера на юг. Северный участок длиной 6,8 км с шестью станциями был построен в 1991 г., а проходка южного длиной 14,6 км с 13 станциями осуществляется в настоящее время.

Работы на участке между указанными станциями производились в следующей технологической последовательности. В первую очередь базовым щитом диаметром 10 м был пройден двухпутный перегонный тоннель протяженностью 1782 м от станции "Мегуро" до "Сироганедаи". В демонтажном котловане, расположенном в торце последней, проходческий щит был переоборудован путем установки на его центральном корпусе двух боковых щитов диаметром 6,28 м.

После этого объединенным щитовым агрегатом с трехдисковым рабочим органом (рис. 3.5) вели проходку 120-метрового участка станции "Сироганедаи". Платформенная часть ее состоит из центрального путевого тоннеля диаметром 9,6 м и примыкающих к нему тоннелей полукруглого очертания радиусом 3,14 м, в которых размещаются боковые платформы шириной 4,1 м.

Обделку станционных тоннелей собирали из чугунных тубингов шириной 1,1 м с высотой борта 40 см в среднем и 28 см в боковых тоннелях. Между средним и боковыми тоннелями устанавливали стальные колонны из прокатных двутавровых балок, упирающихся в нижние и верхние железобетонные прогоны.

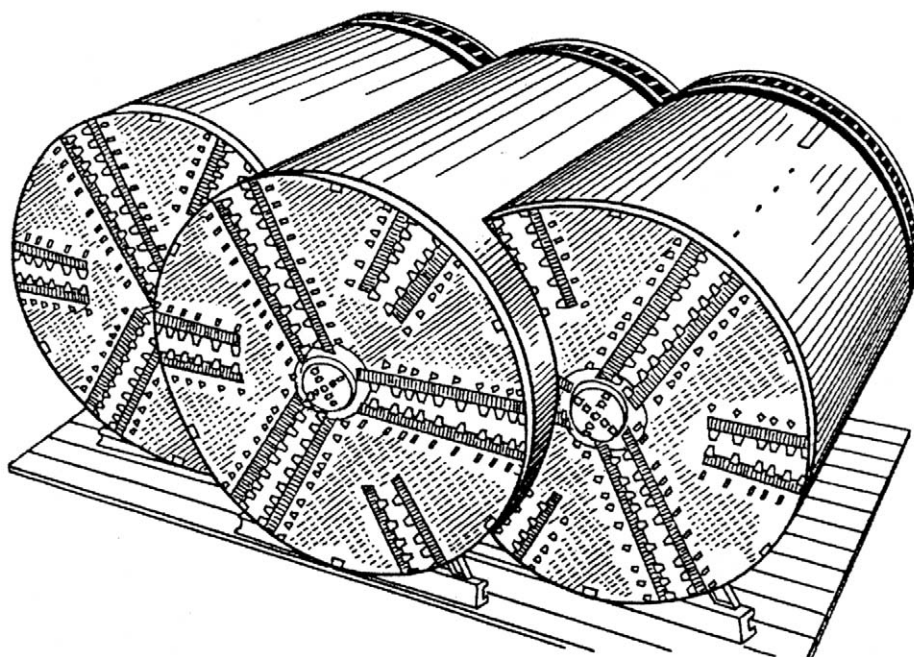


Рис. 3.5. Объединенный щитовой агрегат с трех дисковым рабочим органом (Япония)

По окончании сооружения сооружения стационарных тоннелей агрегат перемещался в демонтажную камеру в торце станции, где боковые щиты демонтировали, а базовый (центральный) щит осуществлял проходку перегонного тоннеля к следующей станции.

В настоящее время новый механизированный щит с тремя рабочими органами, изготовленный японскими фирмами "Кайима Корп." и "Хитачи зозен" применяется на строительстве **Лондонского** метрополитена. Некоторые технические характеристики представленных щитов приведены в табл. 3.1.

Подобные агрегаты предполагают использовать не только для сквозной проходки перегонных тоннелей и станций метрополитена, но и для строительства многополосных автотранспортных тоннелей, автостоянок тоннельного типа и других подземных сооружений [34].

Во **Франции** механизированные щиты с двумя и тремя рабочими органами применяются на строительстве ряда

Таблица 3.1 – Параметры трехдисковых щитовых агрегатов

Показатель	Трехдисковый щитовой агрегат типа		
	I	II	III
Центральный щит			
Наружный диаметр, мм	10600	10400	10060
Длина, мм	107500	10700	9000
Щитовые домкраты (количество, шт. x грузоподъемность, т)	22x300 12x400	32x300	30x3000
Толщина хвостовой обложки, мм	90	80	90
Боковые щиты			
Наружный диаметр, мм	6540	6520	6540
Длина, мм	9540	10000	12800
Щитовые домкраты (количество, шт. x грузоподъемность, т)	10x200	11x300	12x300
Толщина хвостовой обложки, мм	90	80	90
Щитовой агрегат			
Ширина, мм	15860	15840	15860
Длина, мм	10650	10700	12800
Щитовые домкраты (количество, шт. x грузоподъемность, т)	10x300 20x200 10x400	42x300	42x300
Толщина хвостовой обложки, мм	90	80	90

крупных подземных объектов. В Париже реализуется программа строительства протяженных подземных многополосных автомагистралей, одна из которых протяженностью

10,6 км в настоящее время сооружается по кольцевой подземной трассе А-86.

Для более широкого внедрения щитовых агрегатов с двух- и трехдисковыми рабочими органами в дальнейшем предусматривается проведение комплексных исследований, включающих детальный анализ напряженно-деформированного состояния стационарных конструкций, конструкторские работы по увеличению степени маневренности щитового агрегата, оптимального режима его работы в различных горно-геологических условиях, усовершенствование технологии монтажа и демонтажа вспомогательных боковых щитов.

3.5 Совершенствование буровзрывных работ при строительстве подземных сооружений

В последнее десятилетие наблюдается значительный рост строительства подземных сооружений различного назначения.

Если раньше стоимость подземных работ была в несколько раз выше наземных аналогов, то сегодня подземные работы в силу совершенствования техники и технологии незначительно дороже наземных, а иногда и дешевле. Так в Норвегии в условиях дефицита свободных территорий на поверхности земли за счет высвобождения земельных территорий, улучшения состояния городской среды, повышения безопасности движения транспорта и пешеходов стоимость ряда подземных сооружений оказывается на **50%** ниже стоимости аналогичных наземных сооружений [22].

Возрастающие масштабы подземного строительства характерны для многих крупных городов, где наряду с расширением существующих наземных транспортных систем ведется сооружение тоннелей и станций метрополитена, автотранспортных тоннелей, подземных стоянок и гаражей, транспортных и многофункциональных комплексов. Если

указанные сооружения располагаются в центральных, плотно застроенных городских районах, их чаще всего проектируют глубокого заложения, что в наибольшей степени удовлетворяет экологическим требованиям минимизации нарушенной городской среды, снижению уровня шума и вибрации как на стадии строительства, так и при эксплуатации подземных сооружений.

Строительство подземных сооружений в крепких скальных породах чаще всего осуществляют горным способом с применением буровзрывных работ. Ведутся работы по применению более эффективных буровзрывных способов разработки крепких пород: гидравлического, термического, электрофизического, химического, ударного и др. Однако все они характеризуются высокой энергоемкостью, что снижает их эффективность и не позволяет им пока конкурировать с традиционным буровзрывным способом.

Однако, современный опыт строительства подземных сооружений показал необходимость совершенствования технологии буровзрывных работ не только с целью обеспечения ровного контура выработки, уменьшения переборов и нарушения окружающей пород, но и удовлетворения экологическим требованиям окружающей среды, снижения уровня шума и вибрации.

Широкомасштабные исследования по совершенствованию взрывных работ ведутся в **Швеции**. Созданная А. Нобелем фирма «Нитро Нобель» добилась больших успехов в создании эффективных ВВ, детонаторов и других средств для взрывания.

Широкое распространение получил динамекс – гелеобразное ВВ, заменившее динамит. Обладающий высокой плотностью и пластичностью, динамекс характеризуется также высокой энергией разрушения и незначительной токсичностью.

Следующим шагом явилось создание эмульсионных ВВ – эмулитов, представляющих собой водно-нефтяную

смесь, нечувствительную к огню и механическим воздействиям. Эмулиты обладают высокой скоростью детонации и характеризуются стабильностью свойств.

Для «гладкого взрывания» в Швеции используют пластичные ВВ – гуриты, имеющие плотность 1 кг/л и скорость детонации 3 км/с.

Находят применение неэлектрические детонаторы системы «Нонел», выполненные в виде пластиковых трубок диаметром 3 мм, покрытых изнутри порошкообразным детонирующим составом (0,02 г/п.м.), передающим взрывную волну со скоростью 2 км/с.

Созданы различные виды неэлектрических детонаторов для нормальных климатических условий (до +50⁰С) и жаркого климата (до +65⁰С). Основные преимущества таких детонаторов в том, что они не подвержены действию блуждающих токов, статического электричества и света, могут применяться при бурении шпуров электрическими и гидравлическими агрегатами.

Фирма «Нитро Нобель» создала детонаторы нового типа без инициирующего взрывчатого вещества, которые менее чувствительны к нагреву, открытому пламени, трению, удару и деформированию, чем традиционные детонаторы. Инициация достигается в них с помощью специально обработанного ВВ, что существенно повышает уровень безопасности и технологичности при приготовлении зарядов, транспортировании и манипуляции с ними. Испытания показали, что самопроизвольная передача инициации между двумя детонаторами нового типа возможна лишь при расстоянии между ними не более 2 см, тогда как диаметры с обычным инициирующим ВВ самопроизвольно «перебрасывают» детонацию на расстояние до 20 см.

Последним достижением в этой области являются электронные детонаторы замедленного действия, обеспечивающие до 250 ступеней замедления с интервалом от 1 мс до 6,25 с.

Для заряжания шпуров разработаны электрогидравлические системы «Ромек» - 2000 и гидравлическая установка «Кармек» - 600, которые обеспечивают высокие темпы работ при значительном снижении их трудоемкости.

В **Финляндии** для бурения шпуров используют механизированные и автоматизированные буровые агрегаты фирмы «Гамрок» и «Дайтамэтик» на рельсовом и гусеничном ходу оснащенные микропроцессорами, сервоприводом и сенсорным управлением. Это позволяет автоматизировать все операции, связанные с позиционированием бурильных молотков и бурением шпуров. В результате повышаются производительность и точность буровых работ, сокращаются переборы породы и объемы породы на возведение обделки. Применение таких агрегатов позволяет снизить переборы породы в выработках площадью поперечного сечения 25-30 м² с 15-20% до 8-10%, или на 1 м³ на каждый метр тоннеля. В качестве ВВ используют динамит, ионит, аммонит, силурит и кемит. При использовании «гладкого взрывания» применяют различные трубчатые заряды (свыше 10 вариантов) силосекс, формекс. При электрическом взрывании зарядов ВВ находят применение безопасные короткозамедленные детонаторы типа «VA». Широко распространены и неэлектрические системы взрывания типа «Нонел».

Представляет практический интерес опыт совершенствования буровзрывных работ в **Японии**, в частности забуривание в забое системы щелей при проходке тоннелей в крепких скальных породах. Данная технология заключается в том, что по контуру тоннеля или непосредственно на поверхности лба забоя устраивают разгружающие щели, которые ослабляют массив и облегчают работу основной ее массы взрывным способом. В монолитных породах щель устраивается только по контуру, а в трещиноватых кроме нее предусматривают взаимно пересекающиеся горизонтальные и вертикальные щели в плоскости забоя.

Контурная щель дает возможность получать ровную поверхность выработки, отделить разрабатываемую часть породы от основного массива, а при проведении взрывных работ – значительно ослабить силу сейсмического действия взрыва. Кроме того, контурная и забойные щели создают дополнительные поверхности обнажения, что экономит энергию, затрачиваемую на разрушение породы, и снижает расход ВВ.

Данную технологию целесообразно применять в крепких скальных породах, сохраняющих устойчивость опережающих щелей на период осуществления основных горно-проходческих операций, включенных в технологический цикл.

Для нарезания щелей были изготовлены специальные буровые агрегаты на гусеничном ходу, оснащенные двух- и трехстреловыми рабочими органами, каждый из которых включал в себя блок из пяти гидравлических бурильных молотков, работающих одновременно. Длина блока 5,5, ширина 0,5 и высота 0,58 м, масса 950 кг. Буровые штанги диаметром 32 мм и длиной 2,2 м включают в себя крестообразные буровые коронки диаметром 60 мм.

Скорость вращения штанги 200-300 об/мин., давление рабочей жидкости 10-16 МПа, расход 30-70 л/мин. За один цикл каждый блок выбуривает щель из взаимно перекрываемых шпуров высотой 60, длиной 270 мм и глубиной 2,2 м. Скорость выбуривания зависит от прочности породы на сжатие и увеличивается с ее уменьшением.

Такая технология была применена при строительстве четырех тоннелей общей протяженностью 940 м в городах Кобе, Курасики, Хиросиме и тоннеля Тенру. Всего на этих объектах было разработано около 33 тыс. м³ крепких скальных пород.

Проведенные в процессе работы измерения показали, что скорости вибрации на расстоянии 5 м от источника не превышало 0,5 см/с во время разрушения породы и 0,05

см/с в период выбуривания щелей. На поверхности земли в радиусе 50 м вибрации практически не ощущалась.

Аналогичные результаты были достигнуты в г. Хиросиме при проходке тоннеля длиной 116 м и площадью поперечного сечения 36 м^2 в плотных биотитовых гранитах, а также участка тоннеля Тенру площадью поперечного сечения 33 м^2 . Тоннель в г. Курасики на 180-метровом участке проходили в толще биотитовых гранитов, прочностью на сжатие 100-150 МПа.

Для его сооружения была принята технология низковибрационного взрывания с допустимым уровнем вибрации на городской территории 0,05-0,1 см/с. Это обеспечивалось созданием предварительной щели по контуру выработки (рис. 3.6 а), а на отдельных участках – вертикальной в центральной части забоя (рис. 3.6 б). Тоннель площадью поперечного сечения $9,1 \text{ м}^2$ проходили заходками глубиной 1,1-1,2 м. Для выбуривания щелей использовали буровой агрегат на гусеничном ходу. Уровень вибрации во время взрывных работ определяли регистрирующими приборами, установленными в тоннели и на поверхности земли. Максимальные скорости вибрации при устройстве опережающей вертикальной щели в центральной части забоя составили 33%, а предварительной по контуру выработки – 19% уровня вибрации при обычном взрывании. Кроме того, было достигнуто существенное уменьшение расхода ВВ. Так, при создании вертикальной щели расход ВВ на заходку составил 12,9 кг (при удельном расходе $1,2 \text{ кг/м}^3$), при контурной 5,8 кг ($0,83 \text{ кг/м}^3$), в то время как при обычном (без предварительного щелеобразования) требовалось 15,9 кг ($1,5 \text{ кг/м}^3$).

Таким образом, опыт строительства тоннелей с применением предварительного щелеобразования свидетельствует об эффективности рассматриваемой технологии, особенно в тех случаях, когда взрывные работы ограничены или невозможны. Создание разгружающих щелей обеспечивает

дополнительные поверхности обнажения, что облегчает разработку основной массы породы и существенно сокращает расход ВВ. Предварительное щелеобразование способствует также защите породного массива, наземных зданий и подземных сооружений от шума и вибраций при проведении взрывных работ.

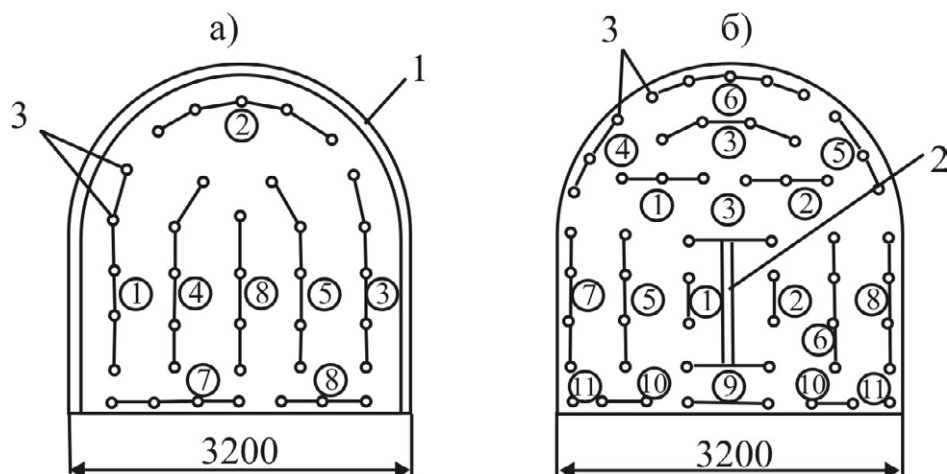


Рис. 3.6. Поперечное сечение тоннеля в г. Курасаки (Япония)
 а) 1 – контурная щель; б) 2 – вертикальная щель; 3 – шпур; цифрами в кружках показана последовательность взрывания

Заслуживает внимания применяемый в **Китае** опыт возведения подземных сооружений в скальных породах способом центральной штольни [35].

Как известно, при способе сплошного забоя две наиболее трудоемкие операции – бурение шпуров и погрузку породы – осуществляют последовательно, что удлиняет сроки проходки. Применяя способ ступенчатого забоя, можно частично совместить бурение шпуров в калотте с погрузкой породы в штроссе, однако расчленение забоя не дает возможности использовать наиболее мощное и производительное буровое и породопогрузочное оборудование. Применение традиционного способа центральной штольни требует специального оборудования для бурения глубоких веерных шпуров и не обеспечивает ровного контура выработки. Однако с появлением в последние годы универсальных буровых агрегатов, а также с развитием технологии «гладкого

взрывания» указанные недостатки могут быть в значительной степени устранены. Об этом, в частности, свидетельствует опыт строительства четырех крупных тоннелей в системе ГЭС «Донжиань» длиной 320-1200 м.

На большей части трассы тоннели имели подковообразное поперечное сечение размерами 11 x 13; 8,0 x 5,3; 10,5 x 14 и 10,5 x 13,5 м. Горнопроходческие работы выполнялись с предварительной проходкой центральной пилот-штольни, из которой забуривали веерные шпурсы, не доводя их до контура выработки. Одновременно из забоя основного тоннеля забуривали контурные и подошвенные шпурсы по периметру основной выработки, располагая их на сближенных расстояниях в соответствии с технологией «гладкого взрывания» (рис. 3.7 а).

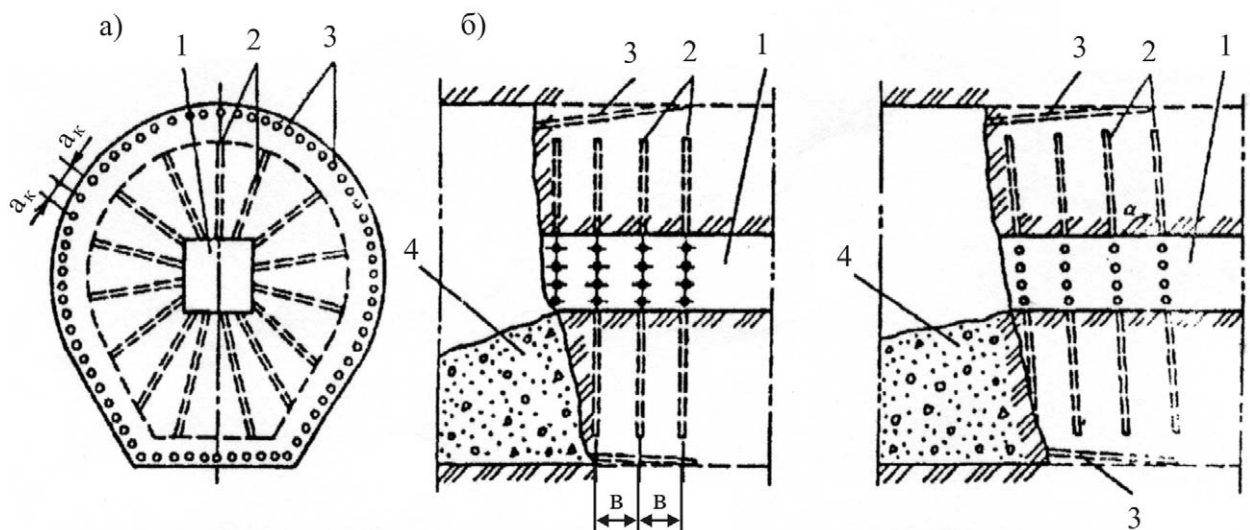


Рис. 3.7. Схема расположения шпуров в забое гидротехнического тоннеля

1 – пилот-штольня; 2 – веерные шпурсы; 3 – контурные шпурсы; 4 – разработанная порода

При внедрении новой технологии потребовалось решение ряда технических проблем, касающихся выбора оптимальных размеров пилот-штольни, определения рациональных параметров буровзрывных работ, обеспечения устойчивости тоннельного забоя и др. Размеры пилот-штольни

должны быть по возможности минимальными, чтобы, с одной стороны, обеспечить размещение бурового оборудования, а с другой – не увеличивать стоимость проходки.

Исходя из габаритов буровых установок, ширина пилот-штольни была 2,8, а высота – 3,2 м.

В результате проведения опытных работ диаметр шпуров приняли 100 мм, расстояния от концов шпуров до контура выработки – 1 м, а расстояние между шпурами вдоль оси тоннеля 2 м. При этом на 1 м шпура приходилось около $3,8 \text{ м}^3$ разработанной породы, а всего на глубину заходки – 4 м. Общий объем разрабатываемой породы составил 320 м^3 на заходку.

Контурные шпуры диаметром 40 мм и глубиной 4 м располагали по периметру выработки с шагом $a_k = 0,4 - 0,5$ м. Расход ВВ на 1 м шпура составлял 300-400 г. Такие параметры обеспечивали эффект «гладкого взрывания» с минимальными переборами породы.

Чтобы повысить степень устойчивости забоя и избежать загромождения пилот-штольни взорванной породой, необходимо создавать опережение нижней части забоя, т.е. устраивать своеобразный верхний уступ, что достигается определенной последовательностью взрывания веерных шпуров.

Важное значение имеет выбор направления веерных шпуров. В процессе производства буровзрывных работ было установлено, что при расположении шпуров перпендикулярно оси тоннеля взорванная порода откладывается на большей части выработки, что значительно осложняет ее погрузку. Чтобы добиться кучного расположения породы вблизи забоя, необходимо обеспечить наклон шпуров в сторону от забоя под углом $\alpha = 85 - 87^\circ$ к оси тоннеля (рис. 3.7 б).

Как показал опыт применения усовершенствованного способа центральной штольни при строительстве ряда тон-

нелей в Китае, такая технология буровзрывных работ имеет следующие достоинства:

- возможность детального изучения горно-геологических условий по трассе тоннеля путем проходки пилот-штольни, которая может быть использована также для вентиляции основного тоннеля и дренирования обводненных участков массива;
- ускорение буровзрывных работ за счет ведения их на широком фронте с одновременным бурением шпуров несколькими буровыми агрегатами, установленными в пилот-штольне;
- совмещение во времени трудоемких операций по бурению шпуров и погрузке породы, что также способствует увеличению скорости проходки;
- возможность ведения горнопроходческих работ с использованием стандартного бурового, погрузочного и транспортного оборудования;
- обеспечение за счет применения «гладкого взрывания» ровного контура выработки, сведение к минимуму переборов породы и сохранение устойчивости породного массива;
- возможность избирательного закрепления грунтов в сечении основного тоннеля;
- достижение значительного сокращения ВВ за счет создания дополнительных поверхностей обнажения путем проходки пилот-штольни и уменьшения выбросов в окружающую среду вредных продуктов взрыва.

Оригинальные исследования совершенствования буровзрывных работ при строительстве подземных сооружений проводятся в США, целью которых является создание новой не традиционной технологии ведения буровзрывных работ, повышающей их эффективность и снижающей вредное влияние данного способа на окружающую среду.

К таким способам можно отнести метод разрушения горных пород сверхслабыми зарядами в непрерывном режиме ведения буровзрывных работ, разрабатываемым фирмой «Машин Дизайн Инженерс Инк». Экспериментальные исследования показали, что разрушение скальных горных пород в забое выработки можно производить с помощью шпуров диаметром 10 мм и небольшой глубины (около одного метра). Заряд ВВ в каждом шпуре составлял 90 г при удельном расходе ВВ 490 г/м^3 .

Применение коротких шпуров малого диаметра и малых зарядов в них, естественно, приводит к более точному оконтуриванию горной выработки с незначительными переборами породы, а также к минимальному нарушению приконтурного массива породы. Как сказано выше, объем породы, выдаваемой на поверхность, при этом сокращается.

При обычном способе ведения буровзрывных работ в аналогичных условиях удельный расход ВВ составляет порядка 2 кг/м^3 , то есть в 4 раза больше, чем при предлагаемом методе. Соответственно и газообразных продуктов взрыва выделяется меньше.

Данный способ предполагает непрерывный процесс заряжания и взрывания одновременно четырех шпуров. Для этого было создано специальное оборудование с решением проблемы позиционирования исполнительных механизмов, безопасности манипуляций с не патронированными ВВ и их взрывания без применения детонаторов. Применение ВВ без оболочки и отсутствие детонаторов также снижает выделение ядовитых газов при взрыве.

Оборудование выполнялось в виде трехпозиционной револьверной головки с полуавтоматическим управлением, защищенной от повреждения при взрывах кожухом из стальной брони. Использована серийная бурильная машина вращательно-ударного действия со штангой диаметром 7,6 мм с промывочным каналом и одноперым долотчатым концом с твердосплавной вставкой. Для заряжания применя-

лось ВВ, способное устойчиво детонировать в шпурах малого диаметра. Заряжание шпуров производилось из цилиндрического контейнера поршнем с приводом от электродвигателя через алюминиевую трубку, снабженную полиэтиленовым вкладышем и тефлоновым наконечником для предотвращения распространения детонации в контейнер. При заряжании шпуров достигалась высокая плотность заряда и, как приведено выше, это также снижает выделение ядовитых газов взрыва. Для возбуждения детонации зарядов применялся пневматический ударник с рабочим давлением сжатого воздуха 206 КПа и массой поршня 0,65 или 1,29 кг.

Система автоматизированного управления процессами с портативного пульта реализована в виде релейной логической схемы с блокировкой взаимоисключающих операций. Оборудование в сборе имеет габаритную длину 2,4 м, диаметр 35 см и массу около 550 кг.

В плане совершенствования буровзрывных работ заслуживает внимания созданный **компьютеризированный буровой проходческий агрегат** [36], использование которого со всеми его возможностями – вопрос лишь воображения. Так, очертание тоннелей может быть выдержано в строгом соответствии с проектным контуром, информацию о скорости бурения и прилагаемом усилии можно легко получить для каждого метра (или сантиметра) для любого шпура в заходке. Полученную информацию можно использовать для проектирования обделки, для буровых работ в следующей заходке или при проектировании проведения следующего объекта.

Имеется опыт сооружения тоннеля Тай-Лам в Гонконге длиной 3,8 км с применением компьютеризированной буровой коретки «Тамрок» с буровой сталью и коронками фирмы «Сандвик» для бурения шпуров глубиной 5,7 м в крепких породах со скоростью 1,5-1,7 м/мин.

Известны успешные проходки с компьютеризированными буровыми установками, когда длина заходки буров-

взрывных работ достигала 30 футов (9 м), а новые взрывчатые вещества выделяют менее токсичный дым, что снижает проблемы вентиляции, допускает большую длину разрабатываемых заходок и увеличение скорости проведения тоннелей.

Автоматизированная бурильная установка «Дотиматик» фирмы «Тамрок» с компьютерным управлением и лазерным наведением является машиной нового поколения с тремя бурильными стрелами для бурения 5-метровых шпуров по заданной программе. Работу этой установки в забое контролирует один оператор. В забое шириной 18 м и высотой 10 м при 5-метровых шпурах применение автоматизированной бурильной установки обеспечило увеличение производительности проходки на 30% по сравнению с обычными буровыми установками. Параллельно с работой бурильной установки в пробуренные шпуры взрывник вставляет патрон-боевик и заряжает их взрывчаткой через пневмошланги с помощью специальной установки (платформы) на пневмоходу, на которой смонтирован бункер вместимостью до 1 м³ насыпной взрывчатки. С помощью этой же платформы взрывник поднимается в выработку на любую высоту для заряжания шпуров. С помощью автоматизированной бурильной платформы также устанавливаются анкерные болты в кровле выработки.

Известны многие примеры скоростной проходки буровзрывным способом, и в первую очередь это автодорожные тоннели Норвегии. Скорости проходки: в трехрядном тоннеле под проливом Хитра – максимальная скорость 96 м/нед. в каждом забое, в двухрядном Манхеллер – устойчивая 80 м/нед., в тоннеле Зуннфорд – средняя 120 м/нед.

Технологические новинки: в крепких скальных породах при глубине вруба 5-5,4 м делаются активные попытки перехода на диаметр отбойных шпуров 51 мм и даже 64 мм с соответствующим уменьшением их количества. Процесс обуривания забоя при этом полностью автоматизирован –

буровые установки в исходное положение устанавливаются по лазерному ориентиру, после чего позиционирование манипуляторов обеспечивается автоматически бортовым компьютером по команде управляющей дискеты, программируемой индивидуально для каждой заходки офисным компьютером, с учетом данных конкретной съемки профиля. Зарядка шпуров совмещается во времени с обуриванием забоя, для чего один или два пневмозарядчика смонтированы непосредственно на шасси буровой каретки. На случай аварийной ситуации в забое устанавливается передвижной контейнер-убежище с баллоном сжатого воздуха из расчета на жизнеобеспечение шести человек в течении 5 часов портативными индивидуальными дыхательными аппаратами, домкратным блоком для вскрытия завалов, аптечкой первой помощи, ломami и радиотелефонами.

В качестве средств погрузки и транспортировки взорванной породы наиболее широко применяются и считаются перспективными погрузочные и погрузочно-доставочные машины ковшевого типа и автосамосвалы с устройством для нейтрализации выхлопных газов.

Заслуживает внимания также организационно-технологическая схема проходки подземных сооружений с новой схемой **контейнерного транспорта породы**, которая еще 5-7 лет считалась Шведско-Японской инновацией, а в настоящее время (в начале XXI века) является достоянием многих подземных сооружений в различных странах мира. Сущность данной технологии заключается в том, что порода после производства взрывных работ в забое бесперебойно грузится в большегрузные контейнеры, отвозимые по мере их наполнения на расстояние до 200 м универсальной базовой машиной, а в дальнейшем, на стадии бурения и зарядания шпуров, постепенно эвакуируются из тоннеля в отвал. Ныне оборудование этого типа выпускается уже тремя фирмами в Швеции, США и Германии. В Японии такая откатка в настоящее время применяется уже на 24 объектах.

Опыт применения подтвердил основные преимущества контейнерного транспорта, а именно:

- сокращение времени уборки породы из забоя;
- снижение капитальных и текущих затрат;
- снижение нагрузки на вентиляцию из-за отсутствия автосамосвалов;
- повышение уровня безопасности в забое;
- исключение ударных нагрузок на базовую машину (поскольку контейнеры во время погрузки устанавливаются на землю);
- возможность развития системы в многоцелевой технологический транспорт.

Установлена закономерность, что увеличение диаметра тоннелепроходческих машин приводит к увеличению мощности и стоимости агрегатов и к увеличению потребляемой энергии на разрушение 1 м³ породы и превышает 200 кВт/ч, что является экономически не выгодным, позволяет утверждать, что традиционный буровзрывной способ будет доминировать в ближайшие десятилетия во всем мире. Это положение относится и к тем странам, в которых стоимость оборудования составляет большую часть стоимости для достижения конечного результата, чем стоимость рабочей силы. Кроме относительно невысоких капитальных затрат, большим преимуществом буровзрывного способа является его гибкость, т.к. одним и тем же оборудованием можно осуществлять проходку тоннелей самых различных размеров и форм в самых различных горно-геологических условиях.

3.6 Безвзрывная экологически чистая технология проходки тоннелей гидромолотами

В 60-х годах была изобретена конструкция гидравлического ударного механизма, на основе которого разработан новый класс машин многоцелевого назначения – гидравли-

ческие молоты. Большой спрос на такие механизмы убедительно подтвердил перспективность выбранного направления механизации наиболее трудоемких и энергоемких процессов по разрушению как конструкций из бетона и железобетона, так и горных пород в особо сложных горно-геологических условиях, где взрывные работы нежелательно или невозможно использовать [37].

В настоящее время в мировой практике (в 70 странах мира) при строительстве тоннелей используется широкий спектр гидравлического ударного оборудования – от ручных гидравлических отбойных молотков массой от 11 до 25 кг до навесных гидромолотов массой от 75 до 6700 кг и энергией единичного удара от 190 до 15000 Дж.

Созданные гидравлические механизмы с большой мощностью ударных импульсов стали создавать на объектах подземного строительства серьезную альтернативу буровзрывной технологии разрушения, сопровождаемой образованием трещин в законтурном массиве и сейсмическим воздействием на близ расположенные сооружения на поверхности.

Во многих странах мира мощные гидромолоты стали применять для безвзрывной проходки выработок в массивах горных пород различной прочности.

Гидромолоты успешно использовались при проходке тоннеля на новой сицилийской автостраде № 20, соединяющей Мессину и столицу Сицилии Палермо, а также при проходке линий метрополитена в городе Катанья [38].

На участке автодороги № 20 необходимо было пройти два параллельных тоннеля стандартным сечением 96 м² в проходке и протяженностью 1400 м каждый. Породы в забое тоннелей представляли слоистый массив кварцевого песчаника и черно-серого сланца.

Первоначально проект был ориентирован на сквозную проходку буро-взрывным способом. Так как тоннель сооружался двумя участками (встречными забоями), то строи-

тельный консорциум проходку второго участка решил производить двумя гидромолотами типа НМ 950, навешенными на гидравлические экскаваторы Cat 225. Комплекс «экскаватор + гидромолот» использовался круглосуточно в три смены пять дней в неделю, обеспечивая проходку 3,5-4 м тоннеля в сутки. Технологическая производительность гидромолота составляла 16 м³/ч или 128 м³/смену.

Разрушенная порода грузилась погрузчиком в автосамосвалы без остановки работы гидромолота, т.к. такой организации работ позволяло большое сечение тоннеля.

После проходки верхней части сечения на глубину необходимую для установки временной металлической арочной крепи, экскаватор с навешенным гидромолотом перемещался на разрушение массива в нижней (уступной) части сечения тоннеля.

Металлическая арочная крепь устанавливалась с шагом 1 м. Затяжка между арками производилась металлической сеткой, поверх которой наносился слой набрызгбетона. Постоянная монолитная железобетонная крепь сооружалась после проходки уступной части тоннеля.

Проходка первого участка тоннеля осуществлялась буровзрывными работами с использованием двух буровых установок, каждая из которых имеет на манипуляторах по три буровые машины. В забое площадью 96 м² бурили 80 шпуров глубиной 4 м, что обеспечивало подвигание забоя за цикл (сутки) на 3-4 м. После взрыва до момента установки временной крепи проходило достаточно много времени необходимого для проветривания выработки, погрузки отбитой взрывом породы, закрепление кровли металлической сеткой и нанесения набрызгбетона. За это время в законтурном массиве развиваются нежелательные деформации, ослабляющие естественную несущую способность массива. Кроме образования трещин в законтурном массиве сечение тоннеля в проходке обычно получается с некоторым пере-

бором проектного значения, что приводит к перерасходу бетона.

Экономическая целесообразность безвзрывной проходки тоннеля гидромолотами оценивалась по соотношению затрат на приобретение используемых комплектов оборудования и расходуемых материалов.

Стоимость двух буровых установок, каждая из которых имеет на манипуляторах по три бурильных машины – стоит 531 тыс. долл. США, тогда как экскаватор Cat-225 и гидромолот НМ 950 вместе стоят только 187 тыс. долл. США. Значит можно купить два экскаватора, на каждый навесить гидромолот и это составит всего 70% расходов на буровые установки.

При буровзрывном способе проходки за цикл отбивается от забоя около 400 м^3 породы. Удельный расход ВВ – 2 кг/м^3 , цена взрывчатого вещества – $3,25\$/\text{кг}$. Следовательно, расходы только на взрывчатку для одной отпалки составит 2600% . Каждый из 80 шпуров требует детонатор, стоимость которого $1,37\%$, т.е. общая сумма затрат на детонаторы 110% . Доставка взрывчатого вещества к месту работы обходилась фирме примерно 94% . Поэтому стоимость одной серии взрывов, т.е. подвигание забоя за цикл (сутки) на 3-4 м составляет (в долл. США):

80 кг ВВ	-	2600
80 детонаторов	-	110
<u>расход на доставку</u>	-	<u>94</u>
ИТОГО	-	2804\$

Таким образом удельные затраты только на ВВ при взрывной отбойке составляют $7,3 \text{ \$/м}^3$.

При использовании на буровзрывной проходке гидромолота строительная фирма не несет этих ежедневных расходов. Разрушение массива гидромолотом не требует затрат сопоставимых с высокой стоимостью взрывных работ.

Число людей в бригадах, сравниваемых вариантов, было принято одинаковым. Погрузка и транспортировка раз-

рушенной породы, установка металлической арочной крепи (хотя осуществляется на разных стадиях процессов) требуют одинакового количества времени и трудозатрат для сравниваемых технологий.

Специалистами строительной фирмы было принято положение, что текущие затраты на эксплуатацию буровых установок и комплекса «экскаватор + гидромолот» можно принять в процентах от расходов. Поскольку начальная стоимость буровой установки выше, текущие расходы при безвзрывной технологии проходки можно считать на 30% ниже.

Таким образом, практический опыт проходки тоннеля в породах средней крепости показал, что при равной скорости проходки безвзрывная технология с использованием гидромолота обеспечивает конечную себестоимость работ на **30%** ниже по сравнению с буровзрывным методом.

Кроме того, преимущества использования гидромолота по сравнению с буровзрывным способом разрушения массива состоит в том, что сечение тоннеля может быть оформлено более аккуратно, с меньшим перебором, что дает существенную экономию бетона при сооружении постоянной крепи и снижение ее стоимости.

Примером убедительного использования гидромолотов является сооружение подземным способом линии метрополитена не глубокого заложения (8-10 м) в г. Катанья (Сицилия) в трещиноватых породах базальтовой лавы.

На проходке использовался гидромолот НМ-2200 установленный на экскаваторе Cat-235. Работа молота дала удовлетворительный результат в сочетании с предварительными взрывными работами.

Из-за небольшой глубины заложения тоннеля допустимое количество ВВ составляло 150 г на шпур, что недостаточно для разрушения породы до нужных габаритов. Заряды только предварительно дробили базальтовую лаву, облегчая последующую работу гидромолота и увеличивая его

производительность, которая составила 9,4 м³/ч или 75,2 м³/смену, обеспечив продвижение забоя на 10 м в неделю при двух рабочих сменах в сутки по 8 часов.

Пройденный тоннель крепился временной металлической арочной крепью с шагом 1 м. Межрамное пространство – торкретировалось. После оформления тоннеля на полное сечение монтировалась опалубка и возводили постоянную монолитную железобетонную крепь. Имеются данные о применении гидроударника при проходке двух тоннелей длиной 206 и 233 м и сечением 66 и 76 м² в гранодиоритах с прочностью на сжатие 100-200 МПа на объектах в префектуре Хёго (Япония) [39]. Проходку вели с предварительным образованием щели по контуру выработки. Оконтуренный массив породы разрабатывали навесными гидроударниками массой 2,9 т. Средняя скорость проходки тоннелей составляла 20 м/мес.

Приведенные выше примеры использования гидромолотов для безвзрывной проходки тоннелей убедительно показывают, что данная технология имеет свою область применения, где она наиболее эффективна: в породах средней прочности, т.е. в интервале между щитовым и буровзрывным способами проходки. В массивах крепких скальных пород эффективна технология безвзрывной проходки гидромолотами в сочетании с предварительным дроблением массива зарядами ВВ.

В крепких породах даже при создании щели по контуру выработки, но без предварительного дробления массива зарядами ВВ, целесообразность применения гидромолотов для разрушения породы – сомнительна.

3.7 Зарубежный опыт возведения набрызгбетонной крепи

Одним из наиболее перспективных способов поддержания горных выработок является использование несущей способности слоя породы, прилежащего к контуру горной

выработки. Зарубежный опыт строительства тоннелей показывает, что в настоящее время сооружение 30% тоннелей осуществляется новоавстрийским способом тоннелестроения, основой которого является сочетание анкерной и набрызгбетонной крепей. Оба данные вида крепей являются упрочняющими крепями, которые позволяют использовать несущую способность свежесобранного приконтурного слоя породного массива, упроченного анкерами и набрызгбетоном, для обеспечения устойчивости горной выработки.

Крепление выработок набрызгбетоном вполне технологично с точки зрения механизации процесса, так как все операции, начиная с загрузки набрызгмашин и кончая нанесением набрызгбетонной смеси на поверхность горной выработки, можно механизировать. Очевидные преимущества и широкий спектр возможного применения данного способа крепления позволяет использовать его как для устройства обделок тоннелей, так и для выработок различного назначения в горнорудной промышленности.

Набрызгбетонирование осуществляется с помощью различных специальных установок, которые по гибкому или жесткому трубопроводу нагнетают компоненты набрызгбетонной смеси в сопло. Известны два основных способа набрызгбетонирования – “сухой” и “мокрый”. При “мокроем” способе по трубопроводу к соплу подается затворенная (готовая) смесь, при “сухом” - сухая смесь, в которую вода подается на выходе из сопла. Первый способ распространен гораздо шире, чем второй. В обоих случаях при набрызгбетонировании происходит значительное пылеобразование. Однако, пыль, образующаяся при “сухом” способе менее опасна для здоровья, чем тончайшая аэрозоль, возникающая при “мокроем” возведении этого вида крепи.

В Германии разработаны мероприятия по повышению безопасности работ по набрызгбетонированию “сухим” спо-

собом. В работе [40] выделены три основных фактора вредного воздействия этого способа на человека:

- отравление парами ускорителей схватывания бетона;
- поражение компонентами бетонной смеси, отскакивающими от бетонируемой поверхности;
- пылеобразование.

Токсичные ускорители схватывания бетона наиболее вредны для здоровья работающего персонала. При их применении необходимо пользоваться перчатками, закрытой спецодеждой и специальными защитными шлемами. С помощью смонтированного на шлеме вентилятора загрязненный воздух всасывается в фильтр грубой очистки, откуда попадает во вторичный фильтр.

У рабочего персонала часто поражаются лицо и руки частицами разбрызгиваемой смеси, около 30% которой “отскакивает” от поверхности выработки. Снижение частоты поражения данными частицами сводится к отказу от применения в бетонной смеси заполнителя с острой ломаной поверхностью, оптимизации рабочего давления в набрызгбетонной машине, оптимальному положению сопла по отношению к обрабатываемой поверхности (расстояние около 1,5 м и под углом 90°). Специальный визир защищает лицо рабочего от попадания бетонной смеси. Смонтированный на нем светопрозрачный лист легко можно снять при загрязнении и заменить новым.

Пылеобразование при “сухом” способе набрызгбетонирования в той или иной степени неизбежно. Мелкая пыль попадает в атмосферу как из самой набрызгмашины (например, через уплотнительные детали), так и при выходе смеси из сопла. Часто высокая концентрация мелкой пыли образуется в месте загрузки смеси в бункер набрызгмашины. Пылеобразование можно существенно снизить за счет оптимального увлажнения исходной смеси (но не менее 3%), снижения высоты падения исходной смеси при загруз-

ке бункера, применения жидкого ускорителя твердения вместо порошкообразного, а также дополнительного оснащения бункера защитным кожухом.

При “сухом” способе бетонирования вода подается к распылительному соплу. Время смешивания воды с компонентами смеси определяется временем их полета от сопла до обрабатываемой поверхности выработки, которое составляет примерно 0,1 с. Этого времени явно недостаточно для смачивания пылеобразных частиц смеси. Снижение содержания пыли в районе сопла достигается правильным подбором состава смеси, путем оптимизации рабочего давления в бетонопроводе, совершенствованием конструкции сопла, а также разработкой нетрадиционных способов нанесения смеси на поверхность выработки. При добавлении специальных вяжущих составов в исходную смесь содержание пылеобразных частиц можно снизить в 10 раз. Рабочее давление в системе должно быть по возможности низким, но достаточным для того, чтобы избежать засорения ее. При этом диаметр бетонопровода должен быть по возможности меньшим, но не менее трехкратного размера наиболее крупной фракции заполнителя. Длина бетонопровода должна быть в пределах 30...100 м.

В случае применения очень сухой смеси (влажность менее 1,5%) эффективными могут быть распылители специальной конструкции, которые обеспечивают образование водяной завесы вокруг набрызгиваемой смеси. Для смесей влажностью 3-4% такие распылители не дают ощутимого снижения содержания мелкой пыли.

Традиционный способ возведения набрызгбетонной крепи в сочетании с роботами, отделенными от пульта управления примерно на 10 м, в значительной мере облегчает труд рабочих и позволяет защитить их от пыли и поражения частицами смеси. Однако такой способ не получил широкого распространения из-за высокой стоимости и не-

обходимости выделения значительного пространства в выработке для организации рабочего места. Фирма КУ-МАГАИ-ГУМИ (Япония) разработала способ возведения набрызгбетонной крепи в подземных сооружениях с пониженным пылеобразованием. Данный способ (метод К-С) может применяться для “сухого” и для “мокрого” набрызгбетонирования. Суть этого метода заключается в применении специальной сухой обеспыливающей добавки, которая вводится в сухую бетонную смесь. Пылеобразование при этом составляет 5 мг/м^3 и менее. В настоящее время этот метод беспыльного набрызгбетонирования применяется в Японии на семи объектах подземного строительства [41].

В практике мирового тоннелестроения при устройстве обделок получил распространение набрызгбетон с примесью стальных волокон. При использовании этого армирующего материала отпадает операция укладки арматурных сеток, а в некоторых случаях установки металлической арочной крепи. В результате каждый цикл проходки тоннеля сокращается примерно на 1 час. При строительстве тоннелей неглубокого заложения, например, в пределах города, такой метод значительно сокращает продолжительность их сооружения и приводит к экономии средств.

При применении в качестве обделки тоннелей бетонных тубингов или блоков те же набрызгмашины могут быть использованы для тампонажа закрепного пространства, образующегося при перемещении проходческой машины по кривой линии и в связи с наличием хвостовой трубы проходческого щита. В этом случае применяются два метода тампонажа закрепного пространства:

- нагнетание за обделку цементного раствора, повышающего ее жесткость;
- заполнение сыпучим материалом (обычно с окатанными зернами размером 4...8 мм), преимуществом которого является образование слоя, сравнительно мягко подпираю-

щего обделку тоннеля. При этом методе целесообразно использовать машины для «сухого» набрызгбетонирования.

Такие машины могут подавать смесь на расстояние 100 м. В серийное оборудование машин входит устройство дистанционного управления, что позволяет вести работы в автоматическом режиме.

Фирма ВЕКАЕРТ (Бельгия) разработала технологию получения бетона DRAMIX, армированного стальными волокнами для применения в строительстве различных сооружений, к которым предъявляются повышенные требования по прочности, износостойкости, ударной прочности, в том числе при возведении крепей и обделок способом набрызгбетонирования.

Для избежания образования комков волокон при приготовлении бетонной смеси было принято решение изготавливать их в виде склеенных пучков и загружать непосредственно в затворенную бетонную смесь. Склеенные пучки волокон при перемешивании смеси перераспределяются в бетонной массе, а затем под действием воды и трения заполнителя разделяются на отдельные волокна. В результате имеет место равномерное и однородное распределение волокон в бетонной смеси стандартным смесительным оборудованием.

Опыт показал, что волокна следует загружать при помощи бункера-дозатора после перемешивания всех компонентов бетонной смеси. Время смешивания последней со стальными волокнами обычно такое же, как и для других бетонных смесей. Транспортирование и укладка бетонной смеси со стальными волокнами осуществляется обычным способом и стандартным оборудованием.

На приготовление 1 м³ бетонной смеси DRAMIX расходуется 20...100 кг стальных волокон, для изготовления которых используют обычную сталь, сталь с антикоррозий-

ным покрытием или нержавеющей. Из обычной стали изготавливают волокна длиной 25, 30, 50, 60 мм, диаметром 0,4; 0,5; 0,8; 1,0 мм. Из стали с антикоррозийным покрытием изготавливают волокна длиной 40, 60 мм, диаметром 0,6; 0,8 мм, а из нержавеющей стали волокна длиной 30, 50 мм диаметром 0,4 мм и 0,5 мм. Прочность такого бетона на одноосное сжатие в зависимости от содержания стальных волокон в смеси составляет 50...60 МПа, при растяжении - 4,2...5,5 МПа.

Фирма ТЕЙСЕЙ (Япония) разработала высокопроизводительный (6...12 м³/час) автоматизированный комплекс для приготовления и набрызга бетонной смеси с дистанционно управляемым соплом на стреле экскаватора. Этот комплекс был успешно применен при строительстве ряда железнодорожных тоннелей. Основой технологической схемы являются две параллельные технологические линии, объединенные операцией смешивания SEC-раствора на стадии приготовления бетонной смеси.

На одной технологической линии изготавливается цементный раствор по методу SEC (дозировка, промывка, контроль влажности песка, смешивание с цементом, водой и добавками, перекачка растворомасосом в нагнетательную установку).

На другой - изготавливаются компоненты для сухого способа нанесения смеси на поверхность (гравий, песок, стальная фибра, цемент, химические добавки-ускорители схватывания и твердения), перемешанные компоненты поступают в набрызгмашину, а затем по трубопроводу в смеситель с SEC-раствором. Из смесителя готовая смесь через сопло наносится на поверхность бетона.

Данная технология позволяет получить однородный со значительным сцеплением с породой высокопрочный бетон, хорошо работающий как на сжатие, так и на растяжение. Прочность на сжатие составляет 50...60 МПа, проч-

ность на растяжение – 10 МПа. Такой бетон устойчив на динамические воздействия (землетрясения) за счет введения стальной фибры и химических добавок. Кроме того при такой технологии значительно уменьшается величина «отскока» бетонной смеси с 30% по традиционной до 10% по предложенной технологии.

В отчете, составленном в 1999 году Японской ассоциацией по строительству тоннелей **Japan Tunnelling Assotiation**, приводятся сведения о строительстве тоннелей в разных странах, где для устройства постоянной обделки применялся метод набрызгбетонирования.

Это железнодорожные тоннели:

- Hohdrich Tunnel (**Швеция**) – обделка толщиной 150 мм;

- Table Tunnel (**Канада**) – обделка толщиной 150 мм;

- Washington D.C. metro (**США**) – обделка толщиной 180 мм;

- French Tunnel (**Франция**) – обделка толщиной 100...200 мм в обычных условиях и 300 мм в слабых породах.

Все разработки по совершенствованию технологии возведения крепи и обделок способом набрызгбетонирования направлены как на улучшение качества получаемого бетона, так и на улучшение условий работы персонала занятого на этих работах. Набрызгбетонная крепь известна и применяется много лет как за рубежом, так и в нашей стране. Однако работы по совершенствованию ее технологии ведутся и в настоящее время.

Как было представлено выше, основными поражающими факторами в процессе набрызгбетонирования, являются отравление парами ускорителей схватывания бетона, механическое поражение отскакивающими компонентами

смеси и значительная запыленность рабочего места, обусловленная традиционной технологией.

В ДонНТУ (Украина) ведутся исследования и разработка метода набрызгбетонирования, сводящего к минимуму все вредные факторы одновременно. Для этой цели исследуется нетрадиционная взрывная технология набрызга. Этот способ защищен авторским свидетельством на изобретение и основан на нанесении бетонной смеси на поверхность горной породы с помощью энергии взрыва. При этом одновременно производится воздействие ударной волны на компоненты бетонной смеси и стенки выработки, что должно влиять на образование короткоживущих активных центров, которые повышают гидратационные свойства цемента и адгезию бетона с породой. Разрабатываемый способ исключает нахождение персонала в местах производства работ и практически исключает все перечисленные вредные воздействия на человека. Качество крепи при такой технологии повышается.

3.8 Нетрадиционная технология крепления подземных сооружений набрызгбетоном с непрерывной его обработкой

Первое сообщения о возможности процесса набрызгбетонирования было сделано в 1910 г. [42]. Создание конструкции крепи набрызгом бетона предусматривает нанесение слоя бетонной смеси на поверхность выработки посредством направленного потока воздуха. Бетонная смесь, наносимая со значительным скоростным напором (60...80 м/сек.), образует материал с прочностными показателями и сцеплением с породой большими, чем опалубочная смесь.

При нанесении смеси под напором частицы цемента с мелкими фракциями песка забиваются в пустоты и трещины породной поверхности восстанавливая нарушенный при-

контурный слой породы. Вследствие этого в систему сил, противодействующих смещению массива, включается дополнительная конструкция – восстановленная породная оболочка, которая работает в единой системе с набрызгбетонным покрытием, образуя конструкцию с высокой грузонесущей способностью.

Набрызгбетонное покрытие, нанесенное даже небольшим слоем, надежно предохраняет горные породы от разрушения внешними агентами, в результате чего породы сохраняют свои свойства неизменными на длительный срок. В обычных условиях прочность пород в приконтурной части выработки с течением времени падает до 60...70% начальной. Движение сухой набрызгбетонной смеси по трубам под скоростным напором воздуха повышает дисперсионность цемента и увеличивает число гидратирующих зерен. Это способствует повышению прочности набрызгбетона. Кроме того, возрастает плотность покрытия за счет трамбования материалов под действием вытекающих из сопла материалов.

Более высокая механическая прочность набрызгбетона позволяет в 2 раза уменьшить толщину крепи (по сравнению с бетонной, возводимой с помощью опалубки). Это снижает жесткость конструкции, а, следовательно, улучшает работоспособность крепи из-за лучшего использования упругого отпора пород, на 30...50% сокращает стоимость и на 10...35% уменьшает площадь поперечного сечения выработки в проходке [43].

В настоящее время в практике ведения горных работ используются два способа набрызгбетонирования – сухой и мокрый. При мокром подается обычная бетонная смесь, при сухом – сухая смесь, в котором вода подается на выходе смеси из сопла. Технологические и технические новшества мокрого способа набрызгбетонирования дают основания утверждать о его преимущественном распространении по сравнению с сухим. Однако, пыль, выделяющаяся при су-

хом способе, меньше опасна для здоровья, чем тончайшая аэрозоль, образующаяся при работе мокрым способом.

Однако, несмотря почти на 100-летнюю известность способа, существенными недостатками традиционных технологий набрызгбетонирования являются:

- высокая запыленность атмосферы в зоне работы, до 200...300 г/м³;
- потеря смеси до 30% в связи с её отскоком;
- технология не обеспечивает создания гладкой внутренней поверхности выработки и её строгих внутренних очертаний.

В зарубежной практике разрабатываются новые технологии набрызгбетонирования искореняющих перечисленные недостатки.

В Германии и Японии проводятся разработки по набрызгбетонированию в водяной или воздушной рубашке, создаваемой путем подачи воды или сжатого воздуха под напором через кольцевой зазор вокруг бетоновода. Однако устранить существующие недостатки в традиционной схеме набрызгбетонирования путем улучшения состава смеси технологии её приготовления, а также совершенствования конструктивных схем оборудования пока не удастся. В связи с этим в Японии в настоящее время разрабатывается новая технология набрызгбетонирования за экран, выполненный в виде бесконечной резиновой ленты с приводом, затирочной щетки или прессующей плиты. Такой экран не только гасит отскок бетонной смеси и пыль, но и непрерывно обрабатывает наносимый бетон, обеспечивая его равномерное уплотнение и отделку поверхности. Разработки в области технологии и механизации нового способа, организованные Корпорацией автомобильных дорог Японии и Национальной тоннельной ассоциацией, ведутся сразу несколькими фирмами и к настоящему времени вышли на стадию промышленных испытаний образцов оборудования на экс-

периментальных участках тоннелей. В основу всех этих разработок положен мокрый способ набрызгбетонирования с подачей смеси бензонасосом и введением ускорителя схватывания потоком сжатого воздуха непосредственно у сопла.

Рекомендуемые рецептуры бетонных смесей для различных вариантов новой технологии представлены в табл. 3.2.

Фирма «Saga Koge» порталную установку с гидроприводом у которой рабочий узел (заглаживающий экран с приводом и соплом) смонтирован на направляющей арочной раме и перемещается по ней, постепенно обходя весь контур свода. Ширина заглаживающей ленты составляет 1,2 м, длина её контакта с бетоном – 0,85 м. Сопло специального профиля ориентировано под острым углом к поверхности выработки и совершает возвратно-поступательное перемещение поперек экрана со скоростью 40 см/с, так что смесь ложится перпендикулярно к породе слоями и уплотняется лентой. Этим достигается наиболее прочное сцепления как между слоями бетона, так и между бетоном и породой. Подача экрана на заглаживаемую поверхность с усилием 10 кН обеспечивается гидромонитором. Управление рабочим циклом полностью автоматизировано. Направление заглаживания всегда осуществляется перпендикулярно направлению перемещения рабочего узла. Скорость перемещения рабочего узла по бетону 2,4 м/мин, в холостую – 6 м/мин.

Установка оборудована реверсивным ходом со скоростью перемещения 6 м/мин. Помимо направляющей рамы на ходовой части смонтирована вспомогательная рама с кондукторами коммуникаций, блок силового оборудования и управления, система промывки экрана водой под напором. Бетонная смесь подается по жесткому стальному бетонопроводу, ускоритель схватывания и сжатый воздух – по резиновым рукавам. В передней части установки на раздвиж-

ной двутавровой арке может быть смонтирована двутавровая торцевая пневматическая опалубка, наполняемая в рабочем положении сжатым воздухом при давлении 20...50 кПа и приобретающая максимальную ширину 2х50 см.

Таблица 3.2 – Рецепты бетонных смесей

Способ нанесения бетонной смеси	Традиционное набрызг-бетонирование	Набрызг с заглаживанием	Набрызг с радиальным пресованием	Заливка пластичной смеси с заглаживанием	
Характеристика компонентов					
1	2	3	4	5	
Максимальная крупность зерен заполнителя, мм	15	15	15	15	
Осадка конуса, см	8 ± 2	22 ± 2	15 ± 2	15 ± 2	
Водоцементное отношение	0,56	0,63	0,47	0,56	
Доля песка в заполнителе, %	60	70	52	60	
Дозировка на 1 м ³ смеси, кг					
	воды	200	240	180	202
	цемента	360	380	380	360
	песка	1086	1160	894	1037
	гравия	675	524	840	701
	ускорителя схватывания пластификатора	19,8	38	2208	36
	-	3,04	0,95	1,44	

Фирма «Suzita Koge» создала более мобильную установку аналогичного типа на гусеничном ходу с гидравличе-

ским стреловидным манипулятором рабочего узла, оснащенную системой программного управления обхода любого заданного профиля выработки. Ширина ленты рабочего узла составляет 1 м, длина его 1,2 м. Особенность рабочего узла данной установки заключается в том, что на половине длины ленты поддерживающие ролики могут быть выдвинуты в сторону заглаживаемой поверхности, что позволяет наносить и уплотнять бетон постепенно, добиваясь его высокого качества даже в местах значительного перебора породы до 20...50 см. данная установка может использоваться и для набрызгбетонирования с радиальным прессованием. В этом случае схватывание смеси начинается через 2 мин после нанесения, снимать рабочий узел (с неподвижной лентой) можно через 5 мин, в возрасте 15 мин бетон приобретает прочность на сжатие 20 МПа, прочность сцепления с породой на песчанике – 18 МПа, на граните – 16 МПа.

Фирма «Mizui Kenki» разработала и испытала порталную установку, рабочий узел которой оснащен двумя бесконечными лентами с выпуском сопла в зазор между ними. Это позволяет сократить технологический цикл за счет операции разворота одинарного рабочего узла при переходе с одного ската свода на другой. Испытание установки проводили в выработках сечением 15 и 42 м², причем подачу смеси производили заливкой без продува сжатым воздухом, что позволило абсолютно исключить как отскок так и запыленность. Крепление 1 м выработки сечением 15 м² занимало 1.5 часа, 28 суточная прочность бетона на сжатие составляла 28 МПа.

Фирма «Komazu Seisakuse» конструирует вариант технологии с укладкой смеси слоем 5 см под затирочную щетку, смонтированную на стреловидном манипуляторе самоходной машины. В настоящее время оборудование, обеспечивающее такую технологию, находится на стадии испытаний.

3.9 Микротоннельная технология при строительстве подземных сооружений

В 70-е годы в некоторых странах мира была начата разработка механизированных проходческих щитовых комплексов, обеспечивающих проведение выработок малым диаметром (до 1 м) на участках длиной до 200 м, расположенных на глубине до 10 м и управляемых дистанционно с поверхности, из стартовых или приемных колодцев или котлованов.

Первоначальное назначение щитовых комплексов малого диаметра - сооружение коллекторов без вскрытия земной поверхности для коммунальных служб и бестраншейной прокладки коммуникаций.

На сегодняшний день около **30 фирм** в мире выпускают более **100 типов** механизированных микрощитов диаметром менее 1 м и буровых машин для бестраншейной прокладки тоннелей и трубопроводов.

В России до настоящего времени строительство коллекторных сетей более чем на 95% случаев выполняются открытым способом, что связано с длительным нарушением дневной поверхности. В Украине, есть основания предполагать, положение с бестраншейной прокладкой тоннелей и трубопроводов - не лучше.

В зарубежной практике городского подземного строительства широкое распространение получили следующие бестраншейные закрытые способы проходки: шнековое бурение; ударно-импульсный и статистический проколы;

- горизонтальное бурение с промывкой скважин;
- микротоннелестроение.

Наиболее перспективная **микротоннельная технология**, с у щ н о с т ь которой заключается в продавливании колонн труб за механизированным микрощитом из забойных колодцев или котлованов. При этом продавливают по-

стоянную или временную конструкцию трубопровода с последующей заменой на постоянную.

В настоящее время в городском строительстве подземных сооружений микротоннельную технологию чаще всего применяют для следующих целей:

- бестраншейное сооружение новых коллекторов и трубопроводов в зонах сплошной застройки, где вскрытие земной поверхности сопряжено с большими трудностями;
- бестраншейная реконструкция канализационных сетей;
- устройство защитных экранов из труб по контуру тоннелей и станций метрополитенов.

Ниже представлены различные системы микротоннельных комплексов, изготовленные ведущими специализированными фирмами мира. Несмотря на большое разнообразие существующих систем, все они полностью механизированы и автоматизированы. ДВ состав каждого из них входят головной агрегат - щит с породоразрабатывающим органом, система погрузки и транспортирования грунта, возведения и гидроизоляции обделки, а также система дистанционного контроля и управления всеми агрегатами на базе бортовых компьютеров. Обделку коллекторов выполняют из стали, керамики, высокопрочного полиэтилена, чугуна и асбоцемента.

Комплекс **RVS-100A** был создан в Германии на опыте разработок машиностроительных фирм Японии. Предназначен для бестраншейной прокладки канализационных трубопроводов диаметром 350-500 мм способом продавливания с автоматизированным управлением.

Комплекс состоит из домкратной станции, ножевой секции, механизмов для разработки и удаления грунта и системы управления на базе ЭВМ. Домкратная станция отличается компактностью, благодаря чему при длине секции прокладываемой трубы 1 м для установки требуется стартовый котлован диаметром 2 м. Компактность оборудования

достигнута благодаря использованию короткоходовых продавливающих гидроцилиндров, упирающихся в поперечную балку, которая перемещается в направляющей раме. После продвижения трубы на величину хода гидроцилиндров, равную 150 мм, фиксаторы поперечной балки освобождаются и труба перемещается вперед в соответствующем направлении.

Ножевая секция длиной 80 см и диаметром на 2 мм превышающим наружный диаметр продавливаемой трубы снабжена элеронами, которые предотвращают ее закручивание, и управляемым ножевым кольцом длиной 20 см, управление которым производится автоматически с ориентацией по лазерному лучу, наводимому с расположенного в стартовом котловане излучателя на смонтированную в ножевой секции фотоматрицу.

Предложенная система коррекции направления сооружаемого трубопровода и управляющая ЭВМ через каждые 10 см проходки автоматически подает команды на гидроцилиндры, что обеспечивает управление технологическим процессом без участия человека. При необходимости возможен переход и на ручное управление с пульта на основании поступающей на дисплей информации.

Разработка грунта в забое производится планшайбой закрытого типа с четырьмя прямоугольными отверстиями размером 70x40 мм, через которые грунт поступает в герметичную воронку, откуда выводится шнеком по стальной трубе диаметром 150 мм и ссыпается в установленную на дне котлована бадью. Привод общего вала планшайбы и шнека обеспечивается двигателем. При погружении каждой очередной секции продавливаемой трубы вместе с соответствующими секциями стальной трубы и шнека в котловане производят операции наращивания кабелей связи. Секции продавливаемых труб свинчиваются с прокладками уплотнительных колец между ними, благодаря чему пространство

трубопровода не загрязняется в процессе проходки грунтом и грунтовой водой.

При длине участка проходки между колодцами порядка 60 м максимальное усилие домкратной станции должно составлять 240 кН. Комплекс обеспечивает скорость проходки 1,0-1,2 м/ч, причем собственно выемка грунта занимает около 30% всего рабочего времени, а остальное время приходится на операции по наращиванию трубопровода, шнека и кабелей. Комплекс обслуживается тремя квалифицированными рабочими.

Комплекс мини-щита **WBM-L12** предназначен для бестраншейной прокладки труб диаметром от 900 до 1200 мм. Одним из основных преимуществ модели L12 является буровая головка с регулируемой скоростью и непосредственным приводом мощностью 35 квт. Буровая головка сконструирована таким образом, что планшайба или буровые головки могут быть закреплены в зависимости от специфики разрабатываемого грунта. Для перемещения породы могут быть использованы шнек, ковшовая или конвейерная система. Раздельный привод на буровую головку и конвейерную систему позволяет использовать модель L12 на расстоянии свыше 150 м.

Как шнековые буровые машины, так и машины с конвейерной системой для транспортировки породы имеют недостаток, заключающийся в том, что во время бурения доступ к фронтальной части машины невозможен. Это требование может быть выполнено в случае, если режущий орган с приводом может быть вынесен за пределы продавливаемой трубы. Конструкция буровых машин **WBM – C10** основана на данном принципе. Система включает в себя передвижной контейнер, перемещающийся внутри трубы, соединенный с буровой головкой, которая находится в трубчатом кожухе щита. Контейнер снабжен приводным двигателем, который приводит в действие как буровую головку, так и шнековый конвейер внутри контейнера. При проходке

контейнер соединен с буровой головкой. Разработанный грунт автоматически поступает в контейнер. Емкость контейнера позволяет осуществлять проходку примерно 0,5 м за цикл. Когда контейнер заполняется, его удаляют в стартовый котлован, опорожняют, перемещают назад и присоединяют к буровой головке. Этот принцип подходит также для буровой головки, которая может быть изъята вместе с конвейером для того, чтобы заменить буровую головку или буровые коронки. При этом можно разрабатывать очень разнообразные породы, поскольку буровую головку можно заменить в зависимости от геологических условий.

В последние годы компанией "Исеки Политех" разработан новый комплекс "**Кранчинг-Моул**" для проходки микротоннелей диаметром 600-800 мм с механизмом для дробления камней размером до 20% диаметра тоннеля. В головной части щита грунт вместе с каменистыми включениями вдавливается в камеру дробления и перерабатывается эксцентрично установленной конической дробилкой до 2,5 см. Затем измельченный грунт смешивается с водой и в виде пульпы удаляется на поверхность земли. Стоимость такого комплекса в пределах 900 тыс. долл. США.

Комплекс "**Анкл-Моул**" предназначен для проходки микротоннелей диаметром 250-1400 мм и оборудован механизмом дробления камней размером до 30% диаметра лба забоя. Стоимость каждого комплекса составляет 400-600 тыс. долл. США.

Бестраншейное сооружение новых коллекторов и трубопроводов с применением микротоннельной технологии наибольшее распространение получило в **Японии**. Начиная с 1985 г. крупнейшей компанией "Исеки Политех" создано более 250 щитовых комплексов для прокладки микротоннелей диаметром 360-1200 мм, а всего в Японии насчитывается более 800 таких комплексов [44]. Микротоннельные комплексы этой компании оборудованы дистанционным или автоматизированным управлением и позволяют

продавливать трубы на длину 100 и более метров в широком диапазоне грунтовых условий и с высокой точностью $\pm 30-50$ мм.

Корпорацией "Кавасаки Стил" разработан комплекс для бестраншейного сооружения коллекторов и трубопроводов диаметром 900 мм и длиной до 200 м [45]. Вначале сооружают два шахтных ствола, в одном из которых размещают гидропривод, контролирующий блок, домкратную установку для продавливания и головной породоразрабатывающий агрегат. Работы ведутся в две стадии: вначале проталкивают буровой агрегат с помощью которого разрабатывают и удаляют грунт, а затем – звенья железобетонной обделки тоннеля. Контроль за направлением головного агрегата осуществляется лазерным оптическим прибором. Точность прокладки тоннеля на расстоянии 200 м составляет ± 40 мм.

В японском городе Кавасаки микротоннельным комплексом М-11 сооружен кабельный коллектор диаметром 1440 мм и длиной 111 м. Работы вели на мелком заложении в обводненных песках. Щитовой агрегат оснащен пригрузочной шламовой камерой, шнековым погрузчиком и вакуум-насосом мощностью 75 кВт для пневмотранспорта разработанного грунта. Микротоннель был пройден в течение 1 мес.

В Германии г. Гамбурге с применением микротоннельного комплекса фирмы "Херренкнехт" были сооружены пять коллекторных тоннелей общей длиной 400 м в водонасыщенных песках и гальке [46]. В используемых комплексах предусмотрено гидротраншентирование грунтовой пульпы. Роторный рабочий орган выполнен в виде конической головки, причем для головки в глинистых грунтах его оснащают сегментными пластинами с дисковыми скалывателями. Средняя скорость проходки микротоннелей диаметром 620 мм составила 10-12 м за 10 часовую смену.

В г. Нюрнберге микрощитовым комплексом фирмы "Вирт" был пройден коллекторский микротоннель диаметром 800 мм и длиной 150 м под дорогой на глубине 4-9 м. Щит оборудован шламовой пригрузочной камерой и планшайбой со штырьевыми резцами, а также системой дистанционного управления и лазерным визиром. Скорость проходки составляла 4-12 м/сутки.

Фирма "Вестфалия Люнен" построила с применением микротоннельной технологии более 20 км трубопроводов диаметром 250-800 мм. Всего в Германии построено более 250 км канализационных коллекторов. За последнее десятилетие среднегодовой объем строительства трубопроводов составил 850 км, а капитального ремонта - 720 км.

Микротоннельная технология в практике сооружения коллекторов получает распространение во Франции, США, Англии и др. странах.

В России микротоннельную технологию (оборудование германской фирмы "Херренкнехт") применяли на объекте СУ-64 треста ГПР на Тайнинской улице в г. Москве.

В настоящее время наметились тенденции прокладки трубопроводов микротоннельными комплексами не только под препятствиями (дорогами, насыпями, реками), но и просто протяженных и разветвленных инженерных сетей. При этом отмечается увеличение плеча проходки между стволами с 20-70 до 100-150 м.

Бестраншейная реконструкция канализационных сетей состоит в использовании бестраншейной технологии ремонта вышедших из строя труб канализации с помощью комплекта оборудования, состоящего из механического труболомного снаряда, натяжного устройства и силового агрегата. Незначительная масса оборудования и легкость обслуживания обусловили его широкое применение при реконструкции и ремонте канализационных систем. Труболомный агрегат состоит из сегментов, которые в рабочем состоянии раскрываются и разбивают старые канализаци-

онные трубы. Вслед за труболомным снарядом проталкиваются секции новых труб, которые механически соединяются, образуя трубопровод.

Мировым лидером данной технологии является фирма "Треншлез Техноложи" (Англия), которая выпускает снаряды двух моделей ММ-1 и ММ-2 для труб диаметром 200 и 300 мм. Каждый из них может расширить старый трубопровод до скважины диаметром соответственно 280 и 380 мм. Длина труболомного снаряда ММ-1 - 0,8 м, а вместе с задним щитовым элементом (гидравлическим тараном) - 1,1 м, масса 140 кг. Длина снарядов ММ-2 - 1,1 м, а щитовым элементом 1,5 м, масса 180 кг.

Технологический цикл бестраншейного метода ремонта канализационных сетей заключается в следующем.

На первом этапе через входные колодцы и существующий трубопровод протягивают натяжную цепь. На следующем этапе труболомный снаряд опускают через входной колодец с помощью небольшой лебедки. Закрепленный к цепи, подтягиваемый лебедкой расположенной на поверхности, труболомный снаряд приводят в действие, раскрывают его металлические сегменты ударного действия, которые разбивают старую трубу. Осколки трубы под давлением снаряда вдавливаются в окружающий грунт. При необходимости диаметр скважины расширяют несколькими проходами труболомного снаряда. На последнем этапе протягивают секции нового трубопровода. Расстояние между колодцами ремонтируемого трубопровода составляет около 100 м.

Для перемещения необходимого оборудования требуется транспорт средней грузоподъемности, так как общая масса перемещаемого оборудования составляет полторы тонны.

Создание механизированных и полностью автоматизированных проходческих комплексов малого диаметра, возможность производства работ в широком диапазоне инже-

нерно-геологических условий от полускальных и мягких до слабых водонасыщенных грунтов с включениями гальки и валунов, позволило расширить область применения микро-тоннельной технологии.

Устройство защитных экранов из труб по контуру тоннелей различного назначения или односводчатых станций метрополитенов, под прикрытием которых происходит раскрытие этих выработок было апробировано тоннелестроителями в 80-х годах [47] и в настоящее время применяется во многих странах мира.

Так в г. Атланте (США) при строительстве перегонных тоннелей метрополитена расположенных под скоростной автомагистралью в слабых породах на глубине 3 м (от свода тоннеля до поверхности автомагистрали) применили опережающую крепь из пройденных по контуру микротоннелей, закрепляемых стальными трубами и заполняемых бетоном [48].

Два однопутных тоннеля в г. Аклахоме (США) подковообразного поперечного сечения пролетом 6,4 и высотой 7 м проходили на расстоянии 11,5 м (в осях) на глубине 2 м от поверхности магистрали. Насыпь сложена слабоустойчивыми песчаниками и гравелитами грунтами, подстилаемые гнейсом. В этих условиях для проходки контурных выработок впервые в США использовали микротоннельный комплекс "AVN"-300 диаметром 770 мм немецкой фирмы "Херренкнехт". В состав комплекса входит щитовой агрегат с роторным рабочим органом и пригрузочной камерой, заполняемой под давлением бентонитовой суспензией. Работы вели из стартовых котлованов, продавливая 6-метровые секции стальных труб диаметром 762 мм гидравлическими цилиндрами с усилием 3400 кН. Секции соседних микротоннелей соединяли между собой замковыми устройствами. Контроль за направлением продавливания осуществлялся по лучу лазера компьютерной системы. После задавливания стальных секций их заполняли бетонной смесью и разраба-

ывали грунтовое ядро тоннелей, подкрепляя секции арочной крепью. В последнюю очередь возводили обделку из монолитного бетона толщиной 500 мм. В процессе строительства перегонных тоннелей вели инструментальные измерения осадок насыпи и деформаций дорожного полотна. Был обнаружен незначительный (до 6 мм) подъем поверхности земли.

С применением микротоннельной технологии был возведен экран из труб при строительстве пешеходного тоннеля под автомагистралью в г. Сингапуре (Австралия) [49], которая является самой напряженной в городе и пропускает в сутки до 200 тыс. автомобилей. Для пересечения данной магистрали пешеходами ранее были сооружены три пешеходных тоннеля, причем два из них строили открытым способом и один - способом продавливания. Несмотря на то, что строительство открытым способом оказалось на 5% дешевле, новый тоннель сооружали закрытым способом микротоннельной технологией под экраном из труб.

Строительство тоннеля начинали с возведения стартового и финишного котлованов по обе стороны магистрали. Стартовый котлован размерами в плане 10х6 м и глубиной 12 м и финишный 10х3 глубиной 10 м закрепляли свайной крепью. Тоннель прямоугольного поперечного сечения размером 5,4х3,5 м заложен в глинистых грунтах с прослойками ила и включениями гранита на глубине 10 м от поверхности земли. Экран из 29 труб диаметром 500 мм и длиной 40 м сооружался с помощью микротоннельного щитового комплекса фирмы "Иссеки-Политех" (Япония) с дистанционным управлением. Трубы располагались по перекрытию и стенам тоннеля и соединялись между собой замковыми устройствами из труб меньшего диаметра (100 мм). Щит был оборудован режущими дисками, смонтированными на коническом роторе. Темп продавливания труб изменялся от 200 мм/мин. в мягких глинах до 35 мм/мин. в твердых глинах с включениями гранита. Усилие продавливание увели-

чивалось с 100 до 800 кН. Трубы диаметром 500 мм с толщиной стенок 9 мм продавливали звеньями по 3 м и соединяли между собой электросваркой. Отклонение труб экрана от проектного положения не превышало 23 мм.

Проходку тоннеля под экраном из труб вели по технологии горного способа из забойного котлована. Через каждые 3 м возводили замкнутые рамные конструкции из стальных прокатных балок, впоследствии омоноличенных бетоном. Продавливание труб заняло около 3 мес., а строительство тоннеля завершили через полгода.

Микротоннельная технология была применена при сооружении станции "Венеция" метрополитена г. Милана (Италия). Подземная односводчатая станция длиной 216 и пролетом 28,2 м с двумя боковыми платформами заложена под застроенной территорией на глубине 3,9 м от поверхности земли в несвязанных и слабоустойчивых грунтах, причем уровень грунтовых вод располагается выше подошвы станции. Сводовую часть станции раскрывали под защитой экрана из 20 железобетонных труб диаметром 1 м и длиной 216 м, которые были продавлены в предварительно пройденные микротоннели, пройденные по контуру сводовой части односводчатой станции.

В 80-х годах в США была создана система **Guide Drill** проходки микротоннелей диаметром 100-150 мм и длиной до 120 м с помощью радиолокационного оборудования, позволяющая сооружать тоннели на глубине от 3 до 15 м от поверхности земли. Данная система основана на струйном методе разрушения легких пород в сочетании с механической разработкой.

В состав оборудования входят силовой агрегат на автомобильном шасси, рабочий орган в виде буровой штанги, объединенный со струйным монитором, а также устройство для удаления разработанного грунта, локационные приборы и пр. Силовой агрегат оборудован бурильной установкой, обеспечивающей вхождение проходческого элемента в

грунт, а также вращение сопла при работе. Смесь бентонита с водой нагнетают в грунт под давлением до 25 МПа, причем расход бентонита зависит от свойств грунтов и составляет от 6 в глинах до 30 л/мин. в песках. Для разрушения встречающихся каменистых включений используется буровая штанга из твердых сплавов. К преимуществам такой технологии относятся достаточно высокая точность проходки, возможность ведения работ под различными препятствиями на глубине от 3 до 15 м от поверхности земли с минимальными осадками, исключение стартового забойного колодца или котлована.

Первоначально система Guide Drill была предложена для замены кабелей. В настоящее время используется для прокладки газа и телекоммуникаций. С помощью этой системы в США проложено коммуникаций общей длиной более 1500 км. Производство работ по прокладке коммуникаций данным способом рассчитано на бригаду из трех человек - один следит за передвижением проходческого элемента с помощью радиолокатора, другой направляет работу проходческого элемента, третий наращивает секции обсадных труб. Метод можно применять для микротоннелей любой длины, используя промежуточные входные котлованы. Фирма-разработчик планирует расширить применение данной системы для прокладки коммуникаций большого диаметра.

Разрабатываются также исполнительные органы перспективных типов с разработкой грунта высоконапорными водяными струями, а также термическим способом с помощью газовых горелок. Для экскавации разработанного грунта с бентонитовой эмульсией использовать вакуумный отсос.

Выводы

Существующий зарубежный опыт применения микро-

тоннельной технологии в прокладке коммуникаций и строительстве подземных сооружений позволяет определить данную технологию как перспективную для следующих направлений:

- сооружение новых подземных коммуникаций бестраншейным способом;
- бестраншейная реконструкция подземных коммунальных сетей;
- устройство защитных экранов из труб по контуру тоннелей и односводчатых станций метрополитена.

Установлено, что микротоннельная технология имеет следующие преимущества:

- стоимость работ не превышает стоимость работ открытым способом; работы могут производиться в любых грунтовых условиях;
- прокладка трубопроводов между колодцами или котлованами ведется изолировано от других работ по сооружению коммуникаций;
- производство работ ведется с незначительными нарушениями дневной поверхности (только для устройства стартовых и финишных колодцев);
- способ обладает минимальными экологическими последствиями.

3.10 Сооружение тоннелей проходческими комплексами со ступенчатым рабочим органом и квазиквадратной формой поперечного сечения выработки

Строительство подземных сооружений буровзрывным способом неизбежно связано с нарушением породного массива, а в ряде случаев и с нарушением поверхностных условий. Поэтому, наряду с дальнейшим совершенствованием техники и технологии буровых и взрывных работ при проведении выработок большого сечения предпринимаются

попытки более широкого внедрения тоннелепроходческих машин (ТПМ) с рабочим органом роторного действия, обеспечивающего высокие скорости проходки, превышающие в несколько раз темпы проведения выработок буровзрывным способом.

Сопоставление затрат на проходку тоннелей буровзрывным и механизированным способами показывает, что при строительстве протяженных тоннелей более экономичным является применение ТПМ. Так, по данным, приведенным [50], использование ТПМ при проходке тоннеля длиной 14 км и диаметром 5,5 м в Гонконге привело к удешевлению строительства в 3 раза, а при проходке тоннеля длиной 4,5 км и диаметром 2,5 м - на 25% по сравнению с буровзрывным способом.

Сейчас ТПМ начали применяться в таких условиях, которые ранее считались для них неблагоприятными: в твердых гранитах Гонконга, в слабых грунтах на Тайване, в базальте в Калифорнии. Прочность пород в 300 МПа уже не считается предельной для ТПМ. Проходка стала более экономичной за счет увеличения диаметра шарошек, скорости вращения рабочего органа, улучшения качества строительных материалов и пр. В мировой практике за два десятилетия (1970-1990 гг.) наблюдался быстрый рост использования роторных ТПМ в тоннелестроении. Так, если в 1970 г. протяженность сооруженных тоннелей данным способом составляла 50 км/год, то в 1990 г. - 210 км/год. Распространяется область их применения, совершенствуются конструкции машин и технология проходки.

Во многих странах мира накоплен значительный опыт применения роторных ТПМ при проходке тоннелей малых и средних диаметров (до 5-6 м). В последние годы созданы ТПМ для проходки автодорожных, железнодорожных и гидротехнических тоннелей, диаметр которых достигает 12-14 м с установленной мощностью двигателей - 3 тыс. кВт. В

наибольшей степени ТПМ большого диаметра используются в Швеции (45%), США (25%) и в Китае (20%) [51].

Эти машины имеют рабочий орган, оснащенный 60-80 дисковыми шарошками, с помощью которых разрабатывается порода. Рабочий орган соединен с телескопическим корпусом, состоящим из двух частей, которые попеременно распираются в контур выработки радиальными гидроцилиндрами и обеспечивают поступательное движение машины.

При проходке тоннелей ТПМ работы по погрузке, транспортированию породы, установке временной крепи и возведению обделки ведут по технологии горного способа сплошного забоя с использованием стандартного горнопроходческого и бетоноукладочного оборудования, анкерной, арочной и набрызгбетонной крепи.

Несмотря на высокую стоимость ТПМ большого диаметра (около 500 тыс. долл. США за 1 м диаметра рабочего органа), применение их оправдано, т.к. обеспечивает эффективную технологию проходки тоннелей с большими скоростями.

Так, при строительстве в 1999 г. в г. Милуоки (США) канализационных и коллекторных тоннелей общей протяженностью 3,4 км в толще доломитовых известняков на глубине 90 м от поверхности земли с применением ТПМ фирмы «Роббинс» диаметром 9,75 м были достигнуты рекордные скорости проходки: за три смены было пройдено 48 м с разработкой 6000 м³ породы [52]. Так же был пройден тоннель диаметром 9,1 м и длиной 6,5 км в скальных породах ТПМ фирмы «Роббинс» (модель 321) со средней скоростью 27,7 и максимальной 48 м/сутки. Используя новую модель ТПМ 354-253 на строительстве тоннелей водопропускной системы в г. Чикаго, установили мировой рекорд скорости проходки. ТПМ диаметром 10,8 м было разработано 4500 м³ породы и пройдено 49 м тоннеля в сутки.

Несмотря на высокие технико-экономические показатели сооружения тоннелей большого диаметра тоннелепроходческими комплексами, дальнейшее увеличение их диаметра (более 12 м) признано нецелесообразным по ряду обстоятельств. Прежде всего, с увеличением диаметра рабочего органа возрастают усилия передвижения рабочего органа, возрастают усилия передвижения ТПМ (линейно) и требуемый момент его вращения (пропорционально квадрату диаметра). Из-за ограничения линейной скорости шаршек максимальным значением 1,5 м/с при большом диаметре рабочего органа оказывается возможной частота его вращения лишь порядка 2 об/мин. При этом максимальная скорость продвижения ротора не может превышать 1,2 м/ч, и, значит, средняя скорость проходки с учетом возможностей современных средств механизации процессов откатки и крепления будет не намного выше, чем при буровзрывном способе. К тому же возрастает линейный пробег шаршек, что требует их частой замены.

При сплошном разрушении забоя с увеличением диаметра машин повышаются установочные мощности двигателей до 2-3 тыс. кВт и расход электроэнергии увеличивается в 10-20 раз по сравнению с расходом для машин меньшего диаметра и превышает 200 кВт/ч на 1 м³ разрушаемой породы.

Следует также учитывать, что при увеличении диаметра ТПМ время, в течение которого незакрепленная выработка остается устойчивой, уменьшается. Если это время мало то выработку необходимо закреплять непосредственно за рабочим органом ТПМ, что снижает производительность проходки.

Таким образом, увеличение диаметра ТПМ приводит в конечном итоге к существенному возрастанию потребляемой мощности, стоимости агрегата и сооружения.

Важным этапом в совершенствовании ТПМ при проходке тоннелей больших диаметров явилось создание гер-

манской фирмой «Вирт» машин нового поколения со **ступенчатым рабочим органом**, позволяющим постепенное увеличение диаметра тоннеля на 3-4 м.

Для проходки участка тоннеля длиной 3,0 км автодорожного тоннеля Керенцер в Швейцарии в меловых отложениях и известняке применили 3-х ступенчатый комплекс, включавший пилот-ТПМ диаметром 3,5 м и расширитель ТВЕ IVH диаметром 7,7 м и ТВЕ VIIH диаметром 11 м (рис. 3.8) и ранее применявшийся комплекс для проходки тоннеля Зоннебера диаметром 10,46 м.

Пилот-ТПМ была оснащена двухдисковыми шарошками, а расширители - однодисковыми, причем для оконтуривающих шарошек большего из расширителей применили специальную конструкцию, повысившую их срок годности до 300 м проходки. Средняя скорость проходки составила 10, а максимальная - 24 м/сутки.

Трехступенчатую ТПМ фирмы «Вирт» (модели ТВ II) применили в 1995 г. на строительстве двух параллельных автодорожных тоннелей длиной по 2,5 км под горным массивом Юра вдоль оз. Невшатель в Швейцарии в толще мергелей, известняков и меловых отложений [53]. Первая ступень машины осуществляла проходку пилот-тоннеля диаметром 3,7 м, вторая - расширение выработки до 7,7 м, а третья - до 11,3 м. Рабочий орган пилот-ТПМ имеет 22, первый расширитель - 46, а второй - 50 однодисковых шарошек. На рабочем органе второго расширителя установлены также фрезерующие приспособления для разработки углов выработки с целью придания ей подковообразного очертания.

Технологический комплекс имеет длину 140 м и массу 200 т мощность приводного рабочего органа 2000 кВт (у одноступенчатого 3000 кВт). По мере проходки тоннеля на ряде участков устанавливали временную крепь, а затем возводили бетонную обделку. Средние скорости проходки пилот-тоннеля составляли 20, а основного тоннеля - 9 м/сутки.

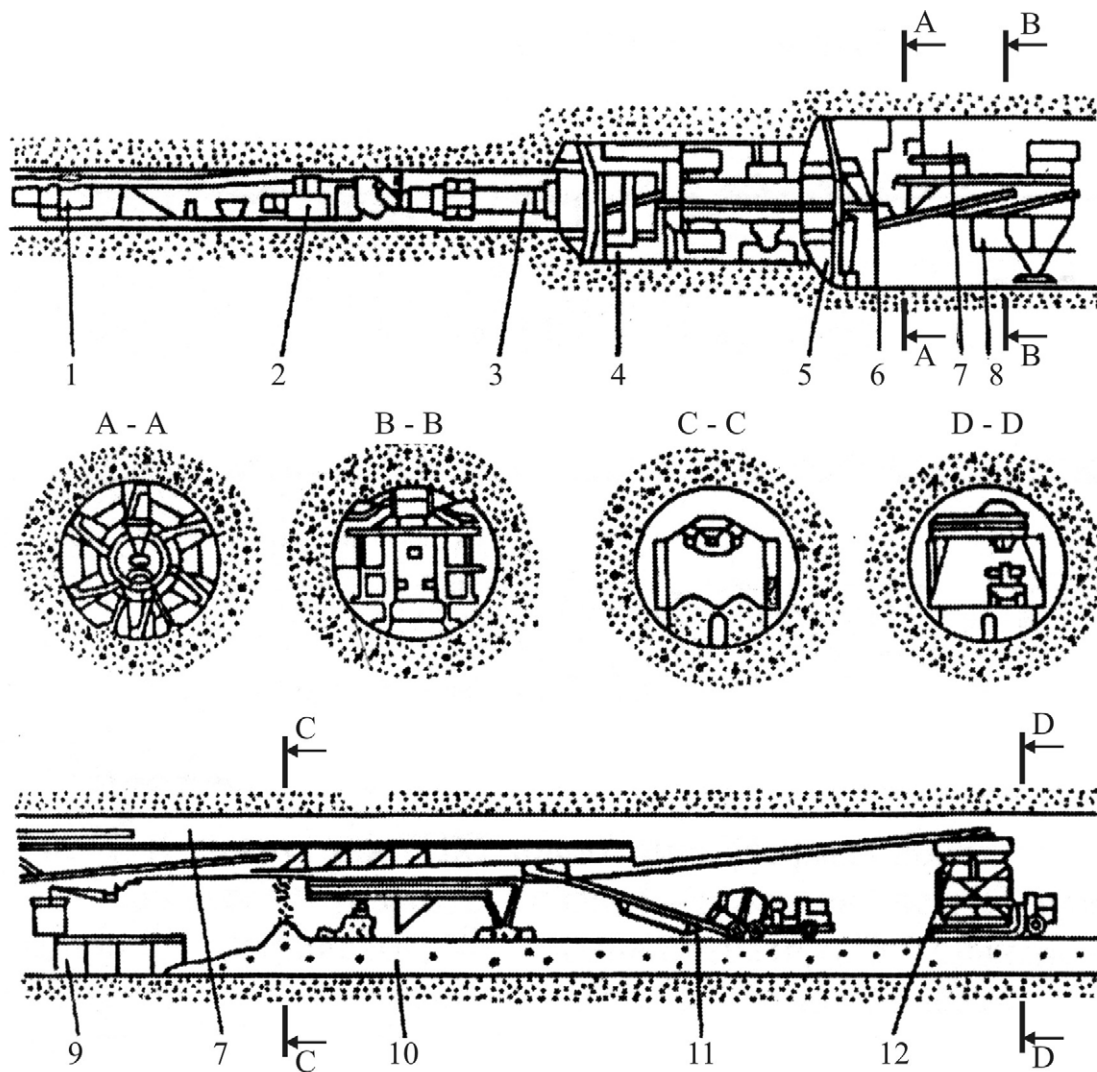


Рис. 3.8. Схема проходки тоннеля Керенцер ступенчатой ТММ
 1 – вентилятор; 2 – насосная станция малого расширителя; 3 – малый расширитель (диаметр 7,7 м); 4 – шагающая крепь; 5 – большой расширитель (11,0 м); 6 – станок анкерного крепления; 7 – набрызгбетонамашина; 8 – насосная станция большого расширителя; 9 – лотковые элементы; 10 – грунтовая отсыпка; 11 – транспортировка бетонной смеси; 12 – погрузка породы в автосамосвалы

На основе положительного опыта строительства данного объекта трехступенчатой ТММ фирма «Вирт» разработала одноступенчатый расширитель большого диаметра, для которого диаметр пилот-тоннеля должен составлять 40% диаметра тоннеля. Новые расширители имеют не гусеничный, а шагающий ходовой механизм, аналогично ТММ сплошного действия.

В последнее время предпринимаются попытки расширения области применения ТПМ для проходки выработок не только кругового, но и любого очертания. Это достигается сочетанием механической разработки с буровзрывными работами, как это было сделано при проходке двух параллельных тоннелей в Бергене (Норвегия) и железнодорожного тоннеля Макдональд в Канаде.

Другим направлением является создание таких рабочих органов, которые позволяют разрабатывать выработки сводчатого и прямоугольного очертания, т.е. **квазиквадратной формы** поперечного сечения без применения буровзрывных работ. Такая первая ТПМ фирмы «Роббинс» прошла испытания в Норвегии.

Машина марки ММ 120-3001 снабжена рабочим органом в виде режущего диска, ось которого расположена перпендикулярно оси тоннеля (рис. 3.9). По наружной поверхности диска размещены 28 породоразрушающих инструментов диаметром 432 мм. Он приводится во вращение с частотой 13,5 об/мин. и поворачивается в обе стороны, разрабатывая породу по всей плоскости забоя. Осевые усилия подачи на диск создаются системой гидравлических домкратов, удерживающих его в заданном направлении.

Оригинальная модель ТПМ «Мобил Майнер» НМ-130 разработана фирмой «Роббинс» и «Пасминко» [54]. Машина массой 277 т имеет рабочий орган в форме диска, установленного вертикально на подвесной стреле, которая может перемещаться в поперечном направлении, создавая выработку прямоугольного сечения пролетом 5,5-8 м и высотой 4,1 м.

В Канаде проходит испытания новая ТПМ, разрабатывающая породу раскаткой лидерной скважины дисковыми шарошками (резание и скалывание). Машина предназначена для проходки как круговых, так и некруговых выработок различных размеров. Сейчас ТПМ работает в квазиквадратной выработке 4,6x4,6 м в сверхкрепких породах.

Производительность ее в 6 раз выше, а затраты энергии в 2 раза ниже, чем в обычных ТПМ.

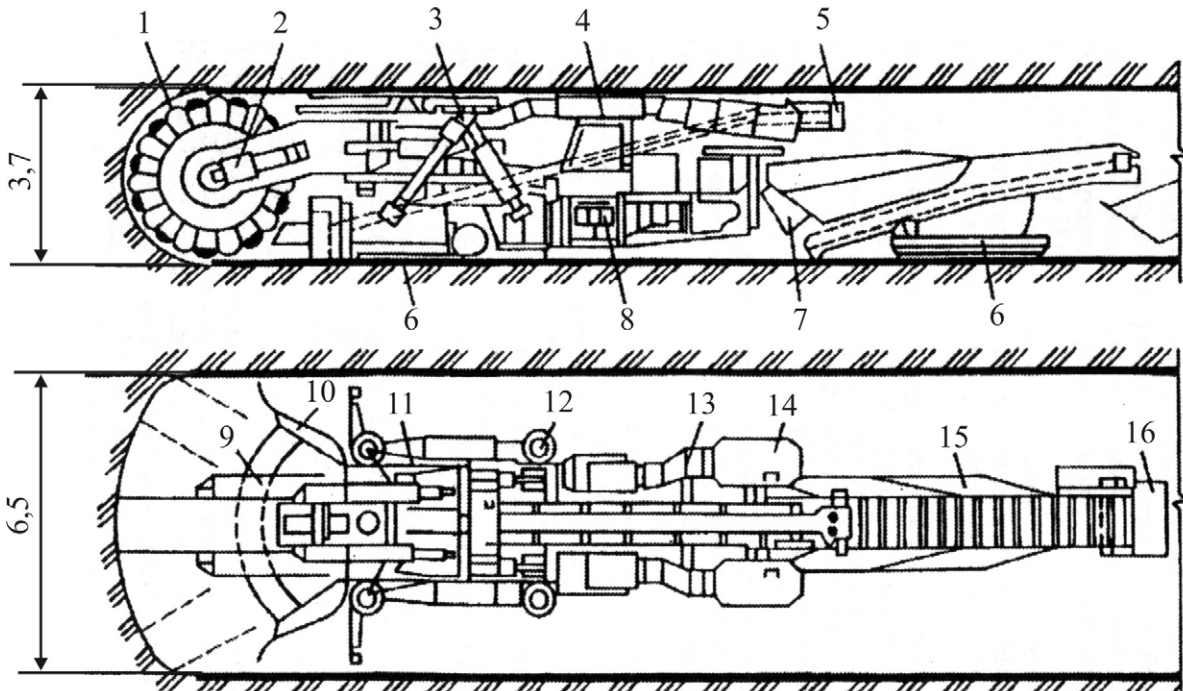


Рис. 3.9. Конструкция ТПМ нового типа (фирма «Роббинс»)
 а – продольный разрез; б – план; 1 – режущий диск; 2 – привод; 3 – распорное устройство; 4 – кабина оператора; 5 – транспортер; 6 – ходовая часть; 7 – приемный бункер; 8 – гидравлический мотор; 9 – опорная рама; 10 – породопогрузочное устройство; 11 – временная крепь; 12 – домкрат подачи; 13 – канал для удаления пыли; 14 – пылесборник; 15 – транспортное средство; 16 – приемный бункер;
 размеры в метрах

В мировой практике тоннелестроения помимо ТПМ с механизированным рабочим органом получают распространение машины с комбинированным механогидравлическим рабочим органом.

В настоящее время в мире насчитывается около 60 ТПМ, разрушающих породу комбинированным воздействием. Для этого они дополнительно оснащены гидромониторными установками, создающими высоконапорные водяные струи, которые прорезают в породе сетку борозд (щелей), ослабляя массив и облегчая его механическое разрушение.

Проведенные в США, Германии и Японии испытания и исследования показали, что гидравлическое разрушение породы способствует продлению срока службы механических породоразрушающих инструментов, уменьшает общий расход энергии, обеспечивает эффект пылеподавления. В дальнейшем предусматривается увеличение давления воды с 60-70 до 130-140 МПа и выше.

Для сокращения энергетических затрат разработаны специальные химические добавки к воде, позволяющие снизить коэффициент трения ее о стенки сопла и увеличить глубину прорезания породы в 1,5-2,0 раза.

Перспективным для разрушения пород может оказаться применение лазеров, ультразвука, термического воздействия, плазменных струй и пр.

Таким образом, ТПМ со сплошным или ступенчатым рабочим органом могут применяться при строительстве подземных автостоянок, гаражей и комплексов тоннельного типа диаметром до 12-14 м в скальных породах средней крепости. Наиболее рентабельно использование ТПМ при строительстве протяженных подземных выработок (более 2-3 км).

Наряду с совершенствованием проходческих комплексов разработчики уделяют большое внимание закомбайновым комплексам оборудования, особенно внедрению конвейерного транспорта в тоннелестроении. В настоящее время существует конвейерная система с шириной ленты 76 см и длиной до 10 км. Разрабатываются высокопроизводительные ленточные конвейеры, оборудованные механизмами с непрерывным наращиванием ленты. Конвейерный транспорт, наряду с рельсовым, широко применяют в США и Канаде, он обеспечивает рекордные показатели производительности. Порода от комплексов подают на стационарный конвейер через модифицированный укороченный закомбайновый комплекс, имеющий в хвостовой части перегружатель телескопической конструкции, который позволя-

ет непрерывно подвигать комплекс за комбайном, не прекращая подачу породы на стационарный конвейер.

Выводы

1. Одноступенчатые роторные ТПМ машины диаметром более 10 м с мощностью привода рабочего органа 2-3 тыс. кВт расходуют на разрушение 1 м³ породы более 200 кВт/ч, что является экономически нецелесообразным.

2. Для уменьшения удельного расхода энергии на разрушение породы, выработки большого сечения (диаметром более 10 м) предложено сооружать трехступенчатыми ТПМ.

3. Создано новое поколение ТПМ с рабочим органом в виде режущего диска, ось которого перпендикулярна оси тоннеля, создающие выработки прямоугольного сечения.

4. Проходит испытание ТПМ для выработок большого диаметра, разрабатывающая породу раскаткой передовой скважины дисковыми шарошками (резанием и скалыванием), что повышает производительность ее в 6 раз, а затраты энергии в 2 раза ниже, чем у обычных ТПМ.



ГЛАВА 4

ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА В XXI ВЕКЕ

4.1 Межконтинентальные подводные железнодорожные тоннели – будущая основа всемирной системы железных дорог

В последнее десятилетие наблюдаются значительный рост строительства подземных сооружений различного назначения. Сегодня в мире осуществляется **650 проектов** крупных подземных сооружений с годовым капиталовложением **40 млрд. долл. США**.

Это обусловлено тем, что если раньше стоимость подземных работ была в несколько раз выше наземных, то сегодня, в силу совершенствования технологии и техники подземные работы во многих случаях незначительно (на 15-20 %) дороже наземных, особенно в зонах плотной застройки [18].

Возрастающие масштабы подземного строительства характерны для многих крупных городов. Подземные строители достигли такого совершенства, что позволило от строительства подземных объектов локального типа в пределах одного города или страны перейти к сооружению подземных транспортных артерий между странами и континентами.

Проблеме создания всемирной системы подводных тоннелей, как реальности начала XXI века, был посвящен Международный конгресс тоннелестроителей, который состоялся в Штутгарте в мае 1995 года.

Речь шла о соединении континентов подводными тоннелями и создании единой системы железных дорог, для чего необходимо подводными тоннелями соединить:

- Чукотку с Аляской 100 км;
- Сахалин с Материком 8 км;
- Сахалин с Японией 43 км;
- Испанию с Африкой 54 км.

На свершение столь грандиозных планов, рассчитанных на ближайшие 30 лет, вдохновил:

- во-первых, опыт сооружения японцами подводного тоннеля Сейкан протяженностью 54 км под водами Сангарского пролива, который соединил острова Хоккайдо и Хонсю и образовал единую сеть железных дорог островной Японии;
- во-вторых, блестящее завершение и начало эксплуатации подводного сухопутного тоннеля под Ла-Маншем, соединившим побережье графства Кент на юго-востоке Англии с французским предместьем Падде-Кале, тоннель о котором в последние 200 лет мечтали очень многие – от Наполеона Бонапарта до нынешнего правления Британских железных дорог.

Эти факты вдохновили Международную тоннельную Ассоциацию на разработку новых грандиозных предложений.

Тоннель под Беринговым проливом (рис. 4.1). Не успели отгреметь фанфары по поводу благополучного завершения Ла-Маншской эпопеи, как родилась новая сенсация: - российско-американский проект тоннеля под Беринговым проливом. Теперь уже проектная протяженность тоннеля не 50 км, а более сотни, причем большая часть пути под водой и глубина залегания – целых 90 м (рис. 4.2 цв. вкл.).

История сооружения тоннеля с Чукотки на Аляску почти что повторяет историю Ла-Маншского тоннеля. Предложен в 1903 г. А дальше – по англо-французскому варианту: то денег нет, то энтузиастов нет, то Октябрьская революция, то Сталин умер, хотя полагают, что с именем Сталина связан тоннель под Беринговым проливом. Есть основания полагать, что трансполярная железнодорожная ветка от Салехарда к Игарке, которую в 40-50 гг. строил и не достроил ГУЛаг, задумана как первая очередь межконтинентальной трассы.



Рис. 4.1. План трассы железнодорожного тоннеля под Беринговым проливом

И вот через 90 лет российско-американский проект тоннеля от Чукотки до Аляски под Беринговым проливом обсуждался всерьез и на самом высоком уровне комиссией Черномырдин-Горр.

Таким образом, эпизодически обсуждаемая инженерной общественностью и политиками с конца XIX века идея сооружения трансконтинентальной железной дороги (ТКЖД), соединяющей восточное и западное полушария Земли, уже сейчас технически вполне осуществима.

ТКЖД, проходящая через провинцию «Британская Колумбия» в Канаде, Аляску (США), Чукотку, Магаданскую область и Якутию с выходом на БАМ и Транссиб, а далее в Китай, страны Юго-восточной и Центральной Азии, Японию и Европу, безусловно может стать крупнейшим строительным проектом XXI века, реализация которого (с учетом сооружения тоннеля через Гибралтарский пролив) действительно способна объединить все сухопутные транспортные сети четырех континентов Земли. При этом попутно будут созданы Трансконтинентальные линии электропередач, связи и продуктопроводов.

Важнейшей частью этого грандиозного проекта является тоннельный переход через Берингов пролив, ширина которого в районе предполагаемого строительства (от мыса Дежнева на Камчатке до мыса принца Уэльского на Аляске) составляет около 90 км, а глубина – не более 60 м. В подго-

товленном по заданию Госстроя РФ еще в 1995 г. группой специалистов ряда организаций научно-техническом докладе (НТД) были определены концепция и основные параметры строительства.

Положение тоннеля под Беринговым проливом в плане и профиле определилось совокупностью физико-географических и инженерно-геологических условий, а также ряда технических факторов, характеризующих процесс строительства и эксплуатации тоннеля.

Так, необходимость в промежуточных стволах определила использование островов Диомида, расположенных южнее от кратчайшей оси на 4,8 км (о. Ратманова) и 7,6 км (о. Крузенштерна), и, соответственно, проложение трассы тоннеля в плане не по прямой, а с переломом – в районе о. Крузенштерна, что удлиняет ее на 1,4 км по сравнению с кратчайшим расстоянием, но улучшает условия строительства и эксплуатации.

Профиль тоннеля выбран из условия наличия над ним под дном пролива слоя неразрушенных скальных пород мощностью не менее 50 м. Общая длина тоннеля составила около 113 км с распределением по участкам.

Принятый вариант позволяет считать условия строительства тоннеля в целом благоприятными, т.к. из общей длины тоннеля в 113 км на 75% длины проходка будет осуществляться в прочных, слабо трещиноватых и слабо обводненных скальных породах, на 15% - в приразломных зонах и зонах выветривания, а участки с благоприятными условиями, где проходку надо будет вести щитами с активным пригрузом забоя или с мероприятиями по искусственному укреплению неустойчивых пород составят около 10% общей длины (10-11 км).

Объемно-планировочное исполнение тоннеля рассмотрено в двух вариантах:

I) однопутный транспортный тоннель и сервис-тоннель;

II) двухпутный транспортный тоннель и сервис-тоннель (рис. 4.3 цв. вкл.).

При этом за основу принят габарит приближения строений Российских железных дорог «С». Однако мы полагаем, что выбор габарита и типа подвижного состава необходимо более детально рассмотреть совместно с американской стороной при проектировании. Здесь надо будет учесть, что эта магистраль, видимо, в большей степени будет предназначена для грузового движения и в меньшей – для пассажирского, кроме того габариты западноевропейских и японских дорог несколько меньше габарита «С». Например, обделка однопутного тоннеля под проливом Ла-Манш имеет внутренний диаметр 7,6 м, что позволяет уменьшить площадь поперечного сечения тоннелей по отношению к рассматриваемым почти на 20%.

Вблизи стволов № 1, 2 тоннель оборудуется тремя подземными стационарными комплексами безопасности, включающих платформенный участок на длину пассажирского состава для эвакуации людей в аварийной ситуации 400 м по каждому пути и две группы камер съездов с каждой стороны станции для возможности изоляции аварийного состава.

Учитывая значительные расстояния между соседними станциями безопасности (38 км и 46 км) для повышения надежности эксплуатации тоннеля в варианте двух однопутных тоннелей предусматривается сооружение камер съезда примерно посередине. Это позволит пропускать поезда, следующие за аварийным. В варианте одного двухпутного тоннеля эти съезды размещаются в двухпутном сечении.

Анализ инженерно-геологической ситуации позволил оценить величину ожидаемых воздействий на обделку тоннеля и предложить варианты конструктивно-технологических решений, хорошо корреспондирующие с современной мировой практикой. В варианте двух однопутных тоннелей предлагается обделка из сборных железобетонных элемен-

тов наружным диаметром 9,5 м для транспортного тоннеля и 5,5 м для сервис-тоннеля.

Тоннель обслуживания расположен между двумя транспортными тоннелями на расстоянии 23 м от каждого и на 30 см ниже.

По варианту одного двухпутного тоннеля предусмотрена обделка из сборных железобетонных элементов наружным диаметром 11,8 м. Так как при сборных обделках с использованием механизированных щитов достигаются более высокие темпы строительства, вариант сборных обделок представляется более предпочтительным.

Исходя из оптимистичного графика строительства при продолжительности работ в 15 лет, требуется обеспечить средние скорости проходки сервис-тоннеля по всему участку устойчивых пород до 500 м/мес., в слабоустойчивых породах (10%) – 150 м/мес.

Проходка же транспортных тоннелей должна вестись со средней скоростью не ниже 310 м/мес.

Ориентировочная стоимость строительства тоннеля в этом случае оценивается в пределах 25 млрд. долларов США.

Основная особенность «Беренгова тоннеля» в том, что он задуман как грузоперевозочный между БАМом, северо-востоком России и Аляской (США), (рис. 4.4 цв. вкл.) и лишь во вторую очередь – пассажирский. Он свяжет российскую и американскую половинки будущей Трансконтинентальной железной дороги из Британской Колумбии (Канады) в Якутию, по которой спроектированы 4 варианта железнодорожной трассы (рис. 4.5 цв. вкл.).

У каждого варианта свои преимущества и недостатки, так что эксперты еще не выбрали оптимального. Если говорить о тоннелях через горные хребты, то по первому (северному) варианту их будет 4 общей протяженностью 7 км, по второму (южному) – 6 длиной 22,2 км, по третьему (комби-

нированному) – 5 длиной 20,6 км, и по 4 (полярному) – 3 протяженностью 9,5 км [55].

Существует альтернативный вариант соединения Аляски с Чукоткой, предложенный американским инженером Т.Й. Лин, уникальным подвесным мостом протяженностью 100 км. По его замыслу, смонтированные на берегу опорные башни с помощью вертолета будут попарно опущены в Берингов пролив (глубиной 60 м) и надежно закреплены якорями. Затем на стальных тросах к ним подвешат двухъярусный мост. Сверху – проезжая часть, снизу – нефтепровод, который и является главной изюминкой проекта. Согласно новейшим космическим геологическим изысканиям американских исследователей, Сибирь обладает колоссальными запасами нефти и осваивать их имеет смысл при наличии трансконтинентальных коммуникаций. Автор американского «моста дружбы» считает, что расходы на его строительство в кратчайший срок окупятся хлынувшей в США нефтяной благодатью.

Заключая рассмотрение основных положений изложенной концепции по сооружению тоннеля под Беринговым проливом, необходимо констатировать, что после успешного сооружения уникальных транспортных тоннелей под Токийской бухтой, проливом Б. Бельт, под р. Эльба в Гамбурге, в Лефортово и под Серебряным Бором в Москве, сомнений в возможности ее технической реализации даже в настоящее время у специалистов уже нет. Дело за глубоким обоснованием экономической и геополитической эффективности магистрали с учетом интересов соответствующих государств.

Тоннель под Татарским проливом. В настоящее время 12% валовой продукции Дальнего Востока создается на острове Сахалин. Отдаленность Сахалина от материка бурным Татарским проливом и связь с континентом только паромной переправой (рис. 4.6), создает многочисленные транспортные проблемы. Минимальная ширина пролива – 8

км, максимальная глубина – 60 м, высота волн во время шторма достигает 4-5 м, толщина льда в зимний период (декабрь-март) до 1 метра. Ко всем этим сложностям в данном районе высокая сейсмичность, достигающая 10 баллов по 12 бальной шкале.



Рис. 4.6. Карта-схема проектируемых тоннелей на о. Сахалин и под проливом Лаперуза в Японию

В то же время интенсивная разработка угольных месторождений, добыча нефти и газа, запасы которых после открытия месторождений на шельфе Охотского моря выдвигают о. Сахалин на ведущее место в энергетике Дальнего Востока, отсутствие устойчивой транспортной связи о. Сахалин с материком фактически превращает эту территорию в анклав. Разработка углеводородного сырья на острове все в большей мере осуществляется с применением инвестиций ведущих западных держав. Соглашение о разделе продукции между западными инвесторами и Россией в части добычи нефти и газа на шельфе о. Сахалине не в полной мере отражает интересы Российской стороны. Инвесторы все больше укрепляют свои позиции на о. Сахалин. В результате, в последние годы, все больше проявляется тенденция отделения островной области от экономического пространства России. В немалой степени центробежным силам, превращающим область в анклавную территорию способствует дороговизна транспортного сообщения с материковой Россией. Транспортная составляющая в продукции производимой и потребляемой островитянами настолько значительна, что экономика Сахалина непроизвольно

В то же время интенсивная разработка угольных месторождений, добыча нефти и газа, запасы которых после открытия месторождений на шельфе Охотского моря выдвигают о. Сахалин на ведущее место в энергетике Дальнего Востока, отсутствие устойчивой транспортной связи о. Сахалин с материком фактически превращает эту территорию в анклав. Разработка углеводородного сырья на острове все в большей мере осуществляется с применением

больше ориентирована на страны Азиатско-Тихоокеанский регион (АТР), нежели на внутрироссийский рынок.

Нынешние транспортные связи с материком не удовлетворяют сегодняшние потребности Сахалина. Нефтепровод, построенный во время второй мировой войны с северного Сахалина до Комсомольска-на-Амуре, в нынешнее время тоже уже не может решить всех, возлагаемых на него задач. Все, что ввозится, и что вывозится с острова, следует главным образом на судах и паромах. Такая связь включает в себе немало неудобств и экономического и организационного характера. Зимой Татарский пролив замерзает, для проводки судов нужны ледоколы.

Идея установления надежной круглогодичной связи с о. Сахалин существовала достаточно давно, она была неразрывно связана с планами широкого освоения территорий Нижнего Амура. Так, еще на деньги купцов Приамурья была организована работа по изысканию строительства железной дороги к портам Николаевск-на-Амуре, Де-Кастри. Тогда же высказывались идеи продления железной дороги на Северный Сахалин. В конце 30-х годов прошлого века также предпринимались попытки поиска выхода, проектируемой в то время трассы БАМ на тихоокеанское побережье в районе Де-Кастри, Николаевска-на-Амуре с последующей перспективой продления железнодорожной линии на Сахалин (рис. 4.7 цв. вкладка).

Соединение о. Сахалин с материком России единой железнодорожной транспортной артерией обрело реальный характер после успешной сдачи в эксплуатацию стратегического тоннеля под Амуром. Именно тогда руководство страны поверило в реальность осуществления такого проекта.

Проект было поручено разработать институту «Метрогипротранс». В кратчайшие сроки были проведены инженерно-геологические изыскания и началась разработка проекта.

Со времени возникновения идеи сооружения тоннеля на о. Сахалин (30-е годы XX в.) до наших дней проведение подготовительных и проектных работ по данному объекту можно условно разделить на три этапа.

I этап – 1949-1953 гг., когда инженерно-геологические изыскания в проливе Невельского были выполнены в полном объеме в конце 40-х - начале 50-х годов. Отметим, что пролив Невельского - это не часть Татарского пролива, а самостоятельный пролив, соединяющий Татарский пролив с Амурским Лиманом, он именуется также проходом Невельского.

Геология дна пролива очень сложна (рис. 4.8 цв. вкладка).

Материковая часть представлена скальными магматическими породами - базальтом. Однако скальный массив разбит глубокими трещинами. Дно пролива сложено песчано-глинистыми грунтами, включающими в себя гальку, гравий и щебень. Часть песков насыщена водой и похожа на плавуну. Глины - вязкие, включения илов имеют высокую пористость и невысокую прочность. Соленые воды, пронизывающие толщу донных отложений обладают агрессивностью по отношению к бетону и металлу. Строителей тоннеля ждали трудности, которые не встречались в такой концентрации в одном месте. Тоннель под Ла-Маншем – 49 км длиной, другой, более протяженный (54 км) под Сангарским проливом в Японии и несколько менее длинных тоннелей в других местах нашей планеты строились в более благоприятных условиях. Они проложены проходческими щитами в скальном грунте. В сложных условиях, но все же уступающих тем, что предстояло преодолеть при строительстве тоннеля на Сахалине, был построен тоннель под проливом Большой Бельт (Дания). Однако, через несколько лет эксплуатации этого сооружения, два тоннеля там были затоплены прорвавшимися водами.

5 мая 1950 г. ЦК КПСС и Совет Министров приняли **секретное** постановление о производстве изысканий, проектировании и строительстве в 1950-1955 гг. железнодорожной линии Комсомольск-на-Амуре - Победино на Сахалине с тоннельным переходом через Татарский пролив [56].

Данное постановление предусматривало строительство железнодорожной линии протяженностью 863 км с подводным тоннелем через пролив Невельского и устройством морской паромной переправы через Татарский пролив в 1950-1955 гг. Были определены директивные сроки: 1950-1952 гг. - производство изысканий и проектирование железнодорожной линии и ее отдельных титулов; июль-октябрь 1952 г. - утверждение техпроектов и генсметы; 1 октября 1950 г. - начало выдачи рабочей документации на строительство отдельных объектов железнодорожной линии; 7 ноября 1953 г. - ввод в эксплуатацию паромной переправы и открытие рабочего движения поездов: 6 пар в сутки на железнодорожной линии Комсомольск - Селихино - мыс Лазарева и Погиби - Победино на Сахалине; декабрь 1954 г. - ввод в эксплуатацию подземной электростанции и стокилометровой линии ЛЭП; 7 ноября 1955 г. - ввод в эксплуатацию подводного тоннеля и железнодорожной линии Комсомольск - Победино на Сахалине в размере движения 24 пары поездов в сутки [57].

Этим же постановлением предусматривалось произвести в 1953-1957 гг. проектные изыскания и строительные работы по переустройству 415-километровой линии Победино - Корсаков, строительство морского порта в г. Корсакове, сооружение мостового перехода через р. Амур у г. Комсомольск-на-Амуре.

Авторы экономического обоснования Сахалинской железной дороги (Транспроект МПС) предусматривали, что создание прямой железнодорожной связи с островом тесно свяжет Сахалинскую область со всеми экономическими регионами СССР, приведет к развитию производительных сил

центральных районов Хабаровского края, г. Комсомольск-на-Амуре, Нижнего Амура и Сахалина. Через год в 1951 г. были предложены три варианта, где может быть пройден тоннель.

I Северный (мыс Лазарева – Погибы) протяженностью 13 км;

II Средний (мыс Средний – Погибы) протяженностью 11,7 км, из них под водой 7,8 км;

III Южный (мыс Муравьева – мыс Усанти) протяженностью 11,5 км.

Лучшим признан «Средний» вариант. Он короче других в подводной части – всего 7,8 км. В зимний период 1951 г. с ледового покрова Татарского пролива «Метрогипротрансом» были проведены геолого-разведочные работы по изучению донных пород пролива. Исследованиями установлено, что материковая часть, откуда должен начинаться тоннель, представлена мощным слоем трещиноватого базальта, который под проливом уходит в глубину и проходчики тоннеля окажутся перед морскими отложениями. По составу это песчано-глинистые грунты насыщены водой и похожи на плавуну.

Большая часть трассы тоннеля должна пройти по песчаным и супесчаным грунтам, насыщенными соленой морской водой, агрессивными к бетону и металлу. В той части, где тоннель должен выходить на остров, геологические условия такие же, как и под акваторией пролива – глины, песок, соленая вода.

В общем строителей Сахалинского тоннеля ждут трудности, не имеющие аналогов в мировой практике подводного тоннелестроения, а протяженность тоннеля 14 км, из них 8 км под водой.

Сложная геологическая обстановка заставила проектировщиков рассмотреть пять вариантов конструктивно-технологического решения будущего сооружения.

1. Тоннельный вариант глубокого заложения при щитовой проходке. Основной тоннель диаметром 9,5 м и параллельно с ним – обслуживающий, диаметром 5,5 м.

2. Тоннель (труба) диаметром 11,4 м. Проходка щитом. Обслуживающий тоннель отсутствует.

3. Вариант мелкого заложения. Секции готовятся на берегу, а затем спускаются в воду и сращиваются.

4. Тоннельно-мостовой вариант при щитовой проходке тоннельной части.

5. Комбинированный способ: опускные секции на мелководье и проходка щитом в глубоководной части пролива.

Экспертная оценка конструктивно-технологических вариантов строительства тоннеля отдала предпочтение 1 и 2 вариантам.

По первому варианту (рис. 4.9) стенки тоннеля диаметром 9,5 метра собираются из наружных стандартных чугунных тюбингов. Второй слой (внутренний) представляет железобетонную «рубашку», толщиной 30 см. Таким образом внутренний диаметр тоннеля составит 8,8 м, что позволяет разместить железнодорожный путь и по бокам с двух сторон пешеходные дорожки шириной по одному метру для перехода в технологический тоннель.

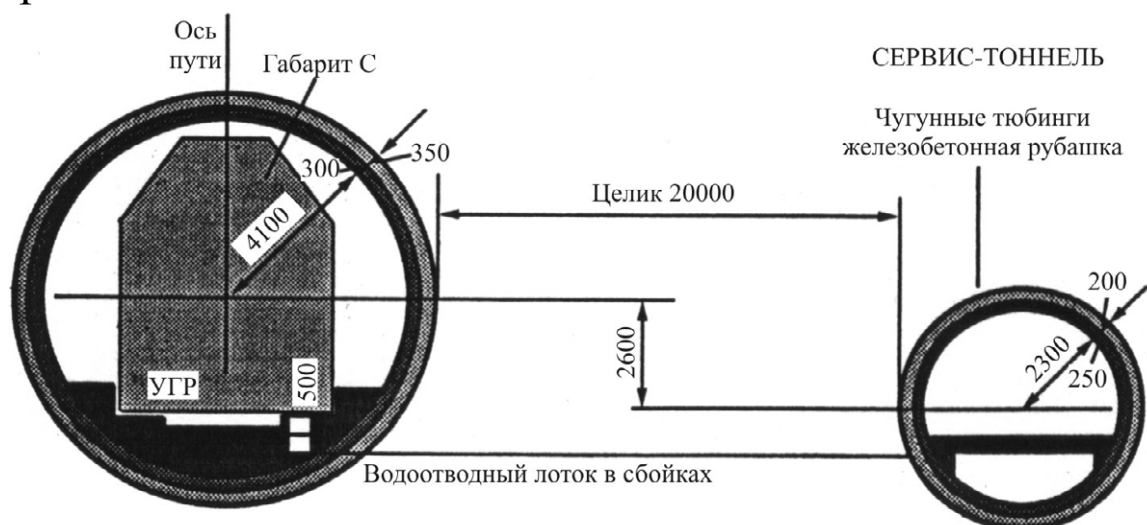


Рис. 4.9. Профильный разрез основного и вспомогательного (сервисного) тоннеля на о. Сахалин. Один из предложенных вариантов (размеры в см)

Технологический (вспомогательный) сооружается параллельно основному на расстоянии 20 м от него, имеет внутренний диаметр 4,6 м и через каждые 600 м имеет сбойку с основным тоннелем.

Параллельно с проектными работами началось формирование состава строителей. Предстояло, кроме того, у поселка Чильба на озере Кизи построить подземную ТЭЦ, без которой немислимо было энергоснабжение всего транспортно-коммунального комплекса.

Было два четко выраженных района строительства. Один материковый, на мысе Лазарева, другой сахалинский, на Погиби. Это самое узкое место Татарского пролива - пролив Невельского, по акватории ширина пролива составляет около восьми километров. Соответственно создали два управления: материковое и островное. Им предстояло, как принято в тоннелестроении, идти навстречу друг другу до сбойки. Тоннель диаметром 9,5 м предстояло пройти специальным механизированным проходческим комплексом, которого в стране еще не было, и который надо было еще создать. Обделку тоннеля должны были собирать из чугунных тубингов.

Перед тем как приступить к основным работам, было введено в эксплуатацию депо с энергопоездом для энергоснабжения всех объектов строительства, организованы строительные подразделения - тоннельные отряды. Создали участок по сооружению ствола. Ствол крепили чугунными тубингами, поступающими с Московского механического завода. Все грузы прибывали по Амуру в уже построенный к тому времени порт.

В довольно короткие сроки на материке была организована проходка ствола, глубина его составляла около 80 м. На Сахалине берег пологий, а на материке очень высокий, нависает над морем на 30 м, поэтому ствол получился таким глубоким.

По проекту намечалось вести трассу в сторону моря и материка одновременно. В сторону материка - взрывным способом. А вот в сторону моря... Было принято довольно сложное техническое решение, которое еще никто нигде не применял. От берега соорудили дамбу длиной около двух километров, которая заканчивалась «островом» из забитого в юрской глине шпунта, защищенным от моря засыпанными песком валунами и большими бетонными блоками.

Размеры и мощная защита острова должны были обеспечить условия для монтажа двух щитов, чтобы выпустить их и в сторону Сахалина, и в сторону берега. Все, что делалось, делалось впервые, не имело аналогов в тоннелестроении.

Наиболее сложным участком был переходный, между берегом и островом. Прибрежное дно там представляло собой сплошные пливуны, песок с водой, практически ил, и под этим илом на большой глубине - каменистое дно с опасными для проходки разломами. Щиты, по проекту, попадали в такие условия, когда верх у них оказывался в неустойчивых породах, а низ - в скальных.

Переходный участок от берега к «острову» был таким: на дно укладывались большие, 10x10 метров ящики-короба, в них засыпался песок, забутовывались трубы, и через эти трубы предстояло нагнетать раствор и замораживать грунт по всей длине дамбы, от берега до «острова». Чтобы затем под защитой этого искусственного грунта вести горизонтальную проходку. Строители шахты дошли до проектной отметки дна шахты, сделали рассечку и смонтировали по три кольца основного тоннеля в сторону материка и в сторону пролива.

Однако в 1953 году в связи со смертью Сталина работы были прекращены, и уникальная стройка была закрыта.

К идее связать о. Сахалин с «большой» землей вернулись снова в 1993 г., через 40 лет после прекращения первоэтапных разработок. Чем это вызвано? В сухопутном пере-

ходе под Татарским проливом просматривается, по крайней мере, три преимущества.

Первое – Сахалинскую область необходимо поднимать до среднего уровня всей государственной экономики.

Второе – Транссибирская магистраль и ветка на Сахалин с подключением имеющейся там колеи могут сделать этот путь самым коротким из Европы в Японию и прилегающий регион (при условии строительства тоннеля с Сахалина на остров Хоккайдо, о чем не раз говорило правительство Японии). И тогда станет возможным на поезде проехать из Лондона в Токио.

Третье – на шельфе Сахалина, развивается добыча нефти, что потребует более интенсивных грузоперевозок.

II этап проведения подготовительных и проектных работ по сооружению тоннеля на о. Сахалин – 1993 г., когда правительству России был представлен новый технико-экономический проект сооружения этого объекта.

По данному варианту внутренний диаметр однопутного тоннеля выбран 10 м. Кроме рельсового пути предусмотрена дорожка шириной 3,5 м, из них 1 м для прохода людей и 2,5 – для перемещения ремонтных механизмов и материалов. В нижней части отведено место для стока воды, в верхней – вентиляционные короба и кабели электропитания и никаких дополнительных выработок не предусмотрено.

Сборная железобетонная обделка может быть из чугунных и железобетонных тубингов и кроме того укреплена внутренней железобетонной «рубашкой» толщиной 30 см.

Гидроизоляция стыков чугунных и железобетонных тубингов будет выполнена резиновыми прокладками, а также гидроизоляционной оклейкой, помещаемой между наружным и внутренним слоем обделки.

Строительство береговых участков предусмотрено открытым способом с монолитной железобетонной обделкой и металлической листовой гидроизоляцией.

Принятый вариант без строительства параллельного сервисного тоннеля, который предусмотрен в первом варианте и требует многочисленных сбоек с основным тоннелем, устройство которых связано с дополнительными трудностями и расходами.

Всю трассу можно разделить на три участка.

Первый западный, длиной 2,3 км, находится на материке. Здесь устойчивые кристаллические породы и строительство будет вестись традиционным способом с применением буровзрывных работ. На этом участке строителей могут ждать типичные для горняков сюрпризы: вывалы, горное давление, повышенная трещиноватость.

Второй участок, длиной 7,8 км, лежит под водами Татарского пролива. Это наиболее сложный участок: тоннель будет проходить сквозь насыщенный водой песчано-глинистый грунт. Гидростатическое давление здесь на глубине достигает 5 МПа. В мировой практике тоннелестроения встречались аналогичные сверхсложные условия. Но они имели длину не более 1,2 км – при щитовом способе проходки и 5,6 км при применении опускных секций. Для создания тоннеля в Татарском проливе потребуются создание особых механизмов, учитывающих неустойчивость водонасыщенной среды, очень высокое гидростатическое давление, свободную связь подземных вод с морскими.

Главный фактор, осложняющий проходку в таких условиях, – гидростатическое давление среды, сквозь которую должен проходить щитовой агрегат. Современная техника располагает несколькими способами преодоления этого грозного явления. В забойной части щита искусственно создается противодействие. Используют сжатый воздух, воду под давлением, глинистый водный раствор, грунтовый шлам и пентогрунтовую смесь. К конструкции щита тоже предъявляются повышенные требования – особые условия работы и для механизма, и для обслуживающего персонала. Чрезвычайно важно, чтобы щит был способен предотвра-

щать возможный прорыв разжиженных грунтов и морской воды. Сопоставляя требования к щиту с возможностями современной технологии проходки, специалисты останавливаются на таких двух рекомендациях:

- 1) щит оснащенный гидравлическим противодавлением и гидротранспортом выбранного грунта;
- 2) щит с комбинированным грунто-суспензионным противодавлением и откаткой грунта в вагонетках.

Первый тип щита может быть решен в двух вариантах: либо с роторным режущим инструментом, либо с гидравлическим рабочим органом.

Третий участок, длиной 1,4 км по инженерно-технологическим условиям подобен второму, только здесь меньше гидростатическое давление на забой. На этом участке может быть применена та же техника, что и на втором, либо надо вести работы открытым способом, используя водопонижение.

III этап подготовки сооружения тоннеля на о. Сахалин – в 2000 году МПС России приняло решение о разработке проекта Комсомольск-Селихин-Ноглики с тоннельным переходом через пролив Невельского. Тоннельный вариант было предложено разработать институту «Метрогипротранс». В рамках этого проекта было рассмотрено несколько вариантов трассы, как в плане, так и в профиле с (применением двойной или тройной тяги, северный, южный обход).

Дополнительно было учтено, что климатические условия района очень тяжелые. Средняя годовая температура равна $-2,2^{\circ}\text{C}$, 50 дней в году штормовые ветра до 30 м/сек. с порывами до 45 м/сек. Ледовая обстановка позволяет проводить судоходство лишь 6 месяцев в году.

Район строительства характеризуется большой удаленностью от промышленных центров, отсутствуют дороги с твердым покрытием, поэтому началу строительству предшествует комплекс подготовительных работ:

- устройство временных дорог;
- реконструкция порта в поселке Лазарев;
- строительство на материке и на острове 2-х временных жилых поселков на общую численность строителей 2000 человек;
- строительство ЛЭП или дизельной электростанции под мощность 27 мВА на материке и 5,0 мВА на острове;
- организация линий по производству высокоточной обделки.

Общая продолжительность подготовительных работ - 1,5 года.

Строительство тоннеля намечалось в несколько этапов:

- сооружение дамбы длиной 1,5 км, шириной 40 м с каждой стороны;
- устройство «стены в грунте»;
- разработка котлована с устройством водопонижения, а также устройство противофильтрационной завесы по струйной технологии;
- возведение тоннельной обделки из монолитного железобетона.

На конечных участках дамбы сооружается монтажная камера длиной 50 м для ввода щита. Участок щитовой проходки составляет 5 км и будет проходить в песках средней крупности, пиловатых, с прослоями супеси, с гидростатическим давлением до 0,5 МПа.

Проходка этого участка будет осуществляться механизированным щитовым комплексом с бентонитовым пригрузом забоя $d = 10,6$ м.

Обделка собирается из высокоточных железобетонных блоков толщиной 600 мм, имеющих связи растяжения в стыках. Гидроизоляция предусматривается в виде герметизирующих уплотнительных прокладок, выполненных в виде замкнутых рамок из специального резинового профиля. Швы между кольцами обделки снабжаются резиновыми амортизаторами. Дополнительно предусматривается уст-

ройство гибкой набрызгизоляции, закрываемой железобетонной рубашкой, которая также служит защитой обделки в случае пожара. Внутренней диаметр позволяет разместить железнодорожный путь по габариту С, пешеходную дорожку, отсек безопасности, в верхней части тоннеля устройства вентиляционных каналов, в нижней части устройство водосборников.

Срок строительства тоннеля определен чуть более 6 лет с учетом подготовительных работ. Скорость щитовой проходки принята 200 м/мес. Основные технико-экономические показатели:

- протяженность тоннеля 8,5 км;
- монолит, железобетон - 2060 тыс. м³;
- сборный железобетон - 95 тыс. м³;
- стоимость - 1,300 млрд. \$

Тоннель оборудуется всеми необходимыми технологическими системами, обеспечивающими его эксплуатацию, как в нормальных условиях, так и при возникновении чрезвычайных ситуаций. В рамках настоящего проекта был разработан вариант сооружения тоннеля методом опускных секций. Но, учитывая сложные климатические условия (штормовые ветра, тяжелая ледовая обстановка, сильное течение), а также короткий срок судоходства (не более 5 месяцев в году), этот вариант, как основной не рассматривался. На сегодняшний день проектная работа завершена на стадии «Основные технические решения», все материалы переданы в экспертную комиссию при Правительстве РФ. Современный отечественный и мировой опыт проектирования строительства и эксплуатации тоннелей в районах высокой сейсмичности, к которым относится и рассматриваемый регион, свидетельствует о возможности с достаточной надежностью запроектировать тоннельную конструкцию под проливом Невельского, обладающую необходимой сейсмостойкостью при возможных колебаниях, вызываемых землетрясением.

Аналогом может служить сейсмостойкость тоннелей под Токийской бухтой, находящейся в подобных сейсмических условиях.

Тоннельный вариант перехода позволит сохранить экологическую обстановку в зоне пролива и не будет препятствовать судоходству.

На движение поездов по тоннелю не будут влиять неблагоприятные погодные условия, свойственные региону в течение многих месяцев в году.

Народно-хозяйственное значение подводного железнодорожного тоннеля для Сахалина – огромное. Но в основе этого замысла лежат не только надежды самого острова, а и возможность приблизить Камчатку и Арктику к прямой железной дороге, идущей с материка. Ключевое значение сахалинского тоннеля все же не исчерпывается сказанным выше. Оно имеет по истине международный характер.

Тоннель под проливом Лаперуза. В Японии уже разрабатывается идея построить подводный тоннель под проливом Лаперуза и тем самым связать железнодорожным путем японский северный остров Хоккайдо и русский остров Сахалин (рис. 4.10 цв. вкл.).

Учитывая, что все острова в Японии в настоящее время связаны между собой железной дорогой, то через сахалинский тоннель Япония получает доступ к железнодорожной сети России, Европы и Англии.

Тоннель под Гибралтаром. «Подземное окно» из Европы в Африку начали проектировать и вести подготовительные работы в настоящее время под Гибралтаром (рис. 4.11 цв. вкладка).

Основные параметры принятого варианта:

- длина трассы – 38 км;
- длина подводной части – 28 км;
- глубина от поверхности воды – 300 м;
- глубина от дна пролива – 100 м.

Начиная с 1980 года, Испания и Марокко совместно изучают возможность обеспечения постоянного сообщения между Европой и Африкой через Гибралтарский пролив. Исследования проводятся в рамках двух двусторонних соглашений¹ под контролем межправительственного Совместного Комитета двумя государственными фирмами – SECEG² в Испании и SNED³ в Марокко - на основании принципа равных финансовых вкладов обоих правительств.

В настоящее время процесс двусторонних исследований, который схватывает области, связанные с физической средой, техникой и социально-экономическими аспектами Проекта, достиг значительного развития, что привело к формулировке основного варианта, определенного на уровне предварительного проектирования, с достаточно хорошими перспективами осуществимости, как с технической, так и с экономической точки зрения.

Основной вариант включает 3 тоннеля под водой между мысом Палома и мысом Малабата. С функциональной точки зрения это - железнодорожный тоннель, который может служить не только для обычного железнодорожного движения, но и для переброски дорожного движения, используя челночные вагоны между испанским терминалом и марокканским терминалом. Это - два параллельных тоннеля ($D = 7,5$ м), на расстоянии 60 м друг от друга и служебный тоннель ($D = 4,8$ м), расположенный между ними и соединенный с ними безопасными проходами через интервалы (340 м). Таким образом, это - хорошо известная компоновка для длинного подводного транспортного тоннеля.

Наиболее важной чертой этого варианта является поэтапное строительство. Этот подход довольно хорошо адап-

¹ Соглашение о сотрудничестве от 24.10.80 и Дополнительное Соглашение от 27.09.89

² Испанское Общество Исследования Постоянного Сообщения через Гибралтарский пролив

³ Национальное Общество по Исследованию Пролива

тирован к техническим и экономическим условиям, определяющим осуществимость Проекта, особенно в связи с относительно необычными геотехническими неясностями и относительно медленным ростом прогнозируемого движения. 20-21 января 2005 г. в Мадриде прошла IV конференция ООН-ВАТ по систематическому исследованию грунтов и их обработке при механизированном тоннелестроении в рамках проекта транспортной магистрали через Гибралтарский пролив.

В задачи конференции входило обсуждение методов снижения рисков при строительстве в особо трудных условиях (глубокое заложение под проливом), таких как, использование систем предупредительных исследований и предварительных исследований грунта, проводимых из тоннеля и представляющих собой часть процесса строительства. Риски включают в себя высокое давление воды и потока газа (метана) во время строительства.

Основное внимание в ходе обсуждения было уделено геофизическим методам исследования состояния грунтового массива впереди забоя тоннеля при сооружении его тоннелепроходческим механизированным комплексам (ТПМК) с пригрузом забоя, также способом бурения опережающих забой разведочных и дренажных скважин. Важным аспектом проблемы является стабилизация обнаруженных впереди забоя водонасыщенных неустойчивых грунтов, создание противодиффузионных завес именно из забоя. Все эти мероприятия должны обеспечивать безаварийную проходку тоннеля.

На более отдаленную перспективу планируется сооружение тоннелей:

- о. Сицилия - материковая Италия;
- Греция и о. Пелопоннес и многие другие, которые не имеют глобального масштаба.

Из упомянутых выше проектов лишь тоннель под Беринговым проливом содержит утешительную фразу «геоло-

гические условия в целом благоприятны». Создается впечатление, что подводные магистрали нужнее всего именно там, где их труднее прокладывать.

Сегодня в грунтах с высоким гидростатическим давлением обычно применяют роторные механизированные проходческие щиты с пригрузом на забой. Но и они не безотказны. Если породы сильно обводнены и забой неустойчив, трудно сдерживать деформацию грунтового массива, приводящего к повреждению уже возведенной обделки. Кроме того, процесс поступления породы в рабочее пространство щита и на его погрузочный орган может выйти из-под контроля, что создает опасность затопления выработки. Нежелательно также, чтобы подшипники ротора забивались породой, в т.ч. и абразивными частицами. Если в массиве присутствуют илистые или глинистые включения, усложняется задача очистки тиксотропной суспензии. Тут помогают центрифуги, вакуум-фильтры и циклоны тонкой очистки – оборудование столь эффективно, сколь и дорогое.

Идеальным путем решения почти любых проблем считают создание кессона высокого давления по всей длине тоннеля на период проходки. Но тогда проходка должна быть полностью автоматизирована, а персонал – иметь доступ в выработку лишь ненадолго для самого необходимого техобслуживания или в экстренных случаях.

Сегодня на объектах под Токийской бухтой уже работает автоматика с адекватными функциями. Так что мечта становится реальностью.

Завершенное строительство тоннеля под Ла-Маншем и проектируемые под Беринговым, Гибралтарским, Татарским и проливом Лаперуза позволит создать единую мировую систему железных дорог, объединяемую страны Америки, Европы, Азии, Африки и Японию (исключая Австралию и острова Океании) в единую мировую систему железных дорог.

Все эти проекты входят в глобальную программу системы «Евротоннелей» глубокого заложения общей протяженностью 3800 км стоимостью около 200 млрд. долл. США и рассчитанную на ближайшие 30-40 лет.

4.2 Подземные сооружения XXI века

4.2.1 Этапы строительства Сен-Готардского тоннеля (Швейцария)

Сен-Готард, вздымающий свои вершины посередине гористой Швейцарии, на протяжении многих тысячелетий стоял у людей на пути. В настоящее время глубоко в недрах этого горного массива ведется проходка самого длинного тоннеля в мире. Этот проект поражает людское воображение и привлекает большое внимание общественности. Нижний Готардский тоннель (Gottard Base Tunnel, 2x57 км), проходка которого должна завершиться в 2014 г., станет самым длинным транспортным тоннелем в мире. Даже при взгляде со стороны, горный массив Сен-Готард выглядит весьма впечатляюще – если встать у подножия горы Бристен высотой 3000 м и посмотреть вверх, то невольно возникает чувство смирения перед грозными силами природы. Эта часть горного массива не представляет никакой сложности для профессиональных альпинистов, но для тоннелестроителей и проходческого оборудования – это новаторская задача чрезвычайной сложности. В самом основании горного массива, на высоте 500 м над уровнем моря, два тоннелепроходческих механизированных комплекса (ТПМК) фирмы «Херренкнехт» ведут проходку параллельных тоннелей диаметром 9,58 м и длиной 11,35 км. Проходка ведется из промежуточного забоя «Амстег» (рис. 4.12 цв. вкл.). Тоннель должен пройти сквозь толщу гранитных пород, спрессованных за миллионы лет. Глубина заложения

тоннеля превышает 2000 м, а температура в забое доходит до 50°C.

Контракт на строительство этого участка тоннеля был присужден совместному предприятию «AGN», образованному швейцарской фирмой Murer AG и австрийской Strabag AG. Уже 27 мая 2003 г. первый из двух щитов для проходки твердых пород (с упором в породу) диаметром 9,58 м (S-229) приступил к проходке восточного тоннеля с северной стороны из промежуточного забоя «Амстег». До сих пор максимальная скорость проходки составляла до 90 м в неделю. В августе 2003 г. на том же участке второй тоннелепроходческий комплекс (S-230) начал проходку западного тоннеля. Этот ТПК, полная длина которого составляет 441 м, является самым длинным в мире из всех проходческих систем, когда-либо созданных человеком. Комплекс начал проходку западного тоннеля на участке Амстег-Седрун. Проходка обеих тоннелей длиной 11,4 км вплоть до границы забоя «Седрун» должна быть завершена к 2008 г.

Если рассмотреть геологию по трассе тоннеля, особенно со стороны южного портала возле Бодио, то можно убедиться в том, что проходка Нижнего Готтардского тоннеля действительно является крайне сложной и новаторской инженерной задачей. Альпы представляют собой сжатую зону орогенезиса, образовавшуюся в результате столкновения Африканской и Евразийской тектонических плит. В ноябре 2002 г., практически сразу же после начала проходки восточного тоннеля со стороны южного портала, первый из двух проходческих щитов «Херренкнехт» для твердых пород диаметром 8,83 м (S-210), предоставленный в распоряжение СП «ТАТ» (Tunnel Alp Transit-Ticino), неожиданно натолкнулся на зону тектонического разлома с залеганием так называемых катакластических пород. Эти породы были сильно раздроблены в процессе формирования горного массива и поэтому представляли трудность для щитов, которые были специально запроектированы для работы в условиях

особо прочных горных пород. При попадании такого ТПМК в слабые породы, скорость проходки существенно падает, поскольку проходка каждого метра сопряжена с необходимостью устройства комплексной системы крепежа. Тем временем второй проходческий комплекс (S-211), который вначале успешно продвигался вперед со скоростью до 107,9 м в неделю, также вошел в зону разлома по трассе западного тоннеля. Несмотря ни на что, проходчики как всегда полны решимости – они не допустят остановки работ и справятся с любой задачей.

СП «ТАТ» ведет проходку самого длинного участка тоннеля протяженностью примерно 25 км в условиях наиболее сложной геологии по трассе западного и восточного тоннелей. В состав данного СП входят пять организаций из четырех стран: Швейцарии, Австрии, Италии, Германии. Специалисты «ТАТ» не просто ведут проходку тоннеля рекордной длины – на участке южного лота глубина заложения тоннеля максимальная, достигающая 2300 м. На участке Файдо-Седрун, который будет пройден в 2005-2008 гг., тоннелестроителей поджидает пресловутая зона Пиора – тектонический разлом с залеганием белых гранулированных пород, представляющих собой гигантский клин из растворимого доломита, пересекающий трассу тоннеля. На этом разломе протяженностью 250 м и расположенном на 21-м километре трассы тоннеля от южного портала обнаружено различие температур пород и на менее 6000 м³ разрушенных пород с давлением воды до 13 МПа. Это установлено посредством бурения вееров разведочных скважин из забоя разведочного тоннеля, проходимого из промежуточного забоя «Файдо» примерно в 30 м от основной трассы тоннеля. На основе полученных данных было исследовано несколько десятков вариантов возможной технологии проходки основных транспортных тоннелей, с целью выбора оптимального. Однако, согласно данным предварительных геологических изысканий, проходка тоннеля через зону Пиора не

должна быть сопряжена с большими трудностями – снизу растворимый доломит прикрыт слоем водонепроницаемого природного гипса. После 2014 г. от Милана до Цюриха можно будет добраться на поезде всего за один час, двигаясь по Нижнему Готардскому тоннелю со скоростью 250 км/ч, однако прежде чем это станет реальностью, тоннелестроителям еще предстоит пройти под землей долгим и воистину скалистым путем. Но не даром швейцарские инженеры имеют репутацию высококвалифицированных и отважных пионеров-тоннелестроителей, накопивших большой опыт в строительной отрасли.

4.2.2 Строительство тоннеля под Босфором

В Турции началось строительство тоннеля под проливом Босфор (рис. 4.13 цв. вкл.), который разделяет Европу и Азию. Протяженность тоннеля составит 13,7 км, из них 1,4 км будут проложены под водой. Общая стоимость проекта 2,5 млрд. долл.

Строительство осуществляет японско-турецкий консорциум Taisei-Kumagai-Gama-Nirol на средства, выделенные в виде кредита Японским банком международного сотрудничества. Проходку тоннеля планируется завершить к 2008 г. Этот тоннель станет частью альтернативного пути доставки грузов из азиатских стран в Европу.

В настоящее время большинство грузов идет в европейские страны через Россию – по самой длинной в мире Транссибирской железнодорожной магистрали. Недавно Казахстан объявил о намерении построить Трансказахстанскую железнодорожную магистраль протяженностью более 3 тыс. км и стоимостью 4 млрд. долл. Как сообщил министр транспорта и коммуникации Казахстана, магистраль будет идти от казахстано-китайской границы до границы с Туркменией. Протяженность казахстанского отрезка составит 3070 км. Далее следует 700-километровый отрезок, который

планируется продолжить через территорию Туркмении, откуда еще 90 км пройдет по территории Ирана. В создании альтернативного транспортного коридора «Азия – Европа», кроме Казахстана, заинтересован и Китай, ведь по оценкам МВФ, ежегодный товарооборот между европейскими и азиатскими странами составляет 600 млрд. долл. К 2010 г. эта цифра должна увеличиться в полтора раза.

Реализация проекта позволит осуществлять перевозки по железной дороге грузов, ранее перевозимых морским путем, из портов Китая в порт Роттердама за 18 суток. Осуществление проекта значительно снизит стоимость доставки грузов из стран Азиатско-Тихоокеанского региона в страны Европы и обратно. Важное преимущество будущей магистрали – железнодорожная колея международного стандарта. Составам не нужно будет тратить время на границе для замены колес из-за различия в размерах колеи.

Финансирование проекта берет на себя Казахстан, сообщил министр транспорта. Иран и Турция положительно относятся к реализации проекта. В настоящее время ведутся переговоры с руководством Туркмении, после чего можно будет говорить о реальных сроках начала строительства. Кроме того, правительство Японии выделило грант казахстанским железным дорогам на маркетинговые мероприятия для определения объема грузов, которые пойдут по этой дороге. ЕБРР выделяет 2 гранта на проведение правовой и экологической экспертизы проекта. Также инициатива Казахстана получила полную поддержку дирекции Исполкома Международного союза железных дорог.

4.2.3 Плавающий тоннель в Норвегии

Норвегия – страна фьордов. Сильно изрезанный фьорд очень удлиняет путь по берегу. Когда норвежцам понадобилось сократить такой путь в одном из плотно населенных районов, они решили соединить два берега очень разветвленного

фьорда. Однако, чтобы осуществить этот план, требовалось преодолеть 1400 метров водного пространства. Построить обычный мост мешала глубина фьорда - 155 метров. Тогда норвежские инженеры решили проложить первый в мировой практике тоннель в виде трубы, погруженной в воду (рис. 4.14).

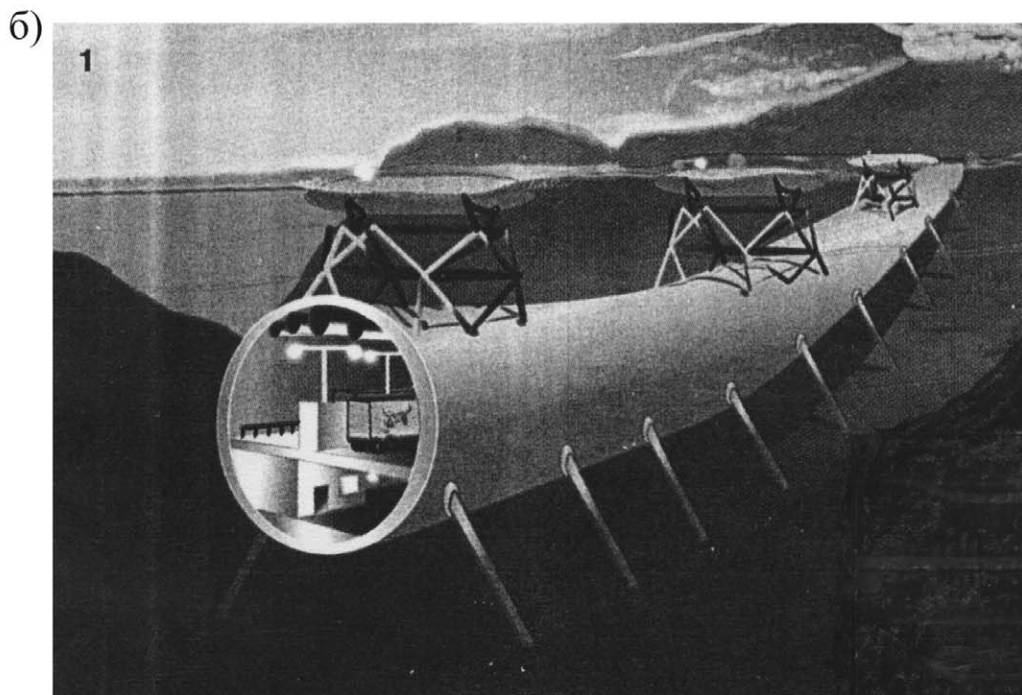
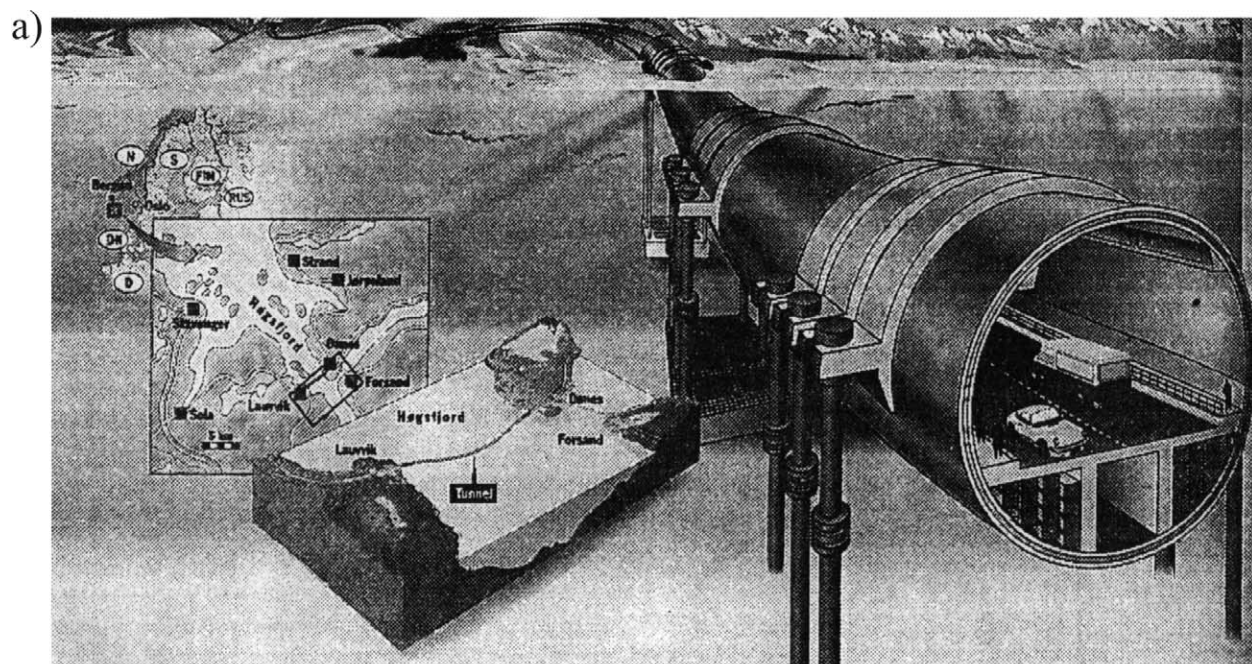


Рис. 4.14. Плавающий тоннель-труба, который собираются строить в Норвегии

Диаметр такой трубы составит двенадцать метров. Еще не решено, будет ли труба стальной или бетонной. Кроме проезжей части, которую предполагают сделать двухполосной, в тоннеле проложат пешеходную и велосипедную дорожки. В нижней его части разместятся балласт и инспекционный проход. Пропускная способность тоннеля составит, по расчетам, 2500 автомобилей ежедневно. Сложнейшее условие, которое необходимо соблюсти проектировщикам и строителям, - добиться устойчивости тоннеля - этого требует безопасность движения автотранспорта. Труба должна противостоять течению, которое во фьорде достигает 60 сантиметров в секунду, и возможным землетрясениям.

В конкурсе на лучший проект приняли участие четыре норвежские строительные фирмы: три из них предполагали подвесить тоннель на понтонах, четвертая предложила закрепить трубу на длинных штангах, заделанных в морское дно. Конкурс выиграла авторы последнего варианта. Жюри сочло, что их конструкция надежнее, а главное, такой способ крепления плавучих трубопроводов уже испытан в Норвегии - по ним перекачивают нефть, добываемую из морских скважин. Гигантская железобетонная труба длиной 1,4 км свободно зависнет на глубине 25 м за счет подъемной силы наполняющего ее воздуха. Чтобы не снесло тоннель в море, его все же необходимо закрепить: на длинных штангах, заделанных в морское дно (рис. 4.14 а), либо с помощью понтонов, удерживающих тоннель на весу, а возможно использовать и первый и второй вариант (рис. 4.14 б). Неизбежный прогиб трубы-тоннеля, возникающий после погружения ее под воду, будет создан искусственно, во время ее сборки на берегу. Общая стоимость строительства - более 60 миллионов долларов.

Почему норвежцы отказались от строительства традиционного тоннеля, прорытого под дном фьорда? Потому, в первую очередь, что такой тоннель следует прокладывать на глубине 250 метров (таковы требования безопасности), а это уже и сложно, и дорого. При глубоком тоннеле надо подво-

дить длинные подъездные пути и, наконец, из такого тоннеля очень сложно удалять выхлопные автомобильные газы.

У проектировщиков и строителей Норвегии есть далеко идущие планы. Известно, что в такого рода сухопутной транспортной магистрали нуждается Италия - для связи городов Калабрия на юге Италии и Мессина на острове Сицилия.

Идея погруженного тоннеля не нова, еще сто лет назад депутат английского парламента Эдвард Рид предложил таким образом связать английский порт Дувр с французским Кале, но верх взяли противники проекта, опасавшиеся, что тоннель послужит дорогой для вооруженного вторжения в Англию. И тоннель через Ла-Манш (правда, сооруженный по другому принципу) был проложен в 1994 г.

4.2.4 Подземная железнодорожная станция в центре г. Болонья (Италия)

В течение 10 последних лет возросшая потребность в национальном и межнациональном транспортном обслуживании решительно изменила позицию железнодорожной инфраструктуры на транспортных рынках Европы. Реконструкцию итальянской железнодорожной сети нужно рассматривать в этих рамках. Современная тенденция такова, что поезда должны приходить непосредственно в центр города, значительно снижая нагрузку на городские транспортные структуры и конкурируя таким образом по временному фактору с автотранспортом.

В столицах и в большинстве городов Европы нельзя расположить трассу и разместить станции для высокоскоростных поездов в центре по поверхности, поэтому необходимо чтобы железнодорожные тоннели подходили к подземным станциям. Железнодорожный узел в г. Болонье – первый пример такого размещения высокоскоростной железнодорожной системы в Италии, который представлен следующими подземными сооружениями:

- двумя однопутными двойными тоннелями;
- участком маневровых работ;
- подземной станцией;
- дополнительные сооружения (вентиляционный ствол и пандус для машин скорой помощи).

Два однопутных тоннеля длиной 6118 м и диаметром 9,4 м вчерне имеют расстояние между центральными осями 15 м. Они соединяют подземную станцию с территорией маневровых работ. Обделка этих тоннелей сборная из бетонных сегментов со слоями гидроизоляции с уплотнениями стыков. Полезная площадь поперечного сечения составляет 46 м².

Принято решение о применении механизированного способа проходки этих двух перегонных тоннелей, которое основано, главным образом, на эффективности данной технологии в стесненных городских условиях. Проходящая на небольшой глубине трасса дает возможность использовать щитовую проходку с поверхности при небольшом ее изгибе.

Горно-геологические условия Болоньи (аллювиальные отложения по большей части трассы) особенно подходят для разработки их щитом, к тому же данный способ проходки дает возможность достижения высоких скоростей проходки.

Безопасность пассажиров в случае аварийных остановок поезда в тоннеле обеспечивается в основном поперечными выработками соединяющими тоннели с интервалом 250 м. В случае аварии пассажиры могут пройти в параллельный тоннель через запасный ход шириной 1,8 м, что также дает возможность машинам скорой и пожарной помощи проехать в параллельный тоннель.

С учетом особенностей пересекаемых грунтов предусмотрены мероприятия, исключающие налипание грунтов на режущую часть щита. Средства для этих целей могут быть химического характера (использование добавок) или механического (монтирование инженеров на резусы) для

размельчения налипшей глины, или спецпокрытием резцов, чтобы не допускать налипание глины.

Претворение данного проекта позволит, используя тоннели длиной 7,5 км, подвести высокоскоростную железнодорожную линию Неаполь-Рим-Милан к новой подземной станции в центре города Болонья.

4.2.5 Автодорожный тоннель Суешан (Тайвань) – пятый в мире по протяженности

В сентябре 2004 г. завершена проходка одного из самых протяженных автодорожных тоннелей мира. Это тоннель Суешан (Снежная гора) на Тайване, длиной 12,9 км, является частью 30-километровой скоростной автомагистрали Тайпен-Илан, проходящей через горы и речные долины северо-восточной части Тайваня. Данный тоннель является восьмым такого рода сооружением, построенным с 2000 г. на Тайване, и пятым в мире по протяженности.

Тоннельный комплекс Суешан включает два главных (западный и восточный) и пилотный тоннель. Работы по проходке пилотного тоннеля были начаты в июне 1991 г. с помощью тоннелепроходческого механизированного комплекса (ТПМК) малого диаметра. В 1993 г. начаты работы по проходке основных тоннелей ТПМК большого диаметра, стоимость которого около 70 млн. долл. США. Однако ввиду сложных инженерно-геологических условий (наличия разломов и мощного водопритока) проходка тоннелей сильно затянулась. Преодоление разломов сложной конфигурации и другие непредусмотренные трудности постоянно снижали темп проходки. Вследствие проникновения в тоннель большого количества воды, вызываемого высоким напором грунтовых вод, происходили обвалы горной породы и многочисленные аварии, во время которых погибло 11 проходчиков. Для ускорения строительства было принято

решение на отдельных участках организовать проходку буровзрывным способом.

Несколько лет назад международные консультанты рекомендовали прекратить проходку данного тоннеля, ввиду чрезвычайно сложных условий, малых темпов и большой стоимости работ. Однако специалисты Тайваня продолжали проходку, встретив еще шесть сложнейших разломов породы, два мощных притока грунтовых вод и преодолев километровый участок крепчайшего песчаника.

В 2004 г. тринадцатилетний период проходки этого автодорожного тоннеля, самого сложного по горно-геологическим условиям, - завершен. Официальное открытие автомагистрали Тайнел-Илан намечено на конец 2005 г. после устройства обделки и установки системы освещения и вентиляции, энергоснабжения и организации движения. Сооружение этого тоннеля позволит сократить время поездки автомобилей между указанными городами с 2,5 ч до 30 мин.

Ввиду сложности и продолжительности строительства данного объекта стоимость его составила **1,8 млрд. долл.**, что составляет рекордную стоимость в практике мирового автодорожного тоннелестроения: почти **140 млн. долл./км**, или **140 тыс. долл./метр** тоннеля.

Справка. Пять самых длинных автодорожных тоннелей мира.

№№ ПП	Название	Страна, место	Длина, км
1	2	3	4
1.	Лаэрдаль	Норвегия	24,5
2.	Жонгнаншань	Китай	18,0
3.	Готтардский	Швейцария	16,9
4.	Арлберг	Австрия	14,0
5.	Суешан	Тайвань	12,9

4.2.6 Подводный тоннель под Керченским проливом

Задача подземного перехода под Керченским проливом – соединить самым коротким путем Европу и Азию (рис. 4.15 цв. вкл.). Не случайно в старину здесь пролегал Шелковый путь. Проект позволяет транспортировать в год 150 миллионов тонн грузов и свыше 15 миллионов пассажиров. Это будет железнодорожное постоянно действующее сообщение, которое соединит не только Украину с Россией, но и Европу с Азией – Кавказом, Ираном, Индией, Пакистаном, Китаем.

Вот, к примеру, из Индии каждый год 120 тысяч 20-футовых контейнеров с чаем отправляют в Европу через Индийский океан. И плывут они 67 дней, а используя тоннель будут идти всего 17. Кстати, в свое время английские лорды, попивая чай, крутили глобус и воткнули по иголке в Лондон и Дели. Протянули нитку – и она прошла через Ла-Манш и Керчь. Так был построен первый проволочный телеграф, по которому лорды отстукивали, сколько и какого чая им отправлять.

Но чем же не устраивает старый добрый паром? Изменилась ситуация после развала Советского Союза. Сейчас масштабы перевозок через Украину – и особенно в перспективе – слишком велики.

Если перевозка грузов в Европе осуществляется со средней скоростью 75 километров в час, то у нас – всего 25. Выиграет тот, кто обеспечит наибольшую скорость. Как ее увеличить? Во-первых, совершенствовать транспорт, во-вторых, искать самые короткие и выгодные пути. Именно таким и является путь из Крыма на Кавказ.

С 1999 года был объявлен тендер по созданию коммуникаций через Керченский пролив. Рассматривались два варианта моста, три варианта тоннеля, канатная дорога, усовершенствованный паром. Однако мост – это только слова.

Почему мост не возможен? Керченский пролив имеет протяженность 4-6 километров. На дне ил, песок, глина, то есть опоры для моста нет. И погодные условия тяжелые – обледенения, сумасшедшие ветра. Здесь, кстати, в 1944-м военные построили мост – понтонный, деревянный. Часть делегации Ялтинской конференции успешно проехала по нему, но мост через полторы недели просто снесло ветром. К тому же мостом мы преграждаем движение воде, а там приличное течение. Мост проектировался на косу Чушка – на маленький, 6-километровый отрезок из песка и ила, - и это тоже нереально.

Практика показала, что подземные сооружения – самые надежные для преодоления водных преград. Трасса тоннеля проходит в плотной глине с известняками. Трассу проложили так, чтобы не задевать имеющиеся там грязевые вулканички и две трещины.

Тоннель под Керченским проливом будет похоже на сооружение под Ла-Маншем за исключением того, что между Англией и Францией 50 километров, а у нас - 15. Залегание тоннеля – 100 метров от уровня моря. 15-километровый переход будет состоять из трех параллельных тоннелей: два рабочих и один технологический, для обслуживания. Со стороны Крыма к тоннелю будет примыкать станция «Крым-железнодорожная», со стороны Кубани – станция «Кавказ». Сам переезд будет занимать 12 минут, поезда будут идти со скоростью около 140 километров в час.

Соединить Крым и Таманский полуостров задумали еще несколько лет назад. В 2001 году было создано ЗАО «Керченский мост», которое учредили правительство Москвы (74%) и Фонд имущества Автономной Республики Крым (26%).

Для перевозки грузов предполагается использование пассажирского и грузового транспорта.

Вы приезжаете, к примеру, на машине. На железнодорожной станции – специальные платформы для автомобилей. Набрался состав – поехали. Перед тоннелем, как на любой границе, проверяют документы, ставят штампик и на той стороне уже не проверяют.

Что же касается грузов, то пока ориентировочная стоимость перевозки одной тонны – 2,7 доллара.

Грузооборот и услуги дадут около 230 миллиардов долларов в год, около 20 миллиардов пойдут в казну. Геополитически Украина становится важным звеном, получая тысячу километров транзитной территории – до Яготина на границе с Польшей, где, возможно, проляжет автотранспортная магистраль, которая пересечет 6 регионов Украины. В перспективе – колоссальная прибыль.

Россия выигрывает точно так же: она получает зону транзита – от тысячи до полутора тысяч километров по Краснодарскому краю до границы с Грузией. В разных случаях – по-разному. Если везти казахскую нефть – полторы тысячи, если шелк из Индии – тысяча километров.

В Казахстане добывают нефти чуть не вдвое меньше, чем могут, из-за невозможности вывезти ее. А поскольку американцы вкладывают деньги на казахскую нефть, они заинтересованы в кратчайшем пути. Россияне – также. И если Украина предлагает свой, самый короткий путь, – это лучший выход для всех. Россия избегает крюка в 700 километров. Когда в Иране узнали о нашем проекте, то обратились к премьер-министру с предложением о кредитовании на 12 миллиардов долларов. В Кувейте – та же история: один из шейхов, чьи средства блокируются американцами, заявил, что у него выделено около 7 миллиардов. Вот основные – подтвержденные – источники кредитования.

Это же касается и транспортировки туркменского газа. Есть огромные перспективы: бундестаг принял решение переходить с ядерного топлива на более безопасный вид – сжиженный газ. Уже существует программа строительства

завода по сжижению газа – и мы повезем его по нашему тоннелю в Европу.

Этим путем можно было бы переправлять не менее 30 миллионов тонн нефти на феодосийскую нефтеперерабатывающую базу с последующей доставкой в страны Европы. Феодосийский терминал и станция «Айвазовская» будут реконструированы. Сегодня порты Новороссийск и Одесса диктуют такие цены: 11 и 9 долларов за тонну, а в Феодосии будет 4-5. Порт здесь глубоководный, танкер становится близко к берегу. Сейчас из Феодосии уходит грузопоток только 13 миллионов тонн в год, а заявок есть на 30 миллионов казахской, российской и азербайджанской нефти – на этом и будет выстроена вся экономика проекта.

Кроме того, по этому же пути пойдут металлы, машиностроительная продукция, древесина.

И в течение 30 лет проект окупится. Стоимость проекта – **860** миллионов долларов. Из них на 450 миллионов «потянет» сам подземный переход. Будут выстроены еще три железнодорожные станции. На строительство уйдет три с половиной года. И со стороны Керчи, и со стороны Краснодарского края будут слегка откорректированы железнодорожные ветки, ведущие к переходу. Проект будет способствовать загрузке отечественных предприятий и созданию новых рабочих мест.

Сегодня существует проект соглашения между Россией и Украиной, инициированный Советом министров Крыма и прошедший согласование во всех министерствах и ведомствах Украины. Для современной технологии и для двух развитых держав осуществить этот проект вполне реально.

Справка. Проект подземного тоннеля под Керченским проливом (проект XXI века) разработан Крымской научно-производственной фирмой по строительству и эксплуатации подземных объектов (НПФ «Экспо»).

Информация. В настоящее время в мировой практике эксплуатируются несколько сот железнодорожных тоннелей, самые протяженные представлены в табл. 4.1.

Таблица 4.1 – Пятнадцать самых длинных железнодорожных тоннелей мира

№№ ПП	Название	Место	Длина, км	Год от- крытия
1	2	3	4	5
1	Сейкан (подводный)	Пролив Цугару, Япония	53,90	1988
2	Евротоннель (подводный)	Пролив Ла-Манш, Англия-Франция	49,94	1994
3	Даи-Шимицу (подводный)	Япония	22,17	1982
4	Симплон I	Альпы, Швейцария-Италия	19,82	1922
5	Симплон II	Альпы, Швейцария-Италия	19,80	1906
6	Шин-Канмон (подводный)	Япония	18,68	1975
7	Апеннинский	Болонья-Флоренция, Италия	18,52	1934
8	Рокко	Япония	16,25	1972
9	Северомуйский	БАМ, Дальний Восток, Россия	15,3	2003

1	2	3	4	5
10	Сен-Готтард	Швейцарские Альпы	14,9	1980
11	Лотсберг	Швейцарские Альпы	14,6	1911
12	Мон-Сени	Италия-Франция	13,7	1871
13	Новый каскад	Каскадные горы. Вашингтон, США	12,6	1929
14	Восге	Франция	11,3	1940
15	Флэтхэд	Скалистые горы. Монтана, США	11,3	1970

4.2.7 Автодорожный тоннель в г. Киеве

В настоящее время в Киеве, как и во многих столичных городах мира, одной из главнейших проблем являются автомобильные «пробки». С каждым годом транспорта в городе становится все больше, а расширять автомагистрали некуда. Выход в сооружении надземных эстакад или отправлять транспорт под землю. Наземные сооружения нарушат архитектурный вид станции, поэтому эстакады – отпадают. Остается строительство подземных автодорожных тоннелей.

Идея эта не нова. Первая (неудачная) попытка построить тоннели была сделана в конце 30-х годов прошлого столетия. Позже (1967) сооружение подземных магистралей в Киеве внесли в генплан развития города. Однако спустя 20 лет эта задумка канула в Лету – ее официально «вычеркнули» из генплана, не найдя денег на воплощение в жизнь.

В столице зарегистрировано более полумиллиона авто, а до 2020 года их количество достигнет миллиона. За сутки

только через центр города проходят около 250 тыс. машин. И специалисты пришли к выводу, что транспортную проблему Киева решат тоннели – вход под землю позволит автомобилям быстро преодолевать большие расстояния, а выхлопы не будут загрязнять атмосферу (их сконцентрируют и выведут наружу в «безопасных» для людей местах). Еще один аргумент – популярность подземных автострад во всем мире.

Недавно подобное строительство началось в России. Лефортовский тоннель в Москве длиной в 2,2 км прорыт всего за 13 месяцев. Что, собственно и вдохновило соорудить такой же. По заказу КП «Киевавтордор» специалисты АО «Киевпроект» совместно с коллегами из «Киевметротоннельпроекта» и «Киевсоюздорпроекта» сделали расчеты и пришли к выводу, что чем длиннее дорога, тем ниже себестоимость 1 метра. Так, при протяженности трассы 2 км и ширине 14 м погонный метр обойдется в 100 тыс. евро. А стоимость метра 7-километровой дороги – вдвое дешевле. Так что будем строить не менее 10 км подземной дороги.

Уже готовы предпроектные разработки пяти тоннелей (рис. 4.16).

№ 1 – через Днепр по линии Подольского моста, от ул. Чорновола до бул. Перова (6,2 км, стоимость – 620 млн. евро,

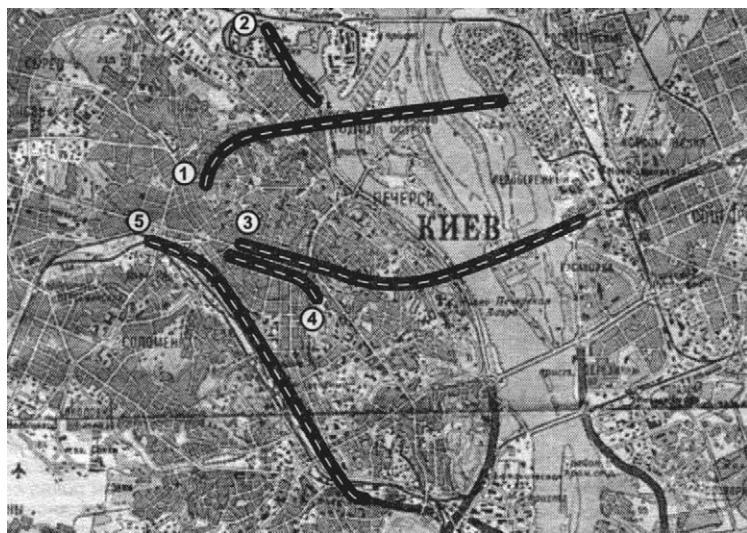


Рис. 4.16. Схема проектируемых автодорожных тоннелей г. Киева

ро, срок строительства – 68 месяцев);

№ 2 – продолжение ул. Богатырской, через гавань до ул. Набережно-Луговой (1,4 км, 128,8 млн. евро, 19 месяцев);

№ 3 – переход через Днепр у моста Метро с выходом на пл. Победы, который

соединит магистраль «Чернигов-Житомир» (7 км, 350 млн. евро, 38 месяцев);

№ 4 – от пл. Победы до ул. Бассейной (2,2 км, 193,6 млн. евро, 14 месяцев);

№ 5 – от ул. Борщаговского до ул. Саперно-Слабодской (6,2 км, 620 млн. евро, 67 месяцев).

КП «Киевавтодор» предлагает столичным властям с 2005 года начать создание материально-технической базы для проектирования и строительства подземных магистралей и наладки выпуска тубингов для тоннелей. Но сначала будет организована рабочая группа для создания технико-экономического обоснования возведения таких дорог. После одобрения Киеврадой объекты внесут в «Генеральный план развития Киева до 2020 года», проектанты, а затем и строители приступят к работе.

Справка. Первый автодорожный тоннель был построен методом щитовой проходки в 1825-1847 годах под рекой Темза в Лондоне. Наиболее известные из существующих ныне подземные магистрали функционируют в Граухольце (Швейцария) – 5,5 км, Сиднее (Австралия) – 5,6 км, Париже (Франция) – 10 км. Есть подземные трассы в Австрии, Китае, США. Самый длинный тоннель (57 км) сооружается в Сен Готтарде (Швейцария). Но больше всего таких магистралей строят нынче в Китае (26).

4.2.8 Освоение подземного пространства под Манежем в г. Москве

Пожар в марте месяце 2004 г. в Центральном выставочном зале «Манеж» в Москве, происшедший буквально на следующей день после закрытия в его стенах международной специализированной выставки «Подземный город-2004», полностью уничтожил это уникальное здание в центре столицы и почти у стен Кремля, построенное в начале XIX века во времена императора Александра I.

В настоящее время предложено несколько вариантов реконструкции этого здания [58]. Один из них – восстановить сооружение в первозданном виде. Но следует учесть, что в наш XXI век никому не нужно общественное здание в центре столицы России в качестве египетской пирамиды, обозреваемой лишь снаружи, особенно когда создавалось оно для поражения воображения посетителей своей масштабностью и торжеством инженерной мысли изнутри. Следует признать, что современные требования эксплуатации таких массово-зрелищных учреждений как экспозиционные, ярмарочные, концертные и спортивные требуют серьезной инфраструктуры, которую целесообразно разместить в подземном пространстве. Кстати, в первозданном варианте Манежа большая часть подземного пространства была занята служебными и техническими помещениями. Поэтому в сложившейся ситуации одной заменой крыши и реставрацией стен сгоревшего Манежа явно не обойтись – нужна серьезная реконструкция с усилением фундаментов и освоением подземного пространства под Манежем. К тому же за прошедшие десятилетия здание Манежа со всех сторон и на разной глубине опоясали подземные сооружения: тоннели Сокольнической, Арбатско-Покровской и Серпуховско-Тимирязевской линии метрополитена, соединительная ветка Филевской линии метрополитена, а также Торгово-рекреационный комплекс «Охотный ряд».

Москва непрерывно разрастается и развивается – с этим ничего не поделаешь. Не секрет, что в результате упомянутого строительства был нарушен сложившийся ранее режим грунтовых вод, произошли деформации фундаментов Манежа, практически на нет свелись возможности решения проблем памятника за счет внешних подземных пристроек. А тут еще и пожар...

Альтернативный вариант реставрации и реконструкции Манежа состоит в полном возвращении первозданного облика и внутреннего масштаба этому сооружению, убрав все

вспомогательные, служебные и технические помещения, столь необходимые сегодня, в подземное пространство. Тогда Манеж может быть использован не только в качестве современного выставочного и ярмарочного комплекса, но и для организации особых городских торжеств, концертов, балов и даже конно-спортивных праздников, если угодно, как это было во времена императора Александра I.

Данный вариант с 4-х этажным подземным пространством (рис. 4.17 цв. цвладка) может послужить подспорьем в поисках оптимального варианта решения проблемы реставрации Манежа.

На первом подземном этаже могут разместиться постоянно-действующие тематические выставки, дополнительные экспозиционные помещения, конференц-залы, рестораны и буфеты, общественные санитарные узлы, необходимый минимум служебных помещений. Второй подземный этаж предлагается полностью отвести служебным и техническим помещениям, разместив в них современные инженерные системы и оборудование. Третий и четвертый подземные этажи разумно отвести общественной и служебной автостоянкам.

И это не утопия – самые современные технологии подземного строительства уже пришли в Россию. Накопленный за последние 10 лет опыт использования самого безопасного – полужакрытого способа строительства – лучшая тому гарантия.

4.2.9 Строительство подземной части делового центра «Москва-Сити»

Строительство подземной части Центрального ядра Московского международного делового центра (ММДЦ) «Москва-Сити» - это уникальное и крупнейшее сооружение в Москве, строительство которого началось в 1998 г.

Концепция создания ММДЦ предусматривает интенсивное многоярусное (шестиуровневое) и многофункциональное использование подземного пространства и включает в себя следующие основные функциональные зоны [59]:

- пересадочный узел метрополитена;
- многоуровневый подземный паркинг;
- «подземный город»;
- комплекс конгресс-холла;
- культурно-зрелищный комплекс;
- высотное здание 50-этажной гостиницы;
- «Парк-Сити» с фонтанами, цветниками, газонами и зонами отдыха.

В конкурсе на право осуществления данного проекта принимали участие крупнейшие строительные компании. В итоге лучшими по срокам и стоимости строительства оказались предложения ОАО «Мосинжстрой» и ЗАО «Объединение «Ингеоком», которые образовали консорциум.

Подземная часть Центрального ядра (рис. 4.18 цв. вкл.), занимающая площадь около 500 тыс. м², - это многофункциональный комплекс, два нижних яруса которого представляют пересадочный узел метрополитена (две станции метро Сонцевской и Калининской линий и мини-метро). На III, IV и V этажах находятся закрытые автомобильные стоянки (паркинги) вместимостью 2500 машиномест. На верхнем, VI этаже, будет располагаться торговая зона, которая соединяется с помощью системы лифтов и эскалаторов с выставочным и культурно-зрелищным комплексами, зданием гостиницы и искусственным «Парком-Сити». Здесь планируется создать естественную и комфортную среду пребывания в ней человека.

Генеральным проектировщиком Центрального ядра является ГУП «Моспрект-2», инвестор - правительство Москвы.

Так как уровень грунтовых вод намного выше глубины сооружения Центрального ядра, то перед раскопкой котло-

вана была выполнена противofильтрационная несущая ограждающая стена.

Возведение стены длиной 1768 м и глубиной 26 п. м осуществлялось двумя способами:

- из буросекущихся свай диаметром 800 мм (835 п. м) с помощью буровых станков фирм «Бауэр» (Германия) и «Касагранде» (Италия);
- методом «стена в грунте» (912 п. м) с применением оборудования фирмы «Бауэр».

На установку ограждающей стены потребовалось 37,5 тыс. м³ специально подобранной бетонной смеси и 3,5 тыс. т арматуры.

Под защитой этой ограждающей противofильтрационной стены был разработан котлован длиной 450, шириной 125 и глубиной 26 п. м. При этом было вывезено около 1,8 млн. м³ грунта.

Разработанный грунт, чтобы не загружать транспортом район Красной Пресни, доставлялся к специально построенному на Москве-реке причалу, а оттуда на баржах вывозился за пределы столицы.

Для снятия давления грунтовых вод на дне котлована было пробурено несколько разгрузочных и самоизливающихся скважин, выполнен пластовой дренаж.

После завершения разработки по всему дну котлована была уложена монолитная железобетонная плита толщиной 2,2 м, ее объем составил 112,17 тыс. м³.

Затем строители приступили к возведению монолитных железобетонных конструкций шести подземных этажей Центрального ядра. В среднем ежемесячно укладывалось около 11 тыс. м бетона. Общий объем бетона, уложенного в монолитные железобетонные конструкции (включая устройство монолитной железобетонной плиты основания), на сегодняшний день составляет более 338 тыс. м³, не считая противofильтрационной стены, а также объемов бурона-

бивных свай, выполненных для усиления фундаментов и устройства отсечных стен подземных переходов.

Строительство подземной части Центрального ядра ведется круглосуточно, включая выходные и праздничные дни.

В настоящее время на подземных уровнях уже производятся отделочные работы, устройство внутренних инженерных сетей и монтаж инженерного оборудования, возведение и облицовка фасадов подэстакадного пространства, монтаж технологического оборудования в периметральном коллекторе, завершаются основные работы по строительству транспортной эстакады вокруг Центрального ядра ММДЦ «Москва-Сити».

4.3 Перспективы повторного использования выработанного пространства

4.3.1 Общие сведения

Проблема освоения подземного пространства и его многофункционального использования за последние 20 лет получила широкое распространение в городах многих стран мира. С 1980 г. этой проблеме были посвящены специальные международные симпозиумы в Торонто, Стокгольме, Штутгарте и в Днепропетровске.

Идея освоения подземного пространства не принадлежит нашим современникам и не является чем-то совершенно новым. Начало подземного строительства уходит корнями в глубокую древность: в Индии строили подземные храмы, в Турции на восьми подземных ярусах располагался небольшой подземный город, известны древние подземные поселения в Крыму. Преимущество подземного пространства с постоянной температурой и влажностью было понято давно и поэтому человечество перешло от простого использования природных пещер как мест временного укрытия к

созданию подземных сооружений многофункционального назначения.

В Украине первые попытки целевого использования естественных подземных пустот или специальных выработок относятся к XI веку. Уже в то время для проведения религиозных обрядов приспособлялись расположенные в черте города Киева Лаврские пещеры. В дальнейшем, на протяжении многих веков, пещеры использовались для этих же целей, но уже в комплексе с поверхностными архитектурными ансамблями. В конце XIX века подземные сооружения широко стали использоваться для выдержки марочных вин, производимых в Крыму и Закарпатье.

И только в последние десятилетия все большее внимание привлекают отработанные шахты и рудники в качестве готового подземного пространства, пригодного для повторного использования.

Известны два варианта освоения подземного пространства – это:

- строительство специальных подземных объектов;
- приспособление и переустройство выработок, высвобождающихся от горной и технической деятельности.

В данном разделе рассматривается второй вариант освоения подземного пространства – повторное использование выработок отработанных рудников и шахт.

Специалисты всех стран отмечают постепенное увеличение добычи минеральных ресурсов. Объясняется это ростом численности населения и его потребления. Как известно, развитие черной и цветной металлургии, промышленности минеральных удобрений, строительных материалов, химии немыслимо без минерального сырья. За счет тепла, выделяемого при сгорании угля и других видов топлива, получают 86% всей электроэнергии. С ростом объема добываемых полезных ископаемых ухудшаются условия их разработки: растут глубины, усложняются разведка и разработка, значительно повышается извлечение пустой породы,

необходимой для добычи единицы массы полезного ископаемого, и т.д.

Все это вместе взятое сопровождается увеличением затрат общественного труда на горнодобывающие работы, ростом себестоимости минерального сырья. В связи с этим все большее значение приобретает проблема комплексного освоения недр, разработки всех компонентов, представляющих ценность для народного хозяйства. В этом свете освоение части недр в виде полостей, образующихся в процессе извлечения полезных ископаемых, является важной проблемой, решение которой позволит вовлечь в сферу природных ресурсов повторное использование объемов подземного пространства, вмещающих минеральное сырье.

Считается, что размеры добычи и потребления основных видов минерального сырья за каждые 20 лет увеличиваются в 1,5-2,0 раза. Что касается известняка, то его добыча удваивается каждые 10 лет, т.к. карбонатное сырье потребляется почти в 50 отраслях народного хозяйства, при этом основным потребителем его являются различные строительные объекты и стройиндустрия, в том числе для производства извести, цемента и бутового камня.

В настоящее время в мире действуют свыше 40 тыс. горнодобывающих предприятий, которые ежегодно перерабатывают около 30 млрд. м³ горной массы. Добыча полезных ископаемых превышает 3.3 т/чел. в год. Все это свидетельствует об огромных объемах полостей, выработанного пространства, образующегося в земной коре, при подземной разработке месторождений полезных ископаемых на рудниках и шахтах.

4.3.2 Концепция использования выработанного пространства негорючих месторождений

Добыче (извлечению) полезного ископаемого предшествуют подготовительные работы, заключающиеся в со-

оружении капитальных (вскрывающих месторождений) и подготовительных выработок, имеющих большую протяженность (несколько десятков км) и небольшое поперечное сечение (10-20 м²). Основной же объем полостей образуется при извлечении полезного ископаемого, добычу которого организовывают таким образом, чтобы при соблюдении всех правил безопасности получить высокую производительность труда горнорабочих, низкую себестоимость и минимальные потери в недрах извлекаемого полезного ископаемого. К этому перечню добавилось в последнее время и требования о сохранности окружающей среды. Чем ценнее полезное ископаемое, тем меньше должны быть его потери в недрах.

С точки зрения вторичного использования выработанного пространства важно знать, какая судьба ждет его при разработке месторождения и после нее. Сохранение выработанного пространства возможно путем оставления в недрах целиков. В этом случае горные работы ведутся отдельными забоями-камерами, опорные целики между которыми удерживают от сдвижения покрывающие горные породы. Если не деформируется выработанное пространство, то, следовательно, сохраняется и поверхность земли. А это значит, что при таком способе разработки не нужно думать о рекультивации, перенесении различных построек, компенсации за отчуждение земли, ущербе, нанесенном флоре и фауне. И немаловажно, выработанное пространство сохраняется в виде полостей **потенциально пригодных для последующего использования.**

Но этот способ имеет существенный недостаток – большие потери полезного ископаемого в целиках. Величина потерь в значительной мере определяется глубиной разработки, прочностью извлекаемого минерального сырья, свойствами вышележащих горных пород. Она может достигать в отдельных случаях 60-70%. Система разработки камерами с оставлением опорных целиков в силу своей тех-

нологической простоты и экономичности (не требуется затрат труда и времени на крепление выработок) является самой простой. Ее отличает и наибольшая по сравнению с другими системами разработки производительность. Это связано с применением мощной самоходной техники и исключением из технологического цикла трудоемких работ, не связанных непосредственно с извлечением минерального сырья.

На долю описываемой системы разработки приходится более 30% добычи руды подземным способом. Ее удельный вес на рудниках цветной металлургии составляет около 25%. Эта система дает высокие технико-экономические показатели при эксплуатации обширных горизонтальных или пологих пластов руд средней и выше средней крепости при минимальной вынимаемой мощности 2-2,5 м и практически неограниченной максимальной. При высокой ценности руд целики могут заменяться бетонными столбами и отрабатываться. В зависимости от геологических условий, определяющих механические свойства руд и вмещающих горных пород, ширина (пролет) камер изменяется от 5 до 30 м и целиков – от 3 до 12 м. Геометрическая форма целиков бывает разная – столбчатая, сплошная ленточная, при этом столбы могут быть круглой, квадратной или прямоугольной формы.

Камерные системы разработки широко применяются также при выемке подземным способом каменных строительных материалов. Оработка шахтного поля в этом случае ведется на одном горизонте. Ширина камер 6-12 м, высота достигает 10 м и более. Разрабатываются пласты, залегающие на относительно небольшой глубине – от 30 до 150 м. Для придания большей устойчивости и жесткости системе камера-целик в кровле камер, как правило, оставляют слой (пачку) полезного ископаемого.

Камерной системой разрабатываются практически все месторождения каменной и калийной солей. Соль очень бо-

ится воды, поэтому шахтные стволы крепятся особо тщательно, чтобы не допустить просачивания воды. Пролеты камер на этих шахтах наибольшие – до 25 м, высота камер достигает 60 м. Большую ширину имеют и опорные целики.

Выработанное пространство, состоящее из камер, разделенных целиками, при правильно рассчитанных размерах выработок и целиков обычно сохраняется очень долго и может быть в дальнейшем использовано. Поэтому такие камеры можно считать полостями многоцелевого назначения.

Каменная соль (галит) образует крупные пластовые залежи, мощные толщи, слагает ядра соляных куполов. Она является необходимым пищевым продуктом, а также сырьем для производства соды, хлора, соляной кислоты, натрия и ряда солей. Как и каменная соль, калийные соли широко распространены в земной коре, они встречаются в осадочных породах практически всех возрастов. Потребность же в них невелика. И хотя добыча каменной соли производства во многих районах страны, почти половина ее падает на несколько крупных шахт в Донецкой обл., Закарпатье, в Оренбургской обл. (Соль-Илецк), Ереване и Нахичевани.

Камееносоляные шахты, как правило, вскрыты вертикальными стволами и отрабатывают месторождения на достаточно больших глубинах, достигающих 300 м. Размеры камер велики и зависят от того, пластовую или купольную залежь разрабатывает шахта. Например, шахты в г. Артемовске Донецкой обл. отрабатывают три пласта, имеющих почти горизонтальное залегание. Пролеты камер составляют 17 м, высота – 14 и 34 м. Ширина ленточных целиков в среднем 15 м. Камеры имеют протяженность в несколько сот метров. Можно себе представить размеры огромных залов, в которых переливаются кристаллы каменной соли под лучами светильников.

Еще более впечатляют камеры шахт, отрабатывающих соляной купол. Например, в Солотвинской шахте № 8 в Закарпатской обл. камеры имеют пролет 20 и высоту 60 м, а

размеры опорных целиков 30 x 50 м. Под стать им камеры в Соль-Илецком руднике: пролет и высота по 30 м при длине до 450 м.

Соляные шахты сухие, характеризуются благоприятными тепловлажностными режимами (температура в зависимости от глубины – 14-20⁰С, относительная влажность – 60-9%), отсутствием вредной флоры и фауны. При правильно подобранных параметрах системы разработки камеры обладают высокой долговременной устойчивостью (до сотен и больше лет), почва их почти горизонтальна.

Сказанное можно во многом отнести и к калийным шахтам. Основные районы подземной добычи **калийных солей** расположены на Северном Урале (известные всем Березняки и Соликамск), в Белоруссии и Западной Украине. Наиболее благоприятные условия для вторичного использования имеют отдельные участки березниковских и соликамских шахт. Они разрабатывают несколько пластов на глубине 120-350 м и вскрыты вертикальными стволами. Наибольшей устойчивостью обладают камеры, пройденные комбайнами, а также с использованием врубовых машин. Большинство камер не закреплено, но достаточно широко используется анкерное крепление. Размеры камер различны для разных пластов. Наиболее характерным сечением является пролет 16 м и высота 5-6 м. Протяженность камер около 200 м, между ними оставлены целики шириной 11 м. В связи с тем, что часть месторождения отработана непосредственно под городом, для предотвращения неприятных последствий для наземной застройки часть отработанных камер закладывается породой. Но главным сдерживающим фактором использования калийных шахт является необходимость проведения для размещения объектов новых вертикальных стволов в сложных горно-геологических условиях, с пересечением водоносных горизонтов и неустойчивых водонасыщенных грунтов.

Широко распространены в земной коре **карбонатные породы**. Их удельный вес в осадочных отложениях составляет по площади 16-28%. В Европе они занимают около 20% территории, в Азии – около 10%, в США площадь, занятая карбонатными породами, составляет 25%. Ежегодно в мире добывается 1,5 млрд. м³ карбонатного сырья. Карбонатные породы залегают выдержанными по литологическому составу пластами большой мощности. Разработку их облегчает горизонтальное и слабонаклонное залегание пластов.

В настоящее время подземная разработка карбонатных пород ограничивается месторождениями пористых известняков, распространенных главным образом в недрах Украины, Молдовы, Азербайджана, республик Средней Азии, отдельных областей России залегают около 5 млрд. м³ пористого известняка, из которых 45% приходится на Украину.

На месторождениях пористого известняка Молдовы рабочие пласты залегают почти горизонтально на глубине 10-60 м и лишь на некоторых шахтах разработка ведется на глубине немногим более 100 м. Рельеф местности позволяет осуществить вскрытие месторождений с речных террас и склонов оврагов, т.е. начать выемку камня прямо при проведении вскрывающих выработок – штолен. Нарушение сплошности поверхности недопустимо (наверху высокоценные сельскохозяйственные угодья), поэтому применяется камерная система разработки.

Мощность пластов известняка в среднем 15 м, сопротивление его сжатию колеблется от 1 до 7,5 МПа. Объемная масса известняка 1400-2300 кг/м³. В кровле разрабатываемого пласта прослеживается прочная перекристаллизованная разность известняка мощностью от 2,5-5 до 40 м, над ней залегают пески, супеси и глины. Последние являются хорошим водоупором, поэтому выработки сухие.

Пролет камер выбирается в зависимости от геологических условий и составляет 4,5-7,2 м. Высота камер при од-

нослойной выемке равна 2,4-2,6 м, при многослойной – до 7,2 м. Целики столбчатые, прямоугольные, размерами 10 х 10 и 10 х 20 м. Коэффициент извлечения не превышает 0,4. Выработки, как правило, не крепятся, но в последние годы, особенно с переходом на многослойную выемку, получила распространение анкерная железобетонная крепь. На шахтах Одесской обл. разрабатывается менее прочный понтический ракушечник, поэтому пролеты камер в них меньше – 2,9-3,7 м. Наоборот, в условиях Крыма более прочный, чем в Молдове, известняк, позволяет получать пролеты камер до 10 м.

Особенностью технологии добычи пильного камня в шахтах является применение камнерезных машин, работающих на выпиливании известняков, имеющих прочность на сжатие не более 10 МПа, тогда как техника, применяемая на открытых горных работах, позволяет выпиливать значительно более прочный камень. Технология добычи включает в себя выпиливание блоков (или штучных камней), съем их из забоя, складирование, отгрузку, транспортировку, уборку отходов камнепиления. Как показал многолетний опыт эксплуатации месторождений пористого известняка, горные выработки, пройденные камнерезными машинами, в течение длительного времени сохраняют свою устойчивость без крепления. Даже в очень старых выработках наблюдаются лишь локальные вывалы (отслоения) пород кровли, причем используются методы контроля, которые задолго до этого могут указать на возможность таких явлений.

По распространению в земной коре и морфологии месторождений весьма перспективны для вторичного использования сульфатные отложения (главным образом гипс). Для **гипсовых месторождений** характерны спокойное, близкое к горизонтальному (угол падения пластов 0-10⁰), неглубокое (30-150 м) залегание в виде пластов и линз, насыщенность продуктивной толщи пластами (от 2 до 10), большая мощность пластов (3-30 м), сложное строение пла-

стов, значительная изменчивость литологического состава свойств и мощности вмещающих пород, отсутствие вредных газовыделений из массива, небольшие водопритоки в выработки.

Около половины гипсового сырья добывается подземным способом. Благоприятные горно-геологические условия, сравнительно широкое распространение и устойчивость гипса в обнажениях предопределили камерно-столбовую систему разработки. Камеры имеют пролеты в среднем 8-11 м, высоту 4-18 м. Коэффициент извлечения гипса колеблется от 0,32 до 0,80. В кровле пластов оставляется защитная пачка гипса мощностью до 8,5 м. Ширина целиков близка по величине к пролету камер и составляет в среднем 10 м при длине их 50-150 м.

Следует подчеркнуть, что, несмотря на большие размеры целиков, не всегда удается долго поддерживать выработанное пространство. Гипс коварен. Негативное влияние на состояние породного массива взрывной отбойки, выветривание и реологические процессы могут привести к обрушениям. Исследования показали, что при взрывной отбойке в целиках образуются трещины на глубину до 1 м. Совместное влияние трещиноватости и слоистости гипсовой толщи вызывает местные расслоения кровли, поэтому кровлю при разработке буровзрывным способом рекомендуется анкеровать.

В последние годы на гипсовых шахтах внедряется комбайновый способ разработки. Применение машинной технологии позволяет сохранять массив на контуре выработок, проходить их с заданными параметрами и с большими сечениями. Используя различные комбайны, можно получить выработки с любой формой поперечного сечения. Открываются большие возможности и для подземного размещения объектов народного хозяйства, с помощью комбайнов можно обеспечить погоризонтную подготовку камер, проведение наклонных съездов, четкую трассировку выработок с

оставлением изолирующих целиков. При этом подготовленные выработки будут обладать высокой долговременной устойчивостью.

Гипсовые шахты, как правило, вскрыты штольнями или слабонаклонными стволами, что в сочетании с устойчивыми камерами большого поперечного сечения дает основание поставить их в первый ряд горнодобывающих предприятий, перспективных для вторичного использования в народном хозяйстве. В то же время область использования гипсовых шахт сужена. Небольшое их количество расположено лишь в нескольких регионах: в Поволжье, в Донецкой, Тульской и северных областях.

Сводные данные, характеризующие горные выработки шахт по добычи карбонатно-сульфатного и галогенного сырья, приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2 – Размеры горных выработок шахт по добыче карбонатно-сульфатного и галогенного сырья

Полезное ископаемое	Средняя глубина разработки, м	Размер камер		Размеры целиков, м
		ширина	высота	
1	М	3	4	5
Известняк кристаллический	30-50	8-12	3-10	6-10
Известняк пористый	20-50	4-10	2,4-8	5-10
Гипс	до 100	8-11	4-18	8-12
Каменная соль	150-300	17-25	14-60	8-12
Калийная соль	200-300	10-20	6-10	5-12

Все рассмотренные месторождения характеризуются высокой устойчивостью горных выработок, отсутствием водопритоков, вредных газопроявлений, благоприятной микробиологической средой для размещения любых объек-

тов. Температура и относительная влажность воздуха в выработках в течение года колеблются незначительно и составляют в среднем соответственно 10-15⁰С и 85-95% (солё – 60-85%). Поверхности выработок, в основном достаточно ровные, не требуют дополнительной отделки, почва выработок близка к горизонтальной. Горные породы обладают высокими теплоизоляционными, виброизоляционными свойствами и огнестойкостью.

Таким образом, большой объём выработанного пространства, пригодного для вторичного использования (и возможность его увеличить), с ростом подземной разработки месторождений каменных строительных материалов создает хорошие горнотехнические предпосылки для подземного размещения различных объектов народного хозяйства. Этому способствует широкое распространение карбонатно-сульфатных и галогенных отложений

В настоящее время на Украине строится и эксплуатируется много крупных производственных подземных объектов, использующих **подземное пространство для хранения газа и нефтепродуктов**. За последние 20 лет осуществлены работы по созданию подземных хранилищ общей активной емкостью около 35 млрд.м³ в основном на базе отработанных газовых месторождений в Днепропетровско-Донецкой, Карпатской и Шебелинской (на Харьковщине) нефтегазоносных провинциях. На Украине этот показатель один из наибольших в Европе. Благодаря своему исключительно выгодному географическому положению эти хранилища кроме снабжения газом потребителей Украины, обеспечивают надежность транзита экспортируемого Россией природного газа в страны центральной и западной Европы, а также косвенно обеспечивают регулирование газоснабжения республики Беларусь. Кроме этого Украина располагает подземными хранилищами нефти, мазута и других нефтепродуктов в сотни тысяч м³, для которых используются, в основном, соляные шахты. На территории нашего государ-

ства есть потенциальная возможность для устройства новых хранилищ такого типа на неограниченные объемы хранения.

Украина является одним из немногих государств мира, располагающим дополнительным потенциальным богатством – наличием большого количества отработанных горных выработок, пригодных для повторного использования в народнохозяйственных целях. Площадь пригодных и рекомендуемых к повторному использованию горных выработок составляет 3,5 млн. м² при объеме выработанного пространства около 40 млн. м³. Значительная часть этих объемов находится в Донбассе.

Актуальная проблема утилизации имеющегося свободного объема недр в виде вторичного использования в народном хозяйстве подземных горных выработок, бездействующих подземных сооружений и естественных полостей, требует решения первостепенной задачи – обеспечения их долговечной и надежной устойчивости.

В настоящее время лишь незначительная часть горных выработок после извлечения полезного ископаемого остается в состоянии пригодном для повторного использования. Остальные выработки находятся в бесконтрольном состоянии, они разрушаются и частично или полностью самоликвидируются, нарушая ландшафт в местах обрушений и провалов, угрожая безопасности коммуникаций, железных и автомобильных дорог, жилых поселков и городов. Поэтому консервация подземных горных выработок приобретает в горно-строительном деле значение самостоятельного направления инженерной деятельности, способной сохранять фонд отработанных пространств в устойчивом состоянии до момента передачи их потребителю, нуждающемуся в получении промышленных площадей, заинтересованному в совершенствовании проектирования разработки месторождения полезного ископаемого, вскрытия и проходки выработок, его эксплуатации, консервации выработок или соору-

жений и заканчивая размещением в них подземных объектов, т.е. заинтересованному в пригодном состоянии эксплуатационных выработок и сооружений для повторного использования.

Как показал мировой опыт основное **кредо освоения подземного пространства – это принцип использования недр и сохранения полостей как видоизменяемого ресурса.** Данный принцип предполагает, что извлечение того или иного ресурса недр необходимо планировать с учетом возможности создания подземных полостей, использование которых позволит не только компенсировать первоначальные затраты, но и получить дополнительный хозяйственный, экономический и социальный эффект.

В связи с этим принципом, параметры проектируемых объектов, технология их строительства и эксплуатации выбираются соответствующим образом, т.е. с учетом принципа повторного использования при обеспечении экологического равновесия окружающей среды.

Для упорядочения осуществления инженерных мероприятий по обеспечению долговременной сохранности выработанных пространств Украины еще в 1989 г. были разработаны Рекомендации по консервации подземных горных выработок, перспективных для повторного использования в народном хозяйстве. В Рекомендациях отмечается, что полностью или частично избежать консервацию и приспособить подземные горные выработки для повторного использования можно путем заложения в проектах их строительства инженерных мероприятий по целевой подготовке месторождений полезных ископаемых, с учетом объемно-планировочных решений, предъявляемых к горнодобывающему предприятию потребителям (заказчикам) на вторичное использование конкретной подземной горной выработки.

Существующие горизонтальные и наклонные выработки вскрытия месторождений негорючих полезных ископае-

рых непригодны для повторного использования в качестве транспортных выработок подземных объектов из-за малых поперечных сечений (18-22 м²). Такие выработки могут быть использованы как вспомогательные, вентиляционные или как запасные коммуникации.

Успешному развитию эксплуатации карбонатно-сульфатных (гипс, ангидрит, известняк) и галогенных (калийные и каменная соль) негорючих месторождений, а также повторному использованию способствуют эффективные нетрадиционные схемы вскрытия – наклонными и спиральными стволами сечением 40-60 м², которые оборудуются железнодорожными или автомобильными съездами (рис. 4.19 – 4.23).

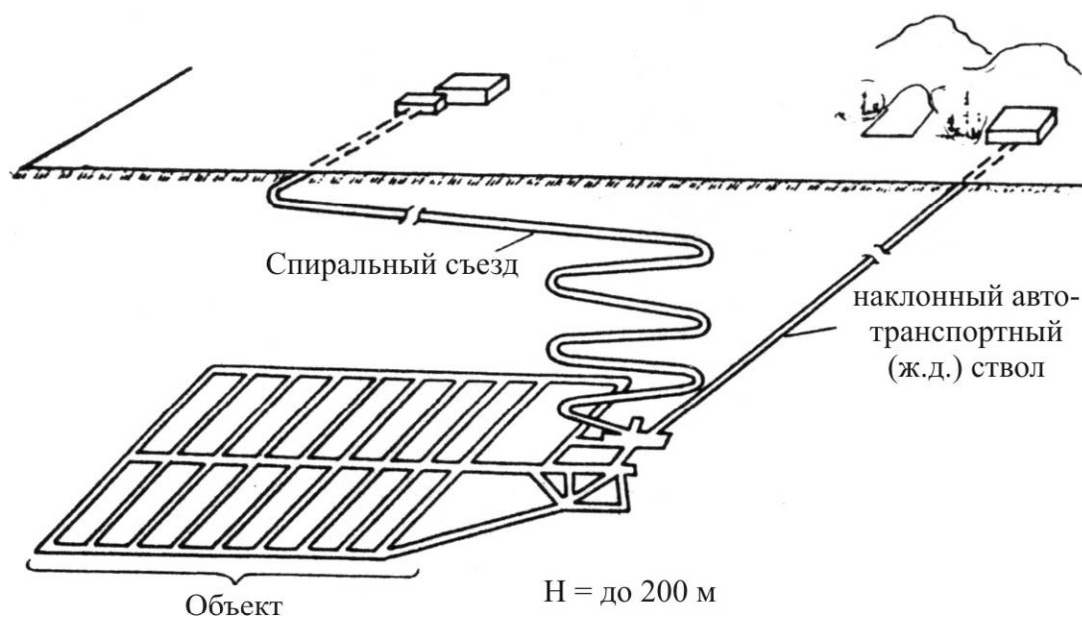


Рис. 4.19. Автомобильный спиральный съезд и наклонный автотранспортный (железнодорожный) ствол

Применительно к отработанным горным выработкам Артемовского месторождения соли (Донецкая обл.) с мощностью пласта 20-28 м на глубине 140 м, с возможной площадью повторного использования 388 тыс. м² и объемом 4 млн. м³, то для дальнейшего успешного повторного использования этого многоцелевого объекта с долгосрочным пе-

риодом эксплуатации могут быть предложены следующие варианты решения транспортной проблемы [60]:

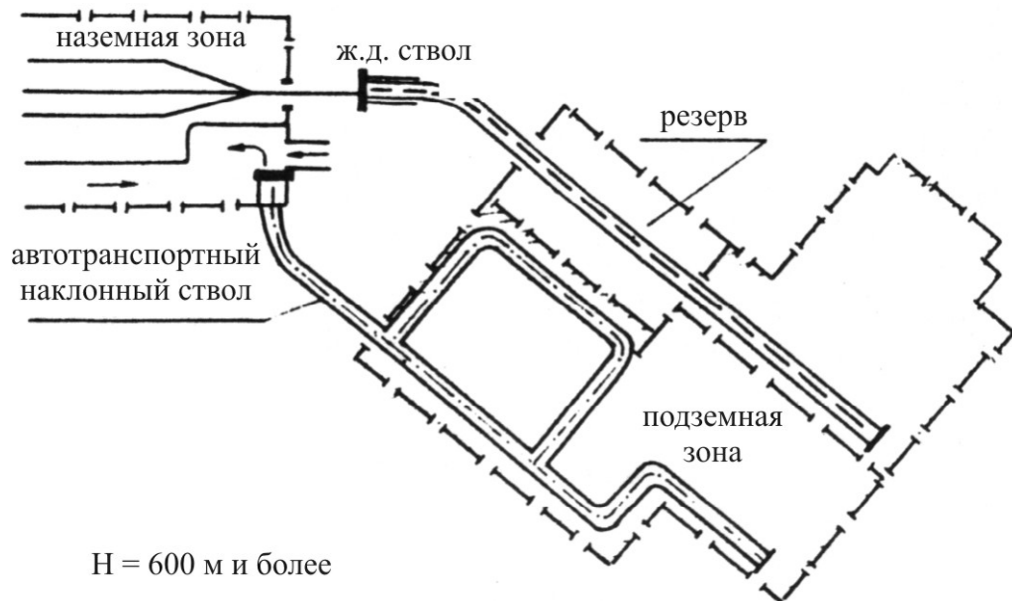


Рис. 4.20. Железнодорожный и транспортный наклонные стволы

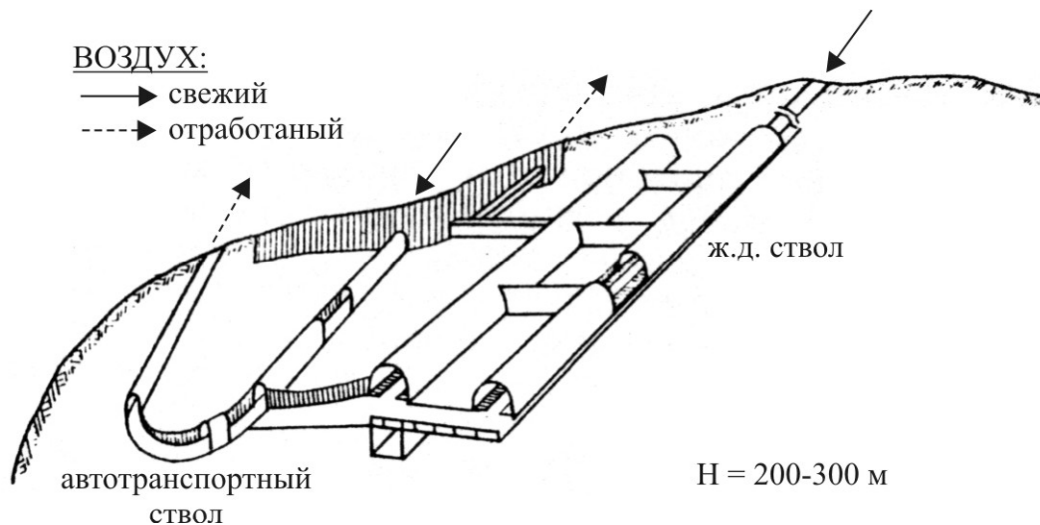


Рис. 4.21. Автотранспортный и железнодорожный стволы

- сооружение наклонного автотранспортного ствола сечением 60 м^2 , длиной 2 км и вертикального ствола;
- сооружение железнодорожного прямолинейного ствола сечением 60 м^2 , длиной 4 км и вертикального ствола.

Необходимость такого решения обусловлена ограниченной пропускной способностью существующих вертикальных стволов малого диаметра, не позволяющих эффек-

тивно повторно использовать большие объемы выработанного пространства.

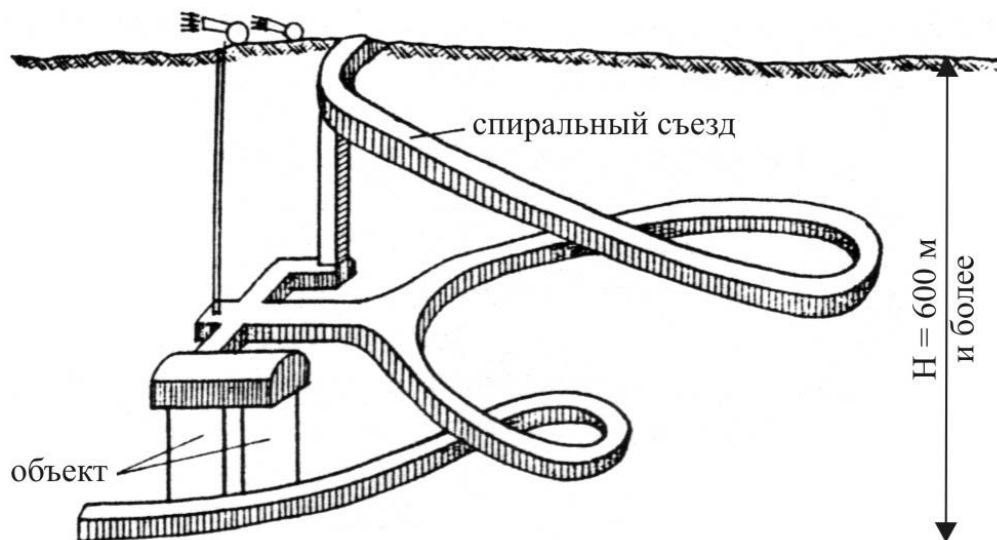


Рис. 4.22. Спиральный съезд, вертикальный вентиляционный ствол, вентиляционная скважина

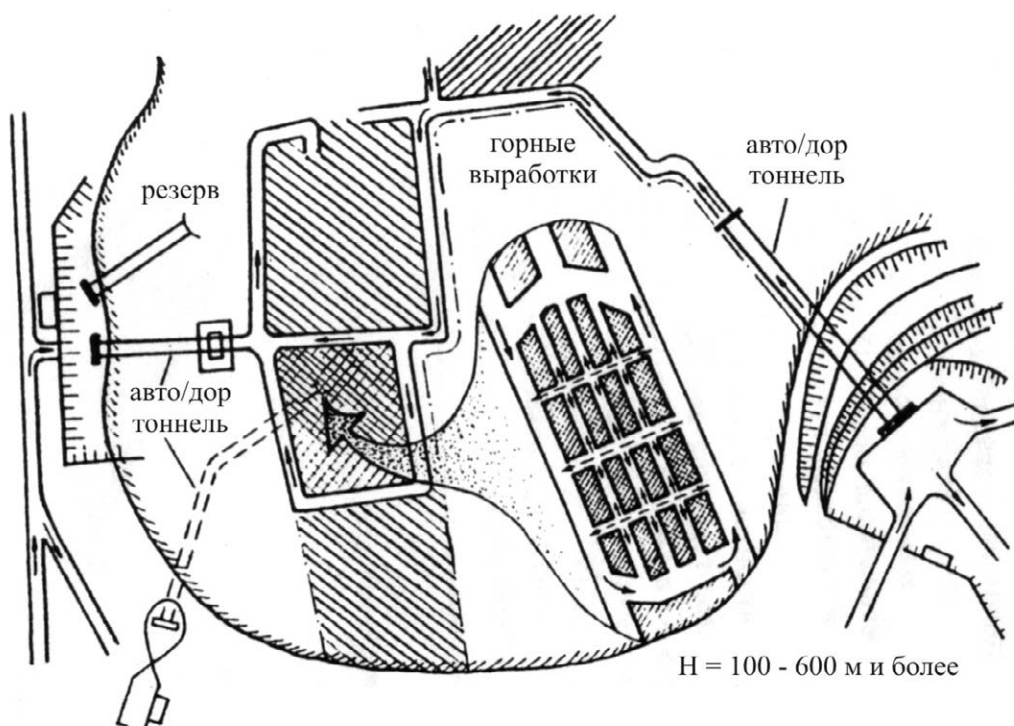


Рис. 4.23. Автотранспортные стволы

Гипсовое месторождение Донбасса (г. Артемовск) расположено на глубине 80 м, вскрыто наклонными штольнями, имеет площадь отработанных горных выработок, подлежащих повторному использованию, 400 тыс. м² при объ-

еме 6 млн. м³. Из условий устойчивости, надежности и обеспечения пропускной способности при повторном использовании институтом «ПромстройНИИпроект» рекомендован автотранспортный наклонный ствол для грузов и эскалаторный тоннель – для трудящихся.

Установлено, что при дополнительных капитальных затратах на сооружение наклонных транспортных выработок сечением 60 м², экономическая эффективность подземного группового размещения объектов указанных месторождений соли и гипса по сравнению с наземными аналогами составляет 20-30%.

4.3.3 Использование выработанного пространства угольных месторождений

В современных условиях особую актуальность приобретает проблема рационального использования в народном хозяйстве подземного пространства угольных месторождений. Дефицит территории населенных мест, проблемы экологии и экономической целесообразности диктуют необходимость их решения за счет повторного использования подземного пространства отработанных горных выработок шахт [61].

Наибольшую остроту проблема приобретает в условиях Донбасса. Это обусловлено:

- развитой инфраструктурой;
- высокой плотностью населения;
- сложностью экологической ситуации;
- закрытием нерентабельных шахт;
- привлекательностью наличия готовых объектов;
- возможностью разгрузить зону обитания человека от техногенных воздействий и инженерных сооружений;
- необходимостью включения в полезную деятельность уже осуществленных затрат, что при плановом

их освоении удешевит и первичное и вторичное производство;

- возможностью обеспечить безопасность технологий некоторых производств, связанных с риском значительного загрязнения зоны обитания человека.

Анализ показал, что состояние выработок и устойчивость их кровли обуславливают такие основные факторы:

- мощность угольных пластов;
- литологический состав и физико-механические свойства вмещающих пород;
- способ отработки и управления кровлей;
- глубина расположения выработок;
- давность выработки пласта.

Исследованиями было установлено, что на большей части территории Донбасса старые очистные выработки до глубин 80 м обрушены и заполнены разуплотненной породой. Мощность зон разуплотнения изменяется от 0,5-1,0 до 1,0-1,5 м. Мощность пустот изменяется от 0,3-0,5 до 1,5-2,0 м. Обычно провалы бурового инструмента приурочены к глубинам 30-60 м, что объясняется развитием до 30-35 м зоны интенсивного выветривания пород. Глубже 60 м выработки начинают испытывать сильное горное давление, приводящее к обрушению кровли.

Коэффициенты пустотности выработанного пространства при глубинах отработки до 100 м составляет порядка 50%. На больших глубинах коэффициенты пустотности снижаются и на глубинах 200-500 м составляет в среднем 30%.

Подземные пространства шахт по продолжительности сохранения своей формы разделяются на две группы [62]:

I – сохраняющие свою форму длительное время (капитальные выработки): вертикальные и наклонные стволы, приствольные камеры, выработки околоствольных дворов, капитальные протяженные горизонтальные и наклонные.

Объем выработок этой группы составляет 2...5% выработанного пространства шахты;

II – сохраняющие свою форму короткое время выработки, которые образовались в результате ведения очистных работ. Они составляют 95...98% выработанного пространства шахты.

Средние значения объемов рабочих пространств на закрытых в 1996-97 гг. шахт по I группе составляют 400 тыс. м³ (2,3%), по II группе 2 – 19,5 млн. м³ (97,7%).

Шахта годовой мощностью 300 тыс. т, проработавшая 50 лет, имеет объем выработок около 15 млн. куб. м, а объем пустот составляет 5-6 млн. м³.

Таким образом, зоны обрушения, сформированные при отработке угольных пластов, можно рассматривать как емкие коллекторы для утилизации отходов как угольных так и других промышленных предприятий.

Выработанное пространство оказывает существенное влияние на окружающую среду. Объем нарушенного подработками природного массива составляет 600 км³. Проседания охватывают 50...60% шахтных полей, что привело к формированию региональной депрессионной воронки глубиной 25-40 м. Локальные проседания колеблются в пределах 1,5...5,5 м, в среднем – 1,5...2,5 м. В угольных бассейнах, в частности, в Остраво-Карвинском (Чехословакия) отмечены техногенные землетрясения.

В связи с проседанием нарушен гидрологический режим, произошло подтопление значительных площадей в городах Донецк, Макеевка, Краснодон, Стаханов.

Горные выработки многих шахт, массивы деформированных пород над ними, соединяются между собой отличающимися высокой проницаемостью тектоническими нарушениями. Это приводит к выходу на поверхность метана, что сопровождается в отдельных случаях взрывами (район г. Стаханова и др.).

Выработанное пространство угольных месторождений значительно отличается по параметрам и возможностям их использования от выработанного пространства других месторождений полезных ископаемых (гипса, известняка, соли, железной руды), что требует дифференцированного подхода при его освоении.

Анализ отечественного и зарубежного опыта повторного использования выработок горнодобывающих шахт позволяет сделать вывод о том, что данные выработки можно использовать во многих сферах народнохозяйственной деятельности.

Учитывая параметры горных выработок шахт на III Международной конференции «Проблемы и перспективы освоения подземного пространства крупных городов» (г. Симферополь, Украина, 1998 г.) одобрены следующие основные направления повторного использования горных выработок угольных месторождений.

I Размещение в подземном пространстве объектов горнодобывающей промышленности.

К данным объектам может относиться подземный обогатительный комплекс в околоствольном дворе шахты с размещением шламоотстойников в выработанном пространстве. Так, для условий ш.Новгородовская (Донбасс, объединение Селидовуголь) разработан проект сооружения данного объекта. Применение крутонаклонных сепараторов КНС-108 для обогащения угля требуют большого количества технической воды. С этой целью используют шахтную воду, поступающую в неограниченном количестве в водосборники шахты. Технологией предусматривается, что шламовая вода после процесса обогащения горной массы осветляется и направляется в зумпф к насосной оборотного водоснабжения, которая перекачивает осветленную воду в расходный бак сепараторов. Шлам, полученный в процессе обогащения перекачивается в шламоотстойники, расположенные в отработанных выработках. Обогащенный уголь

выдается на поверхность, а порода (отделенная в процессе обогащения от горной массы) – размещается в выработанном пространстве шахты. Данное решение позволяет:

- ликвидировать отвалы породы;
- освободить земельные участки, занимаемые под золоотвалы и под промышленные участки обогатительных фабрик;
- получить экономию за счет отказа от необходимости строительства здания обогатительной фабрики;
- снизить деформации земной поверхности в связи с закладкой выработанного пространства шахты;
- улучшить экологию окружающей среды за счет ликвидации отвалов породы на поверхности.

Общая сметная стоимость строительства рассмотренного подземного обогатительного комплекса – 2 млн.100 тыс. гривен. При сооружении комплекса общая стоимость реализованного угля за счет снижения зольности горной массы с 40,6 до 32,4% увеличивается на 2 млн.800 тыс.грн. в год. С учетом капитальных затрат на сооружение камер для размещения оборудования подземного обогатительного комплекса предложенный проект должен окупиться в течение 2-3 лет.

II Размещение в погашаемых выработках шламов тепловых электростанций.

Тепловые электростанции Донбасса (Кураховская, Зуевская, Углегорская) обычно располагаются по соседству с шахтами. Работа станции сопряжена с получением золы как остаточного продукта сгорания угля, которая ежедневно тысячами тонн выбрасывается в золоотвалы. Расположенные на поверхности земли они под действием атмосферных явлений (солнца, ветра, дождя) являются источниками загрязнения окружающей среды. Инфильтрация шлама через основание золоотвалов приводит к загрязнению грунтовых вод, питающих всю растительность окружающего района и

пагубно влияющих на источники питьевой воды. На рядом расположенных шахтах в процессе проведения подготовительных выработок и выемки угля в горном массиве создаются пустоты, которые могут повлечь деформацию дневной поверхности со всеми вытекающими последствиями (разрушение сооружений, нарушение гидрогеологического режима района и т.д.).

Утилизация золы, получаемой на теплоэлектростанциях Донбасса, в выработанное пространство ближайших шахт имеет следующие преимущества:

- ликвидация отрицательного воздействия на окружающую среду золоотвалов теплоэлектростанций;
- снижение деформации земной поверхности;
- высвобождение земли, занимаемой золоотвалами.

Для реализации данного решения необходима изоляция отработанного пространства, используемого для утилизации золы, от других объектов действующей шахты и обеспечение временной устойчивости отработанного пространства до заполнения его золой.

С учетом приведенных рекомендаций ПНО «Спецтампонажгеология» готовит технико-экономическое обоснование утилизации золы Кураховской ТЭС в выработки закрываемой шахты «Горняк» (объединение Селидовуголь). На основе золошлаков ТЭС разрабатываются оптимальные рецептуры закладочного раствора и технологические схемы его нагнетания в погашенные выработки применительно к конкретным условиям шахты.

Вместе со шламом возможна подача хозфекальных стоков после первой стадии обработки на очистных сооружениях. Для этого необходимо выбирать отработанные угольные пласты, расположенные между глинистыми породами, не допускающими фильтрации. При подаче предварительно обработанных хозфекальных стоков в выработанное пространство отработанных угольных пластов возможна

экономия за счет отказа от строительства дорогостоящих очистных сооружений.

III Использование выработанного пространства шахт для размещения пород террикоников

Наиболее актуальной проблемой для Донбасса является захоронение промышленных отходов. Только в Донецкой области сосредоточено около 4 млрд. т отходов (25% от всех накопленных в Украине). На каждого жителя Донбасса приходится 800 т отходов, что в два раза выше средних показателей по Украине.

Объемы переработки текущих отходов пока не превышают в среднем 25% (50% - в металлургии, 20% - в энергетике, 10% - в угольной промышленности, 3...5% - при добыче нерудных ископаемых), т.е. накопление их продолжается, не говоря уже о накопленных ранее отходах, представляющих собой техногенные месторождения энергетических и минеральных ресурсов. Зачастую отходы являются более ценными, чем первичное сырье.

Строительство, как и реконструкция шахт, невозможна без проходки стволов. Сооружение только одного ствола диаметром 8 м и глубиной 1000 м предусматривает выдачу на поверхность около 100 тыс.м³ разрушенной горной породы, которую необходимо уложить в отвалы. А при строительстве шахты «Красноармейская-Капитальная» с 7 стволами глубиной 1000 м объем извлеченной породы составил 1,2 млн. м³. Существующая технология добычи угля также предусматривает выдачу на поверхность не только полезного ископаемого, но и большого количества (до 30% от добычи угля) горной породы, которую располагают на поверхности в виде отвалов (террикоников). Свою лепту в создание террикоников вносят и поверхностные обогатительные фабрики. В настоящее время на территории Украинской части Донбасса расположено более 1183 террикоников и отвалов, из которых происходит выделение ядовитых

газов и пылеобразование, ухудшающих экологию окружающей территории. Кроме этого общая площадь земель выведенных из хозяйственного оборота с учетом 200 м опасной зоны и 500 м санитарной зоны вокруг каждого отвала – составляет 121 тыс. га.

Учитывая необходимость захоронения отходов угольных предприятий, в Донбассе разработаны Предложения по использованию подземного пространства с целью размещения в них пород отвалов. Разработаны практические рекомендации, согласно которым отходы промышленных предприятий целесообразно захоронить в виде стабильных закладочных смесей, что позволяет их располагать в радиусе 100-200 м от каждой скважины пробуренной с поверхности земли. Стабильность (седиментационная устойчивость) закладочных смесей обеспечивается при их затворении на глинистом растворе.

Закладочные смеси, приготовляемые из отходов предприятий угольной промышленности, хорошо прокачиваются на большие расстояния по трубам диаметром 50 мм при плотности 1500-1700 кг/м³.

В зависимости от размеров отработанных выработок их заполнение породами отвалов следует производить в напорном или безнапорном режиме нагнетания закладочных смесей.

В настоящее время ПНО «Спецтампонажгеология» исследованы свойства отходов производства шахты «Центральная» (объединения Антрацит) на пригодность заполнения выработанного пространства, разработана технологическая схема утилизации породного отвала в выработки закрываемой шахты, осуществлена технико-экономическая оценка производства работ по захоронению 10 тыс. м³ отвалов в пустоты шахты «Центральная» по пласту К₅ через три технологические скважины глубиной 240 м и диаметром 90 мм.

В Донбассе имеется опыт заполнения отработанных подземных пространств путем размещения в них отходов промышленных предприятий. Так за 20 лет ликвидировано 80 погашенных подготовительных и очистных выработок на глубинах до 470 м от земной поверхности на территории производственных объединений Антрацитуголь, Краснодонуголь, Макеевуголь, Артемуголь, Ростовуголь и т.д.

По самым общим расчетам в отработанные пространства угольных шахт Донбасса за последние 20 лет перемещено около 1,5-2 млрд. т пород. При этом токсичные вещества, которые содержатся в шахтных породах, снова попадают под землю и перестают негативно влиять на природу.

Для снижения затрат, связанных с захоронением отходов угольной промышленности в выработанное пространство шахт, необходимо организовать попутное извлечение полезных составляющих из отходов: угля из шламов обогатительных фабрик, редкоземельных и цветных металлов – из породы и золы ТЭС.

Исследованиями ученых Донецкого государственного технического университета установлено, что как в бурых углях Александрийского бассейна в Днепропетровской области, так и вмещающих породах содержится от 0,5 до 3,2 г золота на тонну угля или вмещающих пород. Следует иметь в виду, что содержание 2 г золота на тонну крепких пород, залегающих на большой глубине, уже рентабельно для их извлечения и разработки.

В Донбассе большое число шлаковых отвалов ТЭС, где десятилетиями накапливалась золотоносная зола – ведь золото не горит. Добыча драгоценного металла может вестись либо попутно с углем, либо с переработкой шлаков. И это не только предположения. В России начали эти работы позднее и уже опередили нас. На Рефтинской ТЭС возле Екатеринбурга сжигают угли Экибастузского бассейна. Так вот там с помощью шведской обогатительной установки доказали, что даже ради 0,2 г золота перерабатывать тонну

золошлаков – рентабельно, т.к. грамм добытого золота обходится от 2 до 5 долл. США, а цена на мировом рынке – 10 долл.

Между тем шлаков экибастузских углей у нас на Украине тоже в достатке. В 30-х годах эти угли завозились на наши теплоэлектростанции, в частности, на Кураховскую ТЭС.

Существующий опыт и технические разработки показывают, что кроме представленных, возможны следующие направления повторного использования выработанного пространства угольных месторождений:

- размещение радиоактивных отходов;
- в качестве хранилищ технической воды;
- утилизация городского мусора;
- круглогодичного выращивания грибов, цветов и некоторых других видов сельхозпродукции.

Существуют предложения по использованию центрально-сдвоенных стволов закрывающихся шахт для строительства аэроэлектростанций. В качестве рабочих органов аэроэлектростанций могут служить прототипы ортогональных ветродвигателей, имеющих ряд преимуществ по сравнению с традиционными пропеллерными ветродвигателями.

Как известно, эффективность любого аэроагрегата в первую очередь зависит от аэродинамических характеристик его аэроколес. Одно из основных преимуществ ортогональных аэродвигателей – непрерывная смена углов атаки лопастей воздушным потоком, что делает их высокобыстроходными даже при малых скоростях воздушного потока. Такая особенность позволит при небольших скоростях потока воздуха в стволе обеспечить достаточную скорость вращения аэроколеса за счет естественной тяги воздуха.

В связи с закрытием шахт предлагаются интересные проекты по использованию стволов для реализации вертикальной технологии производства тяжелых бронированных

высоковольтных кабелей значительной длины (АО «ДАН-КО»), производства биогаза из отходов животноводства и др.

Весьма актуальными представляются задачи повышения сохранности консервируемых выработок и их использование в качестве подземных газохранилищ [63]. Буферные резервуары (раздаточные станции) позволят не только создавать запасы, но и сглаживать межсезонные и суточные колебания нагрузки в магистральных трубопроводах, не допускать дефицита газа у потребителей.

Актуальность данного вопроса возрастает в связи с реструктуризацией угольной промышленности, в процессе которой намечается вывести из эксплуатации десятки шахт. Использование подготовительных, капитальных и очистных выработок тем более важно, что ликвидируемые шахты находятся в пределах городских агломераций, в основном газифицированных. В таких условиях, как правильно подчеркивают авторы рассматриваемой статьи, «буферные резервуары (разведочные станции) позволят не только создавать запасы, но и сглаживать межсезонные и суточные колебания нагрузки в магистральных трубопроводах, не допускать дефицита газа у потребителей».

Оборудование хранилищ не требует значительных капитальных затрат, а поверхностное можно смонтировать в пределах земельных отводов угледобывающего предприятия. При этом владельцем может оставаться Минуглепром, передавая выработки и установки шахты в аренду. Опыт тушения подземных пожаров способами изоляции и комбинированным, в частности, рециркуляцией продуктов горения, подтверждает возможность создания практически герметичного объема в сети шахтных выработок.

Примерная схема оборудования такого хранилища представляется следующей (рис. 4.24). Главный ствол, шурф и другие выработки с выходом на поверхность перекрыты изолирующими герметичными взрывоустойчивыми

перемычками. В стволе смонтирована автоматизированная водоотливная установка, например эрлифтного типа, работающая от шахтного компрессора. Через перемычку шурфа проведен оборудованный взрывопреградительным устройством магистральным газопровод. Расходный газопровод, через который газ направляют потребителям, имеющий возможность коммутации с шахтной вакуум-насосной установкой, выведен из шурфа или ствола через перемычку. В качестве подземного резервуара служат полости магистральных и пластовых выработок, а также трещины в зонах неупругих деформаций, окружающих подготовительные, очистные выработки и выработанные пространства. Хранилище оснащено средствами контроля, автоматизации, противоаварийной защиты, резервными трубопроводами. В перемычках предусмотрены герметизирующиеся проемы для прохода людей при выполнении ревизий и ремонтов.

Перед заполнением резервуара производят его вакуумирование с помощью установки 3, а затем подают газ из трубопровода 1.

Работа такого газохранилища подобна действию традиционных подземных резервуаров и состоит в расходовании-пополнении запасов природного газа, однако ей присущи большая инерционность и явление псевдоразгерметизации. Выражаются они в следующем. Отработанная шахта содержит несколько десятков километров различных технологических подземных выработок, средняя площадь поперечного сечения которых около 10 м^2 . Учитывая, что шахта годовой мощностью 300 тыс. т, работавшая в течение 50 лет, имеет объем только выработок 15 млн. м^3 , т.е. объем пустотности составляет 5 млн. м^3 . Технологическая вместимость хранилища превзойдет объем изолированного пространства, так как дополнительное количество газа сорбируется углем и породами в зонах неупругих деформаций вокруг выработок.

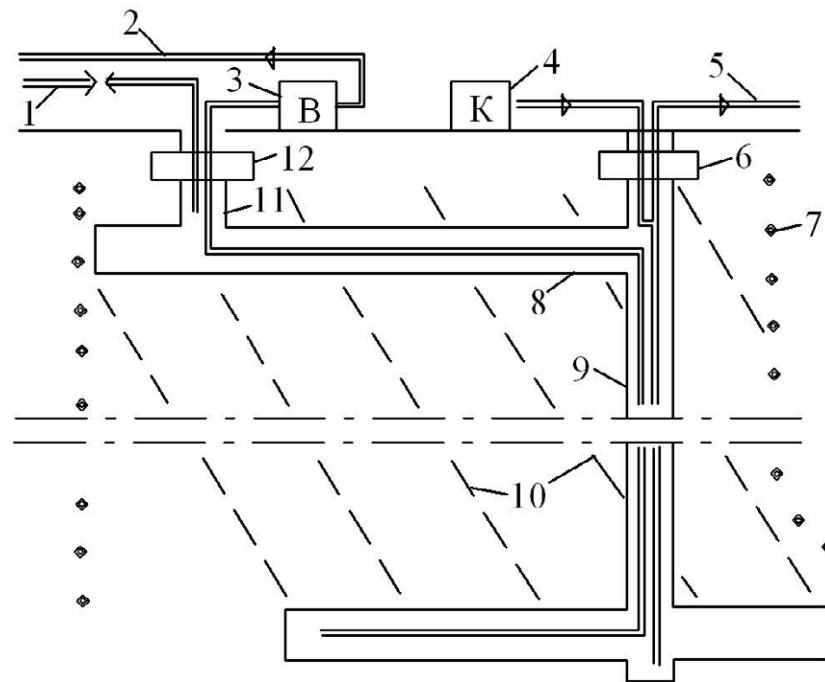


Рис. 4.24 – Схема оборудования подземного газохранилища в выработках консервируемой шахты

1 и 2 – газопроводы соответственно магистральный и расходный; 3 и 4 – шахтные установки соответственно вакуум-насосная и компрессорная; 5 – автоматизированный водоотлив; 6 – изолирующая взрывоустойчивая переключная головка главного ствола; 7 – граница подземного резервуара; 8 – квершлаг; 9 – главный ствол; 10 – пластовые горные выработки; 11 – шурф; 12 – изолирующая взрывоустойчивая переключная головка шурфа.

Площадь поверхности дезинтегрированных углей и пород может достигать нескольких квадратных километров на 1 м подготовительной выработки, поэтому газ сорбируется в течение нескольких суток. Лабораторные наблюдения показали, что процесс носит экспоненциальный характер. В заполненном измельченным углем марки Т герметично закрытом сосуде вместимостью 300 мл давление снижалось примерно на 25% в течение двух суток и более чем на 33% за неделю. Подобные явления будут возникать при заполнении газом выработок, вызывая иллюзию разгерметизации и утечек, и, наоборот, при выдаче «излишков» газа во время разгрузки хранилища.

При повышении давления сорбционная емкость пород возрастает. Результаты предварительных расчетов, выполненных с использованием изотерм Ленгмюра, показали 5-кратное увеличение сорбированного газа в углях средней степени метаморфизма при увеличении абсолютного давления от 1 до 7 Па. Определяющие инерционность газохранилища переходные процессы, обусловленные сорбцией-десорбцией газа породами и углем, должны продолжаться несколько суток при отсутствии внешних воздействий, вызывая изменения показаний контрольных приборов.

Многие шахты Донбасса газообильны: на 1 т угля в них выделяется до нескольких десятков кубометров метана. При остановке работ более чем на 8 мес. газовыделение из выработанных пространств добычных участков стабилизируется на уровне 16% первоначального и продолжается довольно долго. Например, для шахты III категории с проектной добычей около 1000 т газовыделение 1600-2400 м³/сут. Выделяющийся в выработки из горного массива метан целесообразно утилизировать как дополнительное топливо.

В газовой среде хранилища незначительно содержание кислорода, углекислого газа и водяных паров, что препятствует разрушению материалов и деформированию выработок. В практике тушения подземных пожаров с использованием газообразного азота как средства тушения и предотвращения взрывов в изолированных объемах наблюдали приостановление коррозии крепи и техники. Предполагается, что бескислородная среда и слой сорбированного на обнаженных поверхностях углеводородного топлива будут действовать как ингибиторы коррозии металла и гниения древесины законсервированных в шахте оборудования и сооружений.

Таким образом, учитывая современный уровень и перспективы развития инфраструктуры Донбасса, повторное освоение подземного пространства угольных месторождений позволит:

- высвободить земельные участки, занимаемые под золоотвалы, здания и сооружения горнодобывающих предприятий;
- снизить отрицательные последствия деформации земной поверхности;
- улучшить экологическую обстановку окружающей среды.



ГЛАВА 5

ЭКОНОМИКО- ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА

5.1 Перспективы освоения подземного пространства в условиях рыночной экономики

Для Украины освоение подземного пространства в условиях рыночной экономики – новое направление инженерной деятельности. В данных условиях необходимость его реализации зависит от наличия специфических условий, определяющих спрос и предложения. Применительно к освоению подземного пространства это означает, что реальная возможность сооружать подземные объекты возникает только в том случае, если в существующем правовом поле совпадают интересы строителей и заказчиков. При этом, государство, преследуя свои долговременные интересы, может пойти на корректировку законодательной базы таким образом, чтобы эти интересы совпали. Например, снизив налоги для участников освоения подземного пространства, можно создать это предприятие привлекательным с точки зрения вложения средств и получения прибыли. При этом государство формирует для себя новую перспективную отрасль строительства, улучшает собственную среду обитания, снижает уровень потребления тепла и электроэнергии, создает новые рабочие места за счет тех же инвесторов. В этом отношении показателен опыт строительства коммерческими структурами подземных переходов нового типа в городах Харькове, Донецке и Днепропетровске, приспособленных для размещения в них объектов торговли, сервиса и т.д. Этот опыт может служить первым этапом на пути создания так называемых «нулевых» этажей крупных городов. В условиях дефицита торговых площадей в центре городов это может оказаться прибыльным мероприятием.

Экономическая оценка показывает, что таким же перспективным и прибыльным может быть и сооружение подземных автомобильных стоянок (гаражей) в центральных районах крупных городов под площадями и бульварами, организованных по типу акционерных обществ. Необходи-

мость сооружения подземных автостоянок подтверждается данными Госавтоинспекции Украины, которая свидетельствует, что за последние 10 лет количество автомобилей на душу населения в центральных городах Украины увеличилось вдвое и этот показатель продолжает интенсивно возрастать, а ежегодное количество ввозимых в Украину автомобилей составляет 90-95 тысяч.

Развитие инфраструктуры повышает прибыльность торговых объектов и объектов бытового обслуживания центральных частей городов, увеличивает стоимость единицы строительного объема зданий и единицы площади земельного участка, престиж объектов, располагаемых в центральной части городов.

В соответствии с «Методикой денежной оценки земли», утвержденной Постановлением Кабинета Министров Украины от 13 декабря 1993 г. стоимость земельных участков в центральных частях крупных городов Украины начинает приближаться к стоимости земельных участков городов развитых стран мира. В центральных зонах городов развитых стран таких как г. Мегалополис (США) стоимость 1 м² площади земельного участка составляет несколько тысяч долл. США. В Киеве на Крещатике уже сейчас 1 м² земли стоит 200 долл. США.

В настоящее время подземное строительство в крупных городах Украины характеризуется еще повышенными капитальными затратами. Учитывая современный уровень и перспективы развития инфраструктуры промышленных городов Украины, строительство подземных объектов в центральных частях будет окупаться и приносить прибыль за счет высвобождения земельных участков, прибыли от работы предприятий в подземных сооружениях, сдачи подземных объектов в аренду. Кроме этого подземное строительство будет содействовать снижению эксплуатационных затрат по обслуживанию коммуникаций жизнеобеспечения города, улучшению социально-экономической и экологи-

ческой ситуации в крупных промышленных городах Украины. Зарубежный опыт уже подтвердил как перспективность освоения подземного пространства крупных городов, так и перспективность повторного использования выработанного пространства месторождений полезных ископаемых.

В условиях рыночной экономики целесообразно еще на стадии проектирования и разработки полезного ископаемого, особенно в галогенных и гипсовых месторождениях, предусмотреть инженерные мероприятия по эффективному повторному использованию полученного выработанного пространства.

С этой целью необходимо предусмотреть возможность эффективной как доставки, так и выдачу грузов с дневной поверхности с тем, чтобы транспорт не являлся «узким местом» в этой системе. Такой подход к решению данной проблемы позволит привлечь средства инвесторов, заинтересованных в повторном использовании выработанного пространства, еще на стадии проектирования освоения месторождения и снизить себестоимость разрабатываемого полезного ископаемого.

5.2 Менеджмент в подземном строительстве

В последние десятилетия наблюдается значительный рост подземного строительства различного назначения и его многофункционального использования. Этому способствовало снижение стоимости подземного строительства. Если раньше стоимость подземных работ была в несколько раз выше чем наземных, то сегодня, в силу совершенствования техники и технологии подземных работ, стоимость их во многих случаях незначительно дороже наземных, особенно в зонах застройки.

Совершенствование технологии проходки и конструкции тоннелепроходческих машин (ТПМ) позволило применять их не только в породах средней крепости, но и в твер-

дых гранитах прочностью 200-300 МПа. Это обусловило быстрый рост использования ТПМ. Так, если объем проходки в мировой практике в 60-х годах XX в. составлял 10 км/год, то в 90-х – 210 км/год.

В связи с этим возникла потребность в обобщении опыта менеджмента в подземном строительстве, т.к. творчество менеджментов, как показывает практика, оказывает существенное влияние на результаты строительства за счет организационных схем контрактации, концепции удешевления проектирования и строительства, обеспечения самых жестких требований по безопасности труда и качества работ.

В зарубежной практике менеджмент строительства подземных сооружений охватывает весь процесс создания подземного объекта [64]:

- маркетинг и подготовку решения о строительстве;
- подбор проектантов, заказчиков, инвесторов и подрядных строительных фирм;
- экспертизу инвестиционных проектов;
- создание и функционирование организационных структур по управлению строительством и контролю за ними;
- приемку в эксплуатацию построенного подземного сооружения;
- расчеты за строительство сооружения.

В мировой практике подземного строительства последних лет завоевывает все новые рубежи нетрадиционный подход в организации строительства крупномасштабных проектов средствами частного финансирования на коммерческой основе. Примером успешного строительства и эксплуатации крупного подземного сооружения, финансируемого по данной схеме, является 50-ти километровый железнодорожный тоннель под проливом Ла-Манш, соединяющий Англию с континентальной Европой и ежегодно приносящий компании «Евротоннель» прибыль около 500 млн. дол. США. Для строительства данного тоннеля были при-

влечены капиталы 220 частных банков из 26 стран мира и 550-ти тысяч акционеров (физических и юридических лиц), что позволило сконцентрировать к началу строительства в банке компании средства (12 млрд. дол. США) для полного обеспечения строительства тоннеля.

В перспективе строительство 100 км тоннеля под Беренговым проливом, соединяющим Россию с Аляской (США), 54 км тоннеля под Гибралтарским проливом, соединяющим Европу с Африкой, сооружение тоннеля под Татарским проливом (10 км) для соединения материковой России с о. Сахалин, который должен быть соединен 43-х километровым тоннелем с Японией, т.е. создание в ближайшие 30 лет единой мировой системы железных дорог.

Организационная и коммерческая стороны строительного менеджмента приобретают растущую актуальность и для нашей страны. Наиболее важной задачей менеджеров является всемерное сокращение расходов в условиях возможной нестабильности всех компонентов системы подземного строительства.

Практика мирового тоннелестроения рекомендует придерживаться следующих принципов при разработке исходных требований на проектирование и строительство подземных сооружений:

- трассировать линии метрополитенов или тоннелей с расчетом на техническую возможность принятия максимально протяженных плеч проходки;
- по возможности шире закладывать в проекты метрополитенов станции закрытого способа работ, что позволяет проектировщикам более гибко варьировать проектные решения и их конкретное местоположение, а строителям круглогодичное производство работ;
- четко разделять пространство подземных станций метрополитена на распределительный и платформенный ярусы, с тем, чтобы оставить возможность проводить проходческие комплексы через пространство станций.

Традиционная организационная схема строительного менеджмента в Англии включает следующие элементы:

- проектирование сооружения и авторский надзор за производством работ силами частных консалтинговых фирм;
- производство строительно-монтажных работ силами специализированных подрядчиков на тендерной основе;
- общий контроль за ходом строительства силами собственных специалистов.

В последние годы на новых объектах подземного строительства активно проводилось опробование новых более прогрессивных организационных схем, включающих передачу функций надзора за производством комплексных контрактов на весь объем изыскательских и строительно-монтажных работ, а также создание целевых совместных предприятий с участием Управления строительства и сторонних частных фирм для обеспечения административных функций по осуществлению строительства подземного объекта.

На новом радиусе Юбилейной линии Лондонского метрополитена была принята еще одна нетрадиционная организационная схема менеджмента, заключающаяся в том, что Управление метрополитена организовало специальную структуру для контроля за проектированием, строительством линий и монтажом технологического оборудования в ней. В конечном итоге эта структура отвечала за приемку готового объекта для передачи его в эксплуатацию. Кроме этого Управление строительства выполняло функции надзора за производством работ, администрирования по всем контрактам.

В зарубежной практике менеджеры, имеющие опыт управления подземным строительством крупных объектов, являются высококвалифицированными специалистами, которых, как правило, нет в собственных рядах строителей. Их привлекают по контракту с фиксированным размером оплаты. Команда менеджеров из специалистов высокого

профессионального уровня способна выполнить поставленные задачи с высоким качеством на современном техническом уровне в рамках выделенных ассигнований и в установленный проектный срок с запасом времени на проведение обкаточных испытаний объекта.

Дирекция строительства нового радиуса Юбилейной линии Лондонского метрополитена начала осуществлять менеджмент с подготовки новой концепции менеджмента в подземном строительстве. Суть заключалась в том, что на первой стадии были уточнены задачи и цели строительства нового радиуса, составлена трасса радиуса и исходные требования по допускаемым уклонам в профиле и кривизне в плане, по пассажиропотокам в станционных комплексах, типу и пассажироместимости подвижного состава, выбору технологического оборудования радиуса метрополитена. При этом на данном этапе исходили из идеи строительства линии нового поколения, базирующейся на новейших достижениях современной технологии, архитектурного оформления, современному облику метрпоездов, удобству пассажиров в метро и принципиально новому обустройству систем информирования и аварийной эвакуации.

Наметив концепцию нового радиуса, Управление метрополитена исходило из концепции долговечности его сооружений не менее 120 лет. Учитывая опыт эксплуатации старинных линий Лондонского метрополитена, сооруженных в 1861 г., новую более совершенную технологию строительства и соблюдение проектировщиками предписанных требований специалисты ожидают, что новый радиус прослужит около 400 лет без существенного ремонта. С этой целью от конструкций перегонных тоннелей и станций требуется высокая степень водонепроницаемости, т.к. в настоящее время службы эксплуатации расходуют большую часть средств на водоотлив и лишь на втором месте текущее содержание метрополитена. Новая концепция строящегося

метрополитена должна избавить от этих постоянных тонущих расходов.

Все детальные проекты со спецификацией материальных затрат и сметой были разработаны в течение 12 мес., а затем был организован тендер подрядчиков. По условиям контрактов проектировщики оказывали Дирекции консультационные услуги и несут материальную ответственность за качество составленных ими проектов.

Подготовив детальную проектную документацию, Дирекция строящегося радиуса Юбилейной линии Лондонского метро распространила ее среди потенциальных подрядчиков. На каждый тендер было приглашено по 6-8 компаний. Приглашенным было отведено в среднем по 3 мес. на подготовку тендерной документации.

Следует отметить, что одним из главных технических требований к проектам производства работ являлось предотвращение развития деформаций грунтового массива и осадок поверхности. С этой целью в качестве основной технологии противоосадочных мероприятий был принят метод компенсирующих инъекций и обеспечения объекта развитой системой электронных приборов мониторинга с системой централизованного контроля в режиме реального времени. Были разработаны технические требования к временным и постоянным конструкциям новоавстрийского способа тоннелестроения и к технико-экономическим критериям применения этого способа как наиболее перспективного.

Дебаты в процессе тендера, в основном, сводились к риску производителя работ, а также выявления наиболее совершенных форм контрактации строительства.

Контракты на строительные-монтажные работы составлялись на основании имеющегося опыта смет расходования материалов по итогам строительства. Финансовые перечисления поступали в соответствии с согласованным графиком промежуточных выплат. Новинкой в коммерческой практи-

ке является привязка этих выплат к этапам завершения отдельных работ.

Еще на стадии подготовки тендерных заявок конкурсантам предлагается обдумать и назначить даты завершения отдельных стадий работ, а также ежемесячный размер требуемых выплат.

Поэтапная разбивка программы показала свою эффективность на строительстве метрополитена в Гонконге. При этом решались две важнейшие задачи. Для заказчика это:

- действенный механизм регулирования платежей в зависимости от хода выполнения договорных работ;
- возможность контролировать общее состояние дел путем сопоставления положений отдельных подрядчиков.

Для подрядчика такая организация коммерческой структуры дела гарантирует равномерное финансирование в соответствии с фактическими текущими затратами.

Объем работ по каждому контракту разбивается на несколько этапов, сдаваемых под расчет, причем в рамках каждого этапа выделяются стадии, подлежащие выполнению и оплате примерно за трехмесячный период. В отличие от схем с регулярными выплатами в данном случае поводы к взаимным претензиям сводятся к минимуму. В контрактах данного типа обычно оговаривается и ряд гарантированных дат для состыковки с другими подрядчиками.

В зарубежном подземном строительстве стратегия системного управления и менеджмента опирается на широкое привлечение фундаментальных наук и горного дела с тем, чтобы преодолеть противостояние интересов строительных и эксплуатационных организаций перед лицами административных, экономических и финансовых структур.

Должное влияние уделяется стимулирующему стилю менеджмента и материально поощряются все экономически оправданные инициативы, способствующие решению общих задач подземного строительства.

Для осуществления крупномасштабных мероприятий по подземному строительству необходимо определить рациональные конечные цели, расстановку сил между ключевыми партнерами и размер средств, которые потребуются для реализации всей программы строительства.

5.3 Эколого-экономическое обоснование использования подземного пространства

В настоящее время одним из дефицитных видов природных ресурсов на Земле являются так называемые **пространственные ресурсы**. В процессе добычи полезных ископаемых создаются значительные объемы подземного выработанного пространства, которое используется относительно короткий период времени и только для целей извлечения полезного ископаемого. Поэтому вопрос оценки возможностей использования ресурсов подземного выработанного пространства повторно и на более длительный срок является весьма актуальным.

Рост стоимости всех видов пространственных ресурсов, ужесточение экологических требований, сокращение объемов горного производства и ряд других требований, сложившихся в настоящее время в Украине, обуславливают необходимость тщательной эколого-экономической оценки использования выработанного пространства горных предприятий. Конечной целью такой оценки должно быть принятие решения о целесообразности и направлении использования выработок конкретного горного предприятия. В общем случае продолжительное (вторичное) использование выработки в большей степени оправдывает затраты на ее создание и содержание. К тому же за счет повторного использования выработанного пространства месторождения возможно снижение себестоимости добываемой продукции.

Использование подземного пространства для размещения различных объектов народного хозяйства должно бази-

роваться на тщательно обоснованной экономической оценке. Наиболее объективным критерием такой оценки является сравнительная экономическая эффективность подземного предприятия и его наземного аналога. Наблюдаемая за последние годы тенденция к росту числа подземных предприятий, особенно различных складов и хранилищ, объясняется наряду с другими причинами и их высокой экономической эффективностью. Это подтверждается тем, что значительное число подземных объектов за рубежом строится и эксплуатируется частными фирмами [5].

Подземное строительство получило широкое развитие при сооружении различных объектов специального назначения: емкостей для хранения жидких углеводородных газов и продуктов переработки нефти; подземных складов; гаражей; холодильников; убежищ; промышленных предприятий и др. Это объясняется рядом преимуществ подземных сооружений перед наземными.

Например, строительство подземных емкостей для хранения жидких газов и продуктов переработки нефти оправдано значительным повышением технико-экономических показателей этого вида сооружений в сравнении с наземными стальными резервуарами: резкое снижение стоимости и расхода стали, благоприятные условия хранения (нет потерь от испарения), постоянное давление, отсутствие коррозии, опасности пожаров и др.

При создании подземных баз общего снабжения и складов достигается весьма компактное их расположение (многоэтажное расположение помещений), при этом снижается стоимость сооружения, упрощается технический надзор, охрана и уменьшаются текущие расходы при эксплуатации.

Применение подземных холодильников позволит резко снизить расходы на выработку холода, так как в подземном холодильнике практически сохраняется постоянная температура и влажность и нет потерь холода, что всегда имеет

место в холодильниках, размещаемых на земной поверхности.

В последние годы зарубежными специалистами предпринимаются попытки дать приближенную оценку эффективности приспособления отработанных горных выработок под производственные и складские объекты [65]. По данным американских специалистов, стоимость выемки камеры высотой 6,1 м составляет 27 долл./м², а дополнительные затраты на ее переоборудование (кондиционирование воздуха, дополнительное крепление, освещение, водоснабжение и пр.) 96 долл./м². Таким образом, суммарные затраты достигают 123 долл./м². Стоимость строительства аналогичного наземного помещения по имеющимся данным составляет 322 долл./м². Таким образом, использование подземного пространства составляет примерно треть, а точнее 38,4% расходов на строительство наземных объектов. При этом необходимо отметить, что несмотря на высокие технико-экономические показатели использования подземных объектов за рубежом, глубокий анализ их экономической эффективности в печати отсутствует, а приводимые в ней данные носят часто отрывочный и противоречивый характер. Тем не менее приводимые сведения дают общее представление о стоимости предприятий и позволяют сопоставить их с наземными аналогами.

В настоящее время проектируются подземные заводы по выпуску оптических приборов, точных инструментов, средств автоматики, деталей отдельных агрегатов и двигателей самолетов, стрелкового оружия, орудий, ракет и т.п.

Строительство подземных промышленных сооружений особенно целесообразно в скальных породах, обладающих значительной прочностью и однородностью, т.е. в условиях, когда не требуются сложные конструкции обделок и резко сокращаются расходы на их поддержание.

За рубежом (Швеция) высказываются соображения, что строительство подземных заводов более целесообразно и

экономично, в сравнении с заводами на поверхности, ввиду сокращения эксплуатационных расходов по ремонту крыш, окраске, остеклению и затрат на охрану и обеспечение пожарной безопасности. При этом создается лучшая маскировка предприятия и защита от заражения отравляющими веществами и радиации, что можно легко достигнуть созданием повышенного давления воздуха в подземных цехах и предотвращением проникновения неочищенного воздуха извне.

Капитальные затраты по сооружению подземных камер для размещения в них промышленных предприятий все же выше (приблизительно на 15-30%), чем аналогичные затраты на строительство подобных предприятий на земной поверхности. Но если принять в расчет текущие затраты, то разница в стоимости между строительством подземных и наземных предприятий становится незначительной [66].

На основании материалов Управления инженерных войск США определена сравнительная стоимость заводов различного назначения и складов в условиях наземного строительства, а также при использовании ранее сооруженных выработок и новых подземных камер. Полная стоимость (в долларах) строительства и оборудования 1 м² площади различных типов предприятий приведена в табл. 5.1.

Из данных табл. 5.1 можно установить, что стоимость в целом подземных предприятий выше в сравнении с наземными примерно на 30%. Подземные склады дороже наземных примерно на 70%.

При использовании ранее сооруженных горных выработок стоимость строительства подземных предприятий, размещаемых в них, примерно такая же, как и наземных; исключением являются предприятия химической промышленности: стоимость их строительства остается более высокой (на 20%) в сравнении с наземными, что можно объяснить спецификой этого рода предприятий.

Таблица 5.1 – Сравнение стоимости строительства объектов

Тип предприятия	Стоимость 1 м ² наземного предприятия		Стоимость 1 м ² подземного предприятия			
	доллары	%	в отработанных выработках		в специально сооружаемых	
			доллары	%	доллары	%
1	2	3	4	5	6	7
Завод точного машиностроения	350	100	360	103	445	127
Химическое предприятие	510	100	610	120	650	128
Склады	105	100	110	105	180	172

Необходимо отметить, что на стоимость подземных предприятий и складов существенное влияние оказывает схема расположения подходных выработок – штольневая (горизонтальная) или шахтная (вертикальная). Штольневый подход к подземному предприятию снижает стоимость строительства в сравнении с вертикальными.

На стоимость подземных предприятий также оказывает влияние величина площади предприятия – с увеличением площади стоимость 1 м² снижается.

Наибольший интерес представляют производственные предприятия, однако литературные данные по ним почти отсутствуют. Известно [67], что в фашистской Германии при использовании отработанных горных выработок стоимость подземных заводов, даже таких сложных, как прецизионных инструментов, точных приборов, жироскопов и

т.п. была в 2-2,5 раза ниже стоимости обычных наземных предприятий. Однако при специальном подземном строительстве стоимость предприятий была значительно выше наземных аналогов. Эксплуатационные расходы на подземных заводах по производству оптических и точных приборов оказались значительно ниже, чем до перевода их в подземные условия.

Стоимость одного из заводов, сооруженного в специально пройденных выработках в Англии, была сопоставима со стоимостью наземного завода. Экономические аспекты строительства шведских заводов, сооруженных в скальных породах, и показана рентабельность такого строительства.

Технико-экономические расчеты, выполненные в последние годы, показали, что при размещении в отработанных горных выработках предприятий точного приборостроения капитальные затраты и эксплуатационные расходы находятся на уровне аналогичных наземных предприятий. При этом стоимость общестроительных работ снижается в 1,5-2 раза. Особенно высокая эффективность отмечается на подземном заводе в г. Канзас-Сити, производящем точные приборы и инструменты. Это можно объяснить главным образом резким снижением брака и повышением качества продукции вследствие отсутствия вибрации в подземных цехах.

Высокая экономическая эффективность характеризует подземные гидроэлектростанции. Капитальные затраты подземных ГЭС равны или (в условиях Швеции) ниже, чем при строительстве открытых ГЭС, а эксплуатационные расходы всегда ниже [3]. Высокая технико-экономическая эффективность присуща подземным газохранилищам. Это подтверждают данные табл. 5.2 [68].

Сравнительная экономическая эффективность подземных хранилищ топлива и наземных и заглубленных хранилищ (по материалам ВНИИпромгаза) приведена в табл. 5.3.

Таблица 5.2 – Техничко-экономические показатели подземных и наземных хранилищ пропан-бутана вместимостью 14 тыс. м³

Тип хранилища	Стоимость, руб./м ³	Расход стали, кг/м ³	Трудозатраты, чел.-ч/м ³
1	2	3	4
Стальные наземные резервуары высокого давления	143,8	317,5	9,08
Подземные емкости, выщелоченные в соляных отложениях	5,4	4,8	0,79
Подземные хранилища, построенные горным способом	32,3	7,1	2,66

Из данных табл. 5.3 видно, что удельные капиталовложения на строительство хранилищ жидкого топлива шахтного типа в отработанных горных выработках соляной шахты и гипсового рудника в несколько раз ниже затрат на строительство наземных и заглубленных хранилищ. Подземные хранилища, частично использующие выработки и сооружения шахты (стволов и наземного комплекса угольной шахты и выработок – емкостей калийного рудника), экономичнее наземных и заглубленных аналогов в 1,7 раза.

По расчету Гипронефтетранса усредненные удельные показатели на 1 м³ хранения жидкого топлива для хранилищ, размещаемых в отработанных и специально пройденных выработках, составляют соответственно: капитальные затраты 6,96 и 16,7 руб., эксплуатационные расходы 0,46 и 1,04 руб., расход стали 3,16 и 7,86 руб. Для сравнения укажем, что эксплуатационные расходы в наземных и заглуб-

ленных хранилищах вместимостью 300 тыс. м³ составляют 2,9 руб./м³.

Таблица 5.3 – Капиталовложения (без внеплощадочных затрат) на строительство хранилищ жидкого топлива

Тип хранилища	Капиталовложения	
	Всего, тыс. руб.	Удельные, руб./м ³
1	2	3
Подземное хранилище вместимостью 300 тыс. м ³ в специально пройденных выработках с использованием сооружений ликвидированной угольной шахты	4840	16,1
То же, вместимостью 100 тыс. м ³ в выработках калийного рудника	1786	17,9
То же, в выработках гипсовой шахты	519	5,2
То же, вместимостью 400 тыс. м ³ в выработках каменно-соляной шахты	845	2,4
Хранилище из заглубленных резервуаров вместимостью 300 тыс. м ³	8500	28,4
Хранилище из наземных стальных резервуаров вместимостью 300 тыс. м ³	8300	27,7

Зарубежные данные об экономической эффективности подземных хранилищ отличаются от отечественных, однако и они не лишены интереса. Так, стоимость нефтехранилища, оборудованного фирмой «Феникс и Скиссон», в отработанной угольной шахте (США) составила, включая затраты на исследования и приобретение шахты, 15% стоимости наземного резервуарного парка, а эксплуатационные расходы оказались в 50 раз меньше [69]. По расчетам этой же фирмы

при строительстве нефтехранилища в отработанной железно-рудной шахте в Ньюфаундленде ожидается снижение эксплуатационных расходов в 100 раз [70]. По французским данным, стоимость приспособления железно-рудной шахты вблизи г. Канны под хранилище дизельного топлива оказалась в 2 раза меньше стоимости строительства наземного склада [71]. Эксплуатационные расходы во французских подземных хранилищах почти в 2 раза меньше, чем в наземных.

Строительство крупных шахтных нефтехранилищ в скальных породах в условиях Скандинавии обходится дешевле наземных складов, а эксплуатационные расходы меньше в 2 раза и более [72]. Например, для бензина они составляют 1,4 долл./м³ вместимости против 3,9 долл./м³ для наземных стальных резервуаров.

Сравнительная технико-экономическая оценка подземных и наземных хранилищ находится в тесной зависимости от их вместимости. По зарубежным данным, экономическое преимущество подземных хранилищ проявляется: по удельным капиталовложениям – с 30 тыс./м³ (Швеция) и 10 тыс./м³ (ФРГ), по эксплуатационным расходам – с 15 тыс. м³. Основными факторами снижения эксплуатационных расходов в подземных хранилищах считают прежде всего экономию дорогостоящей земли, снижение амортизационных отчислений, резкое (на 60-70%) уменьшение страховых взносов, а также сокращение потерь продуктов испарения.

Накопленный в нашей стране опыт позволяет судить о достаточно высокой технико-экономической эффективности подземных холодильников, охлаждаемых фруктоовощехранилищ и складов продовольствия. Крупный подземный распределительных холодильник для хранения мороженых и охлажденных продуктов успешно функционирует свыше 15 лет. Удельные капиталовложения на 1 т условной емкости были определены при строительстве в размере 185,7 руб., что на 24% ниже нормативной. Показатели экс-

плуатационной деятельности этого холодильника выше, чем у расположенного в том же районе наземного холодильника вместимостью 17 тыс. т: себестоимость 1 т приведенного грузооборота 3,14 руб. против 4,51 руб., отношение издержек обращения к приведенному грузообороту соответственно 2,34 и 3,0%. Необходимо отметить, что расходы на капитальный и текущий ремонт в подземном холодильнике также ниже.

Другой холодильник, размещенный в выработках гипсовой шахты с 1961 г., имеет экономические показатели значительно выше, чем аналогичные наземные холодильники. Проектная стоимость его была определена на 13,5% ниже нормативной, однако фактические затраты оказались меньше.

Экономическая эффективность размещения холодильников в отработанных горных выработках известняковых и гипсовых шахт подтверждается многими проектными проработками, в которых сметная стоимость строительства определена на 25-50% ниже наземных аналогов.

К достоинствам подземных сооружений относится значительное сокращение потребности в дефицитных строительных материалах. Так, при размещении холодильника вместимостью 10 тыс. т в гипсовых выработках экономия бетона конструктивного и ячеистого может составить 8 тыс. м³, минераловатной пробки 2,8 тыс. м³. На строительстве охлаждаемого овощехранилища под Кишиневом было израсходовано меньше по сравнению с наземным хранилищем цемента в 8 раз, металла в 70 раз, сборного железобетона в 50 раз [73].

Оценка экономической эффективности складов продовольствия, эксплуатирующихся в нерегулируемых влажных условиях, затруднительна, хотя стоимость их размещения в горных выработках намного ниже нормативной. Ограниченность ассортимента хранимой продукции и недостаточный технический уровень инженерного обеспече-

ния этих складов делают невозможным сравнивать их с наземными складами продовольствия.

Представляет интерес оценка экономической эффективности фруктохранилища в г. Гори, размещенного в специально пройденных выработках. Анализ показывает, что, несмотря на то что стоимость общестроительных работ (на проведение и крепление выработок) в 2 раза выше, чем у наземного аналога, стоимость строительства главного корпуса выше только на 53%, а стоимость работ на 19%. Удельные затраты на 1 т хранимой продукции оказались выше на 27%. Отчасти это вызвано тем, что затраты на освоение участка (включая компенсацию за снос жилых домов и фруктовых насаждений) у наземного аналога составили значительную сумму. Более высокие капитальные затраты компенсируются преимуществами подземного холодильника вследствие увеличения сроков надежности хранения фруктов. Кроме того, не потребовалось отчуждения высокопродуктивных сельскохозяйственных земель.

Проектные проработки размещения различных складов легкой промышленности в горных выработках также выявили их экономическое преимущество перед наземными складами. Показательны расчеты сравнительной экономической эффективности подземного размещения складов зерна с регулируемыми термовлажностными условиями хранения с наземными элеваторами той же суммарной вместимости (табл. 5.4).

Необходимо подчеркнуть, что в табл. 5.4 учитывается использование систем кондиционирования воздуха в подземных складах, существенно повышающее стоимость строительства.

Данные по зарубежным объектам складского назначения также указывают на экономическую целесообразность строительства подземных складов, особенно комплексных, предназначенных для хранения различных продуктов и то-

варов и располагающих камерами с различными термо-влажностными режимами.

Таблица 5.4 – Экономическая эффективность подземных зернохранилищ, %

Объект	Капитальные затраты		Приведенные затраты	
	наземные элеваторы	подземное хранилище	наземные элеваторы	подземное хранилище
1	2	3	4	5
Зернохранилище в выработках калийной шахты	100	50	100	64
То же, гипсового рудника	100	60	100	73
То же, соляной шахты	100	61	100	70

Огромные складские помещения различного назначения были оборудованы в горных выработках в Германии во время второй мировой войны. Средняя стоимость 1 м² этих складов была в 2-3,5 раза меньше, чем у наземных.

Американские специалисты объясняют тенденцию к росту числа подземных складов продовольственных и промышленных товаров их высокой экономической эффективностью. В США считается, что капитальные затраты на строительство подземных холодильников в отработанных горных выработках на 40-50% меньше, чем наземных. Например, затраты, приходящиеся на 1 м³ охлаждаемого объекта в холодильниках в районе г. Канзас-Сити, составили 13,3-17,7 долл., что на 40% меньше затрат в наземных холодильниках аналогичного объема.

Обращает на себя внимание, что строительство складов в специально проводимых горных выработках также экономически оправдано. К примеру, стоимость товарного склада с холодильником в г. Осло составила 2,22 млн. долл., т.е. стоимость 1 м³ выработки с учетом стоимости штолен и холодильного оборудования составила 13 долл. Стоимость строительства другого холодильника в г. Осло также оказалась ниже стоимости строительства наземного холодильника и составила (без стоимости холодильного оборудования и его монтажа) 107 долл./м² складской площади [74]. Эти данные подтверждаются и практикой строительства подземных складов в Швеции.

Намного дешевле обходится за рубежом и эксплуатация подземных складов. Например, отмечается, что стоимость хранения продуктов в холодильнике в г. Канзас-Сити на 30-50% дешевле. В числе основных причин отмечаются незначительные затраты на поддержание и ремонт горных выработок по сравнению с затратами на ремонт и окраску зданий в наземных холодильниках; низкие страховые взносы на случай пожара в несколько раз меньше, чем для наземных холодильников; небольшая плата за землю; меньшие (в 3 раза, а в случае применения кондиционирования в 2 раза) затраты на поддержание требуемых температурных режимов по сравнению с наземными холодильниками.

Следует отметить, что анализ экономических показателей подземных предприятий в зарубежной литературе не приводится. Более того, по мнению американских специалистов, выделение и сопоставление отдельных статей расходов при сравнении различных вариантов строительства трудно осуществимо. Все расходы следует рассчитывать для конкретного участка, на котором планируется размещение предприятия. Сравнение показателей отечественных и зарубежных подземных предприятий также затруднено вследствие различных структур элементов затрат.

Следует указать на некоторые аспекты, остающиеся вне поля зрения экономистов, занимающихся подземным промышленным строительством. При выявлении сравнительной экономической эффективности подземных и наземных предприятий целесообразно учитывать уменьшение расхода в подземном варианте некоторых дефицитных конструкционных и теплогидроизоляционных материалов. Учет дефицитности ограниченных материальных ресурсов некоторыми авторами предлагается осуществлять введением дифференцированных коэффициентов эффективности, которые в данном случае рассматривают как плату за дефицитность [75].

Большую роль при оценке эффективности подземного варианта строительства может играть денежная оценка земли. Известно, что в этом случае площадь земельного отвода уменьшается в несколько раз. К сожалению, до настоящего времени у экономистов отсутствует единая точка зрения на принципиальные положения по определению относительной и абсолютной ценности земли. Не касаясь разногласий, отметим, что, например, для условий Молдавии усредненная цена 1 га сельскохозяйственных угодий составляет 10 тыс. грн., причем для наиболее ценных культур она достигает 176 тыс. грн. за 1 га.

За рубежом стоимость земли является мощным стимулятором подземного промышленного строительства, так как, как правило, она достаточно высокая. Например, на строительство дорог в США ежегодно расходуется около 16 млрд. долл., из которых 60-70% приходится на оплату земельных участков.

В центральных зонах городов развитых стран, таких как г. Мегалополис (США) – составляет несколько тыс. долл. США. В Киеве на Крещатике уже сейчас 1 м² земли стоит 200-250 долл. США.

До настоящего времени не разработана методика определения дополнительных затрат на подготовку выработок

по заданным параметрам для их последующего использования, не выработаны положения, регламентирующие порядок компенсации этих затрат горнодобывающему предприятию будущим предприятием, использующим выработки.

В подземных объектах отчисления на капитальный ремонт «зданий» - горных выработок значительно ниже, чем на надземных предприятиях. Как показывает опыт, меньше и расходы на текущий ремонт. Вместе с тем соответствующие нормативы отсутствуют.

Приведенные данные позволяют сделать вывод о высокой экономической эффективности подземных промышленных предприятий. Капитальные затраты при размещении их в отработанных горных выработках, как правило, ниже, а при специальном подземном строительстве в устойчивых горных породах, не требующих возведения несущих крепей, сопоставимы со стоимостью наземных предприятий. Эксплуатационные расходы в подземных складах и хранилищах в той или иной мере ниже, а на сложных производственных предприятиях не превышают расходов на эксплуатацию наземных предприятий.

Экологическое обоснование использования подземных горных выработок заключается в том, что вовлечение подземного пространства в сферу хозяйственной деятельности может разгрузить земную поверхность, так как площади земляных отводов под строительство подземного объекта составляет 20-30% наземного аналога. Именно этот показатель может сыграть решающую роль при оценке экономической эффективности освоения подземного пространства.

Экономические расчеты показывают, что размещение объектов народного хозяйства при повторном использовании горных выработок сокращает, по сравнению с наземным вариантом:

- объем капитальных вложений;
- эксплуатационные затраты;
- естественную убыль хранимой продукции;

- наземную площадь, занимаемую объектом примерно на 70%.

Средняя расчетная эффективность подземного строительства в сравнении с наземным вариантом составляет 30 тыс. долл. США в год на 1 тыс. м² полезной площади объекта.

Использование подземного пространства, представленного устойчивыми и средней устойчивости горными породами, как среды для расположения объектов повторного использования, дает преимущество в экономии строительных материалов, так как в сравнении с наземным аналогом в таких подземных объектах исключается фундамент, стены, кровля и перекрытие.

Расчеты показывают, что экономия в основных строительных материалах при использовании в хозяйственных целях полости в породном массиве составляет 5 долл. США на 1 м³ полезного объема здания. Если для примера взять подземное хранилище плодов и овощей средней емкости, то объем его составит 40000 м³, а экономия строительных материалов в сравнении с наземным аналогом составит 200 тыс. долл. США.

Высокая технико-экономическая эффективность подземных предприятий наряду с социальными и горно-техническими предпосылками позволяет сделать вывод о перспективности этого нового направления промышленного строительства.

Учитывая изложенное, а также принимая во внимание дальнейшее совершенствование технологии строительства подземных сооружений, можно предвидеть дальнейшее снижение их стоимости, а следовательно, и увеличение масштабов их применения в различных отраслях народного хозяйства.

5.4 Надежность и долговечность подземных сооружений

В практике строительства тоннельных сооружений метрополитенов (ТСМ) под надежностью понимают вероятность того, что ТСМ будут обеспечивать беспрепятственный пропуск поездов и пассажиропотоков в течение определенного промежутка времени и в общем случае может быть определена из временного процесса, учитывающего изменения в самой конструкции и воздействия на нее других факторов.

Обеспечить абсолютную надежность, какой бы то ни было конструкции, т.е. своевременно исключить возможность отказа работы сооружения, как с теоретической, так и с практической точек зрения невозможно. Общий уровень долговечности ТСМ спустя некоторый интервал времени (годы, десятилетия) после их возведения, определяется не только начальной надежностью, но и теми изменениями, которые произошли в материале конструкций и характере их **взаимодействия с окружающей средой** [76].

В практике отечественного подземного строительства транспортные тоннели рассматриваются как капитальные сооружения, рассчитанные на длительный срок эксплуатации, не менее 100-150 лет. В течение этого периода они должны удовлетворять требованиям эксплуатационной надежности, обеспечивая безотказность, долговечность, сохраняемость и ремонтпригодность сооружения в целом и его составных частей, т.е. обеспечить способность сооружения выполнять заданные функции. Практика показывает, [77] что в первые 10 лет эксплуатации тоннелей обычно никаких серьезных повреждений конструкций и эксплуатационного оборудования не возникает. Через 15-25 лет наблюдаются некоторые дефекты. По прошествии 50-70 лет отмечаются повреждения, являющиеся следствием неудачного проектирования и строительства, нарастает старение мате-

риалов конструкций тоннеля, происходят изменения в окружающем его грунте.

В зарубежной практике, при определении срока долговечности тоннелей, в частности, при проектировании и строительстве нового радиуса Юбилейной линии Лондонского метрополитена исходят из следующих положений:

- необходимости учета положительного 140-летнего опыта эксплуатации старинных линий Лондонского метрополитена, сооруженных в 1861 г;
- учета новой, более современной технологии строительства;
- соблюдения высокой степени водонепроницаемости конструкций перегонных тоннелей и станций метрополитена.

Специалисты считают, что при соблюдении этих основных требований срок службы строящегося Юбилейного радиуса Лондонского метрополитена должен быть около 400 лет [78].

При этом не учитываются серьезные нарушения эксплуатационной надежности тоннелей, которые могут произойти практически в любое время вследствие стихийных природных явлений, несоблюдения условий безопасной эксплуатации, дефектов конструкций и эксплуатационного оборудования, а также несвоевременного проведения осмотров и ремонтов сооружения.

В процессе эксплуатации подземные конструкции метрополитенов на отдельных участках претерпевают значительные изменения, за счет наличия уступов между блоками, неплотной забутовки или пустот за обделкой. Расчетная схема надежности для таких конструкций может быть принята в виде системы со случайными начальными погрешностями, в которой происходят временные изменения, обусловленные изменением нагрузок от расчетной схемы или старением материалов.

Теория надежности рассматривает различные системы. Под каждой из них понимается комплекс элементов, объединенных по какому-либо признаку. Признаки могут быть различными и отражать, в частности, их функциональное объединение для выполнения определенной эксплуатационной задачи как, например, обеспечение несущей способности.

Исходя из такого представления, за систему можно принять все кольца обделки одного радиуса метрополитена. В этом случае, отказ одного из элементов (кольца) означает отказ всей системы, влекущий за собой ограничения или полное прекращение движения поездов. В принятую систему входят конструкции различных типов, каждая из которых также может быть представлена в виде системы, но более низкого уровня. Количество таких конструкций может иметь длинный перечень, в который должны войти перегонные, станционные и эскалаторные тоннели, камеры съездов, пересадочные узлы, шахтные стволы и т.д.

Каждое из перечисленных сооружений строилось в различных конструктивных вариантах и геометрических размерах, из различных материалов и по определенным технологическим схемам.

Размеры системы надежности будут разрастаться, если учитывать погрешности монтажа, дефекты материала и изменчивость инженерно-геологических условий заложения подземных сооружений. В этом случае необходимо рассматривать систему с большим количеством проектных элементов и широким комплексом конструкций. Установить границы такой системы практически невозможно. Поэтому решение задачи в подобной ситуации требует принятия существенных ограничений.

Предельное сопротивление прочности конструкции используемой в качестве несущего элемента в значительной степени определяется пределом прочности конструкционных материалов. Расчетные параметры этих материалов ус-

тановлены на основании статистической обработки результатов испытания огромного количества образцов. Результаты испытания используемых материалов представляются в виде гистограмм и обычно довольно плотно группируются около их среднего значения. Кривая распределения аппроксимируется вдоль горизонтальной оси от малых до больших величин нормальным законом распределения.

Аналогичное положение и с усилиями, перемещениями, деформациями от внешних воздействий на подземную конструкцию, главным из которых является давление горных пород, представляемое в виде статистической величины, подчиняющейся нормальному закону распределения.

Таким образом, сформированное понятие надежности тоннельных сооружений может быть выражено в виде:

$$P(N < R),$$

где **P** – знак вероятности;

N – давление горных пород;

R – предельное сопротивление прочности конструкции.

Надежность конструкции обеспечивается при удовлетворении условия:

$$P(R - N > 0) = A$$

где **A** – вероятность недостижения предельного состояния.

Поскольку значения **R** и **N** подчиняются нормальному закону распределения, функция надежности конструкции будет представлена нормальным законом распределения. Наличие «хвостов» распределения требует, хотя и с малой вероятностью, допущения, что функция **R – N** находится в пределах от бесконечно больших значений до нуля. Отрицательное ее значение свидетельствовало бы, что конструкция по своим показателям перешла границы предельного состояния.

Практика строительства и эксплуатации тоннелей показывает недостаточную обоснованность принятия значений прочности и нагрузок существенно отличающихся от средних величин. Так, нет оснований ожидать чрезмерно больших значений предела прочности бетона на сжатие. С аналогичных позиций необходимо рассматривать и горное давление. Наряду с этим имеется определенный физический предел, выше которого величины прочности и нагрузок – невозможны.

Материалы, имеющие прочность ниже допустимой нормами, должны рассматриваться как бракованные и использовать их в строительстве – недопустимо. Это требование узаконено существованием сети специальной контрольной службы.

Известно, [79] что микротрещины в сжатом бетоне начинают появляться при уровне напряжений, составляющем 0,3...0,5 предела прочности в зависимости от марки материала. Это означает, что в обычных железобетонных конструкциях, в которых внутренние усилия не зависят (или мало зависят) от их деформаций, трещины в бетоне образуются при нагрузках в 2-3 раза меньше разрушающих. В сборных же тоннельных обделках трещины и сколы бетона в отдельных элементах могут появляться при нагрузках в 10-20 раз меньше разрушающих [80]. Образование и раскрытие трещин в тоннельных обделках сопровождаются уменьшением их жесткости и, следовательно, приводит к более выгодному распределению реактивного давления и уменьшению изгибающих моментов. Появление микро- и даже макротрещин в обделке не приводит к немедленной аварийной ситуации. В то же время в бетоне и железобетоне интенсивность разрушающего воздействия агрессивных факторов при наличии трещин может увеличиваться в десятки раз.

Применительно к подземным конструкциям решение проблемы обеспечения долговечности при совместном воздействии силовых факторов и неблагоприятном влиянии

внешней среды только путем ограничения эксплуатационных напряжений приведет к чрезмерно большому значению начальной надежности или к завышенному значению элементов в кольце. Поэтому, задача создания долговечных и в то же время экономичных железобетонных обделок тоннелей, имеет определенную специфику и требует еще своего решения.

Анализ факторов, влияющих на надежность подземных сооружений метрополитенов, позволяет их условно разделить на три группы:

- начальная надежность;
- условия эксплуатации;
- влияние окружающей среды.

Начальная надежность сооружения зависит от качества проектирования и строительства. Другими словами можно сказать, что начальная надежность – это надежность сооружения сразу после его постройки без учета воздействия окружающей среды. Таким образом, начальная надежность напрямую зависит от развития современной техники и технологии строительства. Разграничив это понятие можно выделить три фактора:

- качество строительства;
- соответствие материалов;
- соответствие технологии.

Качество строительства один из основных факторов, влияющих на начальную надежность. Это обусловлено тем, что как бы ни была запроектирована конструкция, основное, что влияет на надежность – это насколько качественно (насколько приближенно к проекту) она выполнена. Эта проблема должна решаться непосредственно в строительных организациях. На рабочих местах должны использоваться квалифицированные рабочие. Качественное ведение работ невозможно без применения высокопроизводительной техники. Работа должна выполняться в строгом соответствии с документацией. Для увеличения последующего

срока надежной эксплуатации сооружений метрополитена состав работ должен включать работы по проверке качества строительства. Это в первую очередь относится к работам, имеющим отношение к поддержанию работоспособности обделки, такие как: работы по гидроизоляции, тампонажу, предварительному обжатию.

Соответствие материалов предусматривает, что ведение работ должно соответствовать проекту и для увеличения долговечности в проекте должны быть предусмотрены материалы, имеющие характеристики необходимые для гарантии обеспечения работоспособности в конкретных условиях, т.е. качество и необходимость каких-либо материалов должна быть обоснована. Это имеет особо важное значение при проведении тоннелей в породах, содержащих агрессивные воды. Обделка (бетонная или железобетонная) должна быть стойкая к любому виду агрессии среды. Таким образом, качество бетона, т.е. наличие в нем необходимых добавок, имеет весомую роль.

Соответствие технологии при строительстве метрополитенов предусматривает применение тоннелепроходческих щитовых комплексов, позволяющих в забое выработки поддерживать окружающие породы щитом при минимальном обнажении пород в процессе установки кольцевой обделки. Вследствие того, что крепление производится вслед за подвиганием щита и осуществляется обжатие блочной обделки в породу окружающую выработку, производится тампонаж и цементация породного массива, концентрация напряжений на обделку и сдвигание дневной поверхности исключается.

При применении буровзрывной технологии необходимо полностью исключить образование закрепных пустот в горном массиве, прилегающих к обделке, ведущих к неравномерному обжатию, изменению геометрических размеров, разрушению обделки, проседанию дневной поверхности и к разрушению строений расположенных на ней.

В настоящее время в зарубежной практике разработаны технологии проведения тоннелей метрополитенов расположенных на глубинах от 6 до 60 м от поверхности земли в различных горно-геологических условиях, полностью исключающие деформацию дневной поверхности.

Условия эксплуатации влияющие на последующую надежность тоннельных сооружений метрополитенов – многофакторный показатель, включающий:

- своевременный ремонт;
- использование сооружений по назначению;
- своевременная профилактика;
- учет динамических нагрузок, возникающих при эксплуатации метрополитена.

Наибольшее влияние на несущие конструкции оказывают **динамические нагрузки** не предусмотренные статическим расчетом, но возникающие при эксплуатации. Это аварийные нагрузки и нагрузки, возникающие при движении состава, и воздействующие на тоннельную обделку при двух конструкциях пути: с рельсошпальной решеткой на щебеночном балласте и безбалластный с плитным подрельсовым основанием. При прохождении поездов возникают пространственные колебания обделок, сопровождающиеся появлением добавочных динамических напряжений в последних, которые зависят от скорости движения состава и марки бетона обделки. Дополнительные знакопеременные напряжения, возникающие в обделке при движении поездов, безусловно, влияют на надежность и долговечность тоннельных сооружений метрополитенов.

Влияние окружающей среды на надежность тоннельных сооружений сводится к учету многих факторов воздействия горного массива на ограждающие конструкции метрополитена. Придание конструкциям стойкости к внешним воздействиям представляет собой сложную экологотехнологическую проблему. При сооружении метрополитена наиболее распространенным и экономически обосно-

ванным с точки зрения несущей способности является железобетон. Для анализа возможных процессов, возникающих на контакте среды и материала сооружений, необходимо знание характеристик окружающей среды, агрессивных по отношению к железобетону, и свойств бетона, а также арматуры различного вида и состава, их поведения в различных средах.

Уменьшению влияния окружающей среды будут способствовать исследования:

- коррозионной стойкости материалов;
- гидроизоляции отделки;
- подтопления массива после закрытия шахт;
- воздействия подрботок.

Перечисленные факторы являются предметом самостоятельных исследований.

Решение проблемы надежности тоннельных сооружений позволит повысить эффективность общественного производства. В области строительства эффективность может быть достигнута за счет уменьшения расчетных коэффициентов запаса при гарантированном качестве конструкции и уменьшения влияния окружающей среды. В области эксплуатации – за счет проведения своевременных и в минимальных объемах ремонтных работ по поддержанию заданного уровня надежности в течение всего срока службы. Сравнительный уровень приведенных затрат является народнохозяйственной мерой экономической оценки качества сооружений и технологического процесса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Человечеству известен путь в использовании подземного пространства от проемов в несколько десятков метров в районе Пергама при сооружении подземного храма Бога врачевателя Асклепия (IV век до н.э.) до 53-кило-метрового тоннеля Сэйкан между островами Хоккайдо и Хонсю в Японии (XX век н.э.).

В настоящее время во всем мире наблюдается повышенный интерес к использованию подземного пространства для размещения объектов, не связанных с добычей подземных ископаемых. Это обусловлено тем, что в последние десятилетия во всем мире происходит интенсивный рост и развитие городов. На рубеже XXI века города в мировом пространстве занимают 2% площади суши Земли, но в них проживает половина населения планеты и они потребляют $\frac{3}{4}$ мировых ресурсов. Высокая плотность населения и антропогенные факторы в городах вызывают значительное увеличение стоимости ресурсов и нагрузки на окружающую среду, удорожание жизни, повышение заболеваемости населения, а также множество других неблагоприятных последствий. По оценке психиатров, 80% их пациентов страдают, так называемым, «синдромом большого города». Основная причина проявления перечисленных негативных явлений – нехватка жизненного пространства.

Одним из путей решения данной проблемы является использование подземного пространства, позволяющего переместить под землю ряд жизненно необходимых населению объектов, разгрузить земную поверхность и сделать ее более комфортной для людей. Основным полезным свойством подземного пространства как природного ресурса, является возможность размещения в нем необходимых людям объектов или процессов. Оно достаточно хорошо изолировано от дневной поверхности, обладает постоянными климатическими характеристиками, а также рядом других дос-

тоинств, которые могут быть привлекательными при его использовании в отдельных сферах человеческой деятельности.

В материалах монографии показано, что человечеством накоплен многовековой опыт создания и использования подземных сооружений. Известно множество видов объектов, расположение которых под землей является целесообразным. Особое внимание уделено актуальному вопросу повторного использования выработанного пространства.

Подземные горные выработки шахт и рудников во все возрастающих масштабах во всем мире используются для размещения промышленных и гражданских объектов. Защитные свойства толщи пород над подземными горными выработками обеспечивают устойчивость к внешним воздействиям и надежность функционирования подземных объектов с производствами высокой точности, а также защиту окружающей среды. Более благоприятные условия для хранения различных продуктов и низкая стоимость технической эксплуатации подземных объектов достигаются за счет использования постоянной температуры массива горных пород. При благоприятных геологических условиях крупные подземные сооружения могут оказаться весьма устойчивыми и надежными. Современный уровень проектирования и строительной техники позволяет осуществлять довольно крупные полости в земле.

С целью дальнейшего и успешного использования подземных горных выработок для размещения в них народнохозяйственных объектов необходимо решить ряд организационных вопросов: создать систему экономических рычагов по стимулированию освоения подземного пространства; обеспечить четкую координацию всех работ в рамках комплексной научно-технической программы по проблеме использования недр для размещения объектов, не связанных с добычей полезных ископаемых, а в целях удовлетворения потребностей людей в достижении более комфортных усло-

вий жизни. Следовательно, сегодня требуется перестройка горного дела и экономики нашей страны с целью повторного использования недр для нужд народного хозяйства на основе совершенно новых направлений научно-технического прогресса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горная энциклопедия. – М.: Сов. энциклопедия, т. 1, 1984. – 560 с.
2. Рудяк М.С. Рациональное использование городского подземного пространства для гражданских объектов. – М.: Изд-во Моск. гос. горн. ун-та, 2003. – 235 с.
3. Швецов П.Ф., Зильбарборд А.Ф., Папернов М.М. Подземное пространство и его освоение. – М.: Наука, 1992. – 196 с.
4. Швецов П.Ф., Зильбарборд А.Ф. Под землю, чтобы сберечь землю. – М.: Наука, 1983. – 144 с.
5. Папернов М.М., Зильбарборд А.Ф. Производственные и складские объекты в горных выработках. – М.: Стройиздат, 1980. – 140 с.
6. Маковский Л.М. Подземные автостоянки и гаражи // Метро, 1993, № 1. – с. 12-17.
7. Самойлов В.П., Крайнюк Б.П., Семенов А.Н. Щитовой способ строительства подземных автостоянок // Подземное пространство мира, 1995, № 3-4. – с. 66-68.
8. Егоров В.К., Аксенов Ф.Н. Грезы мирового господства рождаются в преисподней // Техника молодежи, 1996, - № 11. – с. 28-34.
9. Бранько Я.А. «Вооруженный волк» уже не вооружен и не опасен, но по-прежнему окутан тайной // Техника молодежи, 1998, - № 4. – с. 24-26.
10. Егоров В.К., Аксенов Ф.Н. Мрак смоленской «берлоги» // Техника молодежи, 1998, - № 4. – с. 29-30.
11. Егоров В.К., Аксенов Ф.Н. Здесь никогда не ступала нога Генсека // Техника молодежи, 1996, - № 10. – с. 12-13.
12. Черкашин Н. Бетонные доспехи премьера // Техника молодежи, 1998, - № 5. – с. 24-25.
13. Егоров В.К., Аксенов Ф.Н. Эстетика стратегических спецподземелий // Техника молодежи, 1996, - № 2. – с. 12-13.

14. Егоров В.К., Аксенов Ф.Н. Легенда о «Метро-2» // Техника молодежи, 1995, - № 5. – с. 40-41.

15. Черкашин Н. Подземная гавань субмарин // Техника молодежи, 1999, - № 5. – с. 8-10.

16. Скрипник Н. Термоядерными реакциями внутри нашей планеты управляют с помощью пирамид из звездной системы Плеяд // Факты и комментарии, 2001, - № 231 от 8 декабря. – 8 с.

17. Мулдашев Эрнст. Мировая система пирамид и монументов древности. В кн. В поисках города богов. Т. 1. Трагические послания древних. – М.: - А и Ф – Принт, Олма-Пресс, 2002. – с. 88-116.

18. Лысиков Б.А. Проблемы мирового тоннелестроения // Известия Донецкого горного института: Всеукраинский научн.-техн. журн. Горного профиля, 2000. - № 1. – с. 92-100.

19. Лысиков Б.А. Современные технологии строительства подземных сооружений. Вестник. Технология и проектирование подземного строительства. – Донецк: Норд-Пресс, 2002. – Вып. 2. – с. 60-72.

20. Бикинеев М.Г. Новоавстрийский метод (методика определения параметров) // Метро и тоннели, 2000. - № 1. – с. 92-100.

21. Недвига С.Н., Хорунжий Ю.Т. Способы вскрытия выбросоопасных пластов Донбасса. Внезапные выбросы в угольных шахтах. Сб. трудов всесоюзн. научно-техн. совещания. – М.: Недра, 1970. – с. 327-331.

22. Меркин В.Е., Маковский Л.В. Прогрессивные опыты и тенденции развития современного тоннелестроения. – М.: ТИМР, 1997. – 192 с.

23. Степанович Г.Я., Николин В.И., Лысиков Б.А. Газодинамические явления при подготовке глубоких горизонтов. – Донецк: Донбасс, 1970. – 110 с.

24. Маковский Л.В. Проходка тоннелей с предварительным щелеобразованием // Метрострой, 1990. - № 8. – с. 25-28.

25. Малинин А.Г. Применение технологии струйной цементации грунтов в транспортном строительстве // Метро и тоннели, 2001. - № 6. – с. 16-18.

26. Tunnels and Tunnelling. 1992. V. 24. - № 12. – p. 23-25.

27. Tunnels and Tunnelling. 1995. V. 27. - № 10. – p. 41-44.

28. Tunnels and Tunnelling. 1996. V. 28. - № 5. – p. 35-37.

29. Tunnels and Tunnelling. 1993. V. 25. - № 12. – p. 23-26.

30. Civil Engineering (USA). 1997. V. 57. - № 12. – p. 70-73.

31. Beton and stahlbetonbau. 1997. Bd. 82. - № 2. – p. 29-33.

32. World Tunnelling and Subsurface Excavation. 1996. V. 9. - № 5. – p. 193-197.

33. Власов С.Н., Гарбер В.А., Меркин В.Е. Прогрессивные технологии в мировом тоннелестроении // Подземное пространство мира. 1996. - № 5. – с. 3-12.

34. Tunnels et ouvrages souterrains. 1998. - № 199. – p. 259-262.

35. Картозия Б.А. и др. Шахтное и подземное строительство: Учеб. для вузов. – 3-е изд. – М.: Из-во Моск. гос. гор. универ., 2003, т. 2. – 815 с.

36. Левченко А.Н. и др. Организация освоения подземного пространства. Сверхшения и надежды. – М.: ТИМР, 2002. – 405 с.

37. Зборщик М.П., Лысиков Б.А. Безвзрывной и экологически чистый способ проведения выработок по выбросоопасным породам // Уголь Украины. 2000. - № 5. – с. 15-17.

38. Макаров А.Б., Романов А.Н. Безвзрывная проходка горных выработок гидромолотами КР И РР // Подземное пространство мира. 1996. - № 1-2. – с. 51-53.

39. Исследование эффективности применения и перспективы развития горнопроходческого оборудования в подземном строительстве. – М.: ТИМР, 1990. – 244 с.

40. Underground construction. Research of efficiency of usage and prospects of development of shaft-sinking and tunnel-driving equipment in underground construction. – Moscow, 1999. – 241 p.

41. Сооружение тоннелей проходческими комплексами. Сб. Информации по исследованию эффективности применения горнопроходческого оборудования в подземном строительстве. – М.: 1989. – 214 с.

42. Ростовцев Д.С. Торкрет-бетон, его свойства и применение в горном деле. Издание Донугля, 1930. – 385 с.

43. Заславский И.Ю., Быков А.В., Компанец В.Ф. Набрызгбетонная крепь. – М.: Недра, 1986. – 197 с.

44. World Tunneling and Subsurface Excavation. 1996. V 6. № 3. – p. 115-117.

45. Tech/Inp. 1997. V. 20. - № 12. – P. 48-53.

46. Microtunneling. 1996. V. 1. - № 2. – P. 29-31.

47. Власов С.Н., Ходош В.А., Черняховская С.Э. Применение экранов из труб при строительстве тоннелей // Транспортное строительство. 1980. - № 5. – с. 51-53.

48. Highway and Heavy Construction. 1991. V. - № 5. – P. 22-23.

49. Tunnels and Tunnelling. Pacific Rim Issue. Summer. 1993. – P. 19-23.

Tunnels and Tunnelling. 1992. V. 24. - № 12. – p. 23-25.

50. Tunnels and Tunnelling. 1992. V. 24. - № 12. – p. 23-24.

51. Tunnels and Tunnelling. 1998. V. 25. - № 12. – p. 23-25.

52. Civil Engineering (USA). 1997. V. 57. - № 12. – p. 70-73.
53. International Construction. 1995. V. 24. - № 4. – P. 17-18.
54. Tunnels and Tunnelling. 1994. V. 26. - № 7. – p. 29-30.
55. Егоров В.К., Аксенов Ф.Н. Туннели всех стран, соединяйтесь // Техника молодежи, 1998, - № 8. – с. 42-44.
56. Остроумов Г. О строительстве тоннеля на остров Сахалин // Наука и жизнь. 1996. - № 3. – с. 74-79.
57. Грязев В.А. Тайна мыса Лазарева // Техника молодежи. 1996. - № 7. – с. 21-24.
58. Юркевич П.Б. В XXI веке реставрация Манежа без реконструкции невозможна // Метро и тоннели. 2004. - № 1. – с. 10-12.
59. Свирский С.И. Возведение центрального ядра международного делового центра – крупнейшая стройка столицы // Метро и тоннели. 2001. - № 6. – с. 10-14.
60. Лысиков Б.А. Перспективы освоения и повторного использования выработанного пространства Украины в условиях рыночной экономики // Наукові праці ДонНТУ: Серія гірничо-геологічна. Вип. 36. – Донецьк, ДонДТУ, 2001. – с. 14-18.
61. Лысиков Б.А. Повторное использование выработанного пространства шахт – реальный путь улучшения экологии Донбасса // Проблеми екології. Всеукраїнський науково-технічний журнал, 2000. - № 1. – с. 21-25.
62. Амитан В.Н., Киклевич Ю.Н., Шульга А.С. Пути использования подземного пространства Донбасса. Сб. научн. тр. НГУ № 17, том. 1. – Днепропетровск: РИК НГУ, 2003. – с. 387-394.
63. Костенко В.К., Костенко А.В. Использование отработанных выработок в качестве газохранилища // Уголь Украины, 1997. - № 8. – с. – 30-31.
64. Лысиков Б.А. Менеджмент в зарубежном подземном строительстве // Вісті Донецького гірничого інституту.

Всеукраїнський наук.-техн. журн. гірничого профілю. – Донецьк, ДонНТУ, 2002. - № 3. – с. 44-46.

65. Auqherbauqh N.B., Ertent M.H. Underground appeal is on the rise. – Rock Products. 1988. - № 11. – p. 16-23.

66. Покровский Н.М. Проектирование комплексов выработок подземных сооружений. – М.: Недра, 1970. – 320 с.

67. Industrial Architecture. 1985. - VIII. – p. 469-470.

68. Кортунов А.К. Газовая промышленность СССР. – М.: Недра, 1987. – 312 с.

69. Oil and Gas to Journal. 1992. vol. 70. – № 52, - p. 76-78.

70. Heavy Construction News. 1994. vol. 18. – № 41. - p. 28-35.

71. Petrole information. 1993. – № 1277. - p. 37-39.

72. Civil Enqenering. 1991. vol. 41. – № 4. - p. 38-40.

73. Банников В.Г. Строительству подземных холодильников – больше внимания. // Коммунист Молдавии. 1987. - № 5. – с. 17-22.

74. Teknisk Ukeblad. 1989. – № 20, - p. 645-647.

75. Астахов А.С., Москвин В.Б. Повышение экономической эффективности капитальных вложений в угольную промышленность. – М.: Недра, 1969. – 386 с.

76. Лысиков Б.А. Влияние окружающей среды на надежность тоннельных сооружений метрополитена // Проблеми екології. – Донецьк, ДонНТУ, 2002. - № 1. – с. 29-33.

77. Власов С.Н., Маковский Л.В., Меркин В.Е. Аварийные ситуации при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей и метрополитенов. – М.: ТИМР, 2000. – 195 с.

78. Петренко Е.В., Петренко И.Е. Менеджмент в подземном строительстве // Подземное пространство мира. 1996. - № 1-2. – с. 54-56.

79. Смирнов Н.В., Гладков В.С., Писаренко Г.И. К расчету бетонных и железобетонных конструкций мостов и труб по предельному состоянию // Транспортное строительство, 1974. - № 8. – с. 12-15.

80. Орлов С.А. Методы статистического расчета сборных железобетонных обделок тоннелей. – М.: Госстройиздат, 1961. – 316 с.

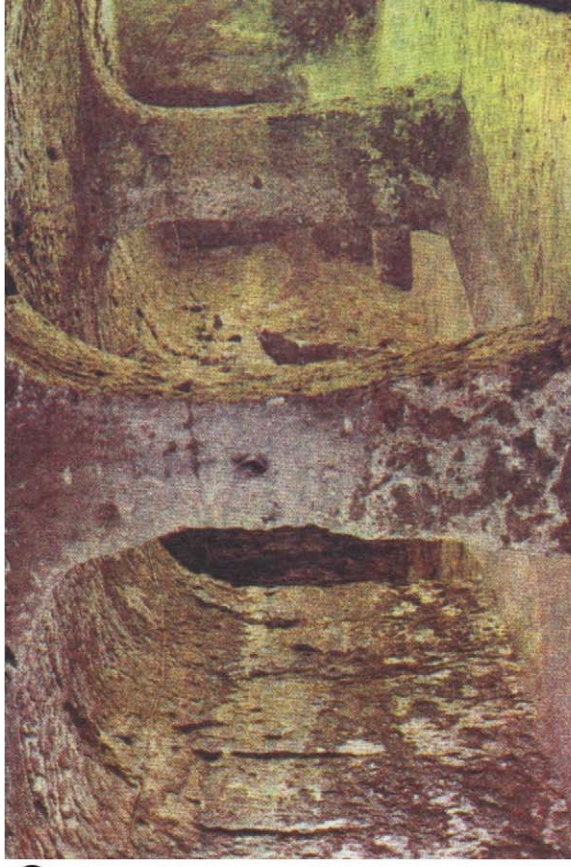
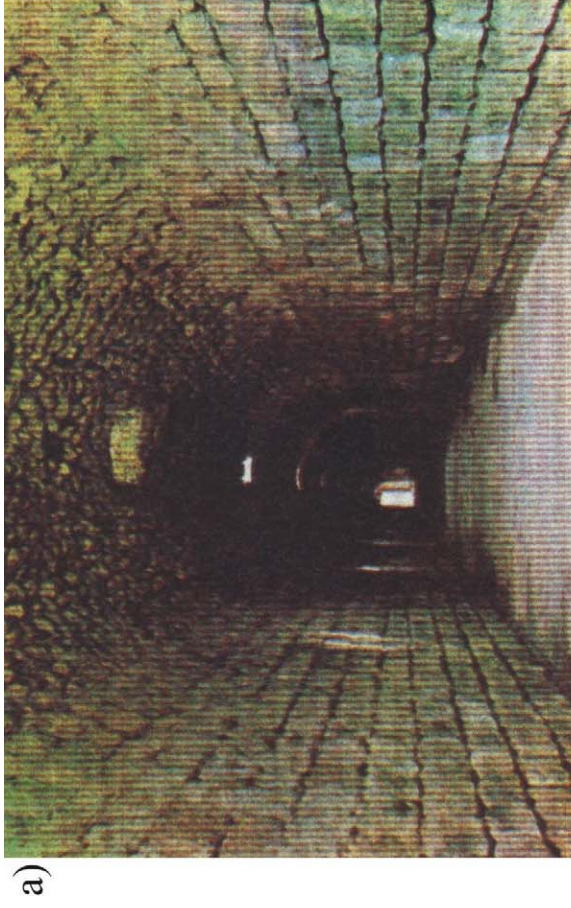


Рис. 1.1. Первые сохранившиеся подземные сооружения
а – тоннели подземной больницы в Пергаме (IV в. до н.э.); б – целики сводов подземного города (II в. до н.э.); в – каменный затвор входного тоннеля в подземный город

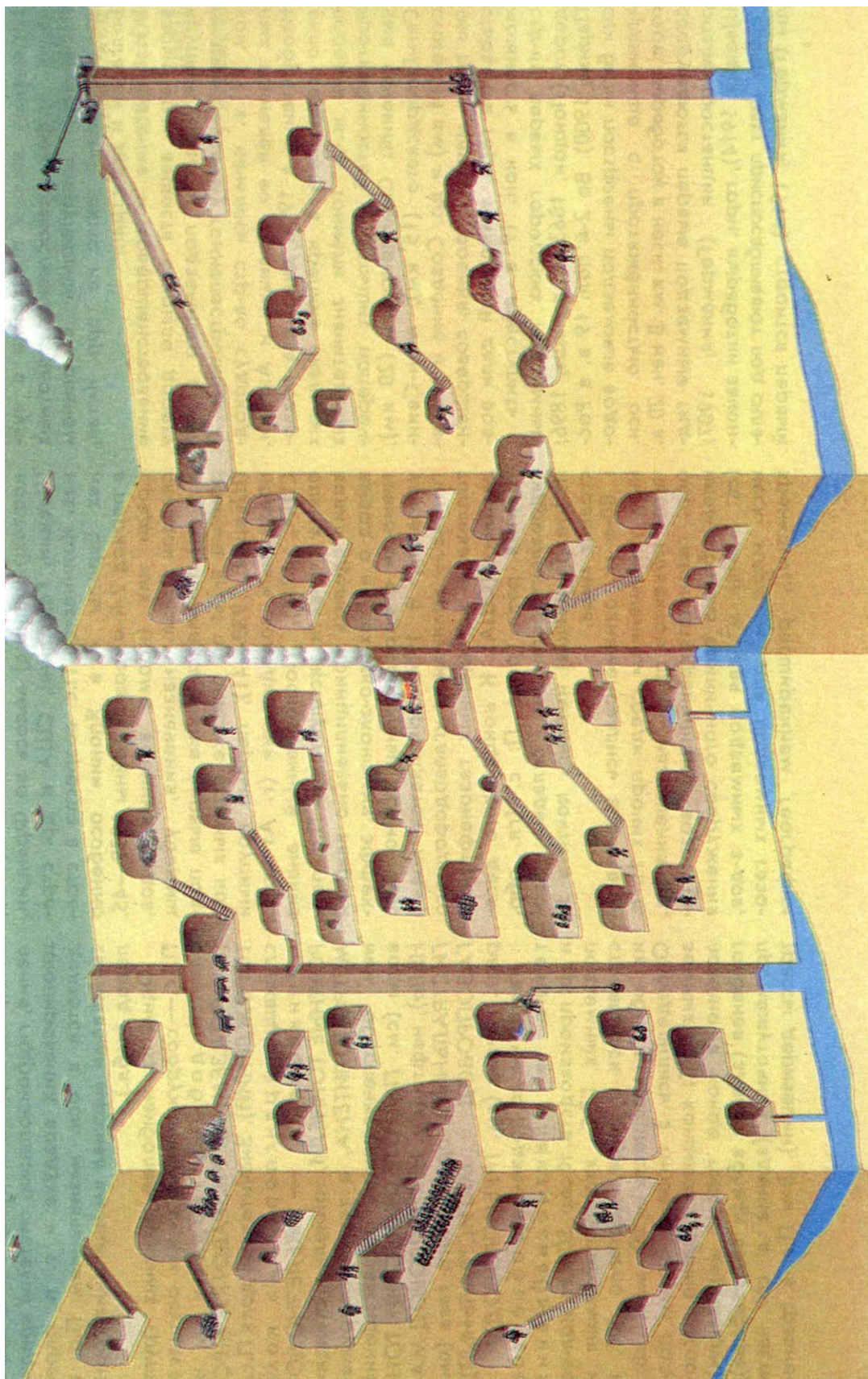


Рис. 1.2. Схема подземного города в Кападокии



Рис. 2.1. Станция метро «Бульвар Дзержинского»



Рис. 2.2. Станция «Октябрьская» Московского метрополитена



Перегонный тоннель от станции «Аннино» Москва

213

Рис. 2.3. Перегонный тоннель от станции «Аннино» Москва



Рис. 2.4. Многоуровневая транспортная развязка (Шанхай)

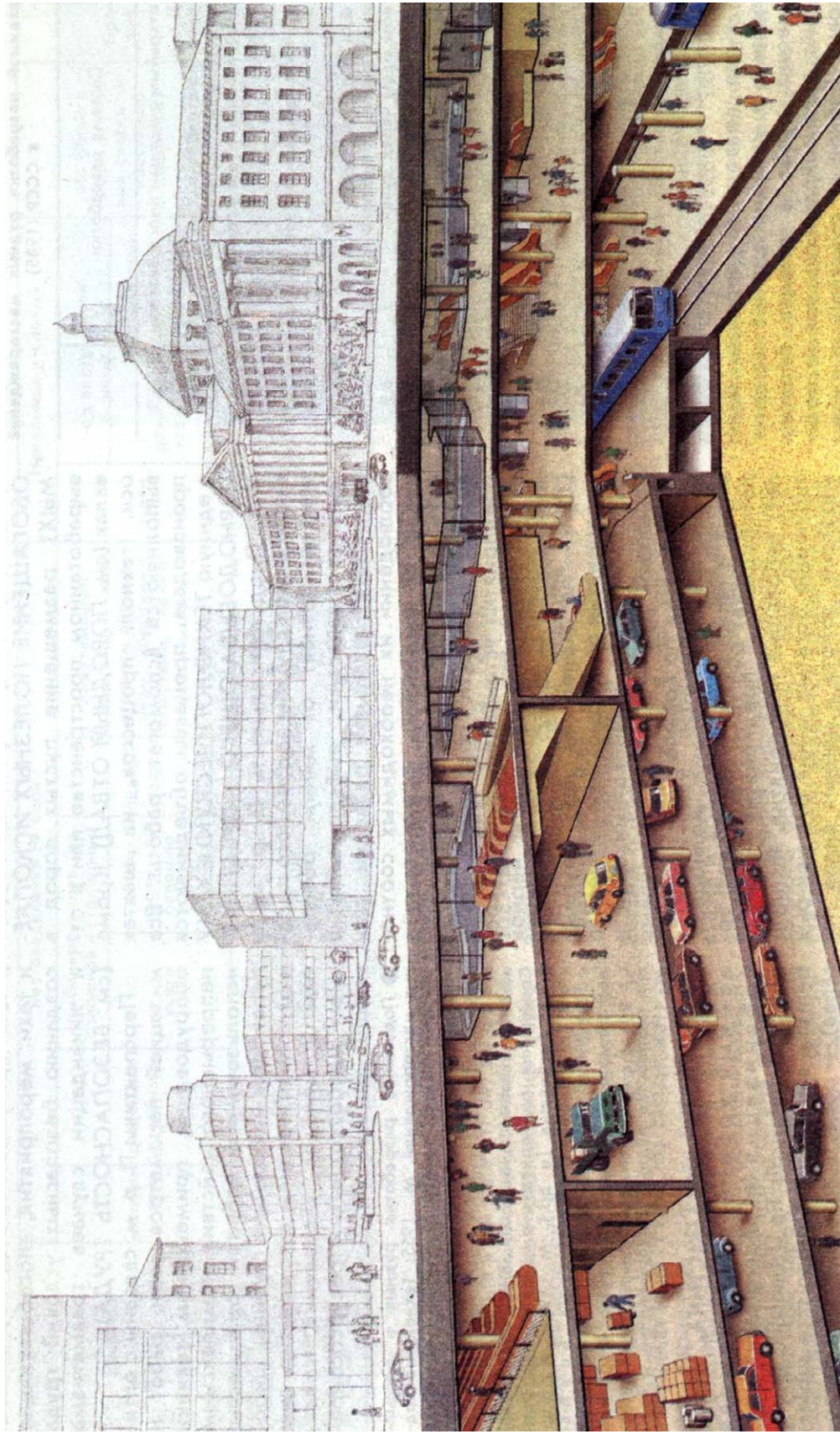


Рис. 2.5. Комплекс подземных сооружений на Карлсплац. Мюнхен, Германия

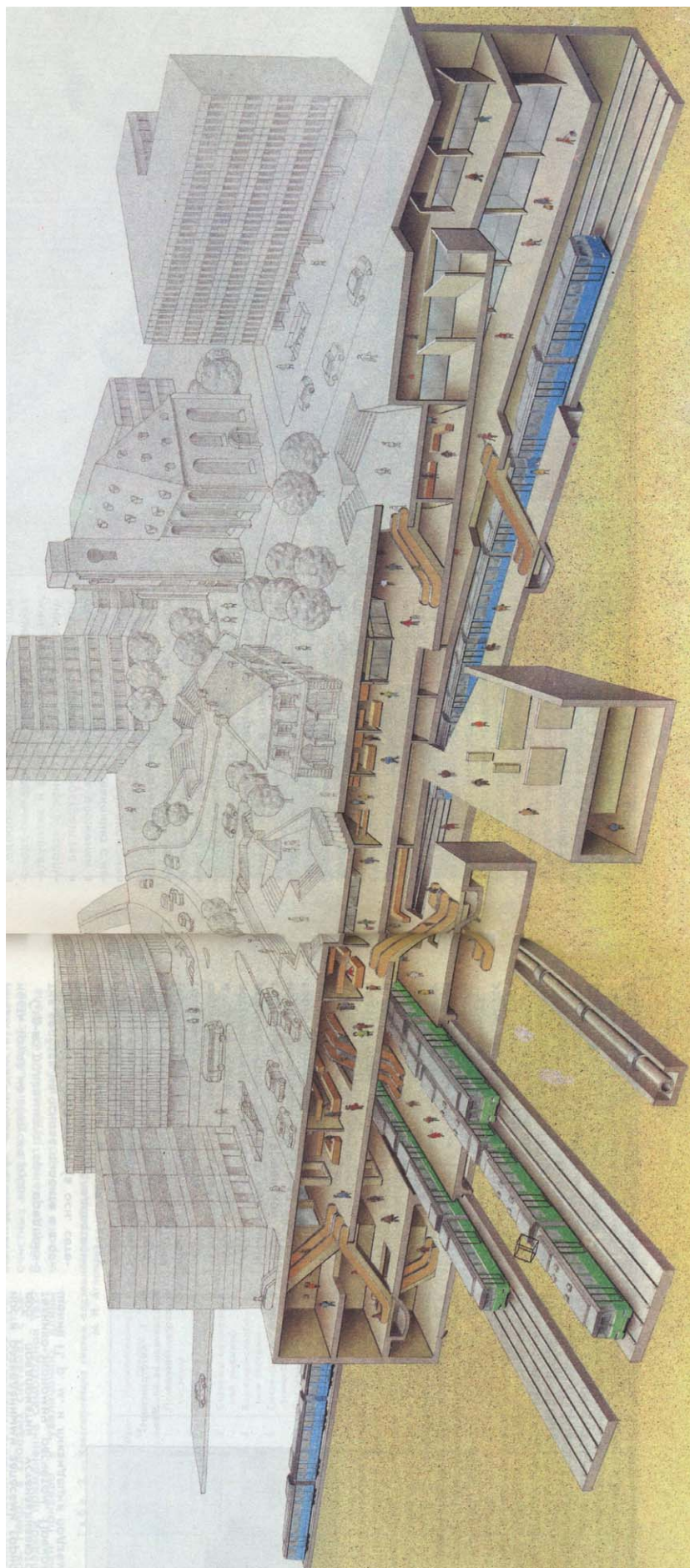


Рис. 2.6. Комплекс подземных сооружений на пл.. Хауптвахе, Франкфурт-на-Майне, Германия

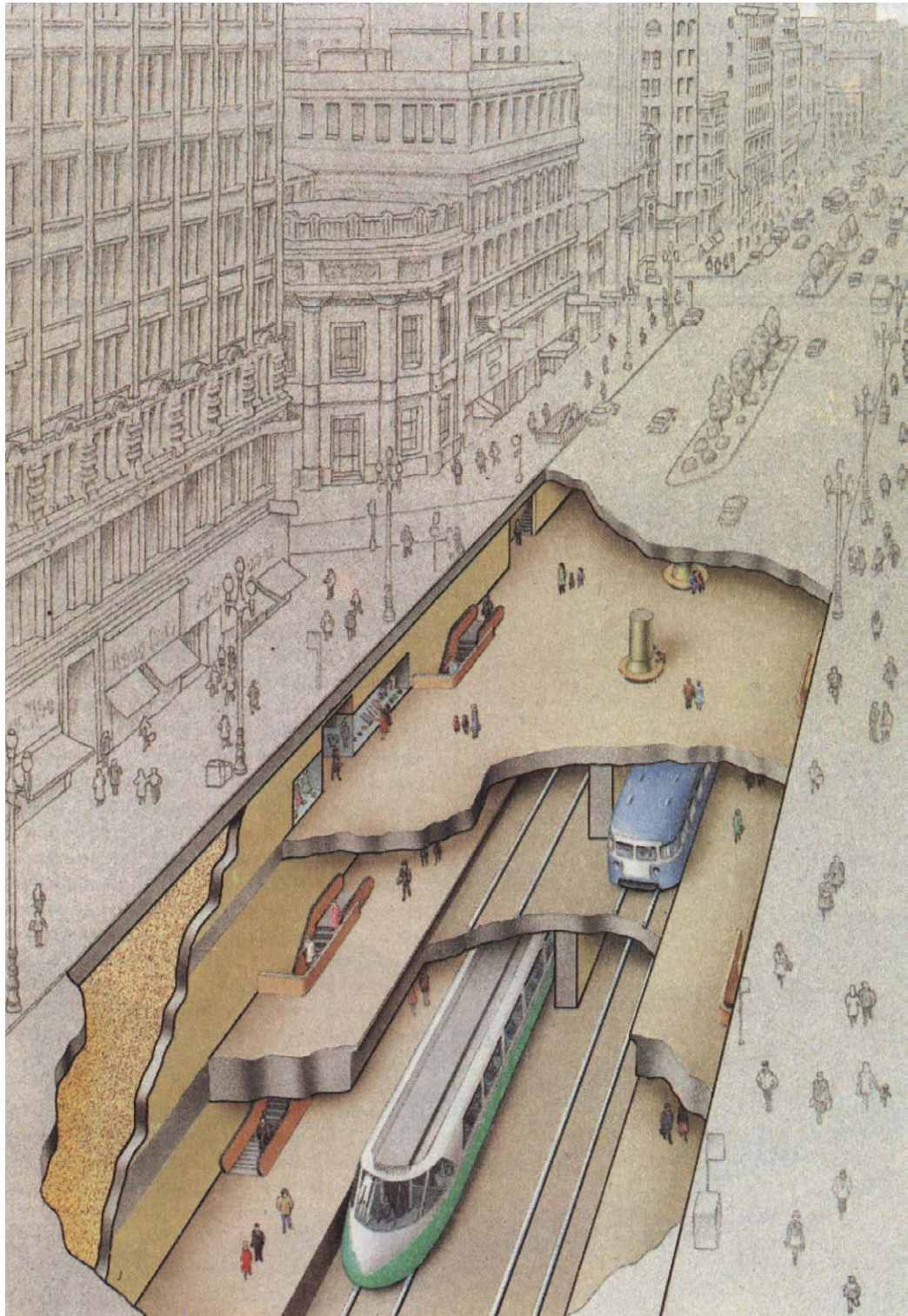


Рис. 2.7. Многоуровневый пересадочный узел обычного и экспресс-метрополитена. Сан-Франциско, США

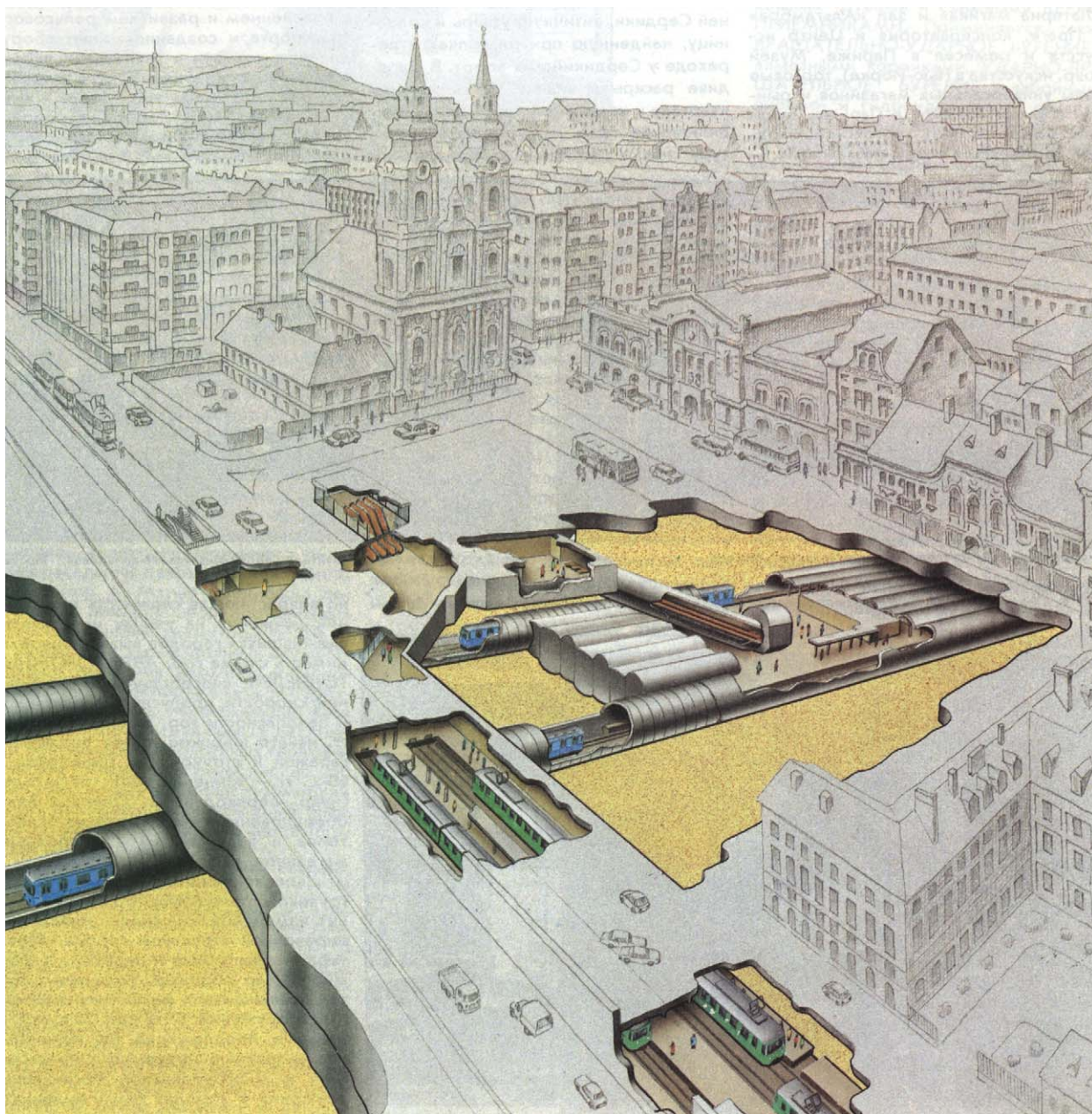


Рис. 2.8. Пересечение линий метрополитена (С-10, В-3) в центре г. Будапешта, Венгрия



Рис. 2.9. Оформление станций московского метрополитена

а - Архитектурное оформление станции «Арбатская» Московского метрополитена; б - Фрагменты декоративного оформления станции «Комсомольская», Москва

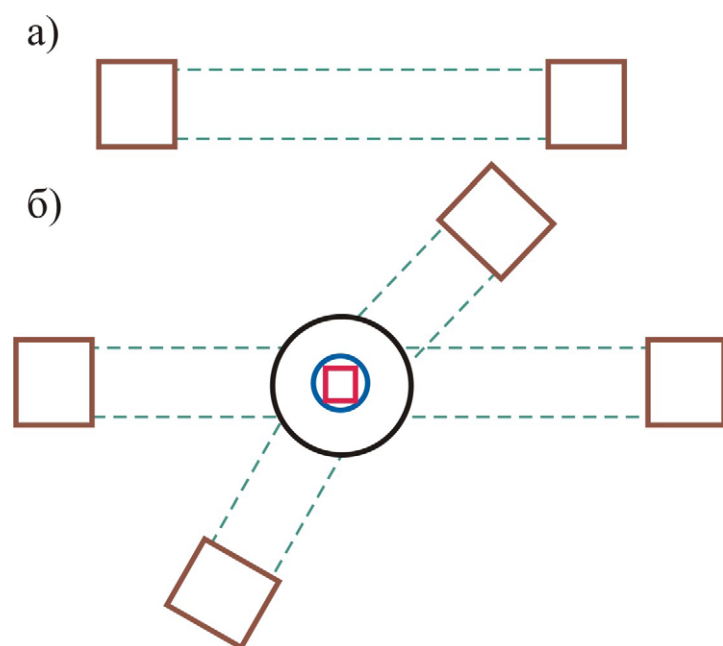


Рис. 2.16. Схема Японских туннельных гаражей револьверного типа: а – линейный; б – радиальный

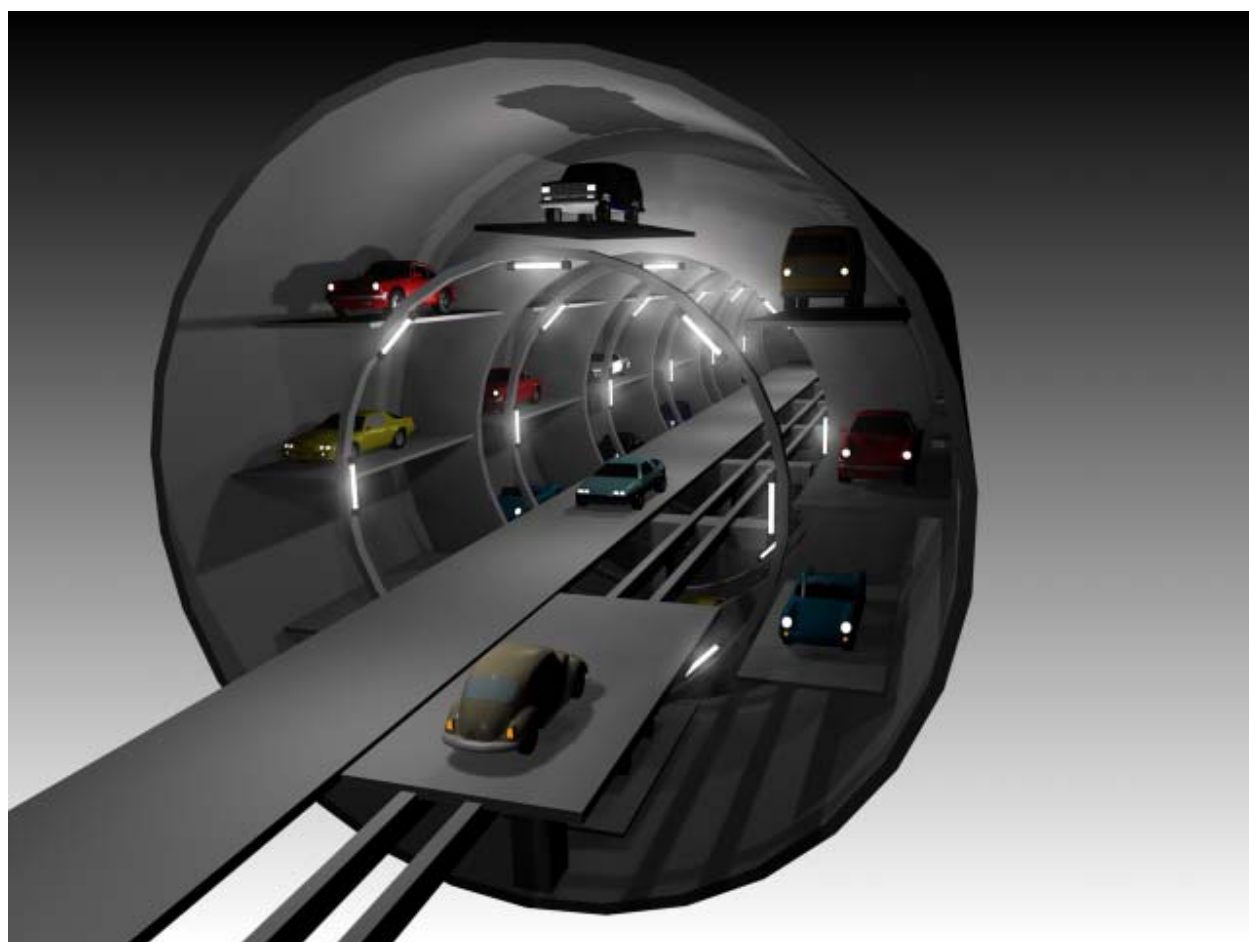


Рис. 2.17. Расположение автомобилей в подземных гаражах револьверного типа



Рис. 2.22. Спецлинии Московского метрополитена (по данным Пентагона, США)

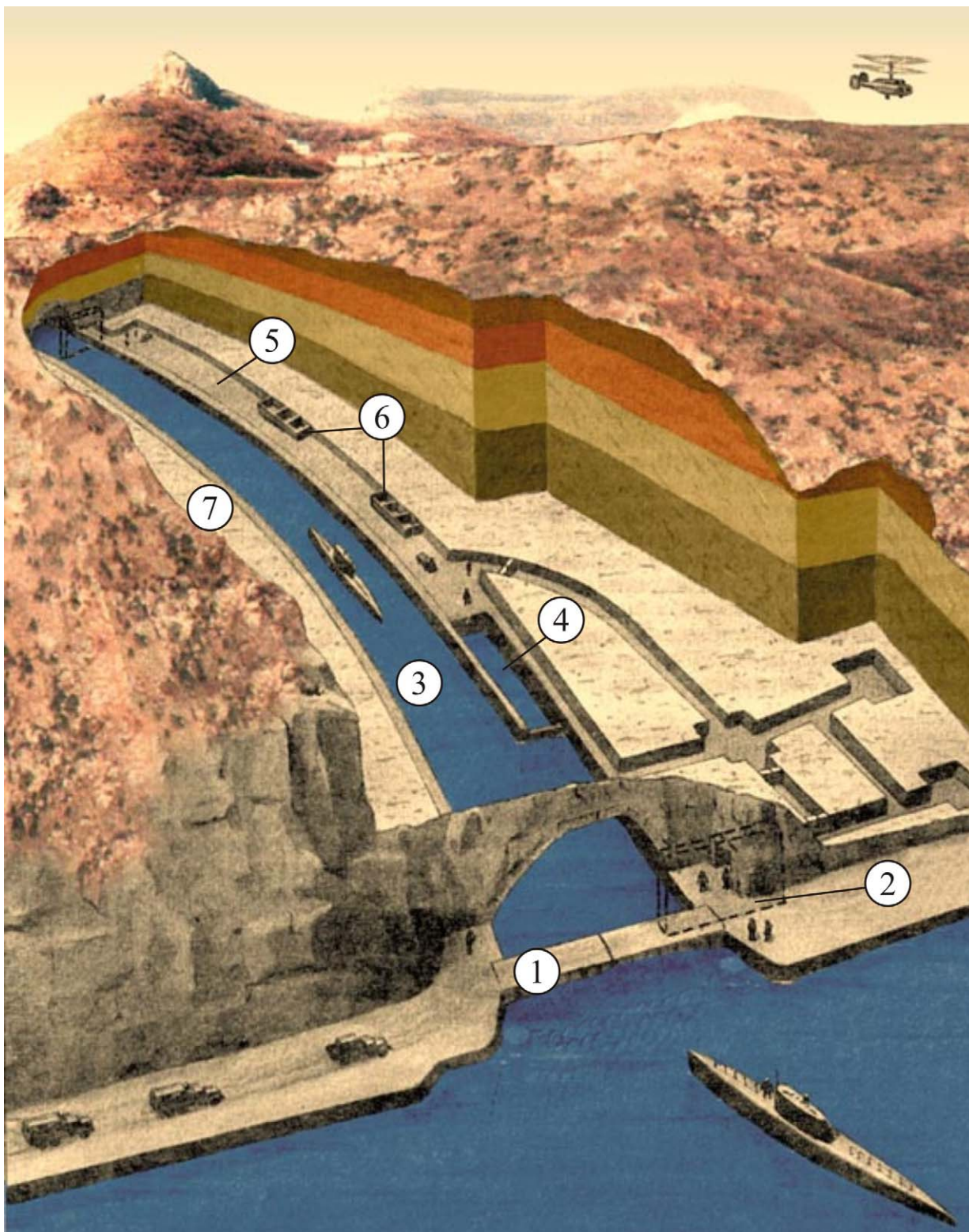


Рис. 2.23. Подземный комплекс для укрытия подводных лодок на мысе Алсу (Балаклава, Крым)

1 – автомобильный мост; 2 – восточный вход в подземный комплекс; 3 – морской канал; 4 – сухой док; 5 – производственные помещения; 6 – хозяйственные помещения; 7 – пешеходная дорожка



Рис. 2.24. Фрагмент подземного морского канала



Рис. 2.25. Подземный канал с пешеходной дорожкой

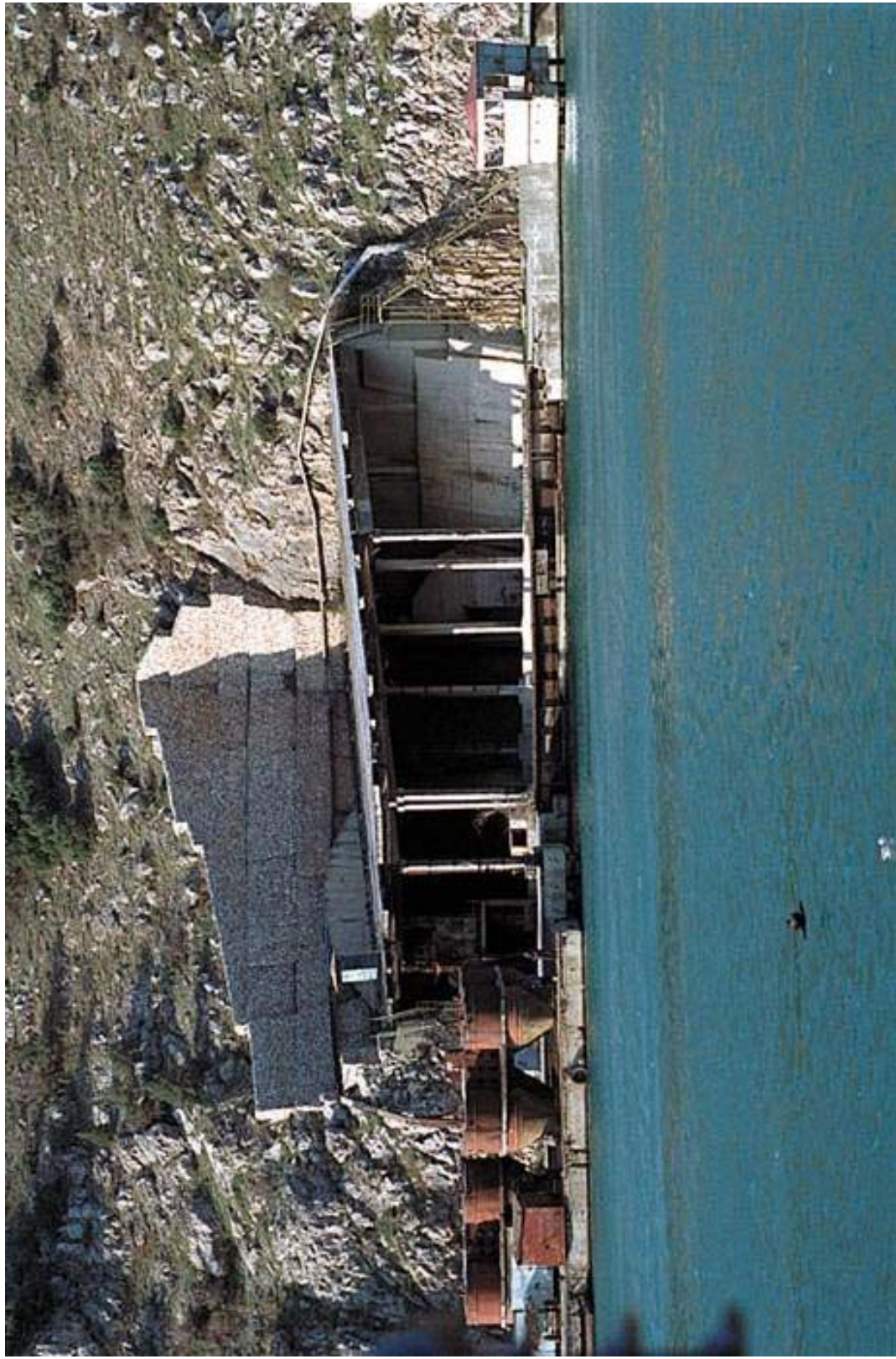


Рис. 2.26. Выходной портал подземного морского канала

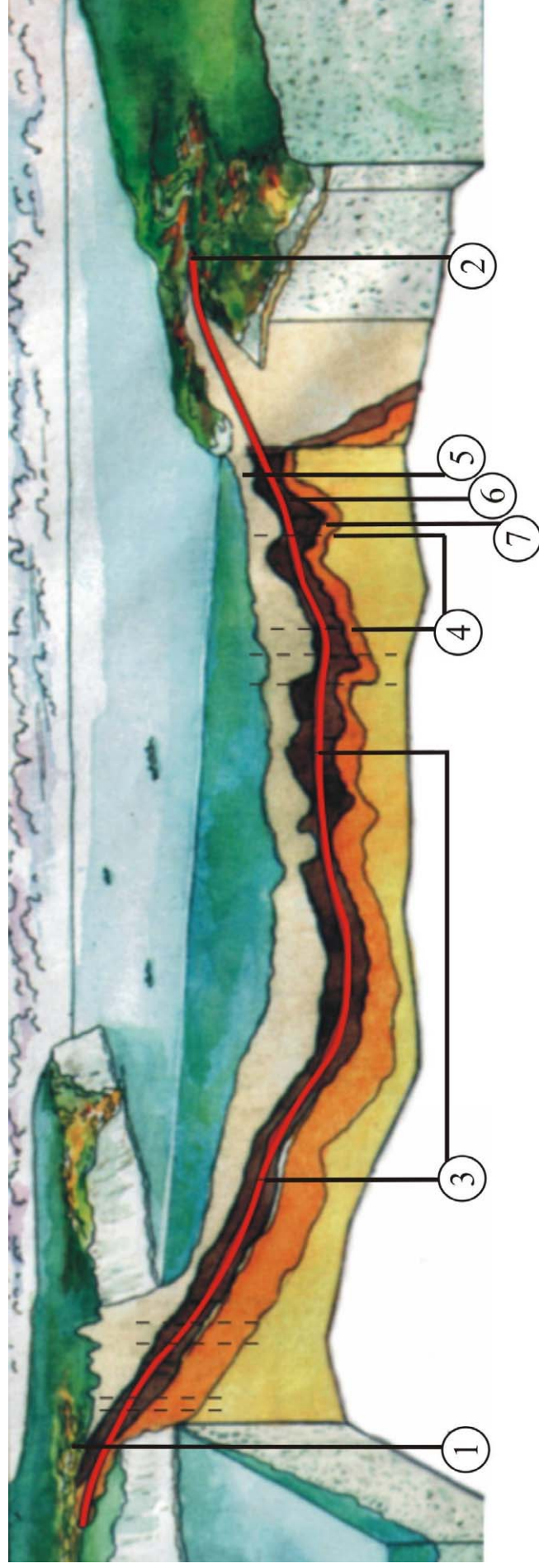


Рис. 2.27. Трасса тоннеля под Ла-Маншем

1 – терминал в Фолкстоне; 2 – терминал близ Сангетта; 3 – проезды из тоннеля в тоннель; 4 – сбросы пород; 5 – слой известняка; 6 – слой голубого мела; 7 – слой глины

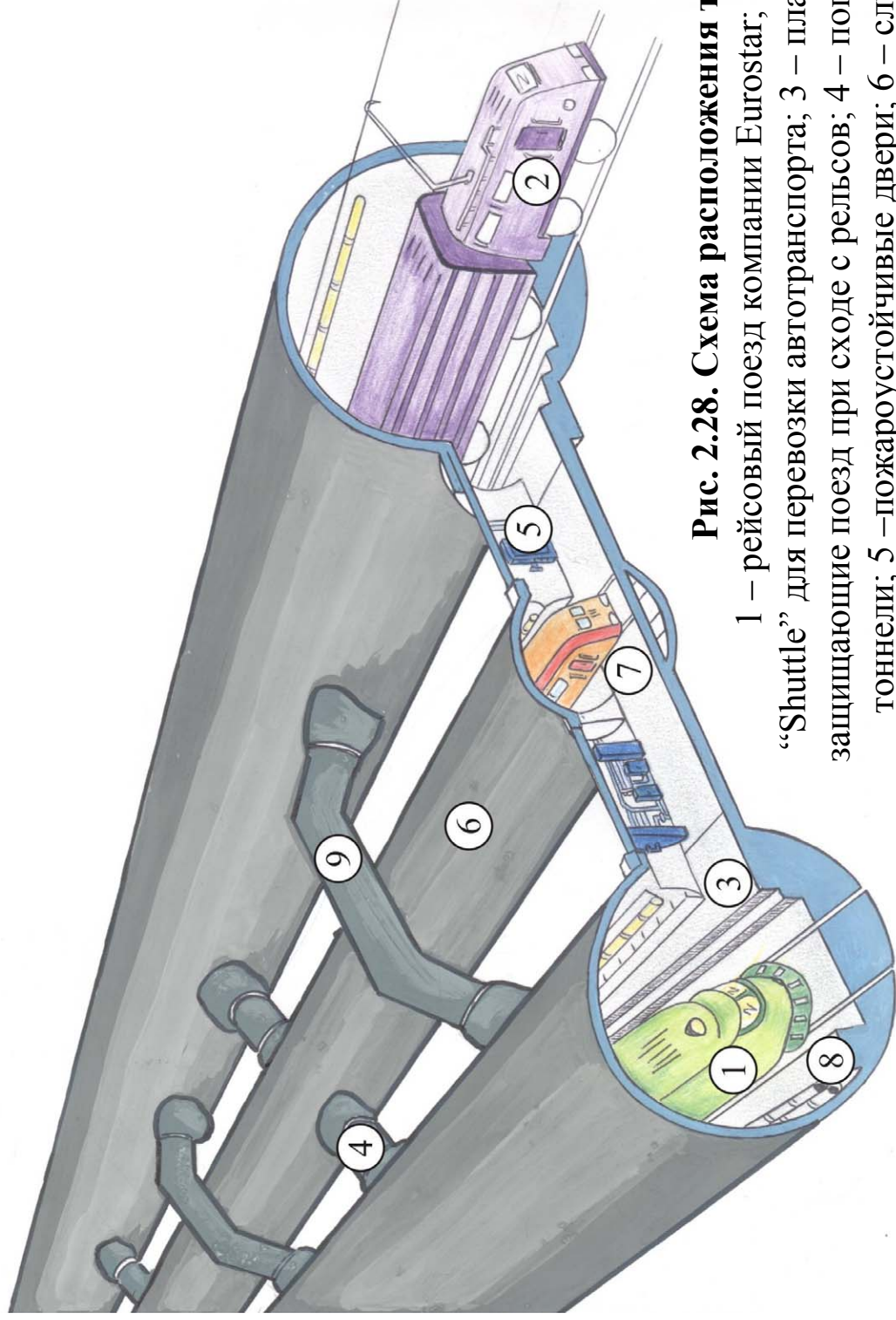


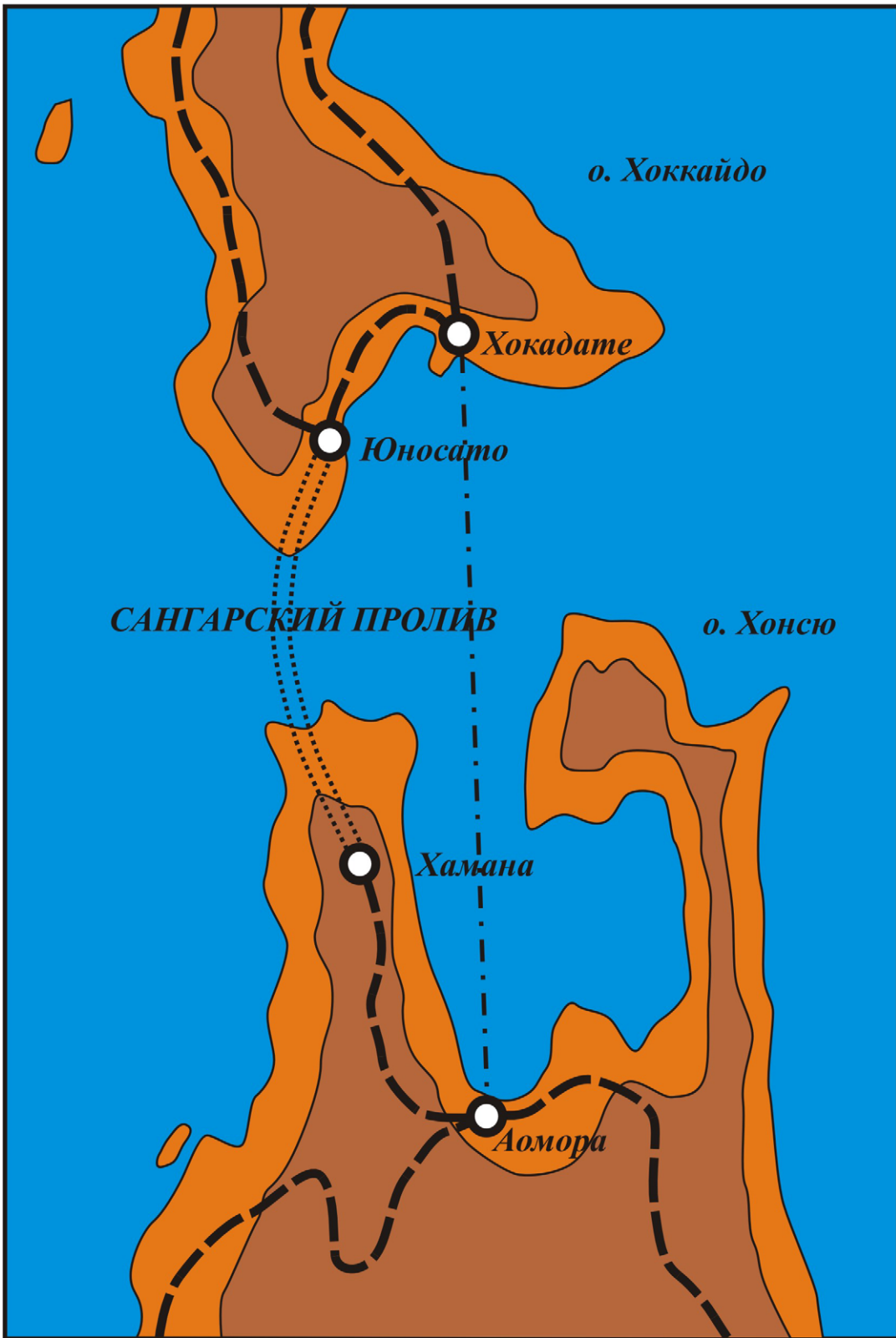
Рис. 2.28. Схема расположения тоннелей
 1 – рейсовый поезд компании Eurostar; 2 – поезд “Shuttle” для перевозки автотранспорта; 3 – платформы, защищающие поезд при сходе с рельсов; 4 – поперечные тоннели; 5 – пожароустойчивые двери; 6 – служебный тоннель; 7 – транспортное средство “Diesel” для ремонта и оказания помощи пострадавшим; 8 – трубы охлаждающего водопровода; 9 – воздуховоды для выравнивания воздушного давления



Рис. 2.29. Выходной портал тоннеля



Рис. 2.30. Тоннелепроходческие комплексы «Роббинс»



- Тоннель Сэйкан
- - - - - Морской паром
- Железная дорога

Рис. 2.31. План трассы тоннеля Сэйкан

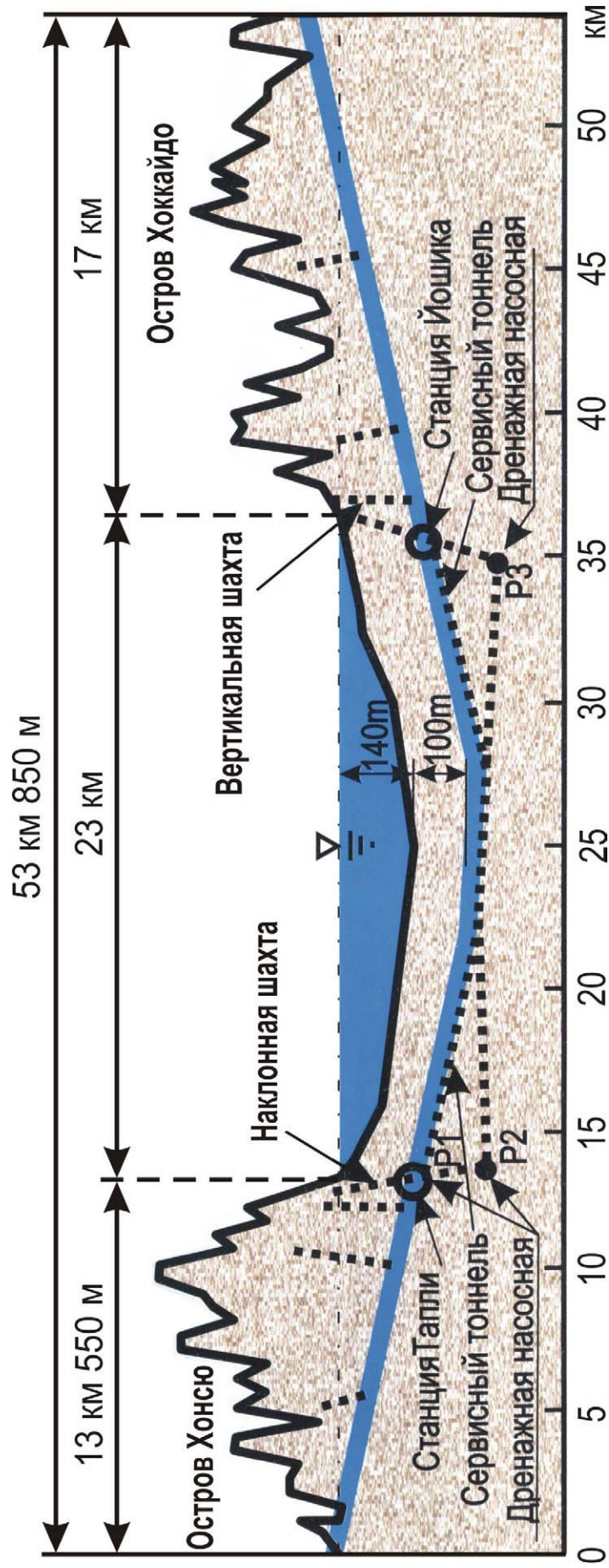


Рис. 2.32. Схема трассы тоннеля Сэйкан под Сангарским проливом

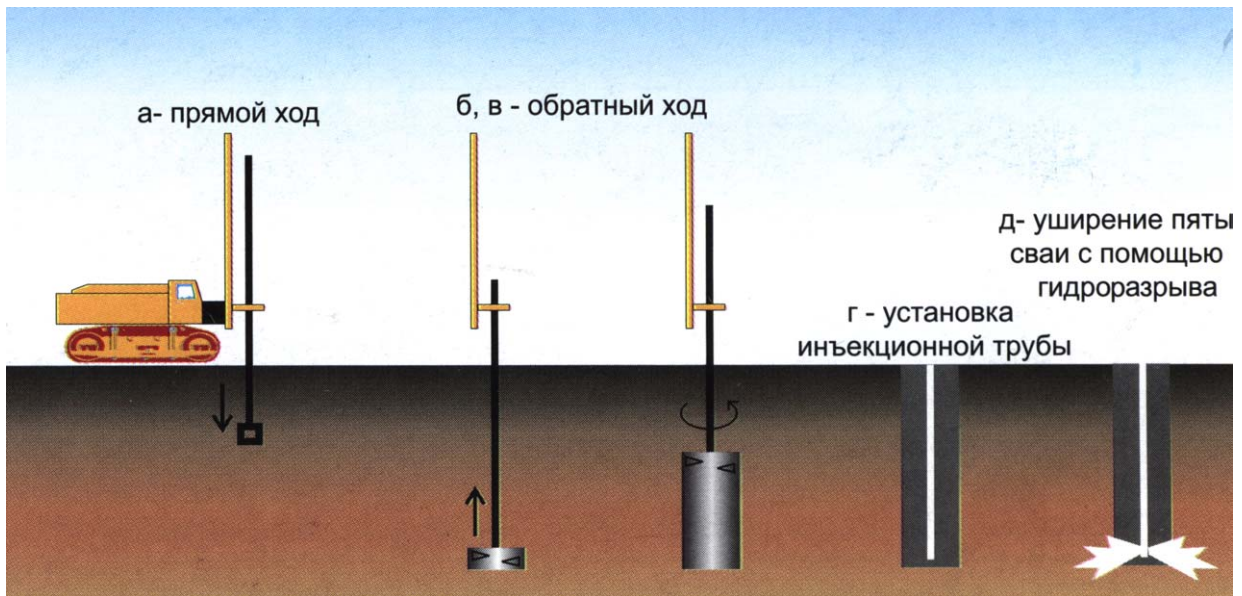


Рис. 3.1. Схема производства струйной цементации

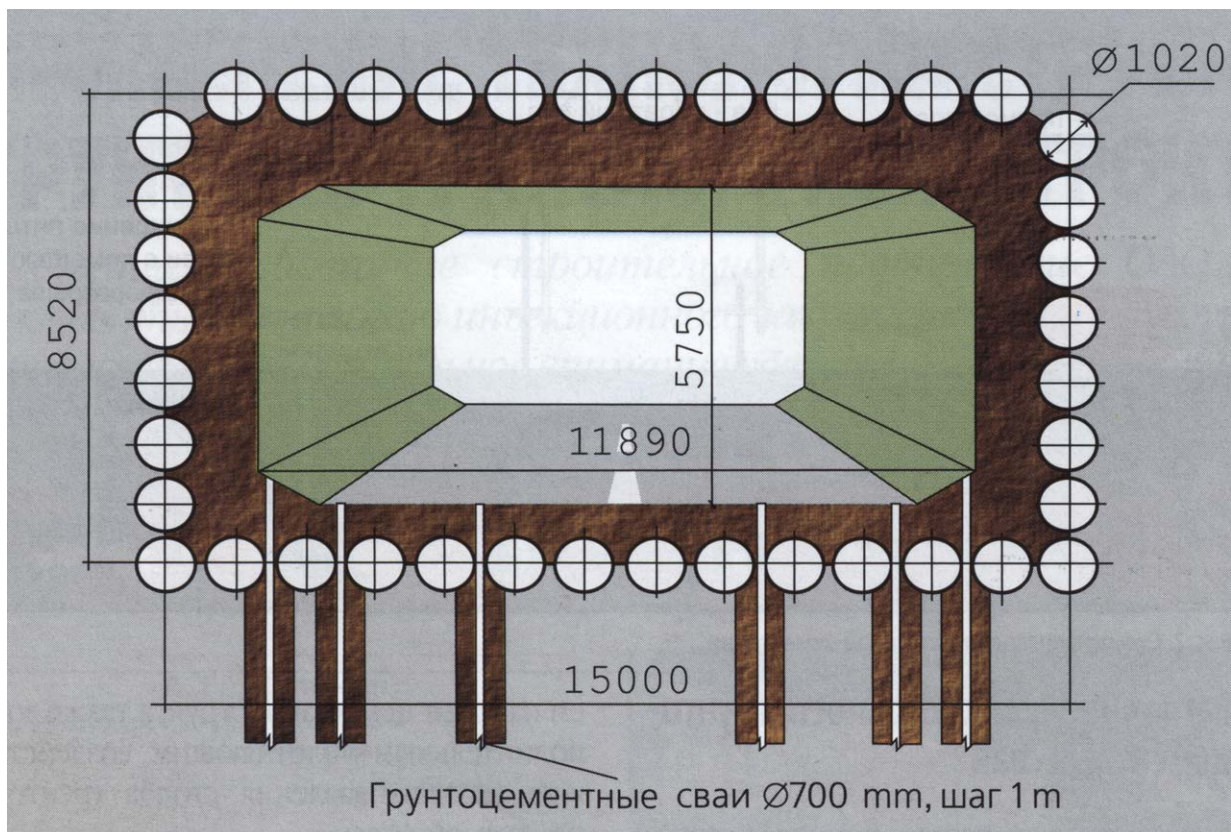


Рис. 3.2. Грунтоцементные сваи в основании лотка тоннеля

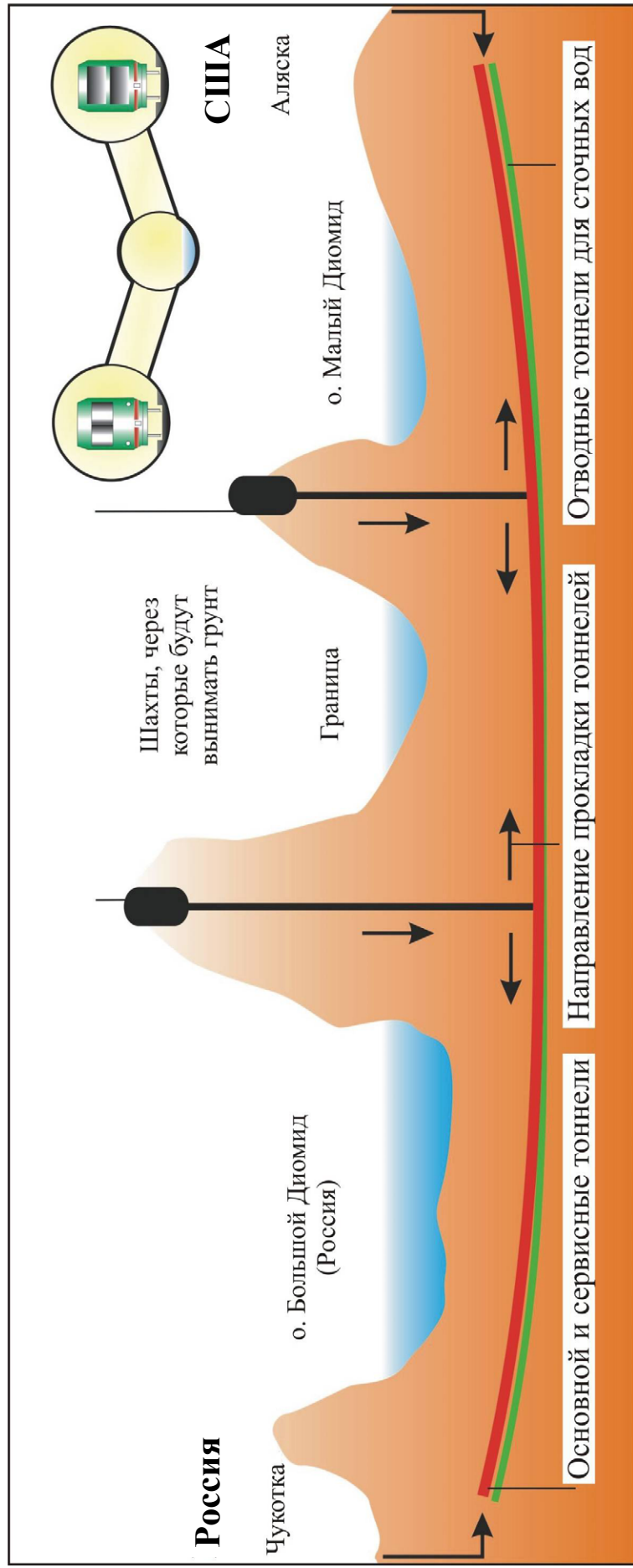


Рис. 4.2. Схема трассы будущего тоннеля под Беринговым проливом

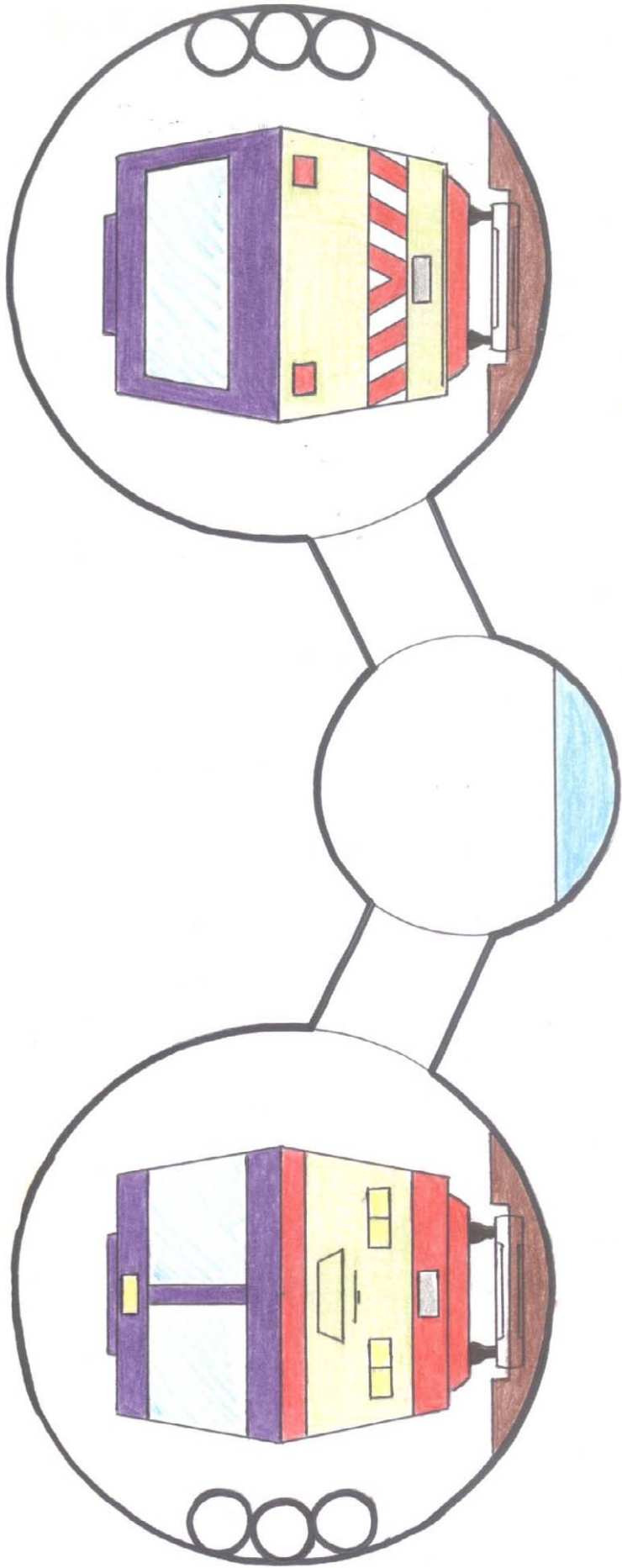


Рис. 4.3. Схема расположения тоннелей трассы Чукотка – Аляска

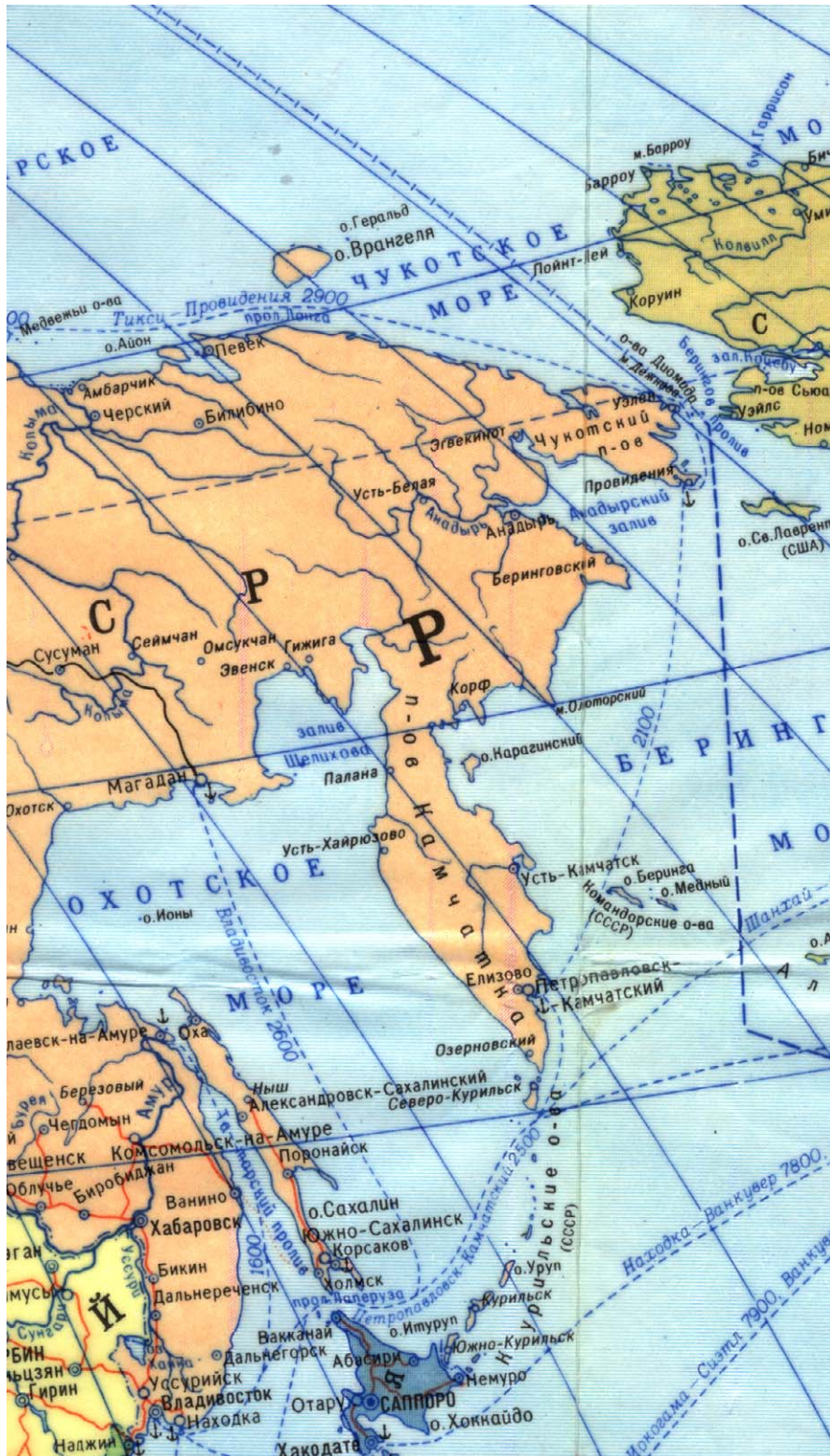


Рис. 4.4. Карта северо-востока России и Аляски (США)

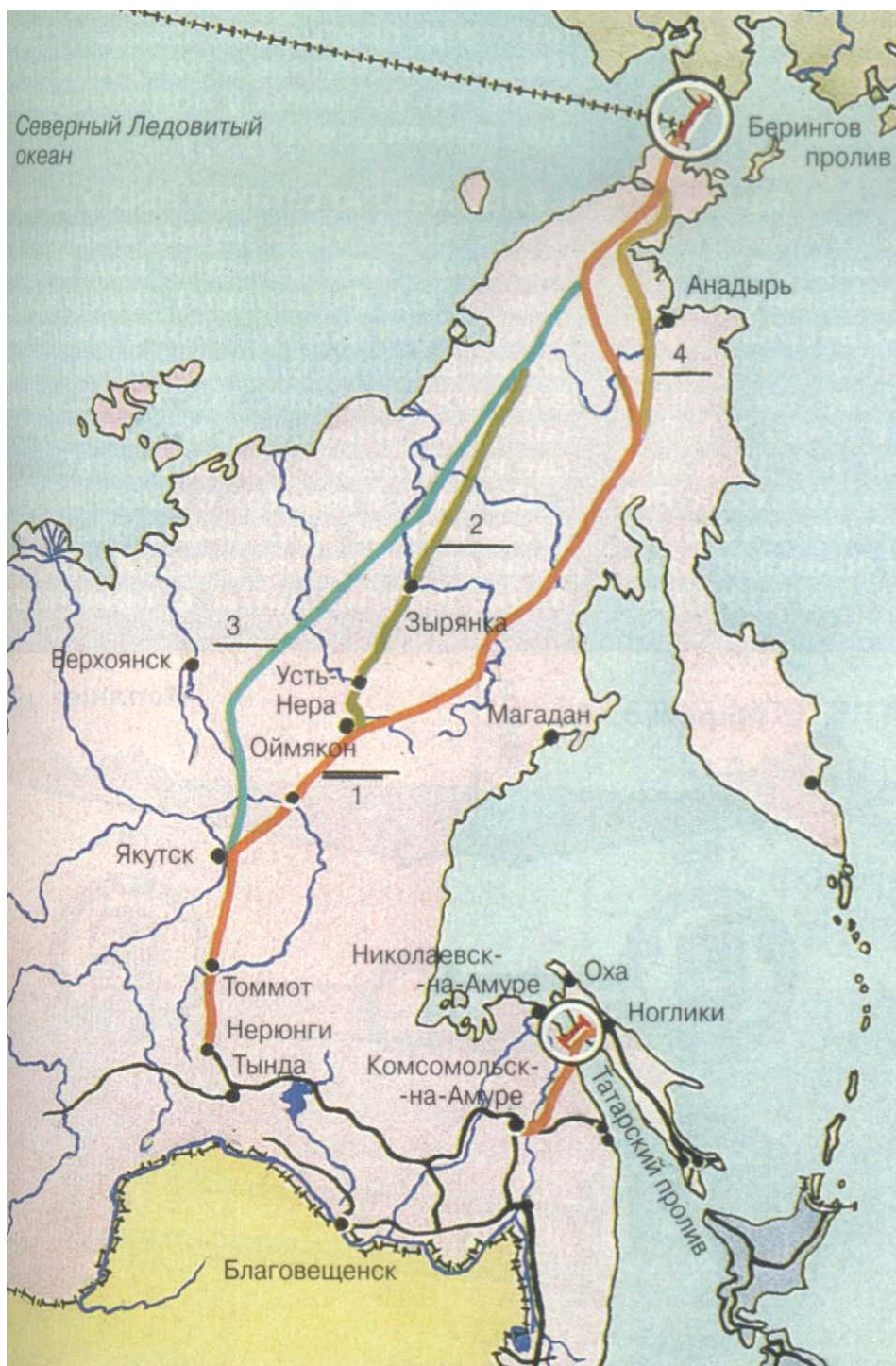


Рис. 4.5. Участок будущей всемирной системы железных дорог азиатско-американского сектора

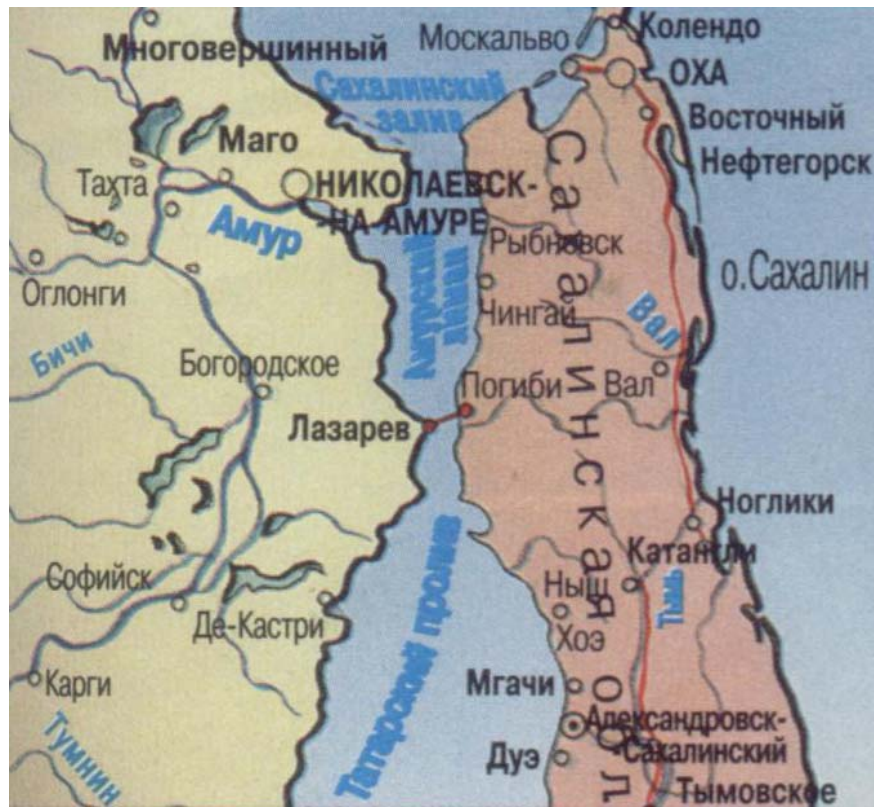


Рис. 4.7. Карта территории нижнего Амура

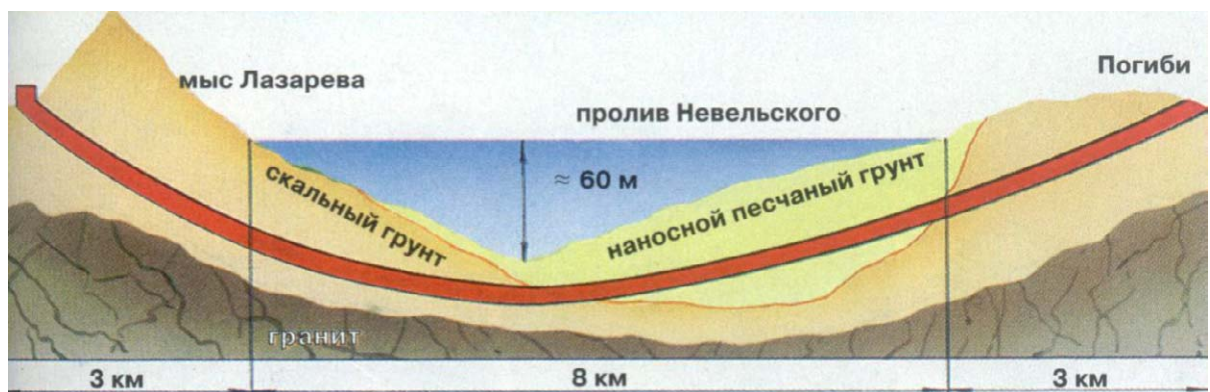


Рис. 4.8. Геологический разрез по трассе тоннеля на о. Сахалин



Рис. 4.10. Карта Дальнего Востока России, севера Японии и пролива Лаперуза, под которым проектируется сооружение тоннеля

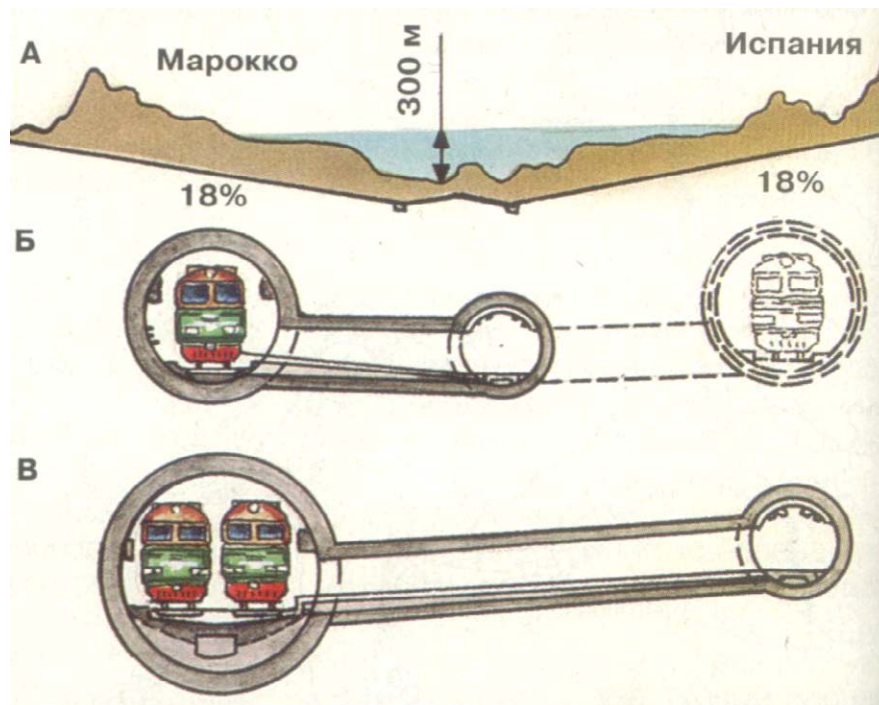


Рис. 4.11. Проект тоннеля под Гибралтарским проливом
 А – профиль; варианты: Б – два однопутных тоннеля; В – один двухпутный и сервисный тоннель

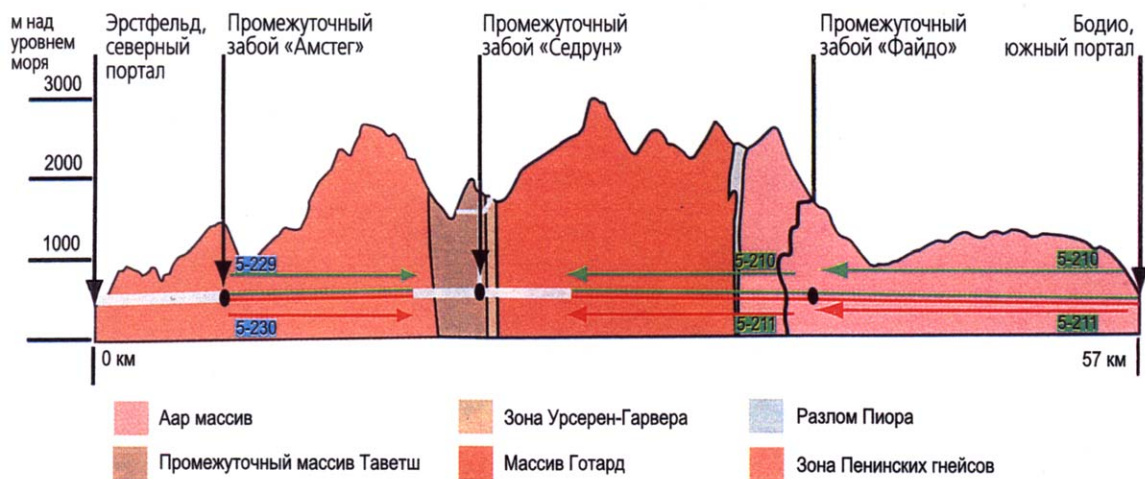


Рис. 4.12. Схема трассы Сен-Готардского базисного железнодорожного тоннеля



Рис. 4.13. Географическое положение подводного тоннеля под проливом Босфор



Рис. 4.15. Карта Керченского пролива

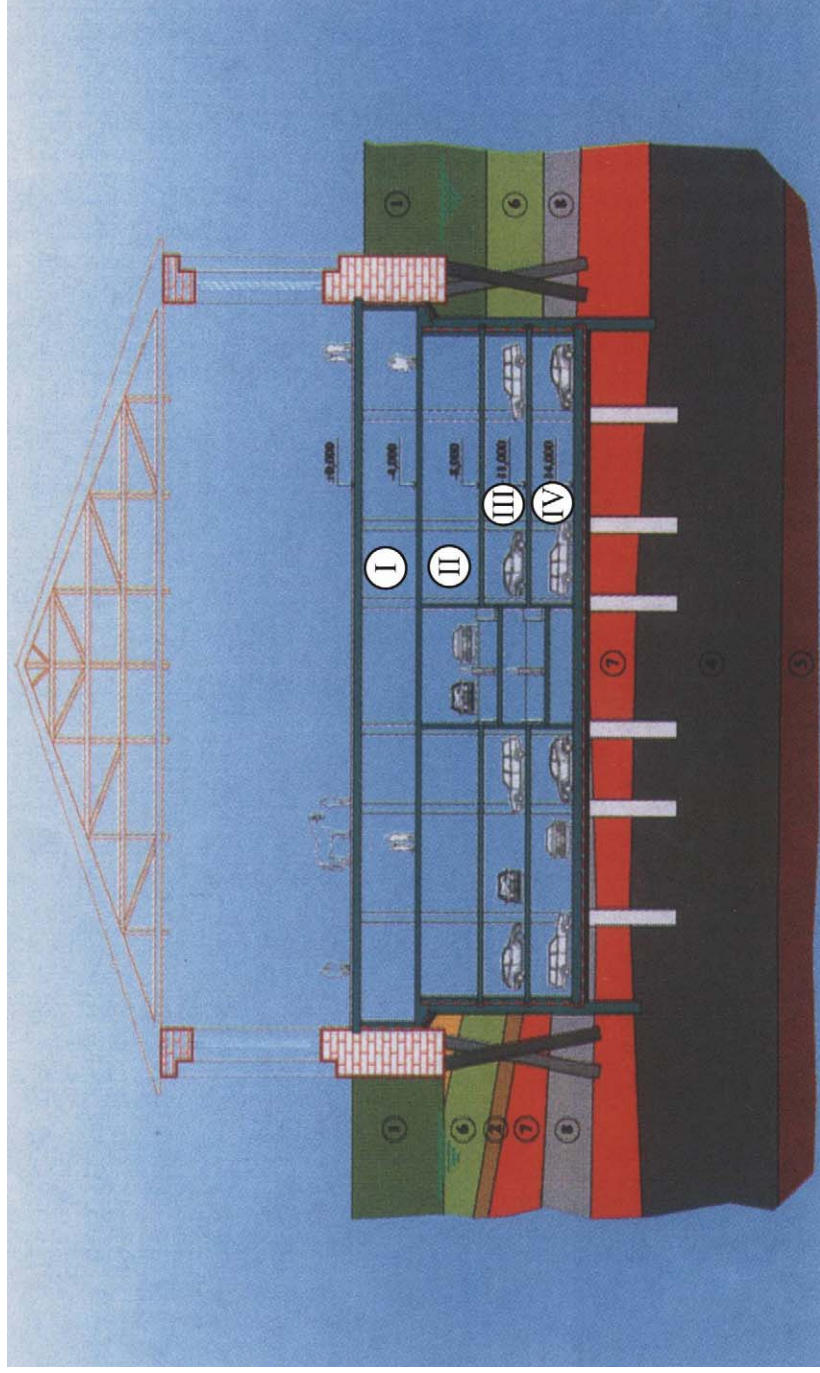


Рис. 4.17. Вариант использования подземного пространства под Манежем
Подземные этажи: I – постоянные тематические выставки; II – служебные и
технические помещения; III и IV - автостоянки

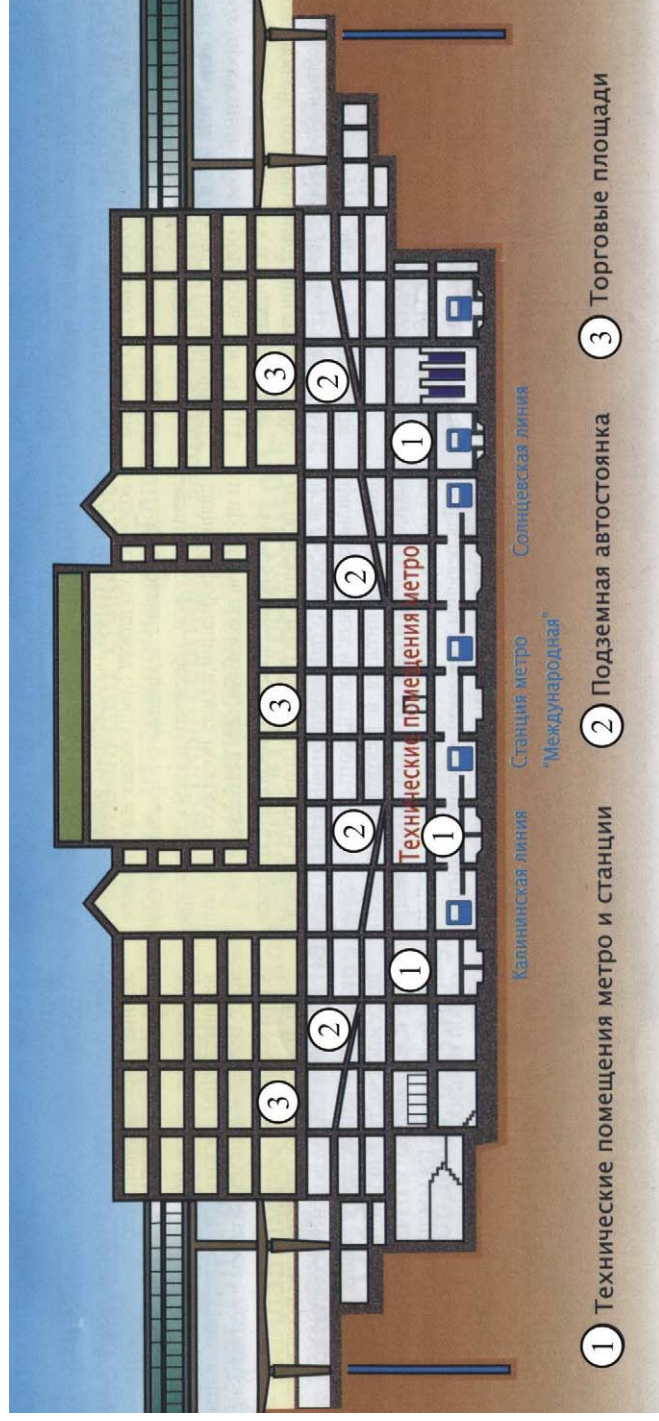


Рис. 4.18. Поперечный разрез подземной части делового центра «Москва-Сити»



Лысиков Борис Артемович – выпускник Донецкого национального технического университета (ДПИ), профессор кафедры «Строительство шахт и подземных сооружений» этого университета. Автор 7 монографий, 5 учебников и учебных пособий, изданных на русском и французском языках, 200 научных статей, 26 изобретений и патентов.

Каплюхин Александр Акимович – выпускник Донецкого национального технического университета (ДПИ), профессор кафедры «Экономика предприятия» этого университета. Автор 2 учебных пособий и монографии, 100 научных статей, 12 изобретений.

