

УДК 622.002.5.004

ЗАРУБЕЖНЫЕ ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ НАУЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

**горн. инж., к.т.н. Кауфман Л.Л. (Нью-Йорк, США),
к.т.н. Лысиков Б.А., к.т.н. Лабинский К.Н. (ДонНТУ)**

Подані гірничо-будівельні параметри та технологія спорудження закордонних підземних структур наукового призначення – пришвидшувачей елементарних частинок (проект TESLA, Гамбург, Німеччина та VHLC, Чикаго, США) – котрі дозволяють розширити пізнання о матерії та вивчити можливість використання рентгенівських промінів у наукових цілях.

FOREIGN UNDERGROUND STRUCTURES OF SCIENTIFIC FUNCTION

Kaufman L.L., Lisikov B.A., Labinskiy K.N.

The mining and building parameters and the building technology of foreign underground structures of scientific function – an elementary particle accelerators (project TESLA, Hamburg, Germany and VHLC, Chicago, USA) – which allows to enlarge knowledge about matter and explore the possibility of usage of X-rays in science are shown in this article.

Современные научные лаборатории широко используют подземное пространство для установки высокоточных физических приборов, требующих особых условий работы. Известны примеры размещения научных объектов в подземных полостях на большой глубине, что вызывается необходимостью создания для чувствительных детекторов породного щита от космических лучей, попадающих на поверхность Земли из внешнего пространства [1].

Достоинствами подземного строительства научных лабораторий являются также стабильность и безопасность фундаментов, поддерживающих оборудование в рабочем состоянии с чрезвычайной точностью. Обеспечивается возможность изоляции радиации, генерируемой ускоренными частицами при их столкновениях, и рентгеновских лучей, применяемых в физических экспериментах.

По этим причинам такие современные научные центры, как ускорители элементарных частиц, обычно располагаются под землей.

Два типа ускорителей – циклические, имеющие кольцевую форму, и линейные, вытянутые по прямой линии, размещаются в туннелях.

В литературе [1] представлены наиболее известные научные подземные структуры: физическая лаборатория Саудан, расположенная в Сан-Луи, штат Миннесота; национальная лаборатория Хоумстейк, штат Южная Дакота; Карлсбадская подземная национальная лаборатория, штат Нью-Мексика, США; обсерватория-лаборатория Камиока, Япония по наблюдению за нейтронами космического происхождения; лаборатория Балби, Великобритания по исследованию «темной материи»; наибольшая в мире Европейская лаборатория физики частиц CERN, Женева; нейтринная обсерватория Садбери, Онтарио, Канада.

Далее описаны два перспективных проекта строительства весьма крупных ускорителей экспериментальных частиц, которые будут сооружены в Европе и США и представляют особый интерес с точки зрения строительства подземных сооружений.

Проект TESLA [2] (Tev – Energy Superconducting Linear Accelerator) ускоритель элементарных частиц.

В состав TESLA входят сверхпроводимый линейный ускоритель, который заставляет электроны сталкиваться с их античастицами – позитронами, а также источник рентгеновского лазерного излучения.

Комплекс TESLA имеет две главных задачи: расширить знания о материи и изучить возможности использования рентгеновских лучей в научных применениях. Он будет входить в состав существующей лаборатории DESY (Deutsches Elektronen Synchrotron) наибольшего в Германии центра исследований элементарных частиц, расположенного в Гамбурге (рис. 1, 2). В состав DESY входят два циклических ускорителя HERA (Hadron Electron Ring Accelerator) и PETRA (Positron – Electron – Tandem Ring Accelerator). HERA с длиной окружности 6,3 км – больший из двух ускорителей в комплексе DESY. Он расположен в туннеле с внутренним диаметром 5,2 м на глубине 10-20 м. Здесь протоны сталкиваются с электронами и позитронами, обеспечивая возможность изучения внутренней структуры протонов. Комплекс PETRA с длиной окружности 2,3 км служит в качестве разгонного ускорителя протонов, электронов и позитронов для HERA.

Геологические формации района Шлезвиг-Гольштейн (Schleswig-Holstein), где расположен комплекс TESLA, состоит из ледниковых отложений. Туннель ускорителя будет проводиться по валунной глине, характерной для северной Германии, с варьируемыми включениями тонкого и среднего песка, гальки и глинистых илов.



Рис. 1. Карта расположения комплекса TESLA

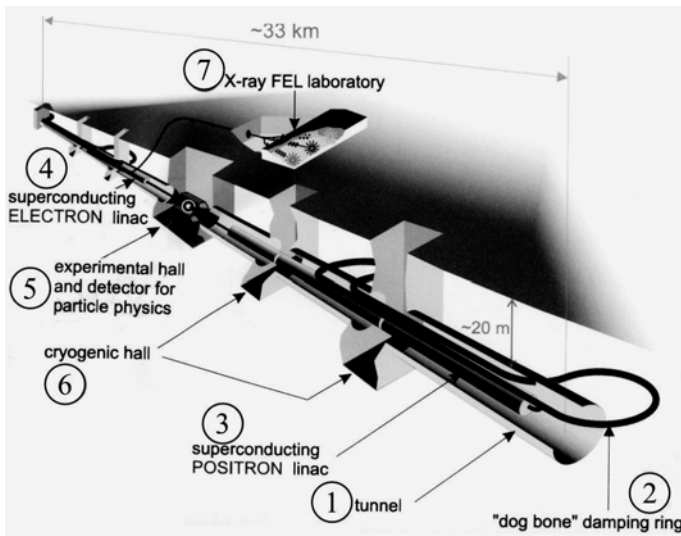


Рис. 2. Схема ускорителя TESLA: 1 – туннель; 2 – демпфирующее кольцо; 3 – ускоритель позитронов; 4 – ускоритель электронов; 5 – экспериментальный зал и детектор элементарных частиц; 6 – криогенный (охладительный) зал; 7 – лаборатория рентгеновского лазерного излучения

Технико-экономические проблемы горного производства

При расположении на глубинах между 12 и 30 м от поверхности туннель проводится, главным образом, ниже уровня грунтовых вод. Геологические и гидрогеологические условия дают возможность применить для проходки буровые туннельные машины щитовой конструкции и сегментную крепь. Около 3/4 маршрута туннеля будет иметь породное покрытие (слой между поверхностью и туннелем) более 12 м, что вдвое превышает наружный диаметр туннеля равный примерно 6 м. В вертикальной плоскости туннель следует изгибам поверхности.

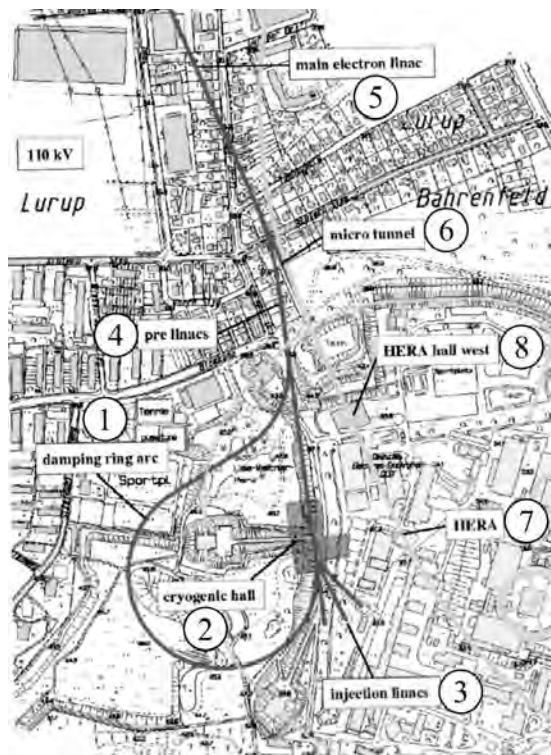


Рис. 3. Карта расположения южного демпфирующего кольца ускорителя: 1 – демпфирующее кольцо; 2 – криогенный зал; 3 – инжектирующие ускорители; 4 – предускорители; 5 – главный электронный ускоритель; 6 – микротуннель; 7 – существующий комплекс HERA; 8 – западный зал HERA

Туннель TESLA общей длиной 33 км начинается от существующего комплекса DESY (рис. 3) и идет в северном и северо-западном направлении через район Пинненберг (Pinnenberg). Проектируемый комплекс состоит, главным образом, из двух линейных ускорителей с длиной каждого 15 км. Один будет ускорять электроны, поступающие из источника в существующей лаборатории DESY, второй –

позитроны, стартующие в деревне Вестерборн (Westerborn). Электроны и позитроны сталкиваются в районе деревни Эллурхуп (Ellerhoor). Перед входом в ускорители электронный и позитронный пучки формируются в демпфирующих (гасящих колебания) кольцах длиной 17 км каждое, имеющих радиус закругления 145 м. Внутренний диаметр туннелей этих колец равен 3,4 м.

В селении Эллурхуп в зоне электронно-позитронных столкновений находится исследовательский центр и комплекс рентгеновского лазерного излучения. Семь дополнительных залов различного назначения располагаются вдоль маршрута туннеля с интервалами 5 км и связаны с ним стволами доступа.

Общая схема ускорителя показана на рис. 4. Экспериментальный зал и ствол доступа показаны на рис. 5.

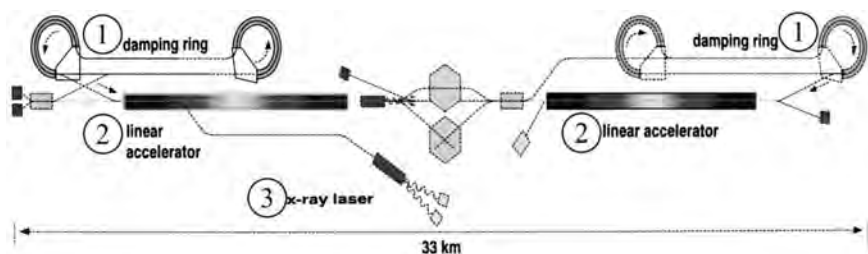


Рис. 4. Общая схема ускорителя TESLA

Туннель проводится щитовой буровой машиной с давлением в призабойной зоне, создаваемым повторно используемой бентонитовой суспензией, которая препятствует обрушению забоя, притока грунтовых вод в туннель и выносит измельченную породу. Туннель крепится предварительно напряженными железобетонными сегментами, намечен также тампонаж закрепного пространства.

Предусмотрено 19 стволов доступа к туннелю TESLA, из которых 11 – постоянные и служащие, как для целей строительства, так и для обслуживания научной деятельности. Восемь стволов будут временными, они нужны только для строительства, а после его окончания закрываются. Стволы имеют внутренний диаметр 15 м, глубину от 20 до 30 м, крепятся монолитным бетоном или железобетонными сегментами и оборудуются подъемными установками, лифтами, лестницами, воздуховодами, трубами и кабелями.

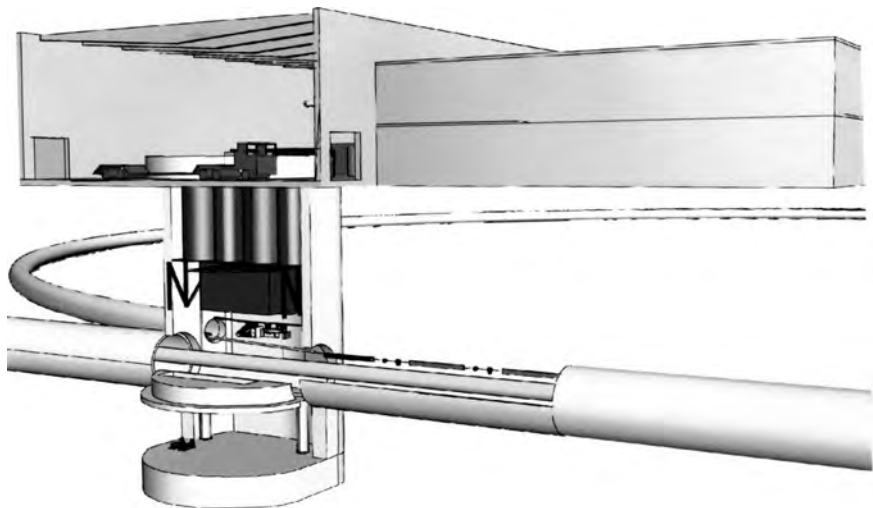


Рис. 5. Схема экспериментального зала и ствола доступа в туннель

Кроме туннелей, под землей располагаются экспериментальные залы, наибольший из которых имеет размеры 160x32x19 м. Этот зал имеет отдельный ствол доступа, обеспечивающий спуск-подъем специфического оборудования.

В комплексе рентгеновского лазера подземным способом строятся пять туннелей с диаметрами от 3,5 до 6 м, открытым способом – туннель раструбной формы высотой 7 м, шириной 6-12 м и глубиной от 12 до почти 40 м. Сооружается увеличенное грунтовое покрытие объемом 450 тыс. м³ для гарантированной защиты от рентгеновского излучения. Общая длина рентгеновских туннелей равна примерно 6 км (рис. 6, 7). Сечение туннеля ускорителя и размещение в нем оборудования показано на рис. 8.

Предусмотрены мероприятия по противопожарной защите туннеля. Каждые 500 м его длины устанавливаются водяные завесы. Изоляция горящих участков туннеля обеспечивается постоянными поперечными герметическими перемычками, занимающими 2/3 сечения туннеля. Оставшаяся часть сечения используется для размещения транспортного и аварийного проходов, которые при пожаре автоматически закрываются. Для вывода дыма и испаряющегося гелия (хладоносителя) под кровлей туннеля размещается воздуховод площадью около 1 м², оборудованный детектором дыма.

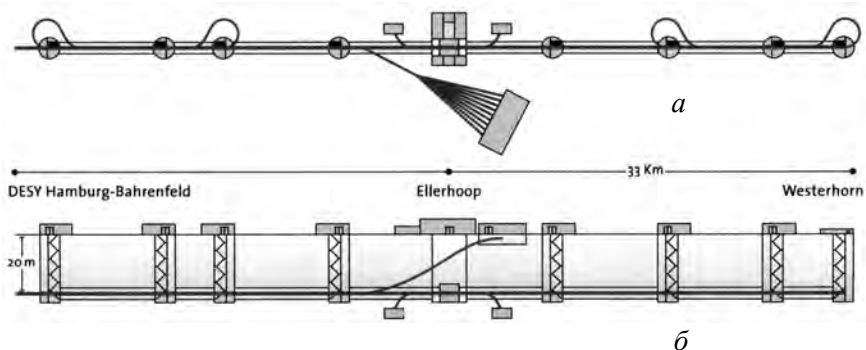


Рис. 6. План и разрез комплекса TESLA: *a* – план; *б* – разрез

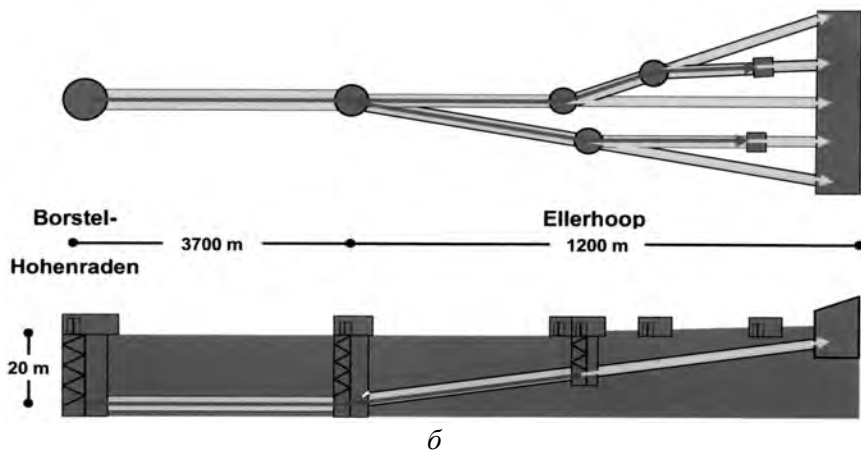


Рис. 7. План и разрез рентгеновского лазерного комплекса: *a* – план; *б* – разрез

Особое внимание уделяется аварийным выходам людей. Из-за наличия герметических перемычек и водяных завес маршруты спасения перед достижением безопасной зоны не превышают 500 м. Стандарты параметров таких маршрутов аналогичны нормативам транспортных туннелей, хотя количество работающих людей в туннеле ускорителя существенно меньше находящихся одновременно в транспортном туннеле. Персонал будет инструктирован и тренирован, на входах в туннель устанавливается оборудование контроля входа, осуществляется мониторинг количества и мест нахождения людей.

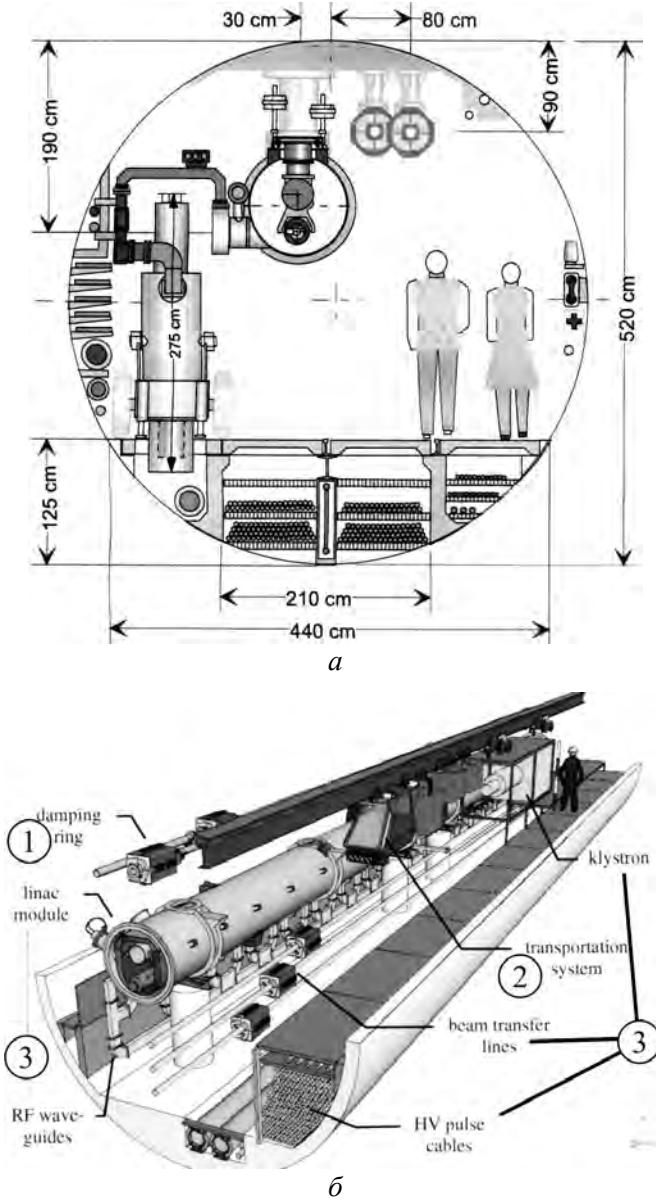


Рис. 8. Сечение туннеля и схема размещения оборудования: *a* – сечение туннеля; *б* – размещение оборудования в туннеле; 1 – демпфирующее кольцо; 2 – транспортная система; 3 – физическое и электрическое оборудование

Технико-экономические проблемы горного производства

Общая стоимость проекта TESLA – около 4 млрд. евро. Исследовательские работы по проекту строительства начались в 1992 г. В 2003 г. принято решение о международном сотрудничестве в осуществлении проекта. Строительство должно начаться в 2006 г. Его ожидаемый срок – 8 лет.

Ускоритель VLHC [3] (Very Large Hadron Collider – «очень большой ускоритель элементарных частиц») будет построен в районе лаборатории Фермилаб (Fermilab), Чикаго, штат Иллинойс, США (рис. 9, 10). Ускоритель относится к циклическому типу и представляет из себя туннельное кольцо длиной 233 км, включая экспериментальные залы, стволы доступа к туннелю и другие подземные сооружения.



Рис. 9. Карта расположения комплекса VLHC: 1 – озеро Мичиган; 2 – Чикаго; 3 – глубина туннеля ускорителя; 4 – существующая лаборатория Фермилаб; 5 – вариант северного расположения туннеля VLHC; 6 – вариант южного расположения туннеля VLHC; 7 – границы штатов; 8 – границы графств

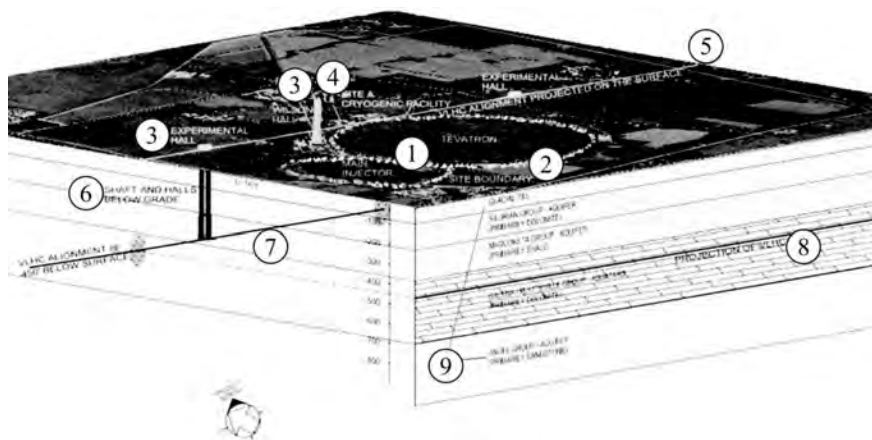


Рис. 10. Макет взаимного расположения существующего комплекса DESY и проекта VLHC: 1 – главный инжектор существующего комплекса DESY; 2 – ускоритель Tevatron существующего комплекса DESY; 3 – экспериментальные залы ускорителя; 4 – криогенный зал; 5 – проекция туннеля VLHC на поверхность; 6 – стволы доступа в туннель; 7 – фрагмент туннеля VLHC; 8 – проекция туннеля VLHC на вертикальную плоскость; 9 – геологические формации

В настоящее время выполняется концептуальная проработка проекта с принятием основных технических решений. Рассматриваются три варианта расположения туннеля, называемые Северное наклонное, Северное горизонтальное и Южное наклонное кольца, два варианта диаметра туннеля – 3,66 м (рис. 11) и 4,88 м. С учетом геологических условий и природоохранных требований предпочтение отдается северным вариантам расположения.

Глубина туннеля составляет 90-150 м. Туннель и другие подземные сооружения располагаются в известняке, доломите, песчанике и сланце. При строительстве стволов доступа пересекаются ледниковые грунты, залегающие над коренными породами.

Проходка туннеля осуществляется буровой туннельной машиной. Гарантированная длина участка туннеля, проходимого машиной без капитального ремонта составляет 4844 м, что соответствует расстоянию между стволами доступа. В конце такого участка машина должна быть выдана на поверхность для ремонта.

Работы будут вестись 5 дней в неделю двумя 10-часовыми сменами.

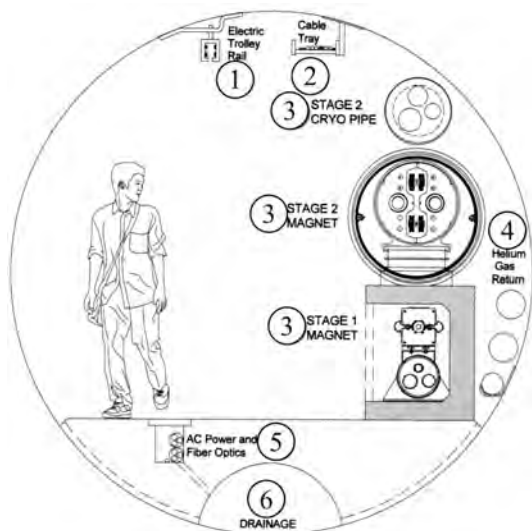


Рис. 11. Сечение туннеля ускорителя VLHC (вариант диаметра 3,66 м): 1 – монорельс; 2 – подвеска кабелей; 3 – стадии оборудования туннеля; 4 – трубопроводы хладоносителя (гелия); 5 – кабели связи; 6 – дренажная канавка

На участках с наилучшими условиями проходки применяется бесщитовая буровая машина. Диаметр туннеля, формируемый ею и равный 3,66 м или 4,88 м является окончательным, поскольку не требует установки бетонной крепи. В отдельных зонах ослабленных горных пород устанавливаются анкерные болты длиной 3 м. Приток воды на таких участках не уменьшает скорости проходки. При необходимости проводится предварительный тампонаж водоносных пород из забоя туннеля.

На участках с повышенными притоками воды применяется туннельная машина с открытым забоем и «пальчиковым» щитом (singer shield), т.е. щитом, разделенным на отдельные продольные секции, расстояние между которыми может изменяться в зависимости от встреченных геологических условий. Диаметр туннеля, формируемый машиной, составляет 4,26 м или 5,48 м. Временная крепь туннеля состоит из анкеров длиной 3 м, устанавливаемых комплектами по 3 в кровле туннеля. Расстояние между комплектами равно 6 м и 4,5 м в зависимости от выбранного диаметра туннеля. Производится предварительный тампонаж обводненных пород из забоя. Предпринимаются меры по борьбе с притоками воды в местах ее интенсивного выделения. В качестве постоянной крепи, устанавливаемой с отставанием от щита, применяется монолитный бетон толщиной 300 мм.

Технико-экономические проблемы горного производства

На участках с большими притоками воды, требующими немедленных мер по изоляции туннеля, проходка ведется буровой туннельной машиной с герметическим щитом. Формируемый машиной диаметр туннеля составляет 4,06 м или 5,28 м. В качестве крепи используются сегменты из предварительно напряженного железобетона толщиной 200 мм, устанавливаемые непосредственно за туннельной машиной после каждого цикла выемки пород.

Вдоль маршрута туннеля с интервалом 4800 м проходятся 48 стволов доступа. Они имеют, в основном, круглое сечение, некоторые – прямоугольное. Стволы используются для запуска и приема буровых туннельных машин, вентиляции, применения для ускорителя криогенной (охлаждающей) технологии. Некоторые стволы будут пройдены к специальным экспериментальным полостям (рис. 12). Большинство стволов достигнет обратного свода туннеля, однако, в отдельных случаях они могут иметь глубину большую или меньшую, чем глубина туннеля.

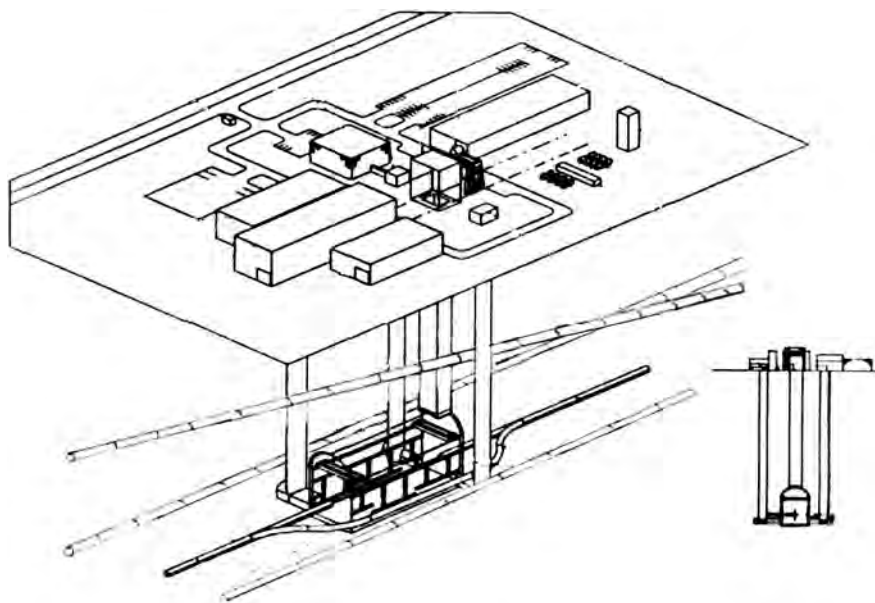


Рис. 12. Изометрическая схема и разрез комплекса экспериментальных залов на поверхности и под землей со стволом доступа в туннель: *а* – изометрическая схема; *б* – разрез

Технико-экономические проблемы горного производства

Проходка стволов осуществляется буровым способом. Как в наосах, так и в коренных породах используется временная крепь, тампонаж, бетонная постоянная крепь и контроль притока воды. Все полости проходятся буровзрывным способом с использованием методов, обеспечивающих гладкую поверхность стен и целостность окружающих пород. Применяется деление сечения полости на поочередно разрабатываемые секции. Бурение скважин для взрывания в опережающей верхней секции туннеля производится горизонтально, в расширяемых секциях, отстающих от опережающей, - вертикально. Опережающая секция крепится временной крепью – анкерными болтами и набрызг-бетоном. Параметры крепи определяются свойствами горных пород. Расстояние между анкерными болтами колеблется от 1,54 до 2,58 м, толщина набрызг-бетона от 73 до 220 мм. Минимальная длина анкерных болтов равна половине пролета полости для пролетов менее 6 м и четверти пролета для пролетов от 18 до 30 м.

Предварительная общая стоимость строительства оценивается в 4 млрд. долларов, подземных работ – 2 млрд. долларов. Срок строительства – 10 лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кауфман Л.Л., Лысиков Б.А. Подземные структуры (в 2х частях). Ч. 1. Монография. – Донецк: Норд-Пресс, 2006. – 361 с.
2. http://tesla-new.desy.de/content/index_eng.html
3. <http://vlhc.org>