

Технологические новшества при строительстве и обустройстве Лёчбергского базового тоннеля

Лёчбергский базовый тоннель вместе с Симплонским тоннелем являются составной частью первой проходящей под Альпами скоростной транспортной системы направления север — юг. Базовый тоннель 15 июня 2007 г. был передан строившей его компанией BLS AlpTransit в эксплуатацию оператору BLS. С инженерной точки зрения и в отношении безопасности этот базовый тоннель представляет собой сооружение нового поколения.

Лёчбергский базовый тоннель — это составная часть строительной программы Швейцарии под названием «Новая железнодорожная магистраль под Альпами» (NEAT). Он является основным элементом Лёчбергского базового участка этой магистрали. Северный портал (рис. 1) тоннеля расположен у Фрутигена в долине р. Кандер, южный — у Рарона в долине р. Роны (рис. 2). Лёчбергский базовый тоннель является дополнением к существующему Лёчбергскому верховому тоннелю. Ввиду малых продольных уклонов (от 3 до 13‰) и большой площади поперечного сечения тоннеля, рассчитанного на пропуск составов с автопоездами (профиль Shuttle), пропускная способность железной дороги существенно возрастает. Соединение с сетью европейских высокоскоростных железных дорог и скорость движения до 250 км/ч (поезда из вагонов с наклоняемыми кузовами) обеспечивают пассажирам сокращение времени нахождения в пути. Согласно графику движения, введенному 9 декабря 2007 г., пассажирские поезда, идущие через Лёчбергский базовый тоннель, пересекают Швейцарию всего за 2 ч.

Транспортная ситуация в зоне, лежащей между Тунским озером и долиной Роны, выглядит следующим образом. Там прохо-

дит старая железнодорожная линия Lötschbergbahn с построенным в 1913 г. Лёчбергским верховым тоннелем длиной 14,61 км, продленным затем до Митхольца и имеющим крутой спуск в долину Роны. Цель выбранной в то время трассировки состояла в том, чтобы, используя большие продольные уклоны (до 27‰), серпантинны и кривые малых радиусов, достичь верхней части горного массива и тем самым сократить длину тоннеля до величины, приемлемой

по техническим и экономическим соображениям.

Трасса Лёчбергского базового тоннеля имеет все признаки современного трассирования этих сооружений: порталы Фрутиген и Рарон расположены у подножья массива; плановые параметры трассы рассчитаны на высокие скорости; продольные уклоны пути невелики и колеблются от 3 до 13‰, что допускает движение тяжелых грузовых поездов. Ценой этому является большая длина тоннеля (34,6 км).

Реализация проекта строительства (вплоть до ввода в эксплуатацию) такого грандиозного сооружения, как Лёчбергский базовый тоннель, предусматривает три этапа. Первый со сроком сдачи в эксплуатацию в июне 2007 г. соответствовал минимальной степени ис-



Рис. 1. Северный портал тоннеля у Фрутигена



Рис. 2. Южный портал тоннеля у Рарона

пользования базисного тоннеля. Это означало, что тоннель будет двухпутным не на всей длине. Наряду с однопутной наземной гру-

зовой линией был построен тоннельный однопутный участок увеличенного поперечного сечения. Схема, приведенная на рис. 3, дает представление о трассах Лёчбергского базового тоннеля и существующих линий.

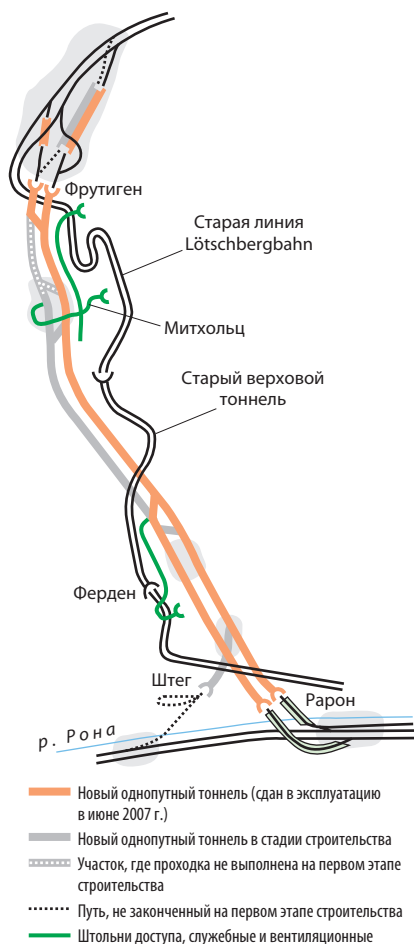


Рис. 3. Схема трассы Лёчбергского базового тоннеля

знания и опыт и применить много инновационных технологических решений.

В соответствии с проектно-строительными параметрами объекта для тоннеля был выбран специальный стандарт профиля, получивший название Lötschberg-Shuttle (рис. 4), с габаритами приближения большими, чем для принятого международного профиля UIC GC.

Буровзрывные работы на участке тоннеля Митхольц

Из основания вспомогательной шахты Митхольц глубиной 1,5 км были одновременно начаты земляные работы в трех стволах:

- в двух южного направления длиной 9,7 км каждый;
- в одном стволе северного направления длиной 7,4 км.

Выработка стволов базового тоннеля из шахты Митхольц велась буровзрывным методом. Проходка этих участков с помощью тоннелепроходческих механизированных комплексов (ТПМК) была отвергнута инженерами и геологами еще на стадии разработки проекта. Основанием для принятия такого решения стали два обстоятельства: наличие большого напора грунтовых вод и возможная закарстованность массива. В то же время при выполнении буровзрывных работ предусматривалось использование новейших технологий.

Применение автоматизированного трехстрелового бурильного агрегата (рис. 5) с погрузочными ковшами обеспечивало высокую производительность буровых работ и значительно повышало безопасность их выполнения. Бурильный агрегат работал по заранее составленной цифровой сетке точек бурения (параметры сетки постоянно корректировались в соответствии с характеристиками разрабатываемой породы). Длина заходок колебалась от 2 до 5 м в зависимости от прочности породы. Вначале производился взрыв с использова-

План строительства

Для того чтобы сократить время строительства и свести к минимуму крупные риски, базовый тоннель разделили на участки. В пунктах Ферден и Митхольц были построены шахты доступа, откуда была начата проходка. Всего эти работы велись из пяти забоев: порталов Фрутиген и Рарон, шахт доступа Ферден и Митхольц и шахты доступа Штег, построенной на одном из последующих этапов строительства тоннеля. Первые буровзрывные работы на трассе Лёчбергского базового тоннеля были начаты 5 июля 1999 г. в забое шахты доступа Митхольц.

Строительная программа была построена так, чтобы ввести тоннель в эксплуатацию в июне 2007 г. Для того чтобы построить такой объект на глубине до 2100 м при температуре воздуха в выработках до 45 °С, от участников проекта потребовалось использовать все свои

нием взрывчатых веществ на эмульсионной основе и электронных детонаторов. После взрыва производился отсос взвеси. Удаление разработанной породы от лба забоя осуществлялось погрузчиками с боковой выгрузкой. Порода сразу подавалась в мощную дробильную установку, где измельчалась до получения фракции 250 мм и направлялась на ленточный конвейер с вибрационным грохотом. Из зоны забоя отгрохоченный материал направлялся с помощью системы конвейеров в зону производственной базы на поверхности. Производительность системы дробления и транспортировки разработанного материала превышала 300 т/ч. В пиковые периоды в тоннеле одновременно работало такое количество транспортеров, что суммарная длина их составляла 60 км. Для того чтобы обеспечить высокий темп проходки (до 15,5 м/сут при трехсменной работе), у каждого забоя предусмотрен подвесной вспомогательный комплекс, с помощью которого осуществляется подача в забой всего необходимого и удаление породы.

Гидроизоляция тоннеля осуществлялась не по всей длине выработки, а лишь в зонах с подземными водами. Для устройства внутренней отделки в пределах участка Митхольц потребовалось около 800 000 м³ бетона. Доставленная на поверхность разработанная порода подвергалась дополнительному дроблению и с помощью транспортеров подавалась к бетоносмесительной установке, расположенной на дне шахты Митхольц. Бетоносмесительная установка состояла из двух автономных смесителей производительностью 60 т/ч каждый. Максимальная месячная производительность по укладке бетона на участке Митхольц достигала 40 000 м³.

Много усилий было потрачено на устройство многочисленных вспомогательных элементов тоннеля, таких, как помещения эксплуатационного назначения, расши-

ренные выработки в местах путевых разветвлений и пунктах аварийной остановки.

Проходка с помощью ТПМК на участке Штег — Рарон

В южной части тоннеля расположен участок, проходка которого выполнялась отдельными секция-

ми из четырех забоев в основном с помощью ТПМК:

- секция Штег имеет длину 8,93 км. Проходка этой секции осуществлялась с помощью ТПМК (рис. 6) из портала Нидергештельн, включала небольшие участки раздвоения пути и заканчивалась у пункта Ферден;
- секция Восточный Рарон имеет длину 10,008 км. Проходка велась

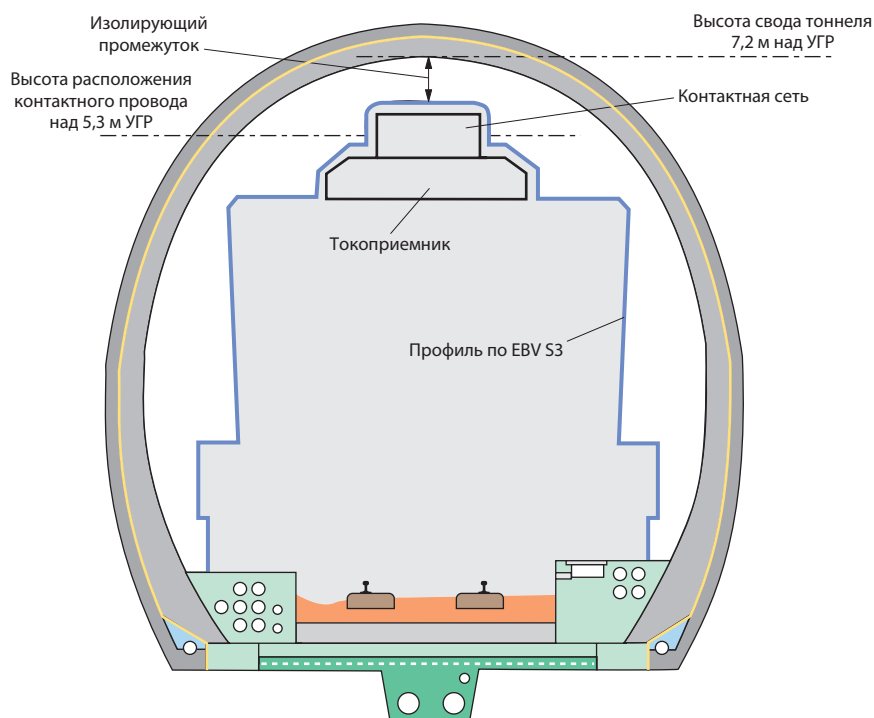


Рис. 4. Профиль Лёчбергского базового тоннеля



Рис. 5. Бурильный агрегат в забое



Рис. 6. ТПМК компании Herrenknecht

между порталами Рарон и Ферден также с использованием ТПМК;

- секцию Западный Рарон длиной 4,603 км проходили буровзрывным методом. Участок расположен между порталами Рарон и небольшими отрезками с раздвоением пути;
- дополнительные выработки для поперечных штолен, служебных помещений, мест соединения и раздвоения пути общей площадью около 120 тыс. м² также проходили буровзрывным методом.

В качестве ТПМК были успешно использованы два буровых механизированных комплек-

са грипперного типа компании Herrenknecht, специально предназначенные для проходки крепких пород с упором в стены выработки. Оба ТПМК имеют рабочий орган диаметром 9,43 м. Составные части ТПМК: рабочий орган, привод, зона устройства обделки, пять платформ технологической части и еще одна зона устройства обделки. С помощью двух выдвижных устройств (грипперов) ТПМК упирается в стенки выработки. Это дает возможность цилиндрам подачи развивать большое усилие. Со стороны лба забоя ТПМК имеет рабочий орган, вращающийся со скоростью до шести оборотов в минуту. Упирающиеся в лоб забоя дисковые резцы, или шарошки, дробят скальную породу на куски. По площади рабочего органа размещены также 12 скреперных, или зачищающих, резцов, которые захватывают каменную мелочь и направляют во внутреннюю часть рабочего органа. Там разработанный материал попадает на ленточный конвейер и удаляется за пределы ТПМК.

Через каждые два метра проходки поршни цилиндров подачи достигают максимума своего хода. Для того чтобы удерживать щит в новом положении, вначале убирают поршни подачи, затем выводят из рабочего положения грипперы. Они втягиваются, и ТПМК продвигается вперед на два метра. После этого начинается следующий цикл проходки.

Непосредственно за рабочим органом в ТПМК предусмотрена зона устройства крепи, состоящей из армирующей сетки и скальных анкеров, иногда с использованием торкрет-бетона и металлических арок. Наивысшая суточная скорость проходки (50,1 м) была достигнута 9 сентября 2003 г., что при данной прочности породы и большом диаметре выработки является мировым рекордом. Последняя торжественная сбойка базового тоннеля произошла 28 апреля 2005 г.

Устройство пути

После завершения проходческих работ строители пути последовательно принимали участки тоннельной выработки и приступали к своим работам. Это означало одновременное выполнение на нескольких участках необходимых бетонных и монтажных работ по укладке элементов пути. Путьевые сооружения включают верхнее строение пути, контактную сеть, устройства обеспечения безопасности движения, систему автоматической локомотивной сигнализации и устройства радиосвязи. Кроме того, производился монтаж электрического и механического инженерного оборудования таких функциональных систем, как энергообеспечение, вентиляция, кондиционирование воздуха, СЦБ и связь, а также кабельное хозяйство, двери и раздвижные ворота.

Сложной проблемой организационного характера стало обеспечение своевременного доступа к работам многочисленных специализированных фирм, поскольку пути проникновения в подземное пространство тоннеля были достаточно ограниченными. Чрезвычайно материалоемкое путьевое и инженерное обустройство тоннеля потребовало доставки под землю более 230 тыс. т оборудования.

Инженерное оборудование тоннельных стволов

Ввиду ограниченности свободного пространства в тоннеле и тяжелых климатических условий тоннельные стволы оборудовались только самым необходимым. Сюда относятся: верхнее строение пути, контактная сеть, кабели и технические средства безопасности, в частности указатели, осветительное оборудование, поручни, путьевые приемопередатчики для системы ETCS уровня 2 (рис. 7) и счетчики осей.

Лёчбергский базовый тоннель рассчитан на движение различ-

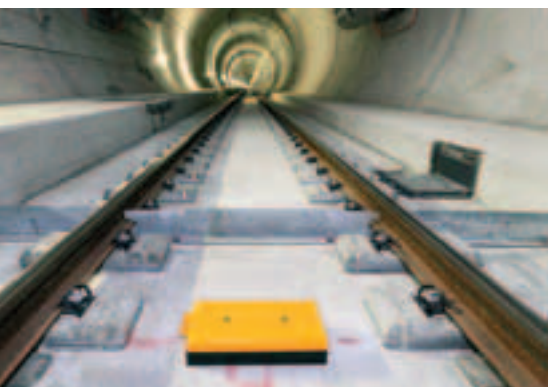


Рис. 7. Путьевые приемопередатчики системы ETCS уровня 2

ных поездов, в том числе высокоскоростных пассажирских и тяжелых грузовых. В связи с этим здесь предусмотрен капитальный железнодорожный путь, рассчитанный на длительный срок службы и требующий текущего содержания сокращенной цикличности. Для укладки пути на жестком основании, отвечающего этим требованиям, инженеры разработали оригинальный метод монтажа. Заранее собранные комплекты путевой решетки длиной 18 м с блочными бетонными шпалами, временными рельсами и опорными элементами в нижней части устанавливаются на подошву тоннеля и фиксируются. Далее производится бетонирование несущей плиты в уровень низа шпал. После точной выверки положения шпал их заливают бетоном, затем временные рельсы снимают участками по 2200 м и заменяют постоянными рельсами большей длины. В Лёчбергском базовом тоннеле уложено 50,7 км пути на жестком основании и около 6 км на балласте.

Контактная сеть рассчитана на ток продолжительного режима 2000 А и ток короткого замыкания до 50 кА. При этом подвеска выполнена в соответствии со стандартным профилем EBV 4 с возможностью перевода в дальнейшем в профиль Shuttle. В Лёчбергском базовом тоннеле уложено около 1400 км кабелей энергоснабжения и связи различного назначения, в том числе высоковольтных напряжением 132, 15 и 16 кВ, среднего и низкого напряжения 950/400/230 В, а также волоконно-оптические кабели.

Поперечные штольни

По всей длине базового тоннеля устроено в общей сложности 104 поперечные штольни. Они соединяют параллельные стволы базисного тоннеля через каждые 330 м, а в северной части — также сервисную штольню Кандерталь с восточными стволами. Поперечные штольни служат в качестве путей

эвакуации, а также для размещения путевого и инженерного оборудования. Штольни изолированы от тоннельных стволов раздвижными воротами (рис. 8). Эти ворота специальной конструкции выдерживают перепады давления, возникающие при прохождении поездов со скоростью до 250 км/ч.

Служебные помещения и средства обеспечения безопасности

У порталов Фрутиген и Рарон предусмотрено по одной станции управления, кроме того, еще восемь расположены в самом тоннеле. Как и сам тоннель (восточный и западный стволы), эти станции построены с резервом. В каждой из них предусмотрены системы для управления восточным и западным стволами, так что сбой систем в одном из тоннельных стволов не окажет влияния на работу другого.

Бетонная конструкция станций управления у порталов Фрутиген и Рарон выполнена в стандартном варианте. В них размещены приборные шкафы, трансформаторы, системы кондиционирования воздуха, аккумуляторные батареи, посты централизации, телефонные станции, средства обеспечения безопасности движения, устройства системы радиосвязи и т. п. В каждом из таких служебных помещений имеются устройства пожарной сигнализации и система пожаротушения.

Станции управления в самом тоннеле расположены в выработках, выполненных методом горной проходки. Все оборудование размещено в 136 семиметровых контейнерах из нержавеющей стали. При этом исходили не только из соображений сохранности и безопасности (класс защиты IP 65). Такая модульная компоновка позволяет производить наладку, проверку и испытания установленного в контейнере оборудования вне тоннеля. Испытания проводились сначала для каждого отдельного контейне-



Рис. 8. Раздвижные ворота между тоннельным стволом и поперечной штольней

ра, а затем — для систем контейнеров. Штыревые замковые соединения, предусмотренные на контейнерах, позволяют компоновать их по группам, отсоединять друг от друга для транспортировки по тоннелю и выполнять конечный монтаж, что очень важно в эксплуатации. Контейнерное группирование оборудования позволило сэкономить почти год рабочего времени, затраченного на строительство тоннеля.

Пульты управления

Наблюдение за техническими устройствами и обеспечение безопасного функционирования сооружений и их функциональной готовности осуществляется через пульты управления. Эти управляющие системы имеют иерархическую структуру. Управляющие элементы конкретных устройств централизованной системы управления собирают информацию о ситуации в поперечных штольнях и в пределах участков тоннеля, охватываемых этой системой, и направляют эту информацию на центральные станции управления у порталов Фрутиген и Рарон. В обратном направлении идут команды по рабочим параметрам и действиям. В случае выхода из строя одной из



Рис. 9. Торжественное открытие тоннеля

центральных станций управления другая автоматически принимает на себя все ее функции.

Электроснабжение

В понятии энергоснабжения различают тяговую систему и нетяговых потребителей. Оборудование в тоннеле, а также эксплуатационные и вентиляционные устройства питаются током с частотой 50 Гц; подача питания на них осуществляется независимо от системы тягового тока. Все виды тоннельной инфраструктуры, такие, как системы вентиляции, кондиционирования воздуха, освещения, сигнализации и связи, требуют мощности, аналогичной той, которую потребляет любое крупное промышленное предприятие или небольшой город. Устройства, потребляющие ток частотой 50 Гц, обеспечиваются энергией от сетей напряжением 16 кВ местных электрических компаний. Две электростанции таких компаний соединены между собой двумя трансформаторами мощностью по 5 МВ·А, что при чрезвычайных обстоятельствах позволит распределять энергию между северным и южным стволами. При выходе из строя распределительного трансформатора включают аккумуляторы, обеспечиваю-

щие аварийное питание в течение 90 мин.

На участке стволов Фрутиген — Рарон тяговое электроснабжение осуществляется по абсолютно независимым сетям напряжением 15 кВ, частотой 16,7 Гц. Обе сети тягового тока, принадлежащие SBB на южном стволе и BSL — на северном, можно взаимно переключать в целях синхронизации и выравнивания напряжения.

К существующей высоковольтной линии напряжением 132 кВ Виммис — Кандерштег подсоединяется новая подземная подстанция Митхольц напряжением 132/15 кВ. Распределительное устройство на 132 кВ с газовой изоляцией имеет кабельный отвод к подстанции Гампель. От подстанции Митхольц кабель на 132 кВ проложен по штольням, попадает в восточный ствол тоннеля и через портал Штег — к подстанции Гампель.

Система вентиляции и места аварийной остановки

Основные элементы системы вентиляции Лёчбергского базового тоннеля — это вентиляционные станции в Митхольце и Фердене (приточные), в Фистертелле (вытяжная), вытяжная система в вентиляционной штольне, удаля-

ющая воздух через пункт аварийной остановки в Фердене, а также струйные вентиляторы в Фрутигене и Рароне. Система вентиляции рассчитана на работу как в нормальных, так и в чрезвычайных условиях. Устройства системы вентиляции также спроектированы с резервом.

Ввод в эксплуатацию

Перед вводом тоннеля в эксплуатацию была осуществлена проверка отдельных его элементов и функций, например работы вентиляционной станции в Фистертелле, раздвижных ворот и т. п. После этого следовала выборочная проверка функционирования комплексов, например совместимости приборных контейнеров разных групп, работы системы оповещения о пожаре или реакции системы управления тоннеля на сигналы, поступающие от различных датчиков.

В начале июня 2006 г. начались пробные испытания. До самого открытия тоннеля, состоявшегося примерно через год после этого, проводились многочисленные испытания самых разных устройств. В декабре 2006 г. поезд ICE-R развил в тоннеле скорость 280 км/ч. Это стало (и остается до сих пор) рекордом Швейцарии. В конце стадии испытаний оставалось получить допуск на эксплуатацию со стороны Федерального бюро железных дорог Австрии. Решающим моментом здесь стало составление соответствующего сертификата. В нем было документально зафиксированы результаты пробного прогона поездов и проведенных испытаний, показавшие надежность функционирования всех систем в соответствии с проектом. Торжественная передача тоннеля компании BLS и его пуск (рис. 9) состоялись 15 июня 2007 г. в соответствии со сроком, установленным в 1998 г.

P. Teuscher. Eisenbahntechnische Rundschau, 2007, № 6, S. 352–358.