

Электротехнические устройства на новой линии Маттштеттен — Ротрист

В середине декабря 2004 г. сдана в эксплуатацию новая высокоскоростная линия Маттштеттен — Ротрист протяженностью 45 км, предусмотренная первым этапом программы Bahn 2000 Федеральных железных дорог Швейцарии (SBB). Линия электрифицирована по системе однофазного переменного тока напряжением 15 кВ, частотой 16,7 Гц. Тяговые подстанции получают питание от высоковольтной линии тягового электроснабжения напряжением 132 кВ, частотой 16,7 Гц. Различные вспомогательные устройства, расположенные вдоль линии, подключены к системам электроснабжения частотой 50 Гц, напряжением 16 кВ или 230/400 В.

Одновременно с новой линией Маттштеттен — Ротрист в декабре 2004 г. были сданы в эксплуатацию модернизированный участок длиной 9 км, связывающий новую линию со станцией Золотурн, и новое соединение Ротрист — Цофинген (рис. 1). Через новую линию проходит маршрут междугородных поездов, курсирующих из Берна в Базель, Цюрих и Люцерн, а через модернизированную — маршрут мо-

торвагонных поездов из вагонов с наклоняемыми кузовами. Последние обеспечивают удобную связь между наиболее крупными городами региона. Время нахождения в пути таких поездов между узловыми пунктами в среднем не превышает 1 ч.

Новая линия рассчитана на движение пассажирских поездов с максимальной скоростью 200 км/ч (рис. 2) и тяжелых грузовых с осевой нагрузкой до 22,5 т (табл. 1). Первоначально планировалось оснащение линии системой АЛС типа ETCS уровня 2, которая позволила бы реализовать максимальную



Рис. 1. План новой и модернизированной линий



Рис. 2. Электропоезд ICN на линии Маттштеттен — Ротрист

скорость движения поездов 200 км/ч. Однако эта задача не была решена из-за жестких сроков сооружения линии. В связи с этим с конца 2003 г. и в течение всего 2004 г. на линии были установлены 100

Таблица 1

**Общие технические характеристики новой линии (NBS)
и модернизированного участка (ABS)**

Параметр	NBS	ABS	Примечание
Максимальная скорость, км/ч	200	140/200	—
Минимальный радиус кривых, м	3 000	1 040/2 100	—
Максимальный уклон, ‰	20	10,4	—
Длина, м:			
открытых участков	30 480	7 561	NBS 67 %, ABS 84 %
тоннелей (горная проходка)	6 582	1 470	NBS 15 %, ABS 16 %
тоннелей (открытый способ)	8 017	0	NBS 18 %
общая	45 079	9 031	—
Лотки для защиты от грунтовых вод, м	3 290	270	NBS 7 %, ABS 3 %
Число искусственных сооружений:			
мостов	7	5	—
путепроводов	17	3	—
проходов для миграции фауны	3	0	—
Число линейных объектов и устройств:			
переездов	—	3	$v_{\max} = 140$ км/ч
станций/остановочных пунктов	0		—
съездов	0		—
электронных постов централизации	1	0	Пост Ванцвиль
Занимаемая земельная площадь, га	283	21	—
Число пересекаемых территорий общин	35	7	В кантонах Берн, Золотурн и Аргау
Число причастных собственников земли	557	171	—
Затраты, млн. швейц. фр.:			
общие	1 600	100	—
в том числе на оборудование	205	24	—
Сроки строительства:			
начало	04/1996	10/2001	—
конец	06/2004		—

напольных сигналов, а также дополнительно смонтированы приемоответчики и путевые электронные блоки LEU для считывания показаний светофоров.

Такой уровень оснащения позволил реализовать на линии максимальную скорость 160 км/ч без возможности организации движения по неправильному пути. К этому моменту уже были готовы устройства мобильной связи GSM-R, необходимые для ввода в строй системы ETCS уровня 2. Этот этап был запланирован на начало 2006 г.

Разработка оборудования и оснащение им новой линии и модернизированного участка в соответствии с результатами тендера переданы единому подрядчику, а именно компании Zschokke Locher. Это создало ряд сложностей как для заказчика в лице Федеральных железных дорог Швейцарии), так и для различных контрольных служб на этапах согласования проектов, сдачи и приемки различных систем контрольными службами. Внедрение этой новой формы партнерства было также осложнено жесткими сроками строительства и модернизации участков.

Таблица 2

Характеристики новой линии в соответствии с правилами допуска сторонних компаний на сеть (NZV)

Характеристика	Значение	Примечание
Тип рельсов	МСЖД 60 качества 900А	Упрочнение по технологии SKI 14 компании Vossloh
Габарит	EBV4/S3	—
Длина полоза токоприемников, мм	1600/1450/1320	МСЖД 505-1
Руководящий уклон, ‰:		
в направлении Берна	17 на длине 3000 м	—
в направлении Ольтена	20 на длине 1200 м	—
Класс линии	D4	
Максимальная осевая нагрузка, т	22,5	—
Максимальная погонная нагрузка на путь, т/м	8	—
Максимальная скорость, км/ч	200	160 с 12.12. 2004 г.
Устройства контроля занятости пути	Счетчики осей	Два на пункт
Устройства обеспечения безопасности движения:		
с 12.12.2004 г.	ZUB/ETM	Для $v_{\max} = 160$ км/ч
с 2006 г.	ETCS уровня 2	Согласно документу SRS2.2.2
Поездная радиосвязь	GSM-R и мобильный телефон	—

Как и во всех крупных проектах, здесь также требовались многочисленные согласования действий между строителями пути и искусственных сооружений, с одной стороны, и проектными бюро, разрабатывавшими оборудование и различные линейные устройства, с другой. Примером может служить принятие решения об установке на линии классических сигналов и временном свертывании работ над системой ETCS уровня 2. Для этого потребовалась срочная доработка проекта с целью прокладки дополнительных кабельных линий общей протяженностью 84 км.

С мая 2003 г. начались пробные поездки на готовом участке новой линии протяженностью 20 км. В июне 2004 г. вся новая линия, а также модернизированный участок были готовы к открытию движения. С этого момента начались пробные поездки в рамках сдачи в эксплуатацию различных систем. При этом поезда могли развивать скорость до 230 км/ч, поскольку еще не были сданы в эксплуатацию системы обеспечения безопасности движения, рассчитанные на максимальную скорость 200 км/ч. Эти поездки выполнялись по специальным согласованиям со службами движения, пути, тягового электроснабжения, СЦБ и др.

Новая и модернизированная линии сданы в эксплуатацию 12 декабря 2004 г., т. е. в день перехода на зимний график движения поездов. Соответствующие критерии допуска подвижного состава на эти линии приведены в табл. 2.

Система первичного электроснабжения напряжением 132 кВ

При проектировании системы первичного тягового электроснабжения напряжением 132 кВ и распределительных устройств напряжением 15 кВ были проведены соответствующие расчеты. Если необходимые для этих расчетов данные об объемах пассажирских перевозок можно было взять из разработанной SBB программы развития Bahn 2000, то с определением объема грузовых перевозок возникли значительные трудности. Они были вызваны тем, что число компаний, которые намеревались воспользоваться свободным допуском на сеть SBB, и программы их перевозок учесть было достаточно сложно.

В рамках общешвейцарской концепции первичного тягового электроснабжения SBB от сети напряжением 132 кВ было принято решение о соединении региона Западной Швейцарии с сетевым узлом Рупперсвилль. Новая линия Бургдорф — Рупперсвилль протяженностью 70 км проходит через Ванцвиль, где сооружена подземная тяговая подстанция мощностью 2×20 МВ·А.

Контактная сеть новой линии получает питание от двух существующих и расположенных по ее концам тяговых подстанций — Берн-Вилерфельд и Ольтен напряжением 132/15 кВ, мощностью по 2×20 МВ·А, а также от новой подстанции Ванцвиль, расположенной примерно посередине (в 28 км от Берн-Вилерфельда и в 32 км от подстанции Ольтен). Питающая контактную сеть линия напряжением 15 кВ выполнена в виде высоковольтного кабеля, защитная оболочка которого с сечением в медном эквиваленте 70 мм^2 заземлена с обоих концов. Для усиления цепи обратного тягового тока проложены дополнительные провода сечением в медном эквиваленте 240 мм^2 каждый и четыре провода сечением 185 мм^2 .

Кроме новой линии, подстанция Ванцвиль питает часть старой линии по фидеру длиной 1 км, идущему к станции Херцогенбухзе. От этой же подстанции частично получает питание и модернизированная линия. Кроме того, к этой линии подходят питающие фидеры от тяговой подстанции Дайтинген, расположенной недалеко от станции Золотурн. Такая схема позволяет обеспечить работоспособность новой линии с пониженной мощностью в случае выпадения подстанции Ванцвиль.

Тяговые подстанции Берн-Вилерфельд и Ванцвиль питают по двусторонней схеме западную часть новой линии, а Ольтен и Ванцвиль — восточную. В середине восточной части на станции Брунматте смонтировано распределительное устройство с автоматическими выключателями, которое переводит питание тяговых подстанций на резервную линию первичного электроснабжения в случае выпадения проходящей параллельно ей основной ЛЭП Бургдорф — Рупперсвилль напряжением 132 кВ.

На западном участке новой высокоскоростной линии на станциях Маттштеттен, Эммекверунг и Рехерсвилль смонтированы пункты параллельного соединения контактной сети обоих путей, в нормальном режиме находящиеся во включенном положении и не затрудняющие реализацию продольного секционирования контактной сети.

Контактная подвеска рассчитана на следующие режимы:

- длительный ток 900 А на один путь при температуре воздуха $+40 \text{ }^\circ\text{C}$;
- скачки тока до 1800 А в течение 150 с, повторяющиеся с тактом в 30 мин.

Указанные скачки обусловлены прохождением тяжелых грузовых поездов в направлении Берна через тоннель Энцберг длиной около 3 км, имеющий подъем 20 ‰.

Система тягового электроснабжения принята в эксплуатацию соответствующими контрольными службами согласно европейской инструкции EU RL 96/48 и с учетом требований Технической спецификации по совместимости систем (TSI).

Таблица 3

Технические характеристики контактной подвески E230

Параметр	Значение	Примечание
<i>Общие характеристики подвески</i>		
Максимальная длина пролета, м:		
на поверхности	60	—
в тоннеле	51	
Токовая нагрузка, А:		При температуре воздуха +40 °С
продолжительная	900	
в течение 150 с	1800	
Ток короткого замыкания, кА	39	Длительность 60 мс
Максимальная сила нажатия токоприемника, Н	< 250	Согласно rEN50367
<i>Контактный провод</i>		
Высота над УГР, м	5,4	Марка RiS 120
Материал	CuAg 0,1	
Сечение, мм ²	120	
Сила натяжения, кН	15,3	
<i>Несущий трос</i>		
Материал	CuAg 0,1	—
Сечение, мм ²	70	—
Сила натяжения, кН	10,8	—
<i>Рессорный трос</i>		
Материал	Бронза Vz	—
Сечение, мм ²	35	—
Длина, м:		
на поверхности	16	—
в тоннеле	12	
Сила натяжения, кН:		
на поверхности	2,8	—
в тоннеле	2,5	
<i>Струны</i>		
Материал	CuMg 0,5	VzII
Сечение, мм ²	10	—
Длина, мм	> 500	—
<i>Усиливающий провод</i>		
Материал	Сталеалюминевый трос	Подключение по концам анкерных участков и в точках средней анкеровки
Сечение, мм ²	260/23	
<i>Заземляющий провод</i>		
Материал	Сталеалюминевый трос	Подключение с шагом 300 м к рельсу через опору и медный соединитель
Сечение, мм ²	260/23	

Контактная сеть и линия обратного тока

Генеральным подрядчиком строительства новой линии были предложены уже опробованные контактные подвески различных типов, разработанные для линий со сходными характеристиками не только в Швейцарии, но и в соседних странах (Германии, Франции, Австрии). В результате была выбрана австрийская подвеска Elincat 230 (E230), доработанная с учетом местных условий. Общая развернутая длина смонтированной подвески составила 107 км, из которых треть пришлась на тоннели.

Подвеска E230 соответствует швейцарским нормам, а также международным стандартам EN50119, EN50149, EN50317 и rEN50367. Она рассчитана на максимальную скорость движения поездов 200 км/ч. При испытаниях проводились поездки с увеличенной на 15 % (до 230 км/ч) максимальной скоростью. В табл. 3 приведены технические характеристики подвески.

На линии применены блочные фундаменты из бетона, принятые на сети SBB как стандартные. Лишь на некоторых участках модернизированной линии со слабыми грунтами применили свайные фундаменты.

Опоры изготавливали из двутаврового профиля и труб прямоугольного сечения. На анкерных опорах смонтированы соответствующие крепежные устройства, для чего в профиле были предусмотрены специальные отверстия под болты. Там, где непосредственный монтаж был невозможен, использовали крепление с помощью хомутов и болтов.

Для монтажа цепной подвески и усиливающих проводов в тоннелях предусмотрены опорные стойки, крепящиеся к своду. Такая стойка состоит из пластины с крепежными отверстиями, к которой приварена труба прямоугольного сечения. Стойка крепится к своду тоннеля с помощью анкеров и клея.

Консоли выполнены стандартными, то есть в том виде, в котором они уже несколько лет эксплуатируются на сети Федеральных железных дорог Австрии (ÖBB, рис. 3). Все литые детали консоли и трубы изготовлены из алюминиевых сплавов и поэтому не требуют ухода. В конструкции консолей использованы керамические изоляторы. В тоннелях на них наносят покрытие из силиконовой массы, что позволяет значительно снизить затраты на их очистку.

Максимальная длина анкерных участков принята равной 1500 м. Средние анкеровки выполнены в виде растяжек, как это принято на сети ÖBB. Контактный провод и несущий трос имеют отдельные натяжные устройства, каждое из которых состоит из зубчатого колеса из алюминиевого сплава с храповиком и компенсаторных грузов. В этом проекте впервые применены не наборные компенсаторные грузы, а монолитные.

В тоннелях применена такая конструкция компенсаторов, которая не требует дополнительных строи-



Рис. 3. Монтаж консолей контактной сети

тельных работ в тоннеле. Натяжение провода и несущего троса осуществляется непосредственно через блок, без зубчатого колеса с храповиком. Специально для этой конструкции разработано тормозное устройство, предотвращающее падение компенсаторных грузов при обрыве провода или троса.

Для анкерных участков и изолирующих промежутков выбрано трехпролетное сопряжение.

Вдоль всей линии параллельно контактной подвеске проходит усиливающий провод из сталеалюминиевого троса сечением 260/30 мм² (сечение по алюминию 260 мм², по стали — 30 мм²). На открытых участках линии этот провод крепится через опорные изоляторы к верхушкам опор. В некоторых местах для обеспечения защитного расстояния он смещен в сторону пути. В тоннелях усиливающий провод подвешивается к изоляторам, смонтированным горизонтально на опорной стойке. К контактному проводу и несущему тросу он подключается параллельно по концам анкерных участков и в точке средней анкеровки.

Для каждого пути на опорах подвешено по одному обратному проводу, проходящему параллельно подвеске на высоте несущего троса. В тоннеле оба провода подвешиваются с одной стороны в зоне свода. Они крепятся непосредственно к опорной стойке хомутами. Через каждые 300 м опорные стойки заземляются на рельсы с помощью медного соединителя. На рис. 4

показана схема цепной контактной подвески для открытых участков (вверху) и тоннелей (внизу). Особые требования предъявляются к контактной подвеске, смонтированной над тремя высокоскоростными стрелочными переводами типа EW VI-12 000/6100-1:42, позволяющими движение поездов со скоростью 200 км/ч как по прямой, так и на ответвлении.

Опоры с защитным битумным покрытием доставлялись к месту установки грузовыми автомобилями, оборудованными подъемным краном. Вся арматура, в том числе и изоляторы, крепилась с подъемной рабочей площадки. Работы, связанные со сверлением отверстий, а также предварительный монтаж в тон-

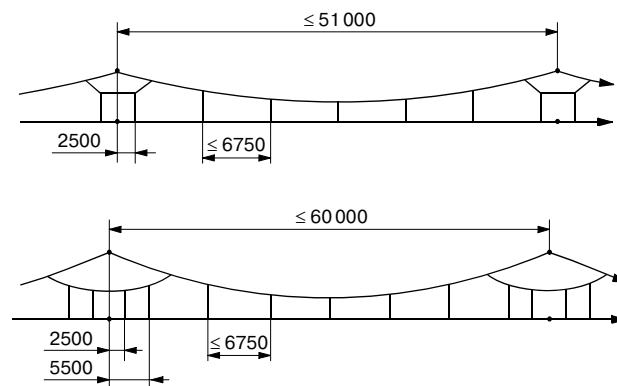


Рис. 4. Контактная подвеска для открытых участков (вверху) и тоннелей (внизу)

нелях выполняли с самоходных подъемников без занятия пути.

Подвешивание и последующее натяжение проводов контактной сети производили с помощью специализированного монтажного поезда. Во время первого прохода монтировали усиливающий и обратный провод, во время второго — несущий трос и контактный провод. Дополнительно в распоряжении монтажных бригад были дрезина с вышкой и вагон с подъемной рабочей площадкой.

Защита тяговых подстанций и контактной сети

Защитные устройства, смонтированные в разных местах на линии, приведены в табл. 4. Каждая из защит воздействует на определенный силовой выключатель. На объектах тягового электроснабжения наряду с указателями «Защита заблокирована» местными системами управляются также цифровые устройства защиты, для чего используются стандартные цифровые оптические интерфейсы типа IEC 60870-5-103. Информация о нарушениях в сети, такая, как результат измерения реактивного сопротивления прибором дистанционной защиты, свидетельствующая о наличии короткого замыкания или недопустимого увеличения температуры контактного провода, через интерфейсы IEC передается на диспетчерский пульт.

Все защиты имеют встроенные самопишущие приборы, фиксирующие каждое нарушение в сети тягово-

Таблица 4

Устройства защиты тяговых подстанций и контактной сети

Объект или место установки устройств	Тип устройства	Вид защиты
<i>Тяговые подстанции</i>		
Высоковольтная линия 132 кВ	7SA526	Дистанционная
Распределительное устройство 132 кВ	REB500	Защита сборных шин
Трансформатор 132/15 кВ	DRS Compact	Комплексная защита Бухгольца, защита переключателя ступеней
Распределительное устройство 15 кВ	DRS BB	Защита сборных шин
<i>Контактная сеть</i>		
Подстанция Берн-Вилерфельд	7SL16	Аналоговая электронная
Подстанции Ванцвиль, Ольтен, Дайтинген	7SA517	Цифровая с дополнительной автоматикой первого поколения
Пост параллельного соединения Рогвиль	7ST61	Цифровая второго поколения
Посты в Матштеттене и Ротристе	7SL16	Аналоговая электронная, для четырех направлений новой и старой линий

го электроснабжения. Для анализа наиболее серьезных нарушений специалисты могут непосредственно или дистанционно с помощью модемной связи ознакомиться с записями на этих приборах. Доступ обеспечивается дистанционным обращением к персональному компьютеру, установленному на тяговой подстанции Ванцвиль. Этот центральный компьютер защиты связан со всеми основными объектами системы тягового электроснабжения.

На тяговых подстанциях Ольтен, Ванцвиль, Берн и Дайтинген, кроме основной дистанционной защиты, установлена резервная токовая с выдержкой времени. На участке у Рогвиля смонтирован пост с силовым выключателем для параллельного соединения путей. На этом посту впервые применена новая цифровая защита контактной сети 7ST61 с комбинированным последовательным интерфейсом TG805, дающим возможность местного и дистанционного управления. Успешная реализация этой концепции является важным шагом в разработке современного пункта параллельного соединения (ППС), на котором система защиты контактной сети может независимо параметрироваться для обоих направлений. Благодаря этому на простых ППС можно устанавливать только один блок дистанционной защиты, с которого через последовательный интерфейс на преобразователь результатов измерения поступают такие параметры, как напряжение в контактной сети, ток и температура контактного провода.

Новая защита вычисляет также место короткого замыкания при очень быстром срабатывании выключателя, прерывающего ток в течение 2 – 3 мс. В запоминающем устройстве защиты сохраняются все параметры, предшествовавшие отключению.

Электроснабжение на частоте 50 Гц

На новой и модернизированной линиях располагается 51 технический объект с электроснабжением от сети с частотой 50 Гц:

- 15 релейных зданий, частично содержащих оборудование для мобильной связи. Здания расположены преимущественно у порталов тоннелей;
- 17 вспомогательных тоннельных отсеков с оборудованием;
- шести насосных станций;
- девяти киосков с оборудованием мобильной связи;
- один электронный пост централизации;
- два поста секционирования;
- одна тяговая подстанция 132/15 кВ.

Эти объекты в основном получают питание от местных сетей напряжением 220/400 В, но некоторые снабжаются от высоковольтных линий напряжением 16 кВ, частотой 50 Гц. Статистика показывает, что в высоковольтных сетях сбои и нарушения бывают значительно реже, чем в местных напряжением 220/400 В. В связи с этим для электротехнических

устройств десяти тоннелей приняли систему питания от линий 16 кВ. Необходимые для этого трансформаторы интегрировали в припортальные сооружения. По экологическим соображениям не все перечисленные ранее объекты могут получать питание от сетей общего пользования. В этих случаях их питают от ближайших станций по соединительным линиям, принадлежащим железной дороге. Наиболее экономичным и надежным вариантом является трехпроводная изолированная от земли линия напряжением 980 В, оборудованная системой контроля замыканий на землю.

Для обеспечения оптимального технического обслуживания все распределительные устройства были выполнены стандартными и однотипными. Все припортальные здания были оснащены одинаковыми комплектами коммутационного оборудования, однотипные распределительные устройства были смонтированы как в технических зданиях, так и в тоннельных нишах.

При проектировании любых электротехнических устройств на первое место всегда ставилась эксплуатационная готовность. В особой мере это относится к устройствам электроснабжения постов централизации, насосных станций системы откачки грунтовых вод, устройств для самоспасения пассажиров в тоннелях, а также путевых устройств обмена данными с системой локомотивной сигнализации FSS, которой будет оснащаться весь тяговый подвижной состав на новой и модернизированной линиях. Так, все электротехнические устройства тоннельных ниш будут питаться через два независимых кабеля.

Тем не менее полное выпадение сети электроснабжения не исключено. Посты централизации и насосные станции в этом случае будут переключены на резервные независимые сети.

Устройства связи благодаря модульному решению схемы и наличию аккумуляторной батареи резервного питания напряжением 48 В могут продолжать работу минимум в течение 10 ч в случае выпадения сети. Все остальные устройства, важные с точки зрения безопасности, а также расположенные в тоннеле с обеих сторон пути лампы аварийного освещения получают питание в общей сложности от 14 независимых распределительных устройств, подключенных к местным сетям общественного пользования и автоматически включающихся при выпадении основной сети.

Не зависящее от сети автономное питание на базе аккумуляторных батарей возможно только в течение ограниченного времени. Обнаружение и устранение сбоев и отказов сети должно реализовываться в течение этого относительно короткого времени.

Выявление неисправностей является основной задачей локальной системы управления, которая

должна непрерывно контролировать все наиболее важные параметры системы электроснабжения. Так, только для обнаружения опасности выпадения сети используется 85 реле минимального напряжения. В дальнейшем с помощью системы управления будут контролироваться: изоляция подводящих линий, выключенное состояние коммутационных аппаратов, неисправность аккумуляторных батарей и т. д. Эта информация будет отображаться на локальных дисплеях и одновременно передаваться в диагностические и управляющие системы более высокого уровня.

К другим функциям локального уровня управления относятся выдача команд на включение, отключение или регулирование всех систем, в частности оборудования насосных станций и различных устройств, размещенных в тоннельных камерах. В 11 узловых пунктах локальной системы размещены соответствующие блоки сбора информации. Со всей системы на них приходит около 5000 параметров, которые передаются затем на более высокий уровень управления и диагностики.

Кабельные линии

Кабельные линии и устройства такого крупного железнодорожного объекта, как новая или модернизированная линия, представляют собой сложную систему, являющуюся важнейшим элементом указанного объекта. Новые системы обеспечения безопасности движения с ECTS уровня 2 и связью GSM-R требуют особо больших объемов работ по укладке кабелей, к которым предъявляются повышенные требования в отношении надежности.

Различные службы по-разному оценивают кабельные системы. С одной стороны, их рассматривают как объекты подземных сооружений, а с другой — как электротехнические устройства.

При строительстве новых линий кабельные каналы монтируют после укладки в основание пути специального несущего слоя НМТ. Лотки основания кабельного канала длиной 1,25 м, изготовленные из полимербетона, закрепляют на несущем слое. При этом темп укладки достигал 400 м/сут. Перед началом монтажа были проведены испытания конструкции крепления на месте с целью проверки поперечной устойчивости. По окончании монтажных работ контроль поперечного положения кабельного канала проводился в ходе укладки верхнего строения пути и после ее завершения.

На новой и модернизированной линиях в общей сложности уложено 655 км кабелей различных типов. В табл. 5 приведена их длина, указаны назначение, тип изоляции, характеристика жил. Для защиты от грызунов все приведенные в таблице кабели снабжены облегченной броней из стальной оцинкованной ленты.

Защитные мероприятия

Концепция заземления

Все конструкции, относящиеся к железной дороге, заземлены в соответствии с внутренними инструкциями VEAB. Влияние близкого и удаленного окружения на систему заземления было исследовано, и результаты зафиксированы в отчете по проекту. Центральная роль отведена следующим трем требованиям:

- перетекание постоянных токов в сеть тягового электроснабжения SBB из проходящих параллельно или пересекающих линий, электрифицированных на постоянном токе, должно быть ограничено в такой мере, чтобы объекты инфраструктуры не страдали от коррозии под действием постоянных токов, а устройства СЦБ, в частности рельсовые цепи, не испытывали мешающих воздействий;

- большая часть обратного тягового тока (свыше 80 %) должна возвращаться на подстанцию по проложенным вдоль пути линиям обратного тока. В этом случае расположенные вблизи линии сторонние объекты в наименьшей мере будут подвержены действию токов растекания;

- подключение линии отсоса в зоне тяговой подстанции следует выполнять таким образом, чтобы участок обратного провода, идущий к трансформатору, имел как можно большее сечение.

Первые конкретные проблемы в этой области возникли на новой линии, когда потребовалось опреде-

лить правила заземления искусственных сооружений, а именно тоннелей, мостов, подпорных стенок и водопускных лотков. В связи с этим SBB для новой линии разработали специальные инструкции по заземлению. Для ее составления экспертам потребовалось тщательное изучение местных условий в регионе Берн — Золотурн — Ольтен.

Защита от поражения электрическим током

Несмотря на то что пути и устройства новой линии не являются местом скопления людей, защитные меры здесь были реализованы в полном объеме.

Первая проблема состояла в том, чтобы исключить возможность прикосновения людей к элементам сети, находящимся под напряжением. С учетом различных интересов (архитекторов, жителей ближайших домов, служб эксплуатации и надзора) был определен перечень защитных мероприятий для конкретных участков и объектов.

Вторая проблема связана с возникновением разности потенциалов между различными устройствами в режиме нормальной эксплуатации и при коротких замыканиях. В связи с этим большое внимание было уделено оптимальному распределению линий обратного тока, особенно в зонах тяговых подстанций.

Для снижения степени растекания обратного тока были реализованы следующие мероприятия:

- заземляющие провода электротехнических установок отделены от системы заземления устройств тягового электроснабжения;

- металлические элементы большой длины, например изгороди или защитные ограждения, разделены на секции, электрически изолированные друг от друга.

Таблица 5

Характеристики уложенных кабелей

Тип	Длина, км	Изоляция, жилы
Низковольтные силовые кабели	133	Полиуретановая изоляция, класс пожароопасности соответствует инструкции IEC 60.331/332.1/332.2 E30 по стандарту DIN 4102-12
Кабели постов централизации (в том числе резервные)	328 (84)	Полиуретановая изоляция, скрутка жил звездной четвёркой, частично с индукционной защитой
Медные кабели связи	58	Полиуретановая изоляция, скрутка звездной четвёркой
Волоконно-оптические кабели связи	110	—
Излучающие кабели радиосвязи	21	—
Высоковольтные кабели	5	Этиленпропиленовая изоляция на напряжение 30/18 кВ, однофазный, сечение жилы по меди 630 мм ² , сечение экрана по меди 70 мм ² , наружная оболочка полимерная, не содержащая галогенов

Процедура ввода в эксплуатацию

В соответствии с контрактом генеральный подрядчик несет ответственность за функциональную пригодность используемых им готовых систем. С другой стороны, SBB обязаны представлять на утверждение соответствующим службам надзора доказательства работоспособности и эксплуатационной надежности большого числа устройств и систем. Значительное число таких подтверждений и согласований было реализовано в конце июня 2004 г. к моменту приемки пути и других объектов инфраструктуры. Последние согласования были выполнены в начале ноября 2004 г.

Выводы о надежности устройств электроснабжения и прогноз о величине затрат жизненного цикла будут сделаны лишь после того, как на линии завершится ввод системы ETCS уровня 2 и максимальная скорость будет увеличена до 200 км/ч.