

Жесткое основание пути типа Bögl — первый опыт укладки на участке большой протяженности

На новой линии Нюрнберг — Ингольштадт впервые на большой длине (3,5 км) уложено верхнее строение пути на жестком основании типа Bögl с предварительно изготовленными плитами, связанными в продольном направлении битумно-цементным раствором. Такая система обеспечивает высокое качество и максимальную точность при строительстве линий для высокоскоростного движения.

В рамках разработки проекта и строительства участка новой линии Нюрнберг — Ингольштадт объединение подрядчиков, в которое входят компании Biffinger Berger, Max Bögl Bauunternehmung, DB Projektbau, Niederlassung Süd и Projektzentrum Nürnberg 1, выполнило заказ на создание верхнего строения пути, имеющего жесткое основание типа Bögl, для движения со скоростью 300 км/ч.

Основные проектные данные участка

Длина путей, км.....	70
Минимальный радиус кривых, м.....	3700
Число раздельных пунктов.....	2
Пункт обгона (региональная станция).....	1
Число рамных оснований.....	18
Число путепроводов.....	2
Длина тоннелей, м:	
сводчатого сечения.....	2256
прямоугольного сечения.....	1333
Общая длина лотков, м.....	1665
Суммарная длина свайно-плитных участков, м.....	3543

Конструкция пути типа Bögl

В конструкции верхнего строения пути использованы соединенные в продольном направлении плиты, которые изготавливают заранее, с высокой точностью укладывают в путь и заливают цементно-битумным раствором.

Плиты толщиной 20 см и длиной 6,5 м имеют продольную арматуру и поперечную предварительно напряженную. На каждой плите предусмотрено 10 пар опорных точек. Между этими точками выполнены в поперечном направлении сквозные надрезы с шагом 0,65 м, что позволяет предотвращать распространение трещин в плите. Продольно связанные плиты можно рассматривать как широкие шпалы.

На высокоскоростных линиях готовые плиты применяют уже не один год. В качестве важнейшего примера такой типовой конструкции можно отметить верхнее строение пути с залитыми битумно-цементным раствором готовыми плитами, которое было сооружено в 1972 г. в Японии на одной из линий Синкансен.

В Германии в 1977 г. построен первый пробный участок длиной 430 м в районе Дахау-Карлсфельда с продольно связанными готовыми плитами, залитыми битумно-цементным раствором. При грузонапряженности около 80 тыс. т/сут опытный участок работает без ремонтов более 25 лет.

В последние годы компания Max Bögl усовершенствовала эту систему и построила два опытных участка в районе станций Рот-Мальш и Хаттштедт. Полученный при этом опыт послужил базой для укладки такого верхнего строения пути на участке большой протяженности. Все работы на этом участке линии Нюрнберг — Ингольштадт выполнили компании Biffinger Berger и Max Bögl.

По сравнению с другими конструкциями преимуществом жесткого основания с готовыми плитами является то, что значительная часть работ выполняется на заводе, в результате чего зависимость строительства от погодных условий существенно снижается. Чтобы полностью использовать связанный с этим потенциал экономии, при первом промышленном применении потребовалось разработать концепцию монтажа, новые методы укладки, а также соответствующее оборудование. В основном на линии выполнялись следующие работы:

- подвозка и укладка плит;
- высокоточная выправка их положения в плане и профиле;
- изготовление битумно-цементного раствора и заливка им уложенных плит.

Кроме того, в рамках проекта потребовалось разработать имеющуюся концепцию строительства с учетом местных особенностей трассы. На этом подготовительном этапе все отдельные элементы постоянно проверяли на совместимость с системой в целом и оптимизировали. Концепция в целом дорабатывалась отдельными рабочими группами в тесной координации с руководством проекта и подрядчиками. В некоторых случаях привлекались эксперты и

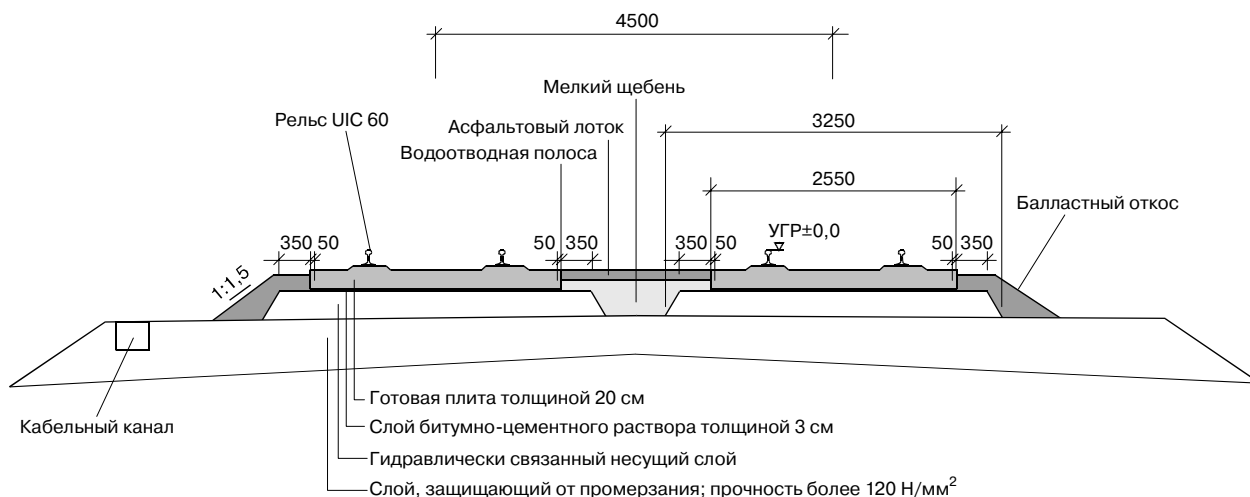


Рис. 1. Типовое сечение пути конструкции Bögl для укладки на земляном полотне

специалисты со стороны, а также субподрядчики и поставщики. Отдельные этапы технологически состыковали в согласованную цепочку общего процесса, в результате чего при строительстве был достигнут синергический эффект.

В этих условиях строительные работы необходимо было по возможности выполнять собственными силами. Сторонним исполнителям были переданы только поставка и укладка рельсов, а также стрелочных переводов. Плиты поставляла компания Bögl.

Проектирование

На стадии предварительного проектирования ширина плит была принята равной 2,5 м. Благодаря этому значительно облегчалась их транспортировка.

Типовое сечение

При проектировании особое внимание уделялось созданию максимально эффективного дренажа. Выступающие края гидравлически связанного несущего

слоя, имеющие наклон наружу, расположены на 5 см ниже краев плит, что значительно осложняет проникновение воды под плиты, поверхность которых была выполнена с уклоном наружу на угол 0,5 град (рис. 1). Поперечный уклон плит обеспечивался вариациями высоты опорных точек для внутреннего и наружного рельсов и поэтому был таким же, как у поверхности несущего слоя или выправочного слоя бетона. При выборе геометрии земляного полотна отказались от минимального поперечного уклона и оставили его равным 5 %.

Жесткое основание пути типа Bögl на рамной конструкции

На мостах путь рассматриваемого типа укладывается на рамное основание. В этом случае несущая конструкция верхнего строения пути выполнена так, как показано на рис. 2. Непосредственно на защитный слой бетона уложены плиты из жесткого пенопласта, а на них — два слоя полиэтиленовой пленки, образующей поверхность скольжения. Это обеспечивает развязку между верхним строением пути и

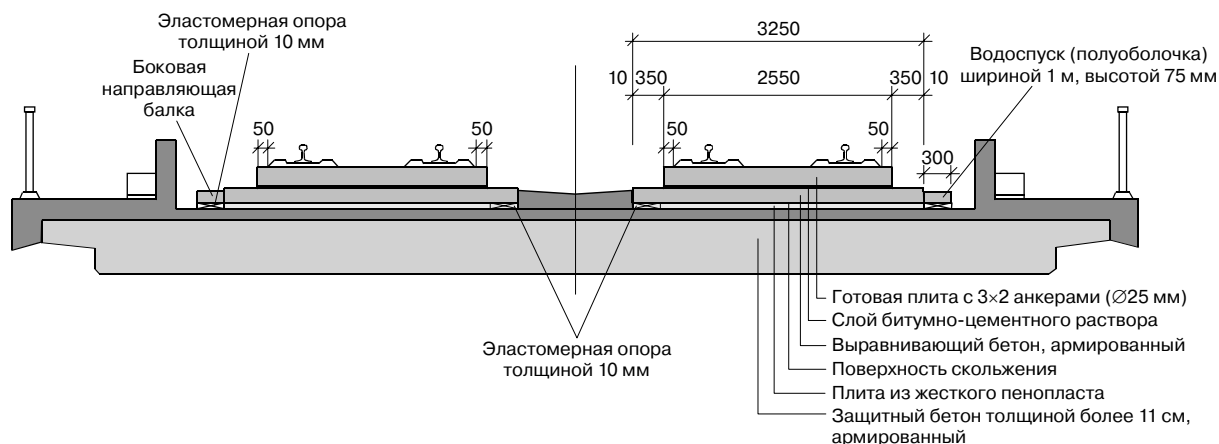


Рис. 2. Конструкция пути типа Bögl на рамном основании (на мосту)

основанием, а также компенсирует разницу в жесткости несущей конструкции моста и примыкающего участка пути. Слой выравнивающего армированного бетона одновременно служит выправочным и при необходимости может быть использован для получения возвышения рельса.

На выравнивающий слой бетона готовые плиты укладывают так же, как на земляное полотно, выправляют и заливают раствором. Боковые силы воспринимаются ориентированными в продольном направлении и выполненными заодно со слоем защитного бетона боковыми направляющими балками; через них силы передаются на несущее рамное основание.

Для обеспечения эффективного дренажа, как и на земляной насыпи, выступающие края выправочного бетона выполняют с наружным уклоном, при этом края плиты опускаются на 5 см. Верхняя кромка защитного бетона имеет выпуклый профиль с поперечным уклоном 0,75 %. Благодаря этому вода собирается у наружных краев этого слоя и стекает в направлении продольного уклона. На концах моста она попадает в лотки и отводится в общую систему дренажа.

Свайно-плитная решетка

На длине около 3,5 км из-за недостаточной несущей способности грунта пришлось устанавливать несущие плиты на сваях. Чтобы избежать использования сложных переходных конструкций, длину несущих плит ограничили 12,5 м, а стыки между ними выполнили на соединительных дюбелях.

Концепция укладки

Основные положения

Заранее было принято решение о безрельсовой укладке. Впервые использованная на большой длине укладка готовых плит обеспечивала следующие преимущества:

- возможность гибкой организации работ даже на участках без примыкающих путей и с любым числом разрывов;
- возможность выправки плит без передачи на соседние плиты возникающих при этом напряжений и перемещений, обусловленных температурными деформациями рельсов.

Важным достижением стала разработка технологии, позволяющей улучшать геометрию изготавливаемых плит с помощью шлифования. При этом каждую плиту изготавливают сначала в виде заготовки, у которой опорные поверхности под рельсовые скрепления имеют определенный припуск. Доводка геометрии в соответствии с конкретным местом укладки (прямые участки линии, кривые, отво-

ды, возвышения рельсов) выполняется с помощью шлифования.

С целью оптимизации рабочего процесса плиты после укладки приводят в окончательное положение только на этапе точной выправки. Тем не менее на гидравлически связанный несущий слой их укладывают с высокой точностью. Для ее обеспечения линию сначала разбивают на отрезки, соответствующие длине отдельных плит, и определяют их точные координаты. Полученный таким образом план укладки служил основой для формирования плитного основания.

Обеспечение заданной геометрии пути, в противоположность обычному способу строительства, достигается не манипуляциями с рельсами, а точной подготовкой мест установки рельсовых скреплений. Такой способ, известный как «монтаж снизу вверх», при соответствующей точности размеров рельсов и скреплений позволяет выполнять максимальные требования к точности положения пути. Достигнутая точность сохраняется неизменной в эксплуатации и контролируется при последующей замене рельсов или скреплений. Укладка рельсов является последней рабочей операцией.

Изготовление гидравлически связанного несущего слоя

Несущий слой изготавливается с помощью дорожной машины для укладки бетона, оборудованной внутренними вибраторами. При укладке выдерживают жесткие требования к толщине слоя: отклонения не должны превышать 5 мм. Благодаря этому верхняя кромка может быть использована как эталон высоты при укладке плит основания.

Укладка и выправка плит основания

Укладку плит выполняют с помощью специально разработанного для этой цели мобильного порталного крана, имеющего следующие очевидные преимущества перед стандартными:

- повышенная производительность;
- удобный доступ к месту укладки плит;
- возможность гибкого использования даже при ведении работ изолированными участками.

Чтобы обеспечить точность установки плит в требуемое положение, на их стыках в определенных точках заранее размещают анкеры, с помощью которых укладываемые плиты принудительно центрируются (анкеры входят в направляющие пластмассовые втулки). При заливке раствора анкеры препятствуют подъему плит.

Для точной выправки применяют специально разработанные юстировочные устройства, которые позволяют плавно перемещать плиты в горизонтальном и вертикальном направлениях.

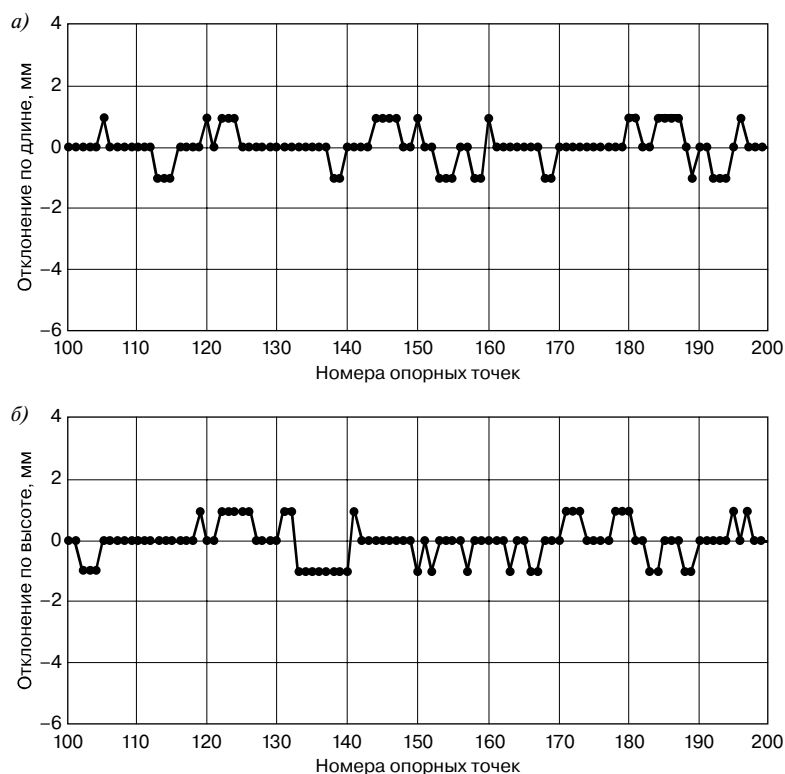


Рис. 3. Результаты измерения отклонений по длине (а) и высоте (б) на опорах для рельсовых скреплений

Точная выправка

Благодаря точной геометрии плит, изготовленных на заводе, на месте укладки требуется лишь выполнять выправку стыков, расположенных с шагом 6,5 м. При этом необходимо обеспечивать высокую точность: допускаемые отклонения составляют менее 0,5 мм. Применяемые устройства и методы измерений позволяют обеспечить одноразовую выправку и регистрацию положения опорных точек с высокой точностью (около 0,1 мм). На рис. 3 показаны результаты измерения отклонений по высоте и длине, полученные на опорах для рельсовых скреплений.

Имеющиеся в распоряжении методы измерений, основанные на использовании тахеометра и других современных оптических устройств, обеспечивают экономически приемлемую точность. Для ее повышения выправка осуществлялась в два этапа. Сначала измеряют смещение свободного конца плиты обычными средствами, т. е. тахеометром и призмой, а затем переводят ее в заданное положение. В заключение на стыках плит с помощью лазерного датчика повышенной точности измеряют оставшееся смещение по осям обоих рельсов.

Результаты выполненных тахеометром и лазерными датчиками измерений передаются для компьютерной обработки, в ходе которой фактические значения сравнивают с заданными. На основании полученного результата сравнения для каждого юс-

тировочного устройства рассчитывается корректировочное значение.

Выправку выполняли вручную, используя указанные устройства с учетом расчетных данных.

Подготовка раствора и заливка плит

После выправки плиты с боков уплотняют раствором. Поперечные стыки заливают тем же битумно-цементным раствором, который используют для заливки плит.

Для его приготовления применяется дозирующее, смесительное и транспортирующее оборудование, к точности которого предъявляются повышенные требования. Возникающие напряжения сдвига могли приводить к его преждевременному разрушению. Чтобы при транспортировке избежать преждевременного схватывания раствора с последующим разрушением, разработали специальные мобильные смесители, с помощью которых раствор в минимально необходимых объемах изготавливают на месте и здесь же используют.

На последнем этапе плиты соединяли натяжными замками, используя заделанные в них выступающие резьбовые шпильки, и заливали поперечные стыки.

Разработанные методы и оборудование перед практическим применением тщательно проверяли на опытных образцах и моделях. Особое внимание уделено результатам предварительных испытаний мобильных смесителей и проверке метода заливки готовых плит. В заключение компания DB Projektbau, входящая в состав холдинга железных дорог Германии (DBAG), продемонстрировала разработанные ею методы соответствующим службам DBAG и представителям инспекции по строительству.

Обеспечение качества

Сертификация

В рамках обеспечения качества был составлен план испытаний для проверки исходных материалов и приготовления из них смесей. Контроль за производством осуществлялся заводской лабораторией, проверку и сертификацию материалов проводила лицензированная испытательная лаборатория. На заливочный раствор Федеральным бюро железных дорог Германии выдан сертификат соответствия.

Предварительная приемка

Непосредственно после заливки первого участка плит по согласованию с руководством стройки и строительной инспекцией были проведены контрольные измерения опорных поверхностей для рельсовых скреплений. Эта работа была поручена независимому бюро, использовавшему методы оценки и расчетов, предназначенные для приемки безбалластного пути. Полученные значения округляли с точностью до миллиметра.

Проверка показала, что на всех опорных точках отклонения фактических различий в двух соседних точках измерения, расположенных на расстоянии 5 м друг от друга, не превысили допустимого значения 2 мм как в плане, так и в профиле. В стыках, опорные точки которых имели обозначенные на чертежах номера, кратные 10, не обнаружено смещений ни в плане, ни в профиле.

Выводы

Для строительства на новой высокоскоростной линии Нюрнберг — Ингольштадт участка пути на жестком основании конструкции Bögl разработаны высокопроизводительные методы установки плит и выправки с высокой точностью по положению, а также способы заливки. Отдельные методы оптимизированы и соединены в единую технологическую цепочку с учетом дополнительных требований логистики при строительстве железнодорожных линий.

Первые измерения, проведенные в 2003 г., показали, что высокие требования к точности положения пути выполнены полностью.

H. Weber, A. Zachlehner. Eisenbahntechnische Rundschau, 2004, № 1/2, S. 21 — 26, 28 — 29.

Асимметричное шлифование рельсов

Шлифование рельсов на первых этапах его внедрения использовали для обеспечения плоской поверхности катания. В дальнейшем развитие железнодорожной науки показало, что профиль рельсов может быть не только плоским. Были разработаны различные специальные профили для разных условий эксплуатации. Так, асимметричные профили, снижающие износ, следует применять в кривых малого радиуса, а шлифование, снижающее усталость металла рельсов, в кривых большого радиуса. Для прямолинейных участков высокоскоростных линий рекомендуется профиль рельсов с небольшой эквивалентной конусностью.

Необходимость в шлифовании рельсов возникла в связи с образующимся на них волнообразным износом, имеющим широкий диапазон длины волны. Первоначально в Европе шлифование стали применять в исключительных случаях и лишь на небольшом числе участков. В дальнейшем масштабы шлифования стали расширяться, так как оно давало такие положительные результаты, как снижение вибраций, уменьшающее динамические нагрузки на верхнее строение пути.

В настоящее время практически нет ни одной железнодорожной компании, которая пренебрегала бы

шлифованием рельсов. Масштабы и периодичность проведения этих работ определяются техническими параметрами линии и особенностями эксплуатационного процесса.

Характер нагрузок и корректировка профиля рельса

При шлифовании удаляется материал головки рельса в местах неровностей поверхности катания. В зависимости от характера неровностей или повреждений поверхности катания выбирают тот или иной метод шлифования.

В прямолинейных участках пути, как правило, имеет место волновой износ с небольшой длиной волны, вызывающий вибрации подвижного состава. Следствием этого являются значительные динамические воздействия на путь, обуславливающие увеличение затрат на его текущее содержание и сокращение срока службы всех компонентов рельсошпальной решетки.

В кривых малого радиуса волновой износ обусловлен проскальзыванием колесных пар в связи с разными расстояниями, которые проходят внутренние и наружные колеса. Этот вид износа приводит к аналогичным последствиям.