

Подшпальные подкладки в пути на балласте

Рост объемов перевозок и скорости движения поездов приводит к интенсификации процессов ухудшения состояния верхнего строения пути, что обуславливает увеличение расходов на его текущее содержание. Применение упругих подкладок под железобетонными шпалами значительно замедляет темпы разрушения балласта, продлевает срок службы при сокращении расходов на текущее содержание.

Несмотря на расширение в последние годы масштабов использования пути на плитном основании, традиционный путь на балласте остается стандартным на подавляющем большинстве железных дорог, и не только на линиях со смешанным движением, но и на специализированных высокоскоростных пассажирских и грузовых с высокими осевыми нагрузками.

При этом наиболее подверженным износу компонентом верхнего строения пути в настоящее время является балласт. Если шпалы из предварительно напряженного бетона и высокопрочные рельсы постоянно совершенствовались, то высококачественные, устойчивые к износу балластные материалы, например базальт, становятся все менее доступными для железных

дорог. Это приводит к тому, что качество даже новой балластной призмы быстро ухудшается.

В связи с этим возникла необходимость в разработке и внедрении инновационных технических решений, обеспечивающих снижение нагрузок, действующих на балластный слой.

Инновационное решение

Важным шагом в этом направлении стала разработка упругих подкладок из синтетических материалов, предназначенных для использования под железобетонными шпалами. Они позволяют реализовать у железобетонных шпал некоторые положительные характеристики деревянных. В частности, за счет вдавливания частиц балласта в подкладку под опорной поверхностью железобетонной шпалы увеличивается площадь контакта между этими элементами верхнего строения пути, и воздействующие на поверхность балластной призмы усилия распределяются на большей площади, и, соответственно, уменьшаются нагрузки, воздействующие на отдельные частицы балласта.

Осадка пути как непосредственно после выполнения операций по текущему содержанию, так и в процессе эксплуатации вызывается в

основном дроблением частиц балласта. После проведения типовой процедуры восстановления оптимальной геометрии рельсовой колеи в плане и профиле и подбивки шпал доля площади контакта стандартных железобетонных шпал с балластом составляет от 3 до 12% общей площади опорной поверхности шпал. Использование упругих подкладок позволяет увеличить эту долю до 30% и существенно снизить темп ухудшения геометрических параметров верхнего строения пути в процессе эксплуатации.

Как показал опыт Федеральных железных дорог Австрии (ÖBB), применение упругих подкладок позволяет оптимизировать общую жесткость верхнего строения пути и создает возможность для использования специальных технологий строительства на некоторых специфических участках, например при переходе от пути на земляном полотне к мостовым конструкциям или от пути на плитном основании к обычному на балласте. В целях предотвращения дефектов пути на таких участках необходимо точно определить требуемые в данном случае рабочие параметры материала упругой подкладки. Аналогичные требования важны при использовании подкладок с целью снижения уровня вибраций в тоннелях или на участках, проходящих в районах жилой застройки. В связи с этим потребовались дополнительные исследования для определения оптимальной жесткости синтетических материалов, используемых для изготовления таких подкладок.

Организация исследований

На участках пути в прямых, помимо снижения напряжений в балласте, подшпальные подкладки благодаря своим упругим характеристикам способны существенно влиять на рабочие параметры верхнего строения пути в целом и изменять их в положительном направлении.

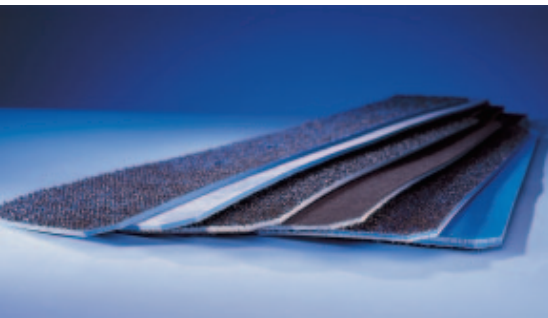


Рис. 1. Упругие подшпальные прокладки компании Getzner Werkstoffe (фото: Getzner Werkstoffe)



Рис. 2. Железобетонные шпалы с упругими подкладками (фото: Getzner Werkstoffe)

ÖBB приступили к широкому использованию относительно жестких подкладок в 2002 г., а в 2009 г. вместе с Технологическим университетом Граца и поставщиком подкладок — компанией Getzner Werkstoffe начали программу WINS по оценке экономической эффективности применения подкладок в обычных эксплуатационных условиях. В процессе исследований сравнивали более 1500 участков пути магистральных линий ÖBB, на которых применены железобетонные шпалы с упругими подкладками типов SLB 3007G и SLS 1308G производства Getzner Werkstoffe (рис. 1 и 2), с аналогичными участками, где шпалы были уложены без подкладок.

Институт железнодорожной техники и экономики транспорта (IRETE) занимается анализом затрат жизненного цикла

имущественного комплекса железных дорог с конца 1990-х годов. В результате проведенных работ выяснилось, что необходимо заняться исследованиями изменений технических параметров пути в процессе эксплуатации, чтобы постепенно перейти от данных, полученных экспериментальным путем, к теоретически прогнозируемым. С этой целью было выбрано два главных направления решения проблемы: оценка состояния пути и его изменений в процессе эксплуатации, накопление полученных данных в соответствующей базе.

Для наиболее точного определения параметров, характеризующих состояние участка пути, был выбран так называемый индекс MDZ, учитывающий величину ускорений в центре тяжести условного экипажа, обусловленных вертикальными и горизонтальными силами и

величинами смещений. При применении индекса MDZ отпадает необходимость в оценке степени влияния различных сил, поскольку их действие на параметры пути учитывается в виде физической реакции. Все результаты рассчитываются на базе среднеквадратичного вертикального отклонения σ_H , признанного в Европе показателем качества.

Как было установлено, качество верхнего строения пути в зависимости от продолжительности эксплуатации определяется по формуле

$$Q_t = Q_0 e^{bt},$$

где Q_t — качество пути в определенный момент времени; Q_0 — качество пути на начальном этапе эксплуатации; b — темп ухудшения технического состояния; t — продолжительность эксплуатации пути; e — функция Эйлера.

Поскольку качество пути на начальном этапе Q_0 зависит в основном от уложенных в верхнее строение пути элементов и качества выполненных при этом работ, темп ухудшения состояния b включает действие всех значимых граничных условий.

Важнейшими факторами, влияющими на ухудшение состояния пути, являются интенсивность эксплуатации, положение пути в плане, состояние грунта и дренажа, конструкция путевой структуры. Скорость движения поездов оказывает второстепенное влияние, хотя ее повышение и ведет к увеличению объема работ по текущему содержанию пути, необходимых для поддержания геометрических параметров пути в требуемых допусках.

Примененная теоретическая функция, определяющая техническое состояние верхнего строения пути, подтверждена на подавляющем большинстве обследованных участков. В некоторых, довольно редких случаях осадка земляного полотна происходит в соответствии с многозначной логарифмической функцией и перекрывает показатели, рассчитанные с помощью теоретической функции.

Полученная при исследованиях обширная база данных позволила представить сеть ÖВВ как исследовательский полигон, на котором проводятся испытания разных компонентов пути и технологий его текущего содержания для реальных

эксплуатационных условий. Эта база содержит данные по 3770 км пути за 10-летний период, а именно около 1,5 млн показателей, рассчитанных с помощью приведенной функции и характерных для разных сроков эксплуатации — от укладки до полного исчерпания ресурса. При этом большинство обследованных участков находятся на промежуточном сроке службы.

В связи с тем что теоретическая функция является регрессивной по отношению к измеренным показателям качественного состояния пути, она характеризует номинальное, исходное состояние пути в начале эксплуатации (не непосредственно после укладки, а после первичной осадки) и является инструментом, позволяющим прогнозировать поведение верхнего строения пути в короткий период времени после укладки. Анализ рассчитанных с помощью функции данных позволил установить множество взаимозависимостей между параметрами и определить общие тенденции в изменении геометрических параметров пути. В результате удалось установить несколько принципов взаимозависимости между ними. Благодаря тому что для анализа использовалась большая выборка данных по многим участкам, результаты анализа в масштабах всей сети ÖВВ являются более представительными в сравнении с данными, получаемыми на отдельных участках.

Изменение качественных характеристик пути

В связи с тем что участки пути, на которых за период с 2002 г. железобетонные шпалы были уложены на упругих подкладках, демонстрируют стабильность, стало очевидным, что для целей настоящего исследования достаточно проанализировать состояние пути в период времени от его укладки до первой выправки. Данные, полученные по более чем 1500 участкам пути, на которых имеются упругие подкладки, сопоставлялись с данными контрольных участков с идентичными пограничными условиями: линия в прямой, объем перевозок 45–70 тыс. т брутто/сут. В таком случае подтверждение результатов испытаний возможно в условиях ежедневной эксплуатации для трех категорий загрузки линий с кривыми радиусом более 600 м.

К настоящему времени число участков в кривых, где шпалы уложены на упругих подкладках, еще недостаточно велико, чтобы предложить статистически значимые данные, но выявленные тенденции свидетельствуют об аналогичных результатах.

По итогам проведенных исследований установлено, прежде всего, что участки с упругими подкладками под железобетонными шпалами отличаются на начальной стадии эксплуатации более высокими (на 18...26%) качественными

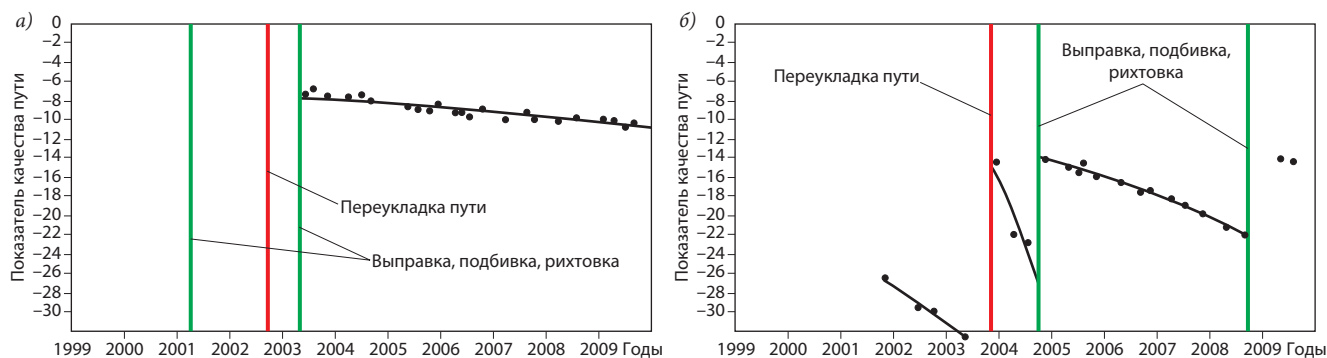


Рис. 3. Путь на опытном участке с железобетонными шпалами на упругих подкладках (а) отличается значительно меньшими темпами ухудшения качественных характеристик по сравнению с контрольным участком (б)

показателями и снижением на 31...63% темпа их ухудшения. Значительно более высокие показатели качества на начальной стадии являются следствием меньшей осадки после укладки нового пути за счет лучшего распределения нагрузок между шпалами и балластом, благодаря чему темп ухудшения показателей существенно снижается в процессе длительной эксплуатации. Это, как полагают, свидетельствует об отсутствии прямой зависимости от реализуемой поездной работы (рис. 3).

Здесь на опытном участке с рельсами типа 60E1 и железобетонными шпалами с упругими подкладками ежесуточно пропускается в среднем 55,6 тыс. т поездной нагрузки при максимальной скорости 160 км/ч; на контрольном участке с рельсами типа того же типа, но без упругих подкладок под железобетонными шпалами ежесуточная поездная нагрузка составляет 45,3 тыс. т при максимальной скорости 150 км/ч.

Экономическая оценка

Для экономической оценки полученных в процессе исследований качественных характеристик необходимо экстраполировать темп изменения технического состояния пути за период от начала эксплуатации до первой выправки. Это — нетривиальная задача, поскольку показатель качества после первой балластировки $Q_{м1}$, равно как и темп последующего ухудшения технического состояния $b_{м1}$, в значительной степени зависит от объема выполненных работ. Однако сопоставление изменений во времени показателя b для участков контрольного и с упругими подкладками (при условии применения одинаковых критериев для назначения выправочно-подбивочных работ) позволяет сделать вывод, что цикличность

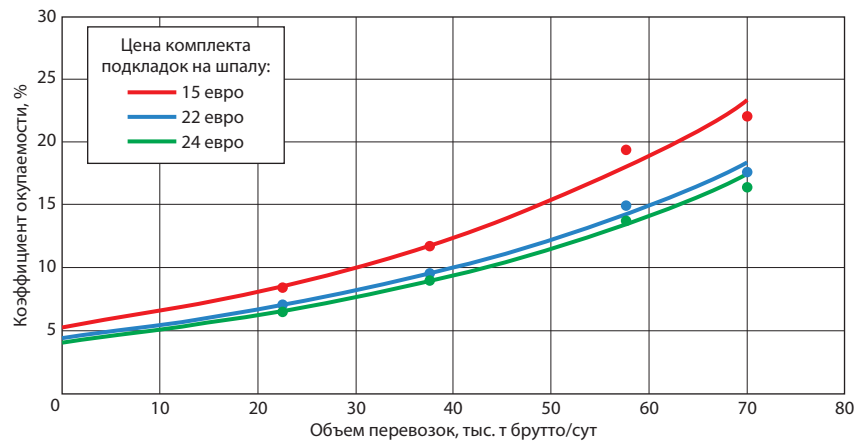


Рис. 4. Внутренний коэффициент окупаемости дополнительных инвестиций в зависимости от объема перевозок и начальной стоимости комплекта подкладок на одну шпалу

выправки и подбивки пути обратно пропорциональна величине темпа ухудшения его технического состояния. Таким образом, снижение на 2/3 последнего показателя означает трехкратное увеличение продолжительности периода до следующего цикла выправки и подбивки пути. Это автоматически ведет к продлению срока службы пути при заданном уровне технического состояния.

Хотя продолжительность срока службы верхнего строения пути зависит не только от состояния балласта, все-таки в общем случае сохранение его качественных характеристик может обеспечить увеличение жизненного цикла примерно на 40%. Для ÖBB это равнозначно сокращению ежегодных расходов на текущее содержание пути на величину от 7 до 18%.

Если рассматривать сокращение расходов на текущее содержание пути как доход, можно рассчитать внутренний коэффициент окупаемости дополнительных инвестиций на оснащение железобетонных шпал упругими подкладками (рис. 4). В кривых укладка шпал на упругие подкладки дает больший экономический эффект за счет дополнительного снижения расходов, обусловленного

сокращением потребности в шлифовании рельсов.

В конкретных условиях ÖBB железобетонные шпалы с упругими подкладками уже стали обычным компонентом верхнего строения пути на большинстве линий с высокими объемами перевозок, движением поездов со скоростью до 160 км/ч, а также в кривых малого радиуса. Даже на линиях с относительно невысоким объемом перевозок, например 10 тыс. т брутто в сутки, внутренний коэффициент окупаемости составляет около 5%, несмотря на высокую стоимость подкладок.

Укладка упругих подкладок на стрелочных переводах под опорными брусками и шпалами позволит регулировать упругость за счет соответствующего подбора материала подкладок. Положительные результаты проведенных испытаний дали основания ÖBB приступить к внедрению упругих подкладок на стрелочных переводах и вместе с партнерами начать реализацию исследовательской программы по оценке их поведения в реальных условиях эксплуатации.

P. Velt, S. Marschnig. Railway Gazette International, 2011, № 2, p. 42–44; материалы компании Getzner Werkstoffe (www.getzner.com).