

основе затрат жизненного цикла с применением динамических методов. При всех уровнях детализации исследований можно сделать вывод, что конформный порог начала работ по текущему содержанию и ремонту пути всегда соответствует наиболее экономически эффективной стратегии и, наоборот, обратный порог всегда дает наиболее неэффективные результаты.

Все это наглядно показывает существенное влияние порогового уровня качества состояния пути для начала путевых работ на экономическую эффективность системы текущего содержания и ремонта пути, а именно в двух аспектах: во-первых, важен тип порога, во-вторых, это влияние может оцениваться в общих чертах, т. е. независимо от особых условий конкретной линии. Однако пороговый уровень как таковой (интервал между Q_0 и порогом) имеет решающее значение для любой стратегии текущего содержания и ремонта пути, но в количественном выражении это зависит от состояния сети и характера движения.

Перспективы

В настоящее время порог начала работ по текущему содержанию и ремонту пути определяется исходя из накопленного опыта его технической экс-

плуатации. Этому принципу следовали при разработке проекта «Стратегии текущего содержания и ремонта верхнего строения пути». Здесь, как и в других вопросах, касающихся путевого хозяйства, возможна дальнейшая экономическая оптимизация. Однако окончательная «настройка» возможна только с применением математического моделирования поведения пути с точки зрения его геометрических параметров.

Благодаря новым возможностям, открывшимся с появлением путеинспекционных вагонов с автоматической регистрацией и обработкой результатов измерений множества параметров, и путем сопоставления данных, полученных разными способами, состояние пути по геометрическим параметрам может быть описано в своем развитии во времени в соответствии с требованиями прогностической модели. С 2002 г. существует постоянно пополняющаяся база данных, по которой можно судить о качественных функциях верхнего строения пути и которую можно использовать для параметрического анализа. С того же времени в рамках проекта «Стратегии текущего содержания и ремонта верхнего строения пути» ведутся необходимые для этого исследования.

P. Veit. Glasers Annalen. Special Edition: Strategy of Track Maintenance, 2005, p. 33 – 37.

Сравнение затрат жизненного цикла обычных и термоупрочненных рельсов

Результаты исследований и испытаний, выполненных Федеральными железными дорогами Германии (DBAG) и компанией VoestAlpine Schienen (Австрия), показали, что рельсы с термоупрочненной (закаленной) головкой имеют более высокую сопротивляемость изнашиванию и повреждаемости по контактно-усталостным дефектам, чем обычные. В ходе дальнейших исследований сравнивались затраты жизненного цикла рельсов двух указанных типов.

Повышению сопротивляемости рельсов как изнашиванию, так и возникновению дефектов контактно-усталостного происхождения уделяется большое внимание при разработке рельсовой стали новых марок.

Наносимый железным дорогам ущерб, связанный с быстрым износом и повреждаемостью рельсов, весьма значителен и выражается в увеличении расходов на текущее содержание и ремонт пути и в сокращении срока службы элементов верхнего строения пути. Поэтому изготовители рельсов и специалисты служб путевого хозяйства стремятся минимизировать этот ущерб.

Опыт многих железных дорог, освещенный, в частности, на последней, 8-й конференции Международной ассоциации тяжеловесного движения, состоявшейся в Рио-де-Жанейро в июне 2005 г., показывает, что рельсы из стали более жестких марок имеют меньшую склонность к изнашиванию и возникновению дефектов, в том числе в виде волнообразного износа. Это также подтверждают многочисленные теоретические исследования.

Исходя из данных положений, компания Voestalpine Schienen несколько лет назад приступила к созданию рельсов новых типов: из перлитной стали с прочностью на растяжение порядка 1250 МПа, подвергающихся термообработке головки по специальной технологии, и из бейнитной стали, также термообработанных. Основные механические характеристики рельсов некоторых типов из улучшенной стали приведены в табл. 1.

Новые рельсы испытывались на железных дорогах ряда стран мира в разных условиях эксплуатации, и полученные к настоящему времени результаты показали, что рельсы из более прочной стали с термоупрочненной головкой имеют бóльшую сопротивляемость практически ко всем видам изнашивания и дефектов.

DBAG и Voestalpine изучали темп ухудшения состояния поверхности катания рельсов в ходе реализации нескольких совместных проектов. Целью было определение суммарных затрат жизненного цикла (LCC) рельсов разных типов, поскольку уменьшение LCC является стратегической задачей обоих партнеров. При этом требовалось найти способы количественной (технической и экономической) оценки потенциального экономического эффекта от внедрения рельсов из стали новых марок.

Эксплуатационные испытания

DBAG и Voestalpine провели широкомасштабные испытания в разных условиях эксплуатации стандартных рельсов типа R260 из углеродистой стали и новых рельсов типа R350HT с термоупрочненной головкой. По результатам наблюдений, продолжавшихся в течение 5 лет, установлено, что рельсы типа R350HT значительно более износостойки, чем типа R260. Кроме того, склонность новых рельсов к возникновению трещин примерно в 3 раза меньше, чем старых.

Таблица 1

Характеристики улучшенных рельсов разных типов

Тип рельса	Параметр		
	Прочность на растяжение, МПа, не менее	Относительное удлинение, %, не менее	Твердость по Бринеллю, ед., не менее
R350HT	1175	9	350
R350LHT	1175	9	350
370LHT	1175	9	370
UNC400	1240	9	400
DOBAIN430	1400	11	430

В ходе испытаний определяли также число необходимых проходов рельсошлифовальной машины и количество снимаемого при этом металла для полного устранения трещин в головке и получения проектного профиля рельсов. Результаты испытаний также показали, что объем работ по шлифованию и количество снятого металла для рельсов с термоупрочненной головкой существенно меньше, чем для рельсов из обычной углеродистой стали. Это объясняется более низким темпом развития явлений, обусловленных контактной усталостью.

Анализ затрат LCC для рельсов двух типов выполняли на основе результатов измерений и технической оценки износа и темпа распространения трещин, полученных в ходе эксплуатационных испытаний. Эти данные позволили рассчитать интервалы между очередными циклами работ по текущему содержанию и ремонту верхнего строения пути и проходами рельсошлифовальной машины, а также были введены в математическую модель LCC, разработанную отделением системных технологий DBAG (DB System Technology) и включающую все факторы влияния.

Наконец, для рельсов испытываемых типов была подготовлена оптимальная стратегия шлифования в целях определения экономического эффекта внедрения рельсов типа R350HT вместо рельсов типа R260.

Оценка результатов

Первичный анализ LCC был выполнен для одного из участков линии Мюнхен — Аугсбург железных дорог Германии в районе станции Меринг, характеризующегося смешанным движением поездов. Опытный участок расположен в кривой радиусом 3300 м, ежесуточный пропуск поездной нагрузки составляет примерно 90 тыс. т брутто, скорость движения поездов достигает 200 км/ч. Рельсы типов как R350HT, так и R260 имеют профиль типа 54E3.

Общий подход к технической оценке состоял в расчете интервалов между очередными циклами путевых работ и механической обработки, а также определении расчетного срока службы рельсов обоих типов исходя из темпов износа и распространения трещин. Полученные данные были введены в LCC-модель.

Показатели, полученные для рельсов сравниваемых типов после пропуска 100 млн. т поездной нагрузки, приведены в табл. 2. Видно, что износ рельсов типа R350HT оказался в 2 раза меньше, чем рельсов типа R260. В то же время еще до испытаний было известно, что для опытного участка основной проблемой является возникновение и развитие трещин в головке рельсов. Глубину распространения

дефектов в металле определяли как расстояние между поверхностью катания и дном трещин. Для рельсов типа R350HT этот показатель оказался в 3 раза меньше, чем для рельсов типа R260 (рис. 1).

Результаты испытаний на шлифование показали, что на опытном участке для полного удаления трещин с головки и восстановления исходного ее профиля для рельсов типа R350HT требуется в 2 раза меньше проходов рельсошлифовальной машины, чем для рельсов типа R260.

Расчетный срок службы рельсов определяли исходя из темпа естественного (под воздействием поездной нагрузки) износа и количества металла, снимаемого при шлифовании. При этом за исходный параметр принято максимально допустимое уменьшение высоты головки рельсов до того момента, когда требуется их замена, равное 8,4 мм (стандарт RiL 820 DBAG). Соответственно, срок службы равен времени, в течение которого достигается данный параметр.

Принятые в процессе расчета параметры приведены в табл. 3.

Анализ LCC

Анализ LCC выполняется в целях содействия принятию правильного решения, основанного на сравнительной экономической оценке альтернативных вариантов.

От того, какое именно решение было принято на ранних этапах разработки или применения технического объекта, зависит весьма многое, так как относительно малые первоначальные капитальные вложения могут обернуться существенно большими текущими расходами в процессе эксплуатации изде-

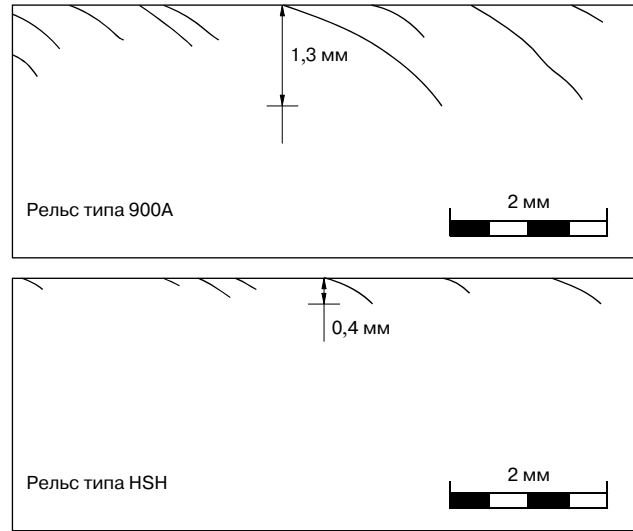


Рис. 1. Глубина и расположение трещин в головке рельсов разных типов (микрография продольного разреза рельсов после пропуска 85 млн. т поездной нагрузки)

Таблица 2

Износ и повреждаемость рельсов разных типов

Показатель	Тип рельса	
	R260	R350HT
Износ, мм	0,5	0,25
Глубина трещин, мм	1,5	0,5

лия. Поэтому важно рассчитать все затраты, которые могут иметь место в течение всего жизненного цикла. Во многих случаях при этом вынужденно используются оценочные данные, и тогда предпочтительнее вводить в расчет так называемую удельную приведенную стоимость (NPV) исследуемых параметров и альтернатив.

Таблица 3

Параметры для расчета срока службы рельсов разных типов

Вариант	Продолжительность эксплуатации, лет	Пропуск поездной нагрузки, млн. т брутто	Тип рельса					
			R260			R350HT		
			Снятие металла при шлифовании, мм	Потери металла по износу, мм	Технический срок службы, лет	Снятие металла при шлифовании, мм	Потери металла по износу, мм	Технический срок службы, лет
1	0,5	17	0,25	0,08	12,8	0,08	0,04	34
2	1	33	0,50	0,17		0,17	0,08	
3	1,5	50	0,75	0,25		0,25	0,13	
4	2	67	1,00	0,33		0,33	0,17	
5	2,5	83	1,25	0,42		0,42	0,21	
6	3	100	1,50	0,50		0,50	0,25	

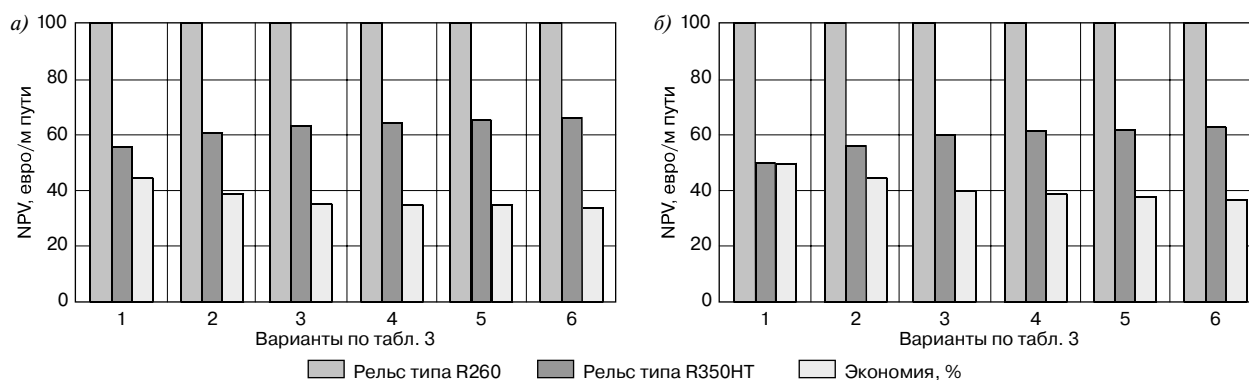


Рис. 2. Удельная приведенная стоимость (NPV) рельсов разных типов:
 а — без учета исключения пути из эксплуатации; б — с учетом исключения пути из эксплуатации

Для оценки экономической эффективности внедрения рельсов разных типов исследуются общие затраты LCC для условного пути, параметры которого соответствуют стандартам Р 230 и RiL 413 DBAG.

В процессе анализа принято следующее: среднегодовой показатель инфляции равен 2 %, учетная ставка равна 8 %, основание пути и балластная призма находятся в хорошем состоянии. Для представления рельсов в модели построено так называемое дерево продукта (PBS), позволяющее оценить влияние на величину затрат разных факторов воздействия. Так как все компоненты путевой структуры, за исключением рельсов, приняты как одинаковые, указанное дерево можно ограничить рельсами.

Принята также структура разбиения затрат (CBS), в которой каждый элемент затрат рассматривается как некое подмножество и описывается собственным уравнением.

Затраты и параметры, анализируемые в LCC-модели, можно обобщить следующим образом:

- первоначальные капитальные вложения: стоимость приобретения, включая расходы на транспортировку и укладку на место;
- капитальные вложения на замену: стоимость приобретения новых рельсов, включая расходы на транспортировку и укладку на место, а также на снятие и транспортировку старых рельсов;
- расходы на утилизацию: уменьшение покупной стоимости вследствие линейной амортизации в конце рассматриваемого периода с отрицательными значениями для каждого компонента;
- срок службы рельсов: см. табл. 2;
- система шлифования рельсов: см. табл. 2;
- временное исключение из эксплуатации: расходы, связанные с выделением плановых и внеплановых окон для текущего содержания и ремонта пути.

Итоги и перспективы

На рис. 2 представлены относительные полные затраты жизненного цикла в виде удельной приведенной стоимости для рельсов двух сравниваемых типов при указанных выше темпе инфляции, учетной ставке, PBS и CBS.

Анализ выполнен и для того, чтобы показать последствия временного исключения пути из эксплуатации (невозможности продолжения движения поездов). Показано, в частности, что исключение пути из эксплуатации приводит к ощутимым штрафным санкциям, увеличивающим затраты примерно на 10 – 15 %. Показана также важность оптимального планирования капитальных вложений и текущих расходов. Например, более высокая первоначальная стоимость рельсов типа R350HT по сравнению с рельсами типа R260 компенсируется увеличением интервалов между очередными циклами работ по текущему содержанию и ремонту пути, за счет чего LCC уменьшаются примерно на 35 %.

Первые результаты исследования на примере кривой радиусом 3300 м с интенсивным движением поездов подтверждают экономическую эффективность использования рельсов с термоупрочненной головкой вместо стандартных рельсов из углеродистой стали. На следующем этапе исследований планируется выполнить анализ LCC для пути других категорий и с иными условиями эксплуатации, чтобы предоставить менеджерам и специалистам путевого хозяйства железных дорог дополнительную информацию, на основе которой можно принять более обоснованные решения по капитальным вложениям и текущим расходам.