

Шлифование рельсов как компонент эффективного текущего содержания пути

К железнодорожному пути предъявляются высокие требования по качеству и надежности. Для удовлетворения этих требований периодически осуществляют операции по его текущему содержанию и ремонту, одной из которых является шлифование рельсов. Для выработки оптимальной стратегии шлифования и обеспечения его эффективности необходим анализ затрат и получаемой выгоды в расчете на жизненный цикл рельсов.

Динамические нагрузки на путь при движении поездов вызывают в нем различные разрушающие процессы, которые приводят к необходимости регулярного выполнения работ по его текущему содержанию, а также замене отдельных элементов. Характерным отрицательным эффектом любого эксплуатационного процесса является интенсивный начальный износ участвующих в нем элементов, приводящий к раннему появлению дефектов, и функциональные ограничения, возни-

кающие у этих элементов в конце срока службы и обычно сопровождающиеся интенсивным конечным износом. На рис. 1 приведена теоретическая временная зависимость износа элементов технических систем от цикличности проведения технического обслуживания. Здесь рассмотрены три варианта: вариант 0 — техническое обслуживание со средней цикличностью, вариант А — техническое обслуживание с увеличенными интервалами, вариант Б — то же с сокращенными интервалами.

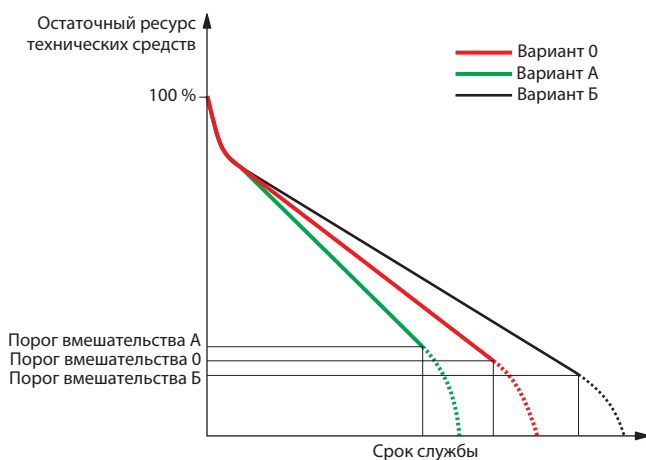


Рис. 1. Зависимость интенсивности износа элементов технических систем от интервалов между операциями по техническому обслуживанию

Плановое проведение работ по техническому обслуживанию различных инженерных систем позволяет снизить интенсивность их износа и продлить срок службы, уменьшив таким образом эксплуатационные расходы. Помимо этого, достигается высокий уровень надежности и эксплуатационной готовности обслуживаемых элементов систем.

Правильно организованное, технически и экономически обоснованное текущее содержание верхнего строения пути характеризуется следующими признаками:

- своевременным и точно спланированным проведением работ по техническому обслуживанию и замене непригодных к дальнейшей эксплуатации элементов;
- оптимальным использованием имеющихся ресурсов.

Таким образом достигается минимизация эксплуатационных расходов в течение всего срока службы элементов путевой структуры (затрат жизненного цикла).

Стратегия шлифования рельсов

Возрастание скорости движения поездов, осевых нагрузок, требований к надежности и ремонтпригодности привело в 1950-х годах

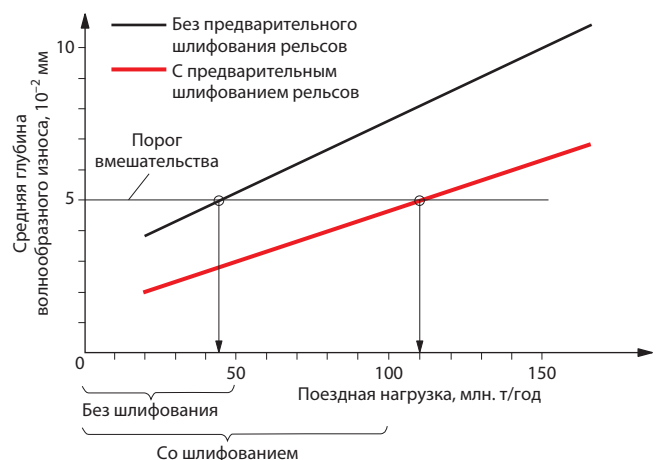


Рис. 2. Пропуск поездной нагрузки до проведения первого корректирующего шлифования рельсов для удаления волнообразного износа при выполнении предварительного шлифования новых рельсов и без него

к созданию и внедрению самоходных рельсошлифовальных машин. Первоначально целями шлифования были устранение волнообразного износа рельсов и сглаживание иных поверхностных дефектов для снижения динамических нагрузок и уровня напряжений в путевой структуре и, следовательно, продления срока службы рельсов, а также повышения плавности хода подвижного состава.

За более чем 50 лет практического использования шлифования рельсов на железных дорогах персоналом служб пути накоплен большой опыт, позволяющий сформулировать следующие положительные результаты внедрения этой технологии:

- увеличение срока службы рельсов;
- удлинение интервалов между очередными циклами технического обслуживания верхнего строения пути;
- улучшение условий эксплуатации подвижного состава;
- снижение уровня шума, издаваемого движущимся подвижным составом.

В процессе шлифования устраняются дефекты различных типов и поддерживается оптимальный профиль рельсов, за счет чего оптимизируется контакт колес и рельсов и, соответственно, снижается уровень вибраций и шума.

Шлифование новых рельсов. Новые рельсы подвергаются шлифованию в целях:

- удаления низкоуглеродистого поверхностного слоя, формирующегося в процессе производства рельсов. Этот слой толщиной 0,15–0,30 мм образуется в результате окисления углерода в области, близкой к поверхности рельса, при температуре их прокатки из слитка. Практический опыт показывает, что удаление данного слоя позволяет существенно продлить продолжительность эксплуатации рельсов до образования волнообразного износа (рис. 2);

- обеспечения на всей длине обрабатываемого участка единства профиля поперечного сечения головки рельсов после их укладки в путь. Необходимость этого обусловлена тем, что после укладки и закрепления рельсов на шпалах они занимают неодинаковое положение и приобретают разную подуклонку, а после шлифования достигается единый, соответствующий заданному профиль, что позволяет реализовать оптимальное пятно контакта колесо — рельс и тем самым улучшить ходовые характеристики подвижного состава;

- устранения повреждений на рабочей поверхности головки рельсов, возникших при укладке пути. К таким повреждениям относятся прежде всего мелкие дефекты от ударного воздействия частиц щебеночно-го балласта, которые необходимо устранить в целях исключения их перерастания в серьезные дефекты и обеспечения нормативного срока службы рельсов.

Волнообразный износ рельсов. Этот дефект представляет собой периодические неровности головки рельса в плане, имеющие длину волны от 1 до 30 см и являющиеся результатом динамического взаимодействия поверхностей катания колес и рельсов. Волнообразный износ в зависимости от длины волны подразделяют на коротковолновый (1–10 см) и длинноволновый (3–30 см); длинные волны называют также волнами скольжения.

Волнообразный износ не исключает дальнейшей эксплуатации рельсов, но увеличивает динамические нагрузки на все верхнее строение пути. Возрастание сил во взаимодействии колес и рельсов приводит к ускорению возникновения и развития дефектов в рельсах, рельсовых скреплениях, шпалах и балласте. Это, в свою очередь, приводит к увеличению расходов на текущее содержание верхнего строения пути и ухудшению ходовых характеристик подвижного состава,

а также к возрастанию уровня возникающих вибраций и шума.

Определяющим фактором изменения геометрии пути являются динамические нагрузки от колес в вертикальном направлении. Так, в кривых большого радиуса длинноволновый износ головки рельса увеличивает сжимающие усилия в балласте примерно на 50%. Принимая во внимание экспоненциальную зависимость между сжимающими усилиями в балласте и нарушениями геометрии пути, можно видеть, что последние в таких условиях возникают примерно в 2 раза быстрее, что приводит к сокращению интервалов между циклами технического обслуживания также примерно в 2 раза.

Динамические силы, возникающие при коротковолновом износе головки рельса, приводят к увеличению напряжений на контактирующих поверхностях колес и рельсов. Это отрицательно влияет на продолжительность срока службы рельсовых скреплений, а также является причиной образования усталостных трещин на рабочих поверхностях рельсов.

Контактная усталость качения. Явления контактной усталости качения приводят к возникновению трещин на поверхности катания рельсов в зоне контакта колесо — рельс. С середины 1980-х годов контактная усталость качения в рельсах стала носить массовый характер и превратилась в один из основных источников проблем для служб пути.

В 1984 г. появилась информация о наличии трещин в выкружке рабочей грани наружных рельсов в кривых. Тогда же было высказано предположение, что частота возникновения таких трещин будет увеличиваться по мере возрастания силы тяги локомотивов. В 1990 г. контактная усталость качения была признана причиной около 30% всех выявленных дефектов рельсов на железных дорогах Германии; на

железных дорогах Японии в конце 1990-х годов этой причине приписывали до 60% дефектов.

Наиболее часто встречающимся дефектом контактно-усталостного происхождения являются микротрещины (волосовины) в выкружке рабочей грани наружных рельсов в кривых радиусом от 300 до 5000 м.

Причиной возникновения микротрещин являются высокие касательные напряжения на рабочих поверхностях головок рельсов, которые многократно повторяются и по амплитуде превышают предел текучести стали. Накопление пластических деформаций приводит к возникновению трещин, глубина которых постепенно увеличивается. В том случае, если трещины своевременно не устранить, произойдет поперечный излом рельса.

В 1996 г. на высокоскоростных линиях железных дорог Германии (DB) отмечены случаи проявления контактной усталости качения нового типа, получившие название Belgrospis по начальным буквам фамилий специалистов, их обнаруживших (Belz, Grohmann, Spiegel). Belgrospis представляет собой сетку трещин, периодически возникающих на поверхности катания между осевой линией головки и рабочей выкружкой рельса на участках с коротковолновым износом. Такие дефекты в случае их развития также могут привести к поперечному излому рельсов.

Еще одним последствием контактной усталости качения являются дефекты на поверхности катания в виде отдельных полукруглых трещин, распространяющихся в направлении рабочей выкружки. Эти дефекты, как и уже упомянутые, могут стать причиной поперечного излома рельсов.

В последние годы по мере возрастания частоты возникновения контактно-усталостных дефектов на рабочих поверхностях рельсов значение шлифования рельсов возрастает. Периодическое удаление

с рабочих поверхностей рельсов слоя металла, в котором наблюдаются усталостные процессы, с восстановлением номинальной геометрии рельсов путем профильного шлифования является в настоящее время единственным эффективным способом исключения возникновения и развития таких дефектов.

Накопленный на железных дорогах многих стран опыт свидетельствует, что продолжительность срока службы рельсов может быть существенно увеличена за счет периодического удаления с поверхности рельсов слоя, подверженного контактно-усталостным напряжениям. По результатам серии испытаний, проведенных Научно-исследовательским институтом железнодорожной техники Японии (RTRI), снятие с рабочей поверхности головки рельса слоя металла толщиной 0,1 мм после пропуска поездной нагрузки 50 млн. т сокращает возникновение усталостных дефектов примерно на 50%. По данным железной дороги Burlington Northern Santa Fe (BNSF, США), в кривых радиусом более 1000 м за счет периодического шлифования рельсов удалось увеличить срок их службы в пересчете на пропущенную поездную нагрузку с 15–40 млн. до 1,0 млрд. т.

Поперечный профиль рельса. Существенное влияние на динамику взаимодействия колес и рельсов оказывают геометрические параметры поперечного профиля рельсов. Любые отклонения от номинальной геометрии рельсов приводят к ухудшению ходовых характеристик подвижного состава и необходимости снижения скорости движения поездов. С помощью профильного шлифования восстанавливается профиль уплощенной головки рельса и удаляются наплывы металла в зоне рабочей выкружки, что позволяет привести параметры взаимодействия пути и подвижного состава к норме.

Шлифование под специальный профиль. За счет соответствующего

управления углом установки каждого вращающегося шлифовального камня возможно шлифование с воссозданием любого специального профиля головки рельса. Геометрические параметры поперечного сечения таких специальных профилей отличаются от симметричных профилей новых стандартных рельсов, и, соответственно, процесс шлифования носит название асимметричного.

Применение асимметричного шлифования преследует следующие цели:

- уменьшение бокового износа головки наружного рельса в кривых малого радиуса. Сдвиг зоны контакта колеса и рельса в сторону рабочей выкружки позволяет увеличить разницу радиусов катания двух колес колесной пары и, соответственно, улучшить направляемость колесных пар;

- предупреждение возникновения контактно-усталостных явлений. Удаление с помощью шлифования определенного количества металла с поверхности выкружки рабочей грани (так называемое перешлифование) позволяет сместить зону контакта колеса и рельса в сторону осевой линии головки рельса, т. е. в область, менее подверженную усталостным напряжениям;

- создание профиля головки рельса, как бы расширяющего колею. В некоторых случаях ширина колеи может оказаться недостаточной, и необходимо перепрофилирование головки рельсов с целью ее увеличения, чтобы обеспечить возможность плавного самоцентрирования колесных пар и предотвратить влияние;

- обеспечение эквивалентной конусности рабочих поверхностей головок рельсов на высокоскоростных линиях. Доведение профиля рельсов до расчетного за счет профильного шлифования позволяет улучшить ходовые характеристики подвижного состава.

Особо обслуживаемый путь. На железных дорогах Германии экс-

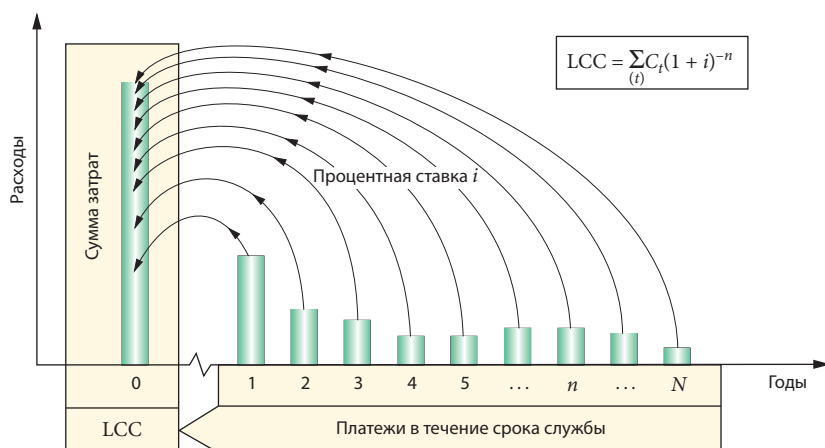


Рис. 3. Схема и формула расчета LCC

планируются отдельные участки линий, называемые *BüG*, на которых применяются особые методы превентивного текущего содержания верхнего строения пути. Здесь реализуется более тщательный контроль состояния рельсов с целью раннего обнаружения и своевременного устранения их волнообразного износа. Основной целью такого подхода является снижение до допустимого уровня излучаемого при движении подвижного состава шума. Контроль состояния рабочих поверхностей рельсов проводится каждые 6 мес с использованием специально разработанного и построенного шумоизмерительно-го вагона. Будучи мерой по активному снижению уровня шума, особое обслуживание пути позволяет исключить некоторые дорогостоящие строительные решения, предназначенные для этих же целей. На участках *BüG* можно добиться снижения уровня более чем на 3 дБ (А).

Интегрированное содержание пути

Интегрированное содержание предусматривает координированное выполнение операций по техническому обслуживанию верхнего строения пути (например, подбивки) и шлифованию рельсов. Основной целью такой интеграции

является проведение шлифования непосредственно по завершении балластировочных и иных сопутствующих работ (желательно в одно ремонтное окно). Устранение дефектов на рабочих поверхностях рельсов и восстановление номинальной геометрии их поперечного сечения позволяет снизить возникающие напряжения и повысить эффективность путевых работ с точки зрения сохранения параметров пути на более длительное время. Последовательное выполнение подбивки пути и шлифования рельсов в одно окно позволяет снизить суммарную плановую стоимость работ, расходы по подготовке места работ (так, при работе в одно окно демонтаж устройств сигнализации осуществляется только один раз), а также сократить финансовые потери от нарушения графика движения поездов.

Экономическая эффективность шлифования рельсов

Анализ различных подходов к организации шлифования рельсов с точки зрения экономической эффективности требует оценки этого процесса в долгосрочном плане. Адекватным методом экономической оценки систем с продолжительным сроком службы, к каким

можно отнести верхнее строение пути, является расчет затрат жизненного цикла (Life Cycle Costs, LCC). При использовании этого метода в зависимости от постановки задачи возможен учет как всех расходов, имеющих место в течение жизненного цикла, так и отдельных групп расходов, возникающих в определенных фазах жизненного цикла.

С целью определения экономического эффекта от применения разных интервалов между очередными операциями по шлифованию рельсов и их заменой метод оценки LCC предполагает рассмотрение сроков возникновения расходов. В связи с этим каждый расход, возникающий в период жизненного цикла, дисконтируется по отношению к определенному году выплат (как правило, это год расчета LCC). Таким образом рассчитываются затраты, которые возникнут в будущем. Основы расчета LCC представлены на рис. 3.

Сложность анализа LCC заключается в необходимости долгосрочного прогнозирования поведения изучаемой системы при заданном уровне нагрузок и определении временных интервалов ассигнований.

На основе всестороннего анализа данных, изучения соответствующей литературы и мнений экспертов в Университете Лейбница (Ганновер, Германия) была выведена эмпирическая функция возникновения дефектов. Использование этой формулы в расчете LCC позволяет делать долгосрочное прогнозирование поведения рельсов в условиях реальной эксплуатации. Кроме того, в дополнение к известным расходам на замену рельсов и текущее содержание пути рассчитан преискурант, позволяющий определять потребность в денежных средствах, необходимых для выполнения сопутствующих работ.

Экономическая эффективность предупреждения волнообразного износа рельсов. Использование ана-

литического метода LCC позволяет определять экономическую эффективность предупреждения интенсивного волнообразного износа рельсов за счет шлифования.

Ниже приведен пример определения эффективности предупреждения интенсивного длинноволнового износа рельсов в кривой радиусом 450 м, которая является характерной с точки зрения образования таких дефектов.

В рассматриваемом примере средний удельный темп нарастания волнообразного износа был принят равным 0,02 мм на 10 млн. т пропуска поезда на грузки. Суммарная нагрузка на рельсы с учетом проследования по участку поездов различных категорий определена равной 23 млн. т в год, а интервал между очередными операциями по подбивке пути — 6 годам (ориентировочное значение). Удельная расчетная стоимость процесса шлифования составила 4,40–5,05 евро/м в зависимости от количества металла, который необходимо удалить с поверхности рельсов. Удельная теоретическая стоимость подбивки пути в кривой рассчитана как равная 28,14 евро/м (с учетом стоимости сопутствующих работ и материалов).

Общие затраты LCC (в данном примере жизненный цикл принят равным 50 годам) рельсов пересчитывались на ежегодные. В расчетах учтены ставка по кредитам в разме-

ре 8% годовых и величина ежегодной инфляции в размере 2%.

На рис. 4 схематично представлены пять вариантов организации работ по шлифованию рельсов и подбивке пути с различными временными интервалами, а также сведения об экономической эффективности предупреждения интенсивного волнообразного износа рельсов за счет шлифования. Из приведенных данных следует, например, что при сокращении цикличности шлифования с 4 до 2 лет удельная экономия составляет 7,35 евро/м в год. Если принять во внимание расходы, вызываемые вынужденными изменениями графика движения поездов по рассматриваемому участку, дополнительная экономия составит 10,74 евро/м в год.

Экономическая эффективность предупреждения дефектов контактно-усталостного происхождения в рельсах. Для проведения расчетов эффективности использования периодического шлифования рельсов в целях предупреждения возникновения усталостных дефектов на их рабочих поверхностях был рассмотрен участок кривой радиусом 1500 м, которая является характерной с точки зрения образования микротрещин (волосовин) на наружном рельсе. И для внутреннего, и для наружного рельса удельный темп нарастания износа был принят равным 1,0 мм на 100 млн. т пропуска поезда на грузки, сред-

негодовой объем грузовых перевозок — 20 млн. т, а допустимая глубина износа рельсов — 14 мм (на сети DB такая глубина износа считается допустимой для рельсов типа UIC 60 при максимальной скорости движения 160 км/ч).

В реальной эксплуатации продолжительность срока службы наружного рельса в кривых радиусом от 300 до 5000 м лимитируется возникновением и развитием микротрещин в головке. Темп распространения таких дефектов зависит от динамических напряжений, возникающих в головках рельсов, и характеристик металла в непосредственной близости от трещин.

У какой именно из микротрещин возможно ускоренное распространение в глубину, спрогнозировать в настоящее время не представляется возможным, поскольку на этот процесс влияет большое количество факторов. В рассматриваемом примере, основываясь на опыте, полученном в условиях реальной эксплуатации, для определения темпа возможного распространения трещины в глубину использована экспоненциальная функция. Допустимая глубина распространения трещины от поверхности рельса принята равной 2,7 мм. Такая глубина является максимальной для обнаружения с помощью метода вихревой дефектоскопии, используемого на сети DB. С помощью этого метода обнаружить более глу-

| Вариант | | Годы | | | | | | | | | | | | |
|---------|------------|------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|-----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | ... |
| 1 | Шлифование | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | ... |
| | Подбивка | | | | | | × | | | | | | × | ... |
| 2 | Шлифование | | × | | × | | × | | × | | × | | × | ... |
| | Подбивка | | | | × | | | | × | | | | × | ... |
| 3 | Шлифование | | | × | | × | | | × | | | × | | ... |
| | Подбивка | | | × | | | × | | | × | | | × | ... |
| 4 | Шлифование | | | | × | | | | × | | | | × | ... |
| | Подбивка | | | × | × | | | × | × | | | × | × | ... |
| 5 | Шлифование | | | | | × | | | | | × | | | ... |
| | Подбивка | | | × | × | × | | | × | × | × | | | ... |

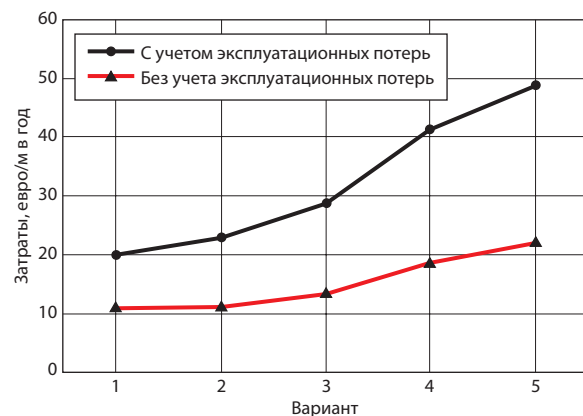


Рис. 4. Различные варианты организации текущего содержания пути и их экономические показатели

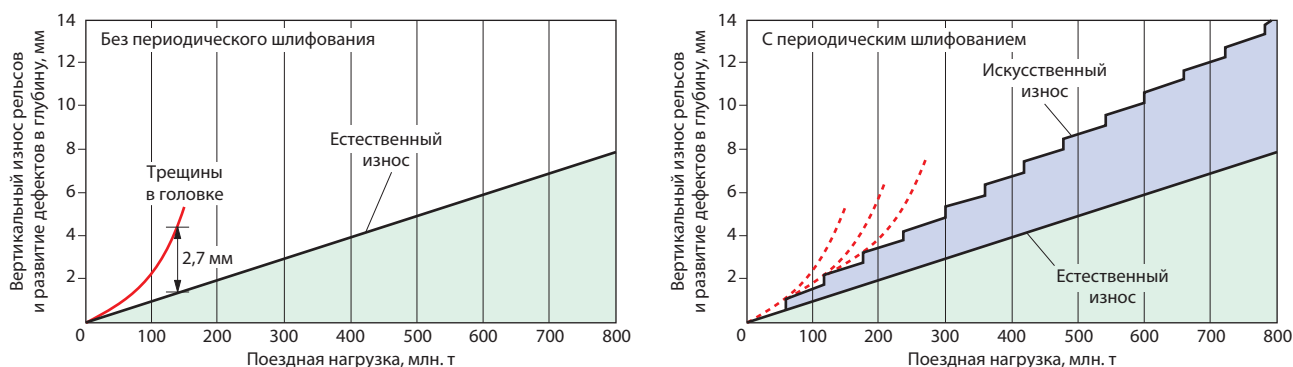


Рис. 5. Темпы износа и развития трещин в головке наружного рельса кривой при периодическом шлифовании рельсов и без него

бокие трещины невозможно, и, следовательно, дефекты, которые могут привести к быстрому разрушению рельса, могут остаться невыявленными. В связи с этим рельсы, имеющие трещины глубиной более 2,7 мм, необходимо изымать из эксплуатации.

За счет периодического удаления с поверхности рельсов слоя металла, подверженного усталостным напряжениям, возможны контроль темпа развития трещин и продление срока службы рельсов. На рис. 5 совмещены показатели износа рельса и темпа увеличения глубины трещин. Как следует из верхнего графика, который соответствует рельсам, не подвергавшимся периодическому шлифованию, они вырабатывают свой ресурс после пропуска 140 млн. т поездной нагрузки. На нижнем графике приведена аналогичная зависимость для рельсов, подвергавшихся периодическому шлифованию. Видно, что принудительное удаление поверхностного слоя металла позволяет контролировать процесс развития трещин в глубину, продлить срок службы рельсов и существенно увеличить их допустимый износ (в рассматриваемом случае он составляет 14 мм). Шлифование рельсов после пропуска каждых 60 млн. т поездной нагрузки (примерно один раз в три года) при допустимой величине износа 14 мм позволяет увеличить продолжительность эксплуатации до пропуска поездной

нагрузки 800 млн. т, что соответствует примерно 40 годам службы. В связи с тем что увеличение глубины трещин носит экспоненциальный характер, теоретический срок службы наружного рельса кривой зависит от продолжительности интервалов между очередными операциями шлифования. Чем чаще обрабатывается рельс, тем меньше толщина слоя металла, который необходимо удалить с его головки, и тем продолжительнее срок его службы.

В целях определения экономической эффективности периодического шлифования рельсов стоимость этого процесса сопоставлялась со стоимостью замены рельсов на новые с использованием метода ЛСС. На рис. 6 представлен график, отражающий расчет ЛСС для периода продолжительностью 50 лет и трех разных вариантов организации текущего содержания пути:

- вариант 0 — без шлифования;
- вариант 1 — периодическое шлифование с интервалом в 3 года (60 млн. т поездной нагрузки), удельные расходы на выполнение этой операции — 5,05 евро/м;
- вариант 2 — периодическое шлифование с интервалом в 6 лет (120 млн. т поездной нагрузки), удельные расходы на выполнение этой операции — 13,82 евро/м.

Стоимость шлифования зависит в первую очередь от толщины снимаемого слоя металла и, кроме того, включает в себя оплату труда пер-

сонала и использования оборудования, расходы на контроль состояния верхнего строения пути, обеспечение безопасности и планирование работ.

Удельная стоимость замены одного рельса на участке пути длиной 1000 м принята равной 100,52 евро/м, а двух рельсов одновременно — 149,26 евро/м.

При организации текущего содержания пути по варианту 0 срок службы внутреннего рельса кривой приняли равным 25 годам. При вариантах 1 и 2 срок службы внутреннего и наружного рельсов выравнивается и замену обоих рельсов можно осуществлять одновременно. Анализ данных, приведенных на рис. 6, свидетельствует о существенном снижении расходов на текущее содержание пути при регулярном шлифовании рабочих поверхностей рельсов. По мере отдаления срока, в который возникает необходимость расходования денежных средств, скачки стоимостной функции сглаживаются. В конце 50-летнего периода эксплуатации остаточная стоимость рельсов может рассматриваться как доход.

Результаты расчета ЛСС свидетельствуют об экономической эффективности шлифования рельсов в целях продления их срока службы. Даже 6-летний интервал между очередными операциями шлифования продлевает срок службы рельса до 27 лет. При удельной стоимости шлифования 2,55 евро/м в год ве-

личину LCC можно уменьшить на 12,25 евро/м в год. Сокращение интервала шлифования до 3 лет позволяет увеличить срок службы рельса до 40 лет. Стоимость удельных ежегодных затрат на шлифование остается при этом примерно такой же, а величина LCC снижается на 2,29 евро/м в год.

40-летний срок службы рельсов примерно соответствует прогнозируемому сроку службы железобетонных шпал. Это означает, что за счет периодического шлифования рабочих поверхностей рельсов возможна одновременная комплексная замена этих элементов верхнего строения пути после 40 лет эксплуатации, что позволит существенно сократить связанные с этим перерывы в движении поездов на ремонтируемых участках и введение ограничений скорости.

Представляет интерес сопоставление результатов расчета LCC для вариантов 1 и 2 организации текущего содержания пути в первые несколько лет эксплуатации. С точки зрения среднегодовых затрат различие между шлифованием рельсов через 3 года и через 6 лет не существенно. Однако ввиду увеличения продолжительности срока службы рельсов шлифование через 3 года является значительно более эффективным. Если сделать интервалы между шлифованием короче, чем 3 года, срок службы рельсов увеличится еще более, но при этом уменьшение удельных LCC до замены изношенных рельсов на новые не компенсирует повышенных удельных годовых затрат на шлифование.

С целью определения оптимальных интервалов между очередными операциями шлифования рабочих поверхностей рельсов были проведены расчеты среднегодовых затрат на замену рельсов и выполнение шлифования с целью устранения упомянутых ранее микротрещин при различных темпах их развития.

В расчетах принято, что распространение этих дефектов на максимальную глубину 2,7 мм происходит по варианту 1 после пропуска поездной нагрузки 90 млн. т, по варианту 2 — после пропуска 135 млн. т, по варианту 3 — после пропуска 180 млн. т.

Приведенные на рис. 7 результаты расчетов в очередной раз свидетельствуют о высокой экономической эффективности периодического шлифования рельсов. Любая стратегия шлифования лучше, чем ее отсутствие. Для устранения усталостных дефектов наиболее экономичными являются интервалы между шлифованием, соответствующие пропуску от 40 до 80 млн. т поездной нагрузки. Более частое шлифование не повышает экономическую эффективность эксплуатационного процесса. Так, при ежегодном шлифовании экономия от продления срока службы рельсов не покрывает расходов на выполнение этой операции.

Расходы, связанные с вводом ограничений скорости движения поездов во время шлифования рельсов, не влияют на выбор интервалов между очередными операциями шлифования рельсов. Однако высокие расходы, связанные с ограничениями скорости при замене рельсов, повышают эффективность шлифования.

Оптимизация интервалов между шлифованием. Приведенные примеры использования аналитического метода LCC показывают, что оптимальная длительность интервалов между шлифованием зависит от типа и величины дефектов, возникающих на рабочих поверхностях рельсов, и стоимости их устранения. В кривых с длинноволновым износом рельсов и микротрещинами в головке параметром, определяющим интервалы между шлифованием с целью устранения микротрещин, является пропуск поездной нагрузки. В кривых с проявлением дефектов контактно-усталостного происхождения оптимальный интервал между шлифованием находится в диапазоне от 40 млн. до 80 млн. т, в кривых большого радиуса и прямых — в диапазоне от 80 млн. до 120 млн. т поездной нагрузки.

Шлифование рельсов на участках пути с высокоскоростным движением требует отдельного рассмотрения. Во избежание появления в рельсах напряжений, превышающих допустимые, их рабочие поверхности должны быть идеально ровными, и рекомендуемые интервалы между шлифованием составляют 10 млн. — 50 млн. т поездной нагрузки.

Оптимизация планирования. Шлифование рельсов должно быть спланировано таким образом, что-

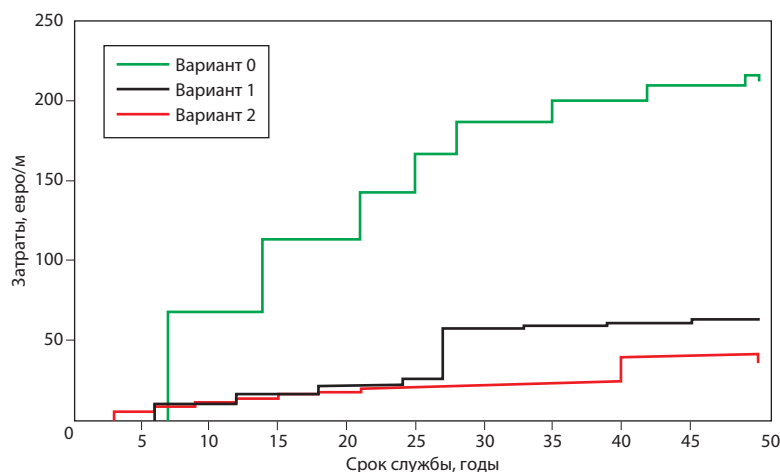


Рис. 6. Величины LCC для разных вариантов организации текущего содержания пути

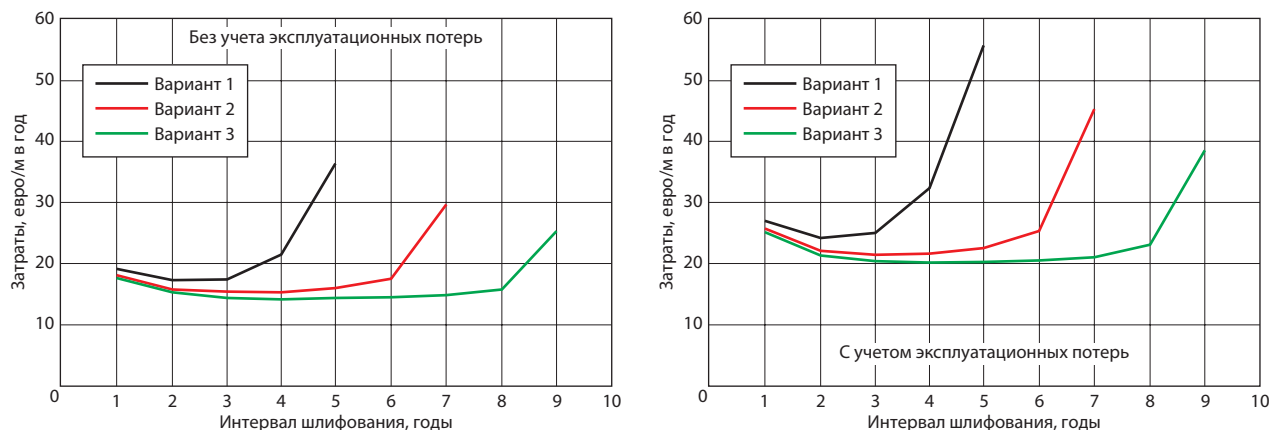


Рис. 7. Величины LCC для разных вариантов цикличности шлифования рельсов

бы реализовать максимально возможную производительность используемых рельсошлифовальных машин с целью снижения удельных расходов на обработку рельсов. Стоимость использования рельсошлифовальной машины в течение одной рабочей смены составляет 20 тыс. – 25 тыс. евро, т. е. стоимость одной минуты работы равна 40–50 евро. В связи с этим необходимо эффективно использовать максимальную производительность машины и по возможности исключить простои и холостые пробеги.

На рис. 8 приведена зависимость длины рельсов, отшлифованных за 1 ч работы машины, от протяженности обрабатываемого участка при различных параметрах, определяющих непроизводительное использование рельсошлифоваль-

ной машины, и необходимости 5- и 10-кратного прохода машины по участку (в расчетах длина машины принята равной 80 м, рабочая скорость – 5 км/ч, ускорение и замедление – 0,5 м/с²). Как видно, эффективное использование машины невозможно на участках длиной менее 500 м. Кроме того, необходимо обеспечить минимальный непроизводительный пробег рельсошлифовальной машины между участками, подлежащими последовательной обработке. Если на одном маршруте расположены два участка с рельсами, подлежащими шлифованию, необходимо определить, когда эта операция потребует для участка, расположенного между ними. При плановом сроке шлифования рельсов на промежуточном участке, отличающемся менее чем на 1 год от

срока проведения работ на первых участках, экономически целесообразно обработать все три участка одновременно. Если промежуточный участок подлежит шлифованию через несколько лет, его одновременную с первыми участками обработку проводить не следует, и в таком случае ожидание планового срока является оправданным.

Использование аналитического метода LCC позволяет определить целесообразность одновременного шлифования рельсов на промежуточном участке при наступлении срока проведения этой процедуры на двух смежных с ним участках. Так, на рис. 9 в качестве примера приведены данные о стоимости обработки двух участков, не соседствующих между собой, и участка, расположенного между ними, ко-

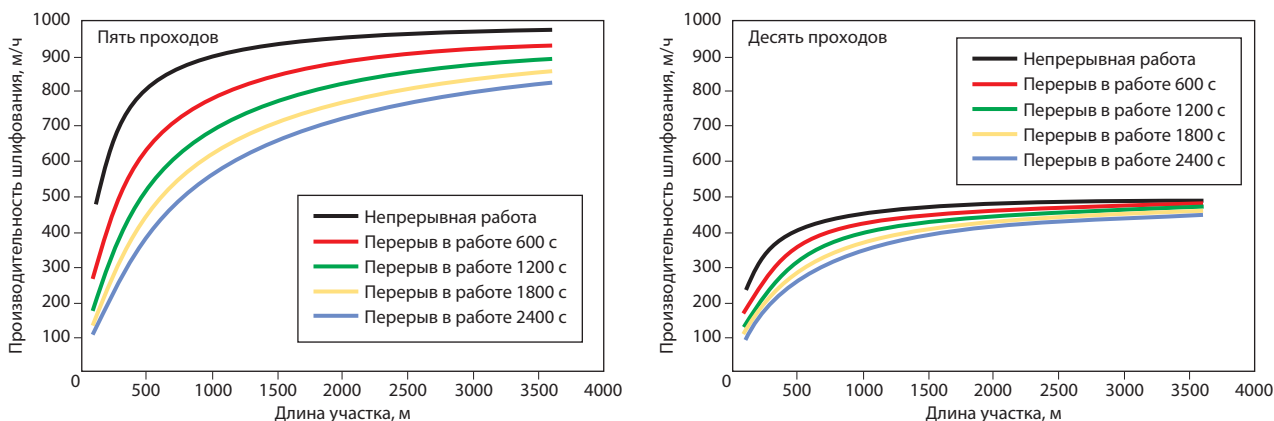


Рис. 8. Производительность шлифования рельсов в зависимости от длины обрабатываемых участков пути

гда необходимо обработать только первые два участка. Для сопоставления на этом же рисунке приведена стоимость отдельного шлифования промежуточного участка через несколько лет, когда этого реально потребует фактическое состояние уложенных на нем рельсов. Приведенные стоимостные данные рассчитаны для рельсошлифовальных агрегатов различной длины. В расчетах LCC для данного примера стоимость использования рельсошлифовальной машины в течение одной смены принята равной 25 тыс. евро. Сделано также допущение, что для достижения заданного результата шлифования необходимо сделать пять проходов машины по каждому из участков.

Рекомендации. Для технической и экономически обоснованного планирования шлифования рельсов необходимо учитывать следующее:

- выполнение периодического профилактического шлифования вместо корректирующего шлифования для устранения уже возникших и обнаруженных дефектов в рельсах следует реализовывать на участках пути с точно предсказуемым состоянием рельсов — там, где возникают контактно-усталостные дефекты, и в кривых малого радиуса, где имеет место волнообразный износ рельсов с большой длиной волны;

- важным фактором повышения эффективности шлифования является оптимальное планирование маршрутов и выбор рабочих мест с объединением по возможности обрабатываемых участков в целях максимального использования производительности рельсошлифовальных машин и сокращения их холостого пробега (обработка участков длиной менее 500 м допускается только в исключительных случаях);

- оптимальное и согласованное со всеми заинтересованными сторонами планирование выделяемых перерывов в движении (окон) для

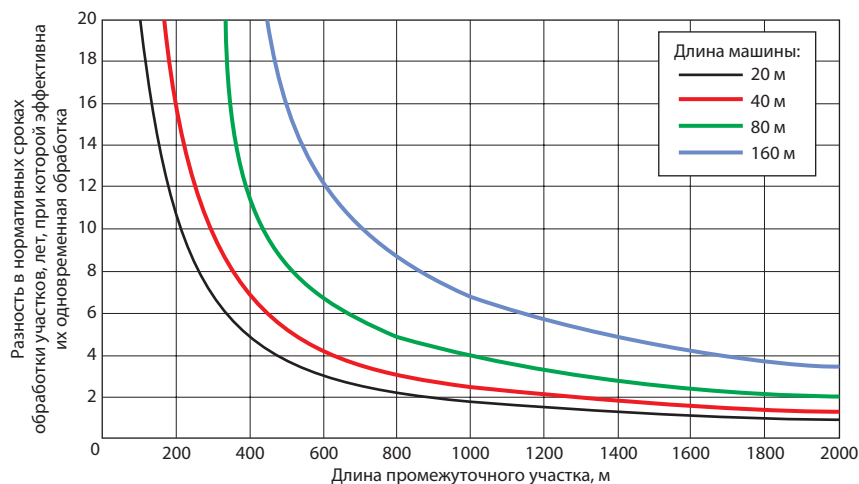


Рис. 9. Экономическая эффективность шлифования рельсов на промежуточном участке

проведения профилактического периодического шлифования определенных участков пути позволяет координировать проведение этих работ с движением поездов и, соответственно, снижать потери, возникающие из-за нарушения графиков движения;

- в целях сокращения непроводительных (холостых) пробегов рельсошлифовальных машин целесообразно, если это возможно, создание пунктов их отстоя вдоль обрабатываемых линий.

Выводы

Использование аналитического метода LCC показывает, что за счет периодического профилактического шлифования рабочих поверхностей рельсов возможны сокращение расходов, связанных с устранением вредных воздействий микротрещин, возникающих в кривых участках пути, примерно на 50%, а также продление на магистральных линиях срока службы наружных рельсов в кривых большого радиуса до 40 лет.

Обеспечение гладкости рабочей поверхности рельсов позволяет снизить динамическое воздействие подвижного состава на путь и, соответственно, уровень напряжений. Применение периодического

шлифования позволяет увеличить продолжительность срока службы рельсов, уложенных на железобетонных шпалах, до 40 лет при условии соблюдения сроков и объемов планового технического обслуживания пути.

Тщательно спланированное использование рельсошлифовальных машин приводит к дополнительному повышению экономической эффективности технологии шлифования. Как свидетельствует международная практика, затраты времени на рабочие операции, связанные с процессом шлифования (собственно шлифование, возвращение машины к началу обрабатываемого участка для повторного прохода, измерения, очистка рабочих поверхностей от продуктов шлифования), составляют 60% общего времени использования рельсошлифовальных машин. Если окажется возможным увеличить этот показатель до 70%, удельная стоимость шлифования будет снижена на 14%. Для сети DB при расчетных годовых потребностях в финансировании шлифования рельсов на уровне 50 млн. — 60 млн. евро это позволит гарантированно экономить около 8,4 млн. евро в год.

T. Hempe, T. Siefer. Rail Engineering International, 2007, № 3, p. 6–12.