



ЯНОШ БЕЛИ, директор Центра диагностики верхнего строения пути МАВ,
ИШТВАН НЕМЕТ, специалист

Основные условия возникновения микротрещин. Усталостные повреждения рельсов за последнее время начали интенсивно появляться на сети Венгерских государственных железных дорог (МАВ). Это наблюдалось, например, на магистральной линии Будапешт—Хедьешхалом. Еще несколько лет назад практически ни одного дефекта в виде микротрещин (английское название *head checking*) на выкружке головки рельса не отмечалось. Очевидно, эти дефекты станут частью ежедневной заботы венгерских специалистов.

Микротрещины типа *head checking* могут образоваться на путях любого типа, но особенно их наличие характерно для кривых с большим недостатком возвышения наружного рельса и в стрелочных переводах, где нет подуклонки рельсов. Распределение напряжений при односточечном контакте колеса и рельса представлено на рис. 1.

С уменьшением радиуса кривой точка контакта и, следовательно, место возникновения микротрещин перемещается в сторону рабочей грани рельса (рис. 2).

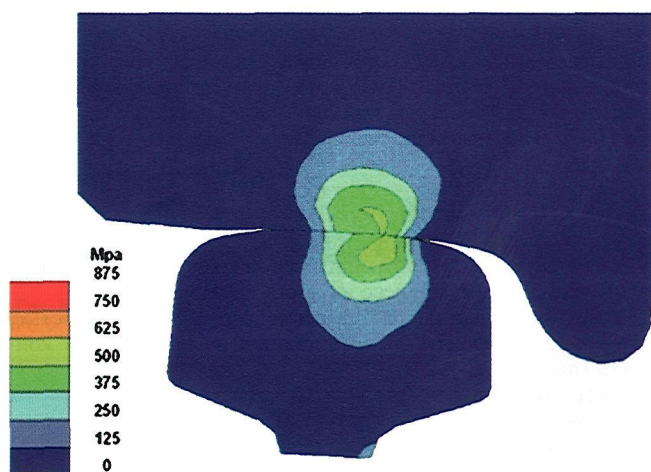
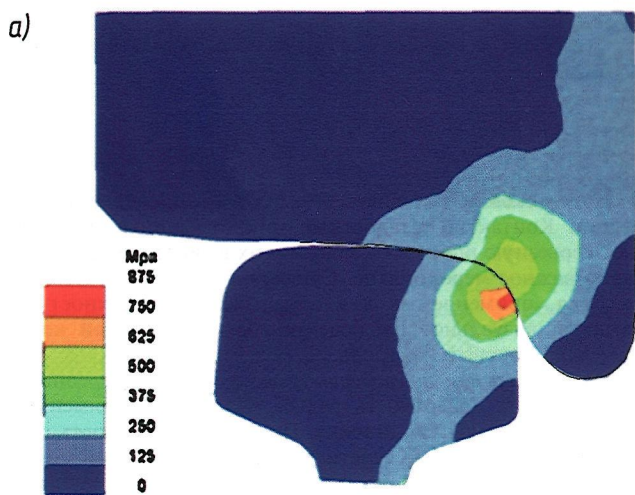


Рис. 1. Распределение напряжений при односточечном контакте колеса и рельса



Микротрещины типа *head checking* возникают как на новых рельсах, лежащих в пути меньше одного года, так и на очень старых. Сейчас их фиксируют также на рельсах, эксплуатируемых 30 лет, на которых раньше не выявляли такие дефекты.

Микротрещины могут быть одиночными, но более характерно их распространение на длинном участке пути. Трещиноватость появляется как тонкий, замкнутый ряд малых, параллельно и близко расположенных друг к другу трещин, расстояние между которыми составляет 2—3 мм (рис. 3), а более длинные размещаются друг от друга на 10—20 мм.

Контактно-усталостные дефекты за последнее время изучали достаточно глубоко, и многократно публиковались результаты исследований. В общем случае трещины от усталостных повреждений в местах качения колеса по рельсу возникают из-за чрезмерного воздействия колеса на рельс. Силы трения в месте контакта «колесо—рельс» (в продольном и поперечном направлениях) на поверхности вызывают сжатие и растяжение кристаллической решетки металла. Микротрещины головки образуются и развиваются прежде всего там, где явно выражено основное направление движения (двухпутные линии) или на участках тяги (крутые подъемы и места разгона поездов на однопутных линиях).

Высокие контактные напряжения между колесом и рельсом способствуют возникновению микротрещин, и главной причиной в развитии микротрещин *head checking* считается сдвиг между контактирующими поверхностями колеса и рельса (рис. 4). Это происходит и на линиях с преимущественно грузовым движением с большой грузонапряженностью при курсировании современных локомотивов с большой осевой нагрузкой. Поскольку они развивают большие сдвигающие усилия, можно утверждать, что этот дефект на сети МАВ появился за последнее время вследствие использования современных локомотивов.

Путейцам и механикам предстоит сообща предпринимать меры по уменьшению или ограничению продольных сдвигающих сил, а также выполнить комплексный анализ для оптимизации контакта колеса и рельса.

Влияние воды и смазки на развитие усталостных микротрещин. Лабораторные исследования показали, что контакт-

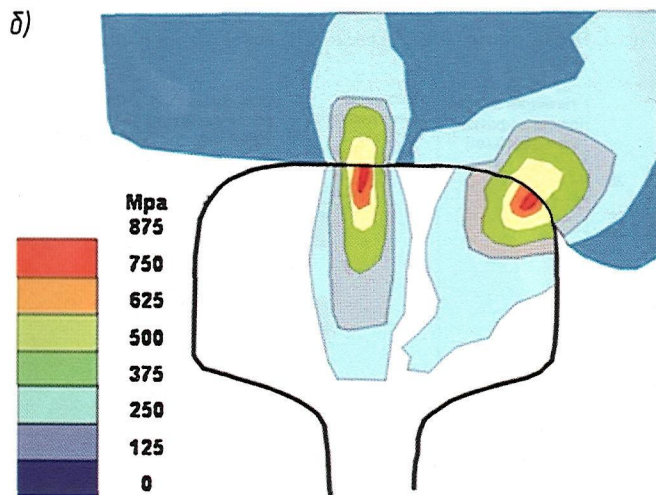


Рис. 2. Распределение напряжений при односточечном (а) и двухточечном (б) контактах колеса и рельса в кривых участках пути (осевая нагрузка 225 кН)

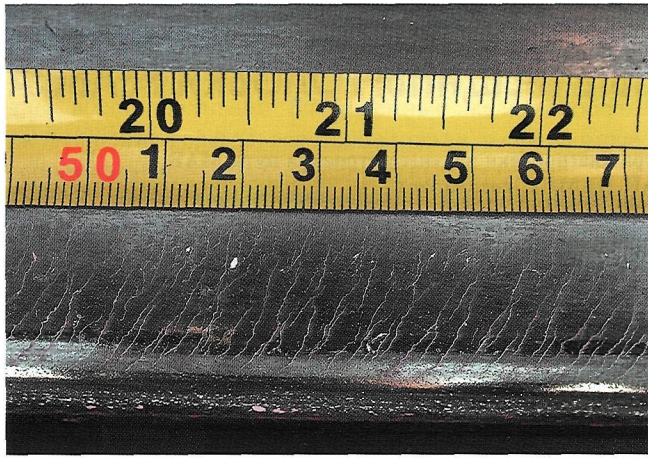


Рис. 3. Густое расположение дефектов head checking

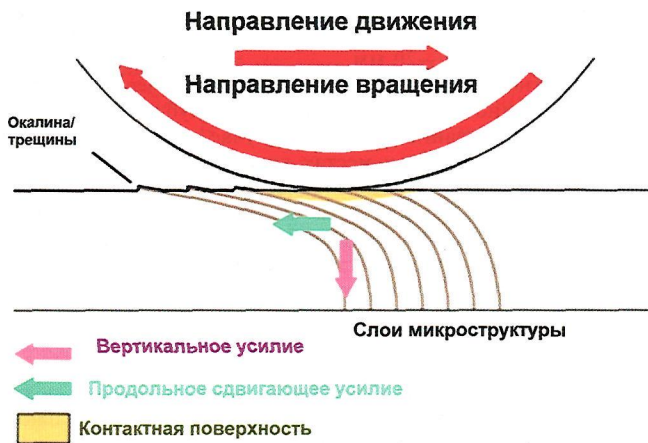


Рис. 4. Поведение колеса и рельса на участках разгона при курсировании современных локомотивов, вызывающих повышенные сдвигающие усилия

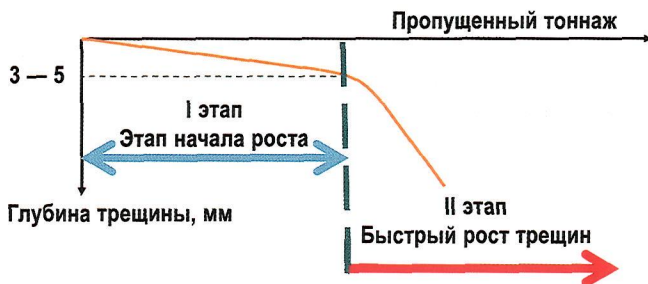


Рис. 5. Этапы развития head checking на основании материалов ÖBB

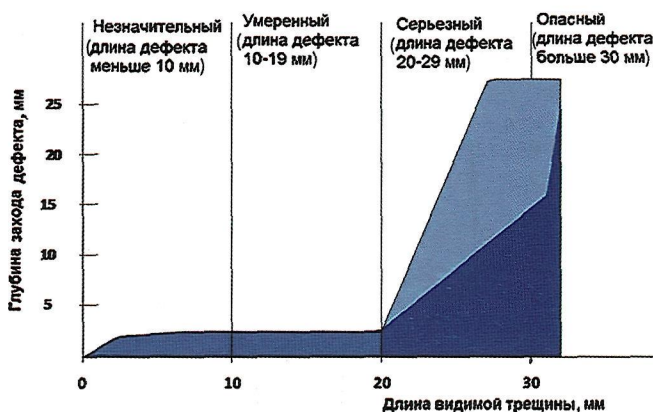


Рис. 6. Развитие и классификация дефектов head checking на основании инструкции RAILTRACK

ные усталостные дефекты возникают чаще в сухих, с большим трением условиях. В то же время рост трещин предопределяет наличие жидкости (вода, масло). На пути вода появляется после осадков и может остаться в трещинах головки рельса, тогда как поверхность рельса кажется сухой. Масло попадает на рельс из лубрикаторов или из двигателей локомотивов.

Если вследствие высоких контактных напряжений сдвига уже появились микротрещины, присутствие жидкости при проезде поездов будет провоцировать их рост. Закрытая в трещинах жидкость обуславливает очень высокое местное сжимающее напряжение.

Этапы роста микротрещин и различные стадии выкрашивания. По исследованиям Австрийских железных дорог (ÖBB), этапы развития микротрещин можно представить диаграммой, показанной на рис. 5.

Развитие дефектов head checking можно разделить на два этапа в зависимости от пропущенного тоннажа: первый — начало роста микротрещины, здесь ее глубина увеличивается прямо пропорционально длине, и при этом длина не превышает 20 мм. На втором этапе глубина трещины быстро растет, что угрожает безопасности движения. Темп развития дефекта непредсказуем, в любой момент может произойти излом рельса.

Развитие контактно-усталостных трещин на основании инструкции RAILTRACK для железных дорог Великобритании представлено на рис. 6.

Дефекты head checking классифицируются по четырем категориям. Эта инструкция устанавливает важный критерий: если длина трещины достигает или превышает 20 мм, то это означает непосредственную угрозу для безопасности движения. Такой же критерий также заложен в системе оценки МАВ.

После того, как микротрещины проходят через прочный слой верхней поверхности головки рельса, они развиваются дальше вглубь под углом примерно 30° (см. рис. 3). Одновременно с этим длина поверхностных трещин тоже растет примерно до 20 мм.

Выкрашивание на выкружке головки рельса с head checking начинается при малой глубине трещины — от поверхностной до 1 мм.

Если глубина микротрещин в головке рельса достигает примерно 3—5 мм, процесс их роста изменяется:

соседние трещины растут совместно под поверхностью, что позже приводит к выкрашиванию на поверхности контакта (рис. 7);

видимая трещина растет на поверхности катания, вместе с тем меняя направление развития и под значительным углом проникает вглубь головки рельса.

Массовое выкрашивание на поверхности катания возникает в результате совместного роста микротрещин, на что показывают темные пятна — пустоты под поверхностью головки (рис. 8). В таких местах часто возникают сматия на поверхности катания, которые издавна видны невооруженным глазом. В случае достижения микротрещиной глубины 3—5 мм (длина трещины на поверхности превышает 20 мм), возникает возможность роста трещин с большой скоростью под углом 90° (поперек головки рельса). Наступает опасность его излома. После начальных выкрашиваний на всей длине дефектного участка образуется непрерывная продольная трещина (рис. 9).

Методы контроля, применяемые для выявления микротрещин. Контактно-усталостные микротрещины представляют серьезную опасность, поэтому их выявление исключительно важное мероприятие. Существует несколько методов контроля, применяемых для обнаружения поверхностных дефектов: визуальное наблюдение, пенетрационный контроль, вихретоковый контроль.

При визуальном наблюдении можно выявить трещины, выходящие на поверхность рельса. Для этого применяют лупу и измерительную линейку. При этом поверхность следует очистить и хорошо осветить. Это самый простой метод, с его помощью можно установить длину микротрещин и этап их развития.

Пенетрационный контроль — очень чувствительный метод для выявления поверхностных дефектов, неодно-

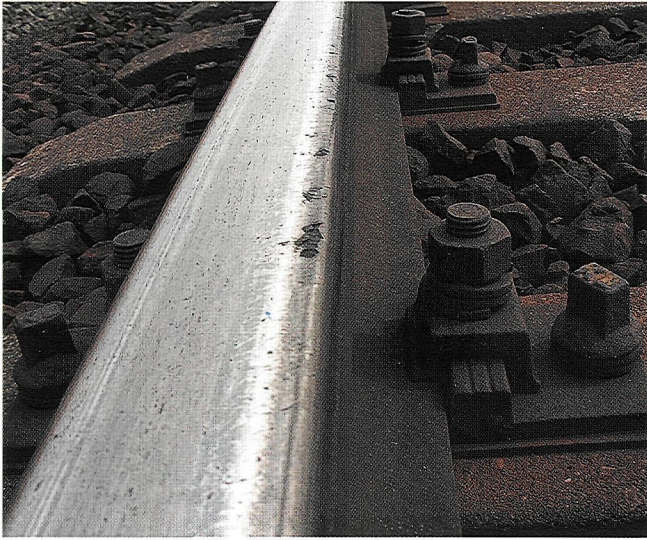


Рис. 7. Выкрашивание на поверхности контакта



Рис. 8. Под темными пятнами трещины head checking уже срослись



Рис. 9. Образование единой продольной трещины

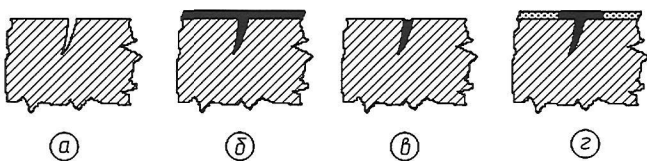


Рис. 10. Процесс пенетрационного контроля:
 а — подготовка, чистка поверхности; б — нанесение пенетрационной жидкости на контролируемую поверхность; в — удаление лишней жидкости; г — проявка, оценка

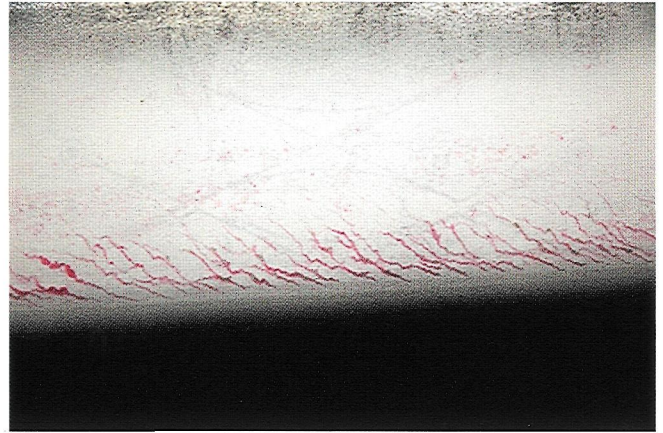


Рис. 11. Результат пенетрационного контроля микротрещин на поверхности рельса

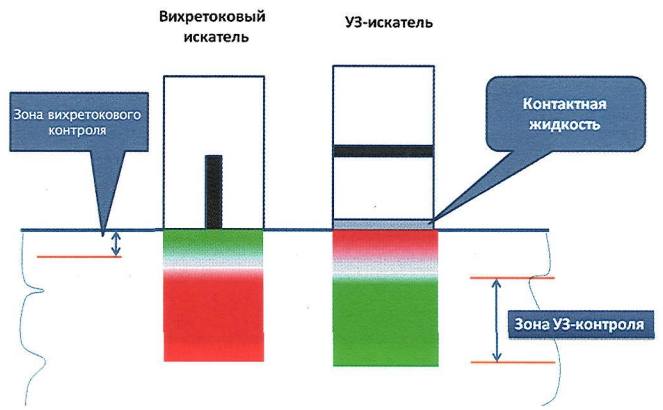


Рис. 12. Зоны вихрекового и УЗ-контроля



Рис. 13. Характерные места появления дефектов head checking в простых стрелочных переводах

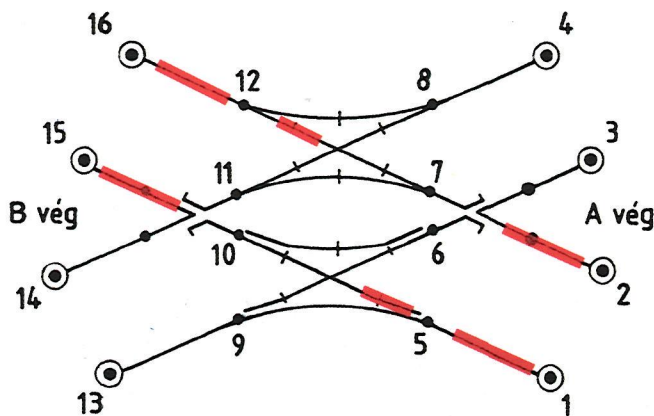


Рис. 14. Характерные места появления дефектов head checking в перекрестных стрелочных переводах

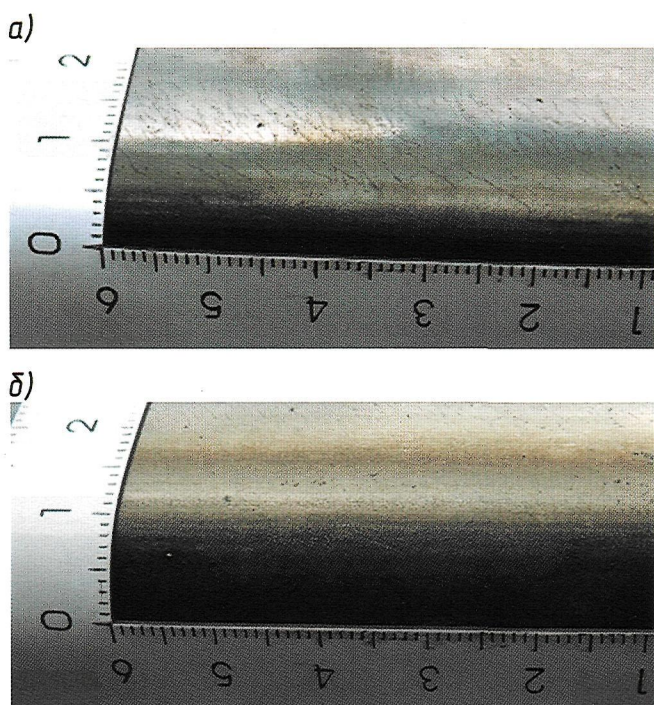


Рис. 15. Дефект head checking на стандартном (а) и закаленном (б) рельсах



Рис. 16. Микротрещины по обе стороны сварного стыка (в самом сварном стыке нет трещины)

родностей рельса, выступающих на его наружную поверхность. Последовательность необходимых операций приведена на рис. 10. Этот метод очень наглядно выявляет усталостные микротрещины (рис. 11).

Вихрековый контроль основан на регистрации изменений электрических параметров вихрекового датчика дефектоскопа, вызванных взаимодействием поля вихревых токов, возбужденных датчиком в контролируемом изделии из электропроводящего материала, с полем самого датчика. Результирующее поле содержит информацию об изменении электропроводности и магнитной проницаемости, обусловленных наличием в металле структурных неоднородностей или нарушений сплошности изделия.

Этот метод контроля до сих пор не применялся в диагностической системе МАВ для выявления поверхностных дефектов. Однако целесообразно немедленно ввести его в систему диагностики, потому что только таким методом можно с большой уверенностью определить глубину микротрещин в начальной стадии их развития.

Устранение шлифованием неглубоких микротрещин позволит сократить расходы на содержание пути.

Для выявления дефектов внутри головки рельсов применяют ультразвуковой и вихрековый (до малой глубины) методы контроля.

Ультразвуковой метод с помощью излучения и приема ультразвуковых колебаний и дальнейшего анализа их амплитуды и других параметров обнаруживает дефекты в материале изделия. Для этого используют специальное оборудование — ультразвуковой дефектоскоп.

Необходимо четко представлять зоны применения этих двух инструментальных методов, чтобы выбрать наиболее подходящий из них для заданной цели и введения в систему диагностики.

На рис. 12 хорошо видно, какие зоны применения имеют вихрековый и УЗ-контроль. Поверхностные дефекты хорошо выявляются вихрековым методом, глубина контроля 2—3 мм.

Ультразвуковым методом верхний слой с толщиной 4—5 мм не контролируется уверенно, потому что попадает в мертвую зону ультразвука.

Центр диагностики верхнего строения пути МАВ несколько лет проводит исследования для разработки специальных УЗ-преобразователей для выявления микротрещин.

В зоне контакта колеса и рельса в результате действия поверхностного давления и внутренних сил возникают пластические деформации и наклеп металла на поверхности катания. Эти контактные зоны и поверхность катания имеют разную окраску.

Европейские железные дороги проводили множество исследований для выявления причин усталостных контактных повреждений и мест их появления, в том числе образования микротрещин типа head checking на кривых участках. В кривых малого радиуса дефекты head checking, как правило, не возникают, в таком диапазоне радиусов характерным является только износ. Такие дефекты появляются в кривых с радиусом от 300—500 м до 5000 м. Венгерские исследования показали такие же результаты.

Элементы стрелочного перевода, на которых отмечается подавляющее большинство дефектов, отражены на рис. 13—14. Для простого стрелочного перевода на рис. 13 красным цветом показаны наиболее характерные места появления дефектов, желтым цветом обозначены места, где дефекты возникали реже. Для перекрестных стрелочных переводов места частого появления дефектов head checking показаны на рис. 14. На кривых участках пути микротрещины появляются на наружной рельсовой нити и нередко сопровождаются боковым износом.

Взаимосвязь между качеством стали рельса и зарождением дефектов head checking. В рамках проекта INNOTRACK были проведены исследования, во время которых анализировали сопротивляемость стандартных (сырых) и термоупрочненных рельсов усталостному повреждению, вызванному контактом качения колеса по рельсу. Из приведенного рис. 15 видно, что на стандартном рельсе дефекты head checking появляются, а на закаленном их не обнаружено.



Рис. 17. Микротрещина только в сварном стыке

В ходе испытаний наблюдались некоторые интересные явления в переходных зонах — на участках рельсов с разной прочностью стали. Из специальной международной литературы известно, что возникновение дефекта head checking в большой мере зависит от качества и прочности рельсовой стали. Иногда прочность на разрыв сварного шва больше, чем прочность примыкающего рельса (рис. 16), в другом случае как раз наоборот, примыкающие рельсы прочнее, чем материал сварного шва (рис. 17). В ходе исследований МАВ установлено, что дефекты head checking могут появиться на отдельных, очень коротких участках, например в изолирующем стыке (рис. 18). К сожалению, выявить дефекты в таких мес-



Рис. 18. Микротрещина в клееболтовом изолирующем стыке

тах очень сложно, это требует очень тщательного измерения.

Заключение. Несмотря на то, что специалисты-путейцы МАВ глубоко изучили опыт западных железных дорог по выяснению причин и условий появления дефектов head checking, а также методы их выявления и оценки, осталось много неопределенности в части прогнозирования развития этих микротрещин. Поскольку эти дефекты представляют собой острую угрозу для безопасности движения, предотвращение их появления и ликвидация являются актуальной проблемой для железной дороги. Решение подобной задачи целесообразно при объединении усилий специалистов разных стран.

НОВАЯ КОНСТРУКЦИЯ ПУТИ НА СПЛОШНОМ БЕТОННОМ ОСНОВАНИИ

О.Ю. АБОЛИН, канд. филос. наук, М.Ю. ИЗВАРИН, канд. техн. наук, А.А. КИЯШКО, инженер

В последние годы в мировой практике все больше внимания уделяется развитию скоростного и высокоскоростного движения. Новые поезда уже покоряют просторы не только Европы, но и азиатских стран. При этом, если изначально высокоскоростные поезда эксплуатировались преимущественно на выделенных линиях, то в настоящее время многообразие вариантов их использования значительно расширилось.

Наиболее распространено сейчас смешанное движение, когда по одному и тому же пути следуют как скоростные поезда, так и обычные пассажирские, а зачастую и грузовые. Эта тенденция считается экономически оправданной, а современные системы диагностики и сигнализации с использованием микропроцессоров позволяют обеспечить требуемый уровень безопасности. Однако при такой нагрузке повышаются требования и к самому пути.

В данной статье рассмотрена одна из разработок, не получившая пока широкого применения в мире, но являющаяся весьма перспективной. Речь идет о железнодорожном пути компании Balfour Beatty (Великобритания), конструкция которого настолько сильно отличается от традиционной, что ряд элементов, считавшихся ранее основными, в

ней просто отсутствует, а другие изменены до неузнаваемости.

Эта разновидность пути на сплошном подрельсовом основании — одно из принципиально новых направлений, от внедрения которого разработчики ожидают получения существенного экономического эффекта. Конструкция называется Balfour Beatty Embedded Slab Track (BBEST), что в переводе означает путь, встроенный в основание из бетонных плит. Для испытания этого проекта было построено несколько экспериментальных участков.

В BBEST привычные рельсы Т-образного профиля заменили на сплошной металлический брус примерно прямоугольной формы, упруго вмонтированный в сплошное бетонное основание. Такая конструкция обеспечивает стабильное положение рельса, исключающее потребность в промежуточных скреплениях.

Основные достоинства такого пути следующие: снижение относительной высоты верхнего строения;

более низкий объем работ на текущем содержании;

увеличение продолжительности срока службы; высокий коэффициент сопротивления боковым усилиям, благодаря чему (в сочетании с техноло-