

– в зимних условиях обеспечивать очистку от льда и снега стрелочных переводах, рельсовых стыков, желобов и настилов переездов, станционных и подъездных путей.

Список литературы

1 *Томберг К. И., Ковтун П. В., Холявко В. И.* Анализ нарушения безопасности движения поездов на участках Белорусской железной дороги// Проблемы механики железнодорожного транспорта: Тез. докл. IX междунар. конф. – Днепропетровск: ДИИТ, 1996. – С. 44 – 45.

2 *Ковтун П. В., Чепелев О. В., Талецкая М. В.* Анализ безопасности движения поездов на предприятиях путевого

хозяйства Белорусской железной дороги// Проблемы безопасности на транспорте: Тез. докл. междунар. науч.-практ. конф. – Гомель: БелГУТ, 2000. – С. 99.

3 *Ковтун П. В., Холявко В. И., Есева Т.И., Макоед Л. А.* О классификации причин нарушения безопасности движения поездов на стрелочных переводах// Проблемы безопасности на транспорте: Тез. докл. междунар. науч.-практ. конф. – Гомель: БелГУТ, 2000. – С. 98.

4 *Матвеев В. И., Ковтун П. В., Журавский В. Н., Лавринович Я. Г.* О ресурсосберегающих технологиях на дороге// Актуальные проблемы развития транспортных систем и строительного комплекса: Тез. докл. междунар. науч.-практ. конф. – Гомель: БелГУТ, 2001. – С. 226.

Получено 01.07.2002

V. E. Rogatchev, K. I. Tomberg, V. I. Matvetcov, P. V. Kovtun, T. I. Eseva. Analysis of traffic safety on the Belorussian railway enterprises and directories for increase level of trains work.

It is shown the analysis of traffic safety on the Belorussian railway enterprises. It is proposed the directories, which be able to make for increase level of traffic safety and reliability of track.

Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. 2002. № 2(5)

УДК 625.143 - 656.2

Э. И. ДАНИЛЕНКО, доктор технических наук; М. Д. КОСТЮК, начальник Главного управления пути и путевого хозяйства Укрзалізниця, г. Киев

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ПРОЧНОСТИ УПРУГИХ СКРЕПЛЕНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ

Сформулированы основные требования к рельсовым скреплениям на железобетонных шпалах. Дан анализ технико-экономических показателей современных отечественных и зарубежных рельсовых скреплений.

Безопасность движения поездов в части пути должна обеспечиваться следующими факторами:

– соответствием конструкции пути обращаемому подвижному составу и условиям эксплуатации (по величине колесных нагрузок, грузонапряженности, скоростям движения);

– исправным состоянием пути которое обеспечивается своевременными ремонтами и надлежащим текущим содержанием;

– применением рациональных элементов конструкции пути, обеспечивающих надежную, устойчивую и долговечную работу конструкции пути в целом.

Одним из элементов конструкции пути, от работы которого зависит надежность верхнего строения пути в целом, являются промежуточные скрепления. От выбора конструкции скрепления во многом зависит характер распределения динамических сил по элементам конструкции пути и способность конструкции пути в целом безопасно работать на длительном периоде эксплуатации.

Решение вопроса выбора конструкций скреплений особенно актуально в современных условиях для пути на железобетонных шпалах, когда зару-

бежными и отечественными фирмами разработан большой ряд новых конструкций скреплений различных типов: на подкладках, бесподкладочные, болтогаечные, безболтовые, анкерные и другие. Для примера укажем, что шурупно-дюбельные скрепления SKL 14 фирмы «Фоссло» надежно закрепились в Германии и в ряде стран Западной Европы. Скрепления «Пэндрол» фирмы «Пэндрол» (Великобритания) с замурованными в бетонную шпалу анкерами используются во многих странах мира. Недавно появились новые, более современные скрепления Пэндрол Фастклип этой фирмы, которые существенно отличаются от скреплений Пэндрол. В меньшем объеме используются скрепления с пружинной клеммой из круглого прута АРС (Россия), СБ-3 (Польша), а также с прутковой клеммой из прямоугольного профиля Сафелок (Канада). В 2001 году в России уложено несколько сот километров пути с бесподкладочным скреплением ЖБР-65 с закладным болтом, которое в дальнейшем предусмотрено модифицировать на шурупно-дюбельное.

Все перечисленные скрепления относятся к классу пружинных упругих скреплений, что особенно важно для пути на железобетонных

шпалах, имеющем жесткость в 3,5 – 5 раз большую, чем путь на деревянных шпалах, и все эти скрепления имеют собственные и различающиеся характеристики по силе прижатия рельса к опоре и по пространственной упругости.

К наиболее распространенным пружинным скреплениям подкладочного типа относятся скрепления все тех же ведущих зарубежных фирм «Фоссло» с клеммой SKL 12 и «Пэндрол» (различных модификаций). К пружинным скреплениям было принято также относить широко применяемое на отечественных железных дорогах скрепление типа КБ с жесткой клеммой и 2-витковой пружинной шайбой, однако современные исследования показали, что это скрепление не относится к упругим. К упругим скреплениям относится также новое российское скрепление, выполненное по типу КБ, но с пружинной прутковой клеммой ОП 105.

Примерные технические требования были сформулированы достаточно давно [1, 2, 3], т. е. до появления скреплений современного типа, поэтому их необходимо конкретизировать и существенно дополнить.

С учетом того, что технические требования к скреплениям были разработаны 20 – 30 лет тому назад, в условиях современного технического прогресса, когда имеется довольно широкий выбор конструкций скреплений для пути на железобетонных шпалах, очень важно, во-первых, правильно сформулировать необходимые требования к рельсовым скреплениям на железобетонных шпалах, во-вторых, правильно подобрать рациональную конструкцию скрепления, которая обеспечивала бы наилучшую работоспособность конструкционного узла рельс – скрепление – шпала при динамических колесных воздействиях в условиях длительной эксплуатации.

Сформулируем **основные требования к рельсовым скреплениям на железобетонных шпалах:**

1 Для обеспечения прочности узла скрепления и солидарной работы узла рельс – скрепление – шпала должно быть обеспечено стабильное прижатие скреплением рельса к шпале.

2 Для обеспечения необходимого сопротивления рельсовой нити продольным перемещениям при одновременной вертикальной упругости клеммного прижатия должно быть выбрано оптимальное соотношение между вертикальной упругостью скрепления и необходимым сопротивлением продольным перемещениям рельсовой нити.

3 Для обеспечения упругой переработки динамических силовых воздействий и сохранения упругих свойств скреплений на длительном периоде эксплуатации должно быть обеспечено рациональное сочетание характеристик вертикальной упругости пружинных элементов и остаточной упругости скреплений после реализа-

ций деформаций.

4 Для обеспечения оптимальной пространственной упругости узла скреплений необходимо обеспечивать оптимальную упругость подрельсовых прокладок.

5 Для обеспечения оптимальной упругости рельсовой нити в поперечном направлении необходимо обеспечивать рациональную упругость узла скрепления в поперечном направлении.

6 Скрепления должны обеспечивать постоянство установленной ширины колеи (при допустимых упругих деформациях).

7 Скрепления должны обеспечивать возможность регулирования ширины колеи (при необходимости перехода на другую нормативную ширину колеи).

8 Скрепления должны иметь простую и надежную конструкцию с минимальной материалоемкостью и минимальным количеством деталей.

9 Скрепления должны быть максимально просты при монтаже и демонтаже, должны обеспечивать минимальные затраты на их содержание (по возможности должны иметь минимум болтогаечных соединений, в лучшем случае не иметь их вовсе).

10 Скрепления должны иметь необходимые надежные электроизолирующие детали, позволяющие обеспечивать электроизоляцию рельсов от шпал.

Приведем далее некоторые пояснения, необходимые для выполнения вышеприведенных требований и выбора рациональных конструкций скреплений.

Стабильное прижатие рельса к шпале. На рельс в процессе эксплуатации действует продольное усилие от изменения его длины при суточном колебании температуры и от действия колес подвижного состава. При недостаточном прижатии рельса к шпале пружинным клеммным скреплением возможен угон рельсовых нитей и нарушение устойчивости рельсового пути. В известной работе [1] рекомендуется иметь для рельсовых скреплений с пружинными клеммами минимально допустимое усилие прижатия рельса одной клеммой $F = 10$ кН. Современные зарубежные пружинные скрепления имеют номинальное усилие прижатия рельса к шпале одной клеммой в границах $F = 11...14$ кН, соответственно: скрепление КБ с пружинной 2-витковой шайбой и жесткой клеммой имеет номинальное усилие прижатия рельса к опоре двумя клеммами $2F = 17...24$ кН; скрепление ЖБР-65 $2F = 25$ кН; скрепление «Пэндрол» $2F = 22...28$ кН; скрепление Фоссло $2F = 26$ кН. Однако следует знать, что стабильное усилие прижатия рельса к подрельсовой опоре зависит не только от самой силы нажатия клеммы, а также и от упругих свойств подрельсовой прокладки и от коэффициента трения подошвы рельса по подрельсовой подкладке. Поэтому требования только необходимого усилия

прижатия рельса к опоре клеммами недостаточно для надежной работы упругого скрепления.

Обеспечение оптимального соотношения вертикальной упругости скрепления и необходимого сопротивления рельсовой нитки продольным перемещением. Обеспечение оптимального соотношения усилия клеммного прижатия подошвы рельса, необходимой вертикальной упругости двух клемм и необходимого сопротивления рельсовой нитки продольным перемещениям является наиболее важной характеристикой скрепления. Для условий западноевропейских железных дорог (при грузонапряженности и весе поездов в 3–5 раз меньших, чем на отечественных железных дорогах) в 1970 – 1980-е года было принято в качестве норматива обеспечивать продольное побочное сопротивление рельсов не менее $[r] \geq 7,0$ кН/м для каждой рельсовой нити [3]. Для условий отечественных железных дорог при обращении поездов большой массы ($Q_{\text{груз}} = 3100...3500$ т и больше) и при современной грузонапряженности $\Gamma = 40...65$ млн т.км/брутто в год и больше норматив погонного рельсового сопротивления $[r] = 7,0$ кН м западноевропейских железных дорог, конечно, нельзя принимать.

Анализ работы отечественных скреплений совместно с анализом упругих характеристик современных зарубежных скреплений, а также предварительные расчеты показывают, что для эксплуатационных условий отечественных железных дорог можно рекомендовать величину погонного продольного сопротивления рельсовой нити $[r] \geq 16,5...17$ кН/м при эпюре шпал 1840 шп./км. В перерасчете для скреплений рекомендуемая величина продольной жесткости одного узла скрепления, которая обеспечивает необходимое продольное сопротивление рельсовой нитки в условиях эксплуатации отечественных железных дорог, должна составлять: $C_x^0 \geq 8,3; 9,0; 10,0$ кН/мм, соответственно для эпюры шпал: 2000, 1840, 1667 шп./км.

Выбор рациональных характеристик вертикальной упругости пружинных элементов рельсовых скреплений и обеспечение остаточной упругости скреплений при деформациях.

Следует отметить, что до 1990 г. в СССР упругость клемм совсем не рассматривалась как важный параметр, а созданные в те года так называемые «пружинные» прутковые клеммы «краб», БП, пластинчатые ЖБ, ЖБК, КДП и другие по своим характеристикам не соответствовали упругим. В мировой практике принято называть клемму упругой в том случае, если ее упругий ход (до получения номинального усилия) составляет не меньше 1 мм на каждый 1 кН усилия сжатия клеммы, т. е. вертикальная жесткость должна составлять не больше $C_z \leq 1$ кН/мм. Причем такие параметры упругости должны сохраняться на достаточном диапа-

зоне упругого хода, который позволяет регулировать положение рельса по высоте до 10–15 мм. Так, например, для клеммы SKL12 и SKL14 скрепления «Фоссло» при номинальном усилии прижатия 13 кН упругий ход составляет 14 мм, для клеммы «e2000» скрепления «Пэндрол» при номинальном усилии $F_{\text{ккл}} = 14$ кН пружинный ход составляет 14,67 мм (рисунок 1). В соответствии с нормативами европейских дорог [4] упругость клемм при реализации деформаций в процессе эксплуатации не должна уменьшаться более чем на 25 %.

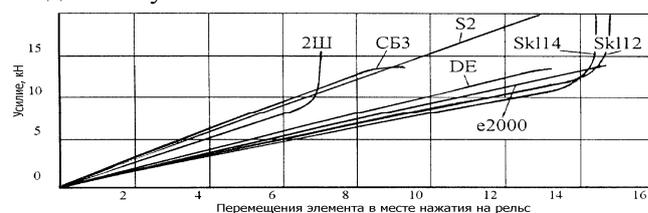


Рисунок 1 – Сравнение характеристик упругих элементов рельсовых скреплений на бетонных шпалах: 2Ш – двухвитковая шайба и жесткая клемма с подкладкой КБ; СБЗ – прутковая клемма диаметром 16 мм анкерного скрепления СБЗ (Польша); DE – прутковая клемма прямоугольного профиля, которая закрепляется в пазу подкладки типа КД (Голландия); S2 – пластинчатая клемма анкерного скрепления Сафелок (Канада); SKL12 – прутковая клемма диаметром 13 мм с подкладкой типа КД фирмы Фоссло (Германия); SKL14 – прутковая клемма диаметром 13 мм без подкладочного шурупно-дюбельного скрепления фирмы Фоссло (Германия); e2000 – прутковая клемма диаметром 20 мм анкерного скрепления фирмы Пэндрол (Великобритания)

Если рассмотреть изменение характеристик упругости при реализации упругих или остаточных деформаций, то можно видеть, что если в скреплении КБ с жесткой клеммой и пружиной 2-витковой шайбой в процессе эксплуатации прогиб шайбы уменьшится только на 1 мм (например, из-за деформации подрейковой прокладки), то общее усилие прижатия снизится почти на 7,0 кН (от номинального значения $F_{\text{ккл}} = 12$ кН) и станет равным $F_{\text{ккл}} = 5$ кН, т. е. снизится примерно на 58 % (см. рисунок 1). При дальнейшем ослаблении упругого прогиба шайбы еще на 1 мм сила прижатия уменьшится еще приблизительно на половину (т. е. в сумме приблизительно на 80 %), в результате усилие прижатия после этого будет составлять всего 2,5 кН. Иными словами, после уменьшения натяжения клеммы на 1–2 мм усилие натяжения в системе клемма – рельс – шпала снизится настолько, что данное скрепление с жесткими клеммами станет неработоспособным в отношении восприятия продольных температурных сил и сил угона. Все это в результате может привести к угону пути, к неравномерному распределению продольных сил по длине рельса и возможной их концентрации в отдельных местах, что создает угрозу безопасности движения поездов. Именно поэтому скрепление КБ не может считаться скреплением пружинного типа. Для сравнения: при уменьшении прогиба клеммы «e2000» (скрепление «Пэндрол») на те

же 2 мм усилие прижатия клеммы $F_{кл}$ уменьшится только на 18 %, клеммы SKL 12 (скрепление «Фоссло») – на 15 %, а клеммы ОП 105 – на 11 %.

Оптимальная упругость скрепления в поперечном направлении. Упругие свойства скрепления должны быть такими, чтобы максимально гасить динамическое воздействие колес на рельс и шпалы и не допускать расстройств пути в поперечном направлении. Рекомендуется [3] поддерживать жесткость пути в поперечном направлении на таком уровне, чтобы упругие изменения ширины пути при воздействии колес подвижного состава не превышали 2...4 мм. Исходя из требований допустимой упругой деформации рельсовой нитки по головке 2...4 мм и с учетом средних возможных боковых сил $N_{бок}^{гол} = 80...90$ кН, рекомендуется обеспечивать боковую жесткость узла скрепления по головке рельса в границах $\min C_y^{гол} \geq 20 ...$
 $...22$ кг/мм и $\max C_y^{гол} = 40...45$ кг/мм. Жесткость узла скрепления по подошве рельса всегда больше, чем по головке, и зависит от силы клеммного прижатия рельса к опоре, от конструкции скрепления и от упругих характеристик подрельсовой прокладки. Для примера можно указать для скреплений типа КБ $C_y^{под} \geq C_y^{гол}$ приблизительно в 2,5 раза, а для костыльного скрепления на новых деревянных шпалах $C_y^{под} \geq C_y^{гол}$ приблизительно в 2 раза. Опыт эксплуатации скреплений типа КБ показал, что они хорошо работают на восприятие боковой нагрузки. Экспериментальные исследования показали, что при скреплениях КБ при действии боковой и вертикальной нагрузок в соотношении Н/Р = 0,6...0,8 боковое отжатие головки рельса Р65 составило 1,5–2,0 мм, а подошвы рельса 0,6 – 0,75 мм [4]. Эти значения соответствуют поперечной жесткости рельсовой нити по подошве рельса $C_y^{под} = 45,4$ кН/мм и по головке $C_y^{гол} = 20...23$ кН/мм. Работу костыльных скреплений на изношенных деревянных шпалах в отношении восприятия боковой нагрузки нельзя называть удовлетворительной, так как боковые отжатия при этих скреплениях могут достигать чрезмерно больших значений – 8–10 мм и больше.

Оптимальная упругость подрельсовых прокладок. При проектировании упругих скреплений необходимо учитывать не только упругие свойства пружинных рабочих элементов, но необходимо также правильно выбрать материал рельсовой прокладки, таким образом, чтобы он соответствовал оптимальным свойствам по упругости и по величине погонного сопротивления при перемещении по нему подошвы рельса. От свойств подрельсовых прокладок зависит и необходимое усилие прижатия рельсов к опоре.

Чем больше коэффициент трения, тем с меньшими усилиями можно прижимать рельс для достижения необходимого продольного погонного сопротивления. Коэффициент трения подошвы рельса с разными материалами изменяется в широких границах и, по нашим экспериментальным данным, наибольшее значение (около 0,5) имеет место при контакте подошвы с резиной и наименьшее (около 0,3) – с полиэтиленом.

В пути на бетонных шпалах жесткость и накопление остаточных деформаций больше, чем в пути на деревянных шпалах. Поэтому для уменьшения повреждений рельсов и объема выправочных работ на пути с бетонными шпалами жесткость упругих прокладок под рельсами, согласно требованиям, изложенным в работах [2, 3], не должна превышать 100 кН/мм. Этим условиям удовлетворяют резиновые прокладки толщиной 10 мм, шириною 150 мм и длиной 175 мм. Такая прокладка при давлении усилием 120 кН упруго проседает на 2,5 мм. Прокладка из плотного полиэтилена таких же размеров, но толщиной 6 мм проседает при усилии 120 кН всего на 1,1 мм, что явно недостаточно.

В то же время вертикальная упругая деформация рельса относительно подрельсовой опоры при прохождении подвижного состава не должна превышать 3–4 мм (по условиям обеспечения стабильного прижатия рельса к опоре) [3], что накладывает ограничения на высоту подрельсовой прокладки. Во всех современных скреплениях (Фоссло, Пэндрол, Пэндрол Фасклип) в качестве подрельсовых прокладок используют резину, потому что она лучше гасит вибрацию и шум, что важно для высокоскоростного движения. Кроме того, как уже отмечалось, коэффициент трения подошвы рельса с резиной наибольший, что обеспечивает необходимое сопротивление угону рельсов.

Таковы вкратце основные положения, которые должны служить основанием для выбора рациональных конструкций скреплений для пути на железобетонных шпалах в современных условиях эксплуатации.

Анализ технических и технико-экономических показателей современных отечественных и зарубежных скреплений показывает, что наилучшими скреплениями для пути на железобетонных шпалах являются скрепления с пружинными прутковыми клеммами, обеспечивающими стабильность прижатия рельса к опорам и оптимальное сочетание упругих свойств в вертикальной и горизонтальной плоскостях при достаточном сопротивлении продольным температурным силам и силам угона. Скрепление КБ с 2-витковыми пружинными шайбами по своим свойствам не относится к упругим. Сравнение упругих характеристик различных типов скреплений показывает, что наилучшими свойствами обладают скрепления типа «Пэндрол» и «Фоссло» или новые отечественные безболтовые скрепления анкерного типа БСА, являющиеся

примерным аналогом скреплений типа «Пэндрол». Именно эти скрепления обладают наилучшими упругими характеристиками, обеспечивающими надежную работу рельсовых нитей и рельсошпальной решетки, в том числе на бесстыковом пути. Несмотря на наилучший комплекс технико-экономических показателей у бесподкладочных безболтовых анкерных скреплений (малодетальность, отсутствие болтогаечных соединений, удобство монтажа – демонтажа), с учетом эксплуатационных особенностей отечественных железных дорог, имеющих несравненно более высокие, чем на западноевропейских дорогах, грузонапряженность, осевые нагрузки и вес поездов, указанные бесподкладочные скрепления на отечественных дорогах следует применять в ограниченных условиях, а именно:

– для линий с совмещенным грузовым и пассажирским движением: при суммарной грузонапряженности не более 30 млн т-км/км в год (не более 50 % грузовыми поездами), при осевых нагрузках, не превышающих для грузовых вагонов 215 кН/ось и локомотивов 235 кН/ось и при скоростях движения пассажирских поездов не более 120 км/ч и грузовых не более 70 км/ч;

Получено 15.11.2002

E. I. Danilenko, M. D. Kostyk. Trains motion safety must be guaranteed by safe and solid clampings.

In this article the basic standards for the clamping of rails on reinforced sleepers alongside with the analysis of technical economic indices of rail clamping in this country and abroad are well formulated.

– для линий с преимущественным пассажирским движением можно использовать бесподкладочные скрепления при скоростях движения до 160 км/ч, при суммарной грузонапряженности не более 25млн. т км/км в год, с разрешенным малоинтенсивным движением грузовых поездов массой не более 1600 т, при осевой вагонной нагрузке не более 205...215 кН/ось и скоростях движения соответственно не более 80... 70 км/ч.

Для более тяжелых условий эксплуатации нужно рекомендовать применение безболтовых **пружинных скреплений на подкладках** или подкладочных скреплений с минимальным количеством шурупно-болтовых соединений.

Список литературы

- 1 Современные конструкции верхнего строения железнодорожного пути/ Под ред. В. Г. Альбрехта и А. Ф. Золотарского.–М.: Транспорт, 1975. – 267 с.
- 2 Железнодорожные шпалы для рельсового пути/ Под ред. А. Ф. Золотарского.– М.: Транспорт, 1980.–321 с.
- 3 Рекомендации об основных требованиях к рельсовым скреплениям для различных типов железобетонных рельсовых оснований. Памятка ОСЖД Р 716.–Пекин, 1983.
- 4 Бесстыковой путь/ Под ред. В. Г. Альбрехта.–М.: Транспорт, 1982. – 206 с.

УДК 625.15

А. М. ПАТЛАСОВ, кандидат технических наук; Днепрпетровский национальный университет железнодорожного транспорта, г. Днепрпетровск

УКЛАДКА СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ НА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БРУСЬЯХ В КРИВЫХ УЧАСТКАХ ПУТИ

В последние годы существенно возросли объемы укладки стрелочных переводов на железобетонных брусках, в том числе в криволинейных участках пути. В статье приведен алгоритм расчета рельсовых рубок и ориентация железобетонных брусков на переводе. Расчеты удобно выполнять с использованием ЭВМ.

Необходимость укладки стрелочных переводов в кривые участки железнодорожного пути возникает в основном в связи со стесненностью расположения станций в пределах населенных пунктов. Для этого ВНИИЖТом в 70-х годах были разработаны специальные проекты. Такие переводы, имеющие малые допускаемые скорости, являются сдерживающим фактором повышения скоростей движения поездов. Поэтому Правилами технической эксплуатации

железных дорог Украины укладка вновь стрелочных переводов в главные пути на кривых участках может производиться только в исключительных случаях с разрешения Государственной администрации железнодорожного транспорта Украины [1].

Однако в настоящее время на некоторых дорогах в кривых находится до 5–7 % переводов, которые должны содержаться в геометрически правильном состоянии [2, 5]. Расчет выправки пере-