

кальной плоскости тогда можно описать в линеаризованной форме

$$\sigma = \sigma_{ch}(1 + (\sqrt{2} - 1)h_f/h_r). \quad (37)$$

Как показывает результат оценки уравнения (35), при учете изгиба в поперечном направлении возникает максимальное дополнительное напряжение, определяемое по формуле

$$\Delta\sigma_1 = \frac{3B}{2f_u} \delta\sigma_{ch}. \quad (38)$$

Если плеть разгружается таким образом, что смещается в сторону в самом начале (этап нагружения V2), дополнительное напряжение изгиба в поперечном направлении снижается до значения

$$\Delta\sigma_2 \sim \Delta\sigma_1/3. \quad (39)$$

Уравнение (38) получается из уравнения (33), если для  $L_f^2$  значение  $-2M_0/q$  принять соответствующим уравнению (28).

Этап нагружения V3 для изгиба в поперечном направлении не является решающим, так как  $\sigma$  и  $B/f_u$  имеют значения около 1.

Таким образом, при исследовании процесса разгрузки рельсовой плети сначала следует рассмотреть две ее характеристические величины. Выражение для характеристических напряжений  $\sigma_{ch} = (Eh_r q/J_y)^{1/2} f_u$  включает в качестве важных для рельсов величин модуль упругости  $E$ , погонную массу  $q$ , момент инер-

ции  $J_y$  относительно горизонтальной оси и расстояние до оси подошвы  $f_u$ . Вторая характеристическая величина представляет собой выражение  $3B/2f_u$ . Для рельса типа МСЖД 60 значение  $\sigma_{ch}/\sqrt{h_r}$  равно 5,287 МПа/мм<sup>1/2</sup>, а  $3B/2f_u = 2,778$ .

Процесс разгрузки регламентируется тремя характеризующими смещение величинами:  $h_f$ ,  $h_r$  и  $\Delta$ . Если производится разгрузка с боковым смещением рельсовой плети, максимальное напряжение рассчитывается как

$$\sigma_{\max} = \left(\frac{Eq}{J_y}\right)^{1/2} f_u \sqrt{h_r} \left(1 + 0,41h_f/h_r + \frac{3B}{2f_u} \Delta/h_r\right). \quad (40)$$

Для рельса МСЖД 60 это выражение имеет вид:

$$\sigma_{\max} = 5,287 \sqrt{h_r} (1 + 0,41h_f/h_r + 2,778\Delta/h_r).$$

Если поперечное смещение плети происходит после разгрузки, значение  $\Delta$  следует заменить на  $\Delta/3\sigma_{\max}$ . Напряжения, естественно, должны быть ниже предела текучести рельсовой стали с определенным запасом прочности.

При существующих на практике условиях разгрузки для рельсов типа МСЖД 60 результирующие напряжения, как правило, значительно ниже допустимых.

F. D. Fischer et al. *Glaser's Annalen*, 2003, № 6 – 7, S. 298 – 302.

## Испытания шпал под высокой осевой нагрузкой

*Центр транспортных технологий (ТТС) и железнодорожные компании традиционно уделяют большое внимание поиску методов, гарантирующих надежную работу изготовленных из разных материалов шпал в условиях повышенной осевой нагрузки.*

### Деревянные шпалы

Деревянные шпалы являются основными на железных дорогах Северной Америки, их доля превышает 90 % общего объема выпускаемых шпал. По сравнению со шпалами из других материалов деревянные обходятся дешевле в расчете на весь срок службы, просты в укладке, изготавливаются из широко распространенного природного сырья. Тем не менее на железных дорогах расширяется применение шпал из других материалов.

В течение многих лет на полигоне ускоренных эксплуатационных испытаний (FAST) Центра транспортных технологий ведутся исследования со шпалами и рельсовыми скреплениями различных конструкций при высокой осевой нагрузке. Вертикальная нагруженность пути на FAST более высокая, чем на сети железных дорог, так как осевые нагрузки достигают 35,4 т, скорость движения 64 км/ч, а годовой тоннаж 90 – 136 млн. т брутто. В то же время поперечная нагруженность пути на FAST не выше, чем на железных дорогах, так как кривые не круче, чем на сети: минимальный радиус кривой на полигоне FAST 290 – 350 м, на железных дорогах Северной Америки – 125 м. Следует также отметить, что с 1995 по 1999 г. пропущено 435 млн. т брутто при обращении вагонов на тележках с усовершенствованным рессорным подвешиванием. Средняя и максимальная поперечные силы от воздействия этих тележек на путь уменьшились почти на 50 %. На по-

перечную нагруженность пути также влияют продольный профиль пути, лубрикация и профиль рельса.

Основным видом расстройства пути на деревянных шпалах на полигоне FAST является уширение рельсовой колеи. Из-за сухого климата в районе расположения полигона гниение шпал незначительно. Важнейшим фактором, влияющим на работу шпал, является изменение характеристик рессорного подвешивания тележек. Использование усовершенствованных тележек значительно повысило работоспособность шпал всех типов, испытанных при осевой нагрузке 35,4 т. Основными результатами испытаний были следующие:

- в кривой радиусом 350 м срок службы шпал из твердой и мягкой древесины до достижения предельного уширения колеи, равного 25 мм, возрос с 450 млн. т брутто при обращении вагонов на стандартных тележках до 1800 млн. т брутто при обращении вагонов на тележках с усовершенствованным рессорным подвешиванием;
- при обращении вагонов на стандартных тележках, оказывающих повышенное воздействие на путь, уширение колеи на шпалах из твердой древесины (дуба) меньше, чем на мягких шпалах;
- в кривой радиусом 290 м на смазанных рельсах при обращении вагонов на стандартных тележках срок службы твердых шпал с костыльными креплениями до достижения предельного уширения 25 мм составил 450 млн. т брутто, мягких 180 – 270 млн. т брутто;
- при обращении вагонов на стандартных тележках применение упругих креплений снижает уширение колеи в 5 раз по сравнению с костыльными.

Альтернативой деревянным шпалам являются древесно-композитные, изготавливаемые из опилок. Их выпускает отделение Weyerhaeuser компании Trus Joist. Такие шпалы имеют ряд преимуществ, включая простоту укладки и меньший расход древесины.

### **Железобетонные шпалы**

Исследования ТТС показывают, что железобетонные шпалы обеспечивают большую вертикальную однородность упругих характеристик подрельсового основания и устойчивость рельсов, чем деревянные шпалы с костылями. Повышенная масса пути на железобетонных шпалах и надежное приращение к ним рельсов обеспечивают более высокое сопротивление рельсовой колеи поперечному сдвигу. Уложенный на чистом и прочном балластном слое путь на железобетонных шпалах обладает высокой стабильностью по уровню и в плане.

Испытания на полигоне FAST показывают, что железобетонные шпалы работают достаточно хоро-

шо в условиях обращения вагонов с осевой нагрузкой 35,4 т, в кривых повышают стабильность ширины рельсовой колеи. Железобетонные шпалы с закладными болтами и упругими креплениями обеспечивают повышенную устойчивость рельсов против раскантовки.

### **Композитные пластиковые шпалы**

Исследования ТТС отражают ряд преимуществ композитных пластиковых шпал, в частности:

- влагостойкость;
- сопротивляемость гниению и повреждению насекомыми без дополнительной обработки;
- повышенную поперечную устойчивость пути, если боковые грани и подошва шпал имеют шероховатую поверхность;
- пригодность для вторичного использования и переработки.

Технология их укладки аналогична используемой для деревянных шпал.

На полигоне FAST были испытаны композитные пластиковые шпалы, изготовленные компаниями U.S. Plastic Lumber и TieTek. Впервые такие шпалы уложили на полигоне FAST в середине 1990-х годов, к середине 2003 г. по ним было пропущено 720 млн. т брутто. Затем было уложено еще несколько партий пластиковых шпал, и они проявили удовлетворительные эксплуатационные качества в условиях обращения вагонов с высокой осевой нагрузкой. Проведенные испытания дали изготовителям необходимую информацию для дальнейшего совершенствования этих шпал и продемонстрировали жизнеспособность шпал этого типа. Компания Union Pacific заказала компании TieTek 1 млн. пластиковых шпал. Еще 200 шпал испытывали на FAST для оценки их работоспособности при высокой осевой нагрузке в течение длительного периода.

Композитные пластиковые шпалы обеих компаний хорошо выдерживали высокую осевую нагрузку. Несколько путевых шурупов и костылей в некоторых шпалах обеих компаний-изготовителей проработали недолго, и в ряде шпал выявлены незначительные трещины. Однако ни то, ни другое не потребовало снятия шпал с пути.

У шпал с шероховатой боковой поверхностью (рисунок) устроены бортики на торцах и у подошвы. Конструкция изменена после проведения в ТТС испытаний одиночной шпалы на выдавливание, которые показали, что шпалы с гладкими боковыми поверхностями имеют меньшее сопротивление поперечному сдвигу, чем деревянные. Бортики на краях повысили поперечную устойчивость вновь уложенных шпал в 3,5 раза по сравнению с имеющими гладкие боковые грани.



Композитные пластиковые шпалы с шероховатой боковой поверхностью

Вместе с тем композитные пластиковые шпалы чувствительны к размеру направляющего отверстия. Слишком малый диаметр отверстия может вызывать трещины, а слишком большой будет приводить к расшатыванию шурупов. Термальное расширение пластика может приводить к относительно незначительным изменениям ширины колеи (на 6 мм при переходе от зимнего периода к летнему). Спротивляемость уширению пути на пластиковых шпалах с костыльным скреплением и на деревянных с тем же скреплением сопоставима. Проводились натурные

испытания по оценке работоспособности композитных пластиковых шпал в течение длительного периода эксплуатации и предусматривались их испытания на магистральной линии.

### Стальные шпалы

На полигоне FAST велись испытания стальных шпал, изготовленных компаниями NARSTCO и Tie&Track Systems (TTS). В кривой радиусом 290 м путь на стальных и деревянных шпалах при высокой осевой нагрузке работает неодинаково. Большая часть испытаний была завершена после пропуска 154 млн. т брутто, а по 50 шпалам пропустили 326 млн. т брутто. За период испытаний не выявлен значительный износ стальных шпал в подрельсовой зоне, прокладок, изолирующих элементов рельсовых клемм и закладных болтов и не обнаружены изломы в элементах скреплений и шпал.

Стальные шпалы обеспечивают достаточную стабильность ширины рельсовой колеи при высокой осевой нагрузке и долговечность. Вместе с тем проявляется тенденция к плохому восприятию динамических нагрузок, что может приводить к изменению положения шпал по уровню и износу балласта. Выправка пути на стальных шпалах по уровню требовалась после пропуска каждые 6,3 млн. т брутто. Выправка соседнего участка пути на деревянных шпалах не требовалась.

*T. Judge, Railway Age, 2003, № 8, p. 19 – 21.*

## Рынок крестовин стрелочных переводов

*Крестовины стрелочных переводов, основные элементы этих особых мест пути, являются объектом постоянного внимания со стороны Национального общества железных дорог Франции (SNCF) и компаний-изготовителей. Серийное производство и использование крестовин новых типов и конструкций начинается только после длительных и тщательных испытаний в лабораторных условиях, в пути и только после сертификации и одобрения со стороны соответствующих компетентных органов.*

В апреле 2002 г. сертификационная комиссия службы пути SNCF одобрила применение крестовин типа 0,085 UIC 60 SE, изготовленных компанией

Manoir Industries Outreau (MIO), в стрелочных переводах, уложенных в главные пути магистральных линий в районах Кутра (департамент Жиронда) и Альбена (департамент Сомма), с последующим наблюдением за их работой в течение года и более. По истечении этого срока MIO могла начать серийное производство крестовин на заводе в Утро (вблизи Булони-сюр-Мер, департамент Па-де-Кале), поскольку их соответствие требованиям стандарта NF F52-513 уже было проверено. Одновременно компания освоила выпуск крестовин двух других типов — моноблочных марки 0,11 с неподвижным сердечником и приварными усовиками для рельсов типов U50 и UIC 60, удовлетворяющих действующим критериям.