

РЫБКИН В. В., д.т. н., профессор (ДНУЖТ)
НАСТЕЧИК Н. П., к.т. н., доцент (ДНУЖТ)
МАРКУЛЬ Р. В., аспирант (ДНУЖТ)

Исследование вопросов внедрения конструкции бесстыкового пути на железобетонных шпалах в кривых радиусом $R \leq 300$ м

В путевом хозяйстве за последние десятилетия значительно расширился полигон укладки предварительно-напряженных железобетонных шпал по многим причинам. Основные из них - дефицит деревянных шпал, их высокая стоимость и короткий срок службы в связи с частыми перешивками пути в кривых участках, что в целом снижает их срок службы, который составляет в кривых участках радиусом $R \leq 300$ м всего 8 лет. Это в 5 раз меньше чем срок службы железобетонных шпал. В кривых $R \leq 300$ м под действием подвижного состава, происходит интенсивное накопление остаточных деформаций, из-за чего возникают нарушения геометрии пути в плане, а также снижается стойкость рельсошпальной решетки в поперечной горизонтальной плоскости. Данная работа посвящена решению вопросов геометрии и стойкости пути в поперечной горизонтальной плоскости, что в дальнейшем позволит укладку конструкции бесстыкового пути температурно-напряженного типа в кривые малого радиуса.

Особенно это актуально в связи с ростом скоростей движения поездов, осевых нагрузок и увеличения грузонапряженности на железных дорогах, что нуждается в повышении прочности и стойкости железнодорожного пути.

С появлением конструкции скрепления типа СКД65-Б, (см рис. 1) открывается возможность использовать железобетонные шпалы в кривых любого радиуса, без изменения конструкции шпалы Ш1-1. Для этой конструкции разработан участок отвода ширины пути на длине 19 м, который является унифицированным для всего диапазона кривых радиусом от 200 до 450 м. С помощью скрепления типа СКД65-Б формируется геометрия ширины пути в участке кривой с точностью до 1 мм, при этом путь плавно расширяется от 0 мм до 14 мм и сужается от 0 мм до 28 мм, (см. рис. 2).

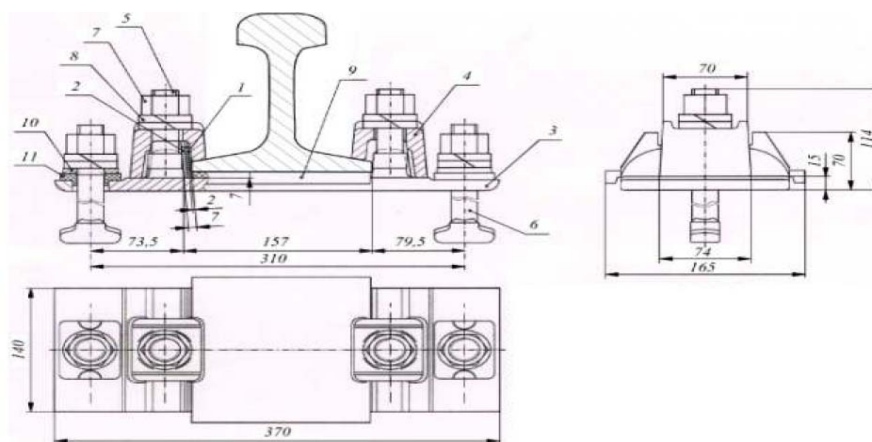


Рис.1. Раздельное скрепление типа СКД65-Б

- 1 – Регулировочная карточка толщиной 2 мм – 2шт; 2 – Регулировочная карточка толщиной 3 мм – 1 шт; 3 – Подкладка КБЛ 65; 4 – Клемма ПКЛ;
5 – Болт клеммный; 6 – Болт закладной; 7 – Гайка; 8 – Шайба двухвитковая;
9 – Прокладка ПРБ-4; 10 – Шайба плоская ШП-1.1; 11 – Втулка изолирующая.



Рис. 2. Типовая схема раскладки карточек, которые регулируют ширину пути со шпалами Ш1-1, при радиусе кривых 200...450 м

Практика эксплуатации конструкции бесстыкового пути в кривых $R \leq 300$ м доказала ее работоспособность но не надежность с точки зрения ее устойчивости, если она состоит из типовых элементов конструкции верхнего строения пути (далее ВСП). То есть при данной кривизне $R \leq 300$ м существующая конструкция устройства бесстыкового пути не обеспечивает всех параметров устойчивости. Этот параметр не обеспечивается потому, что типовые железобетонные шпалы Ш1-1 имеют недостаточное сопротивление сдвигу поперек пути, что приводит к выбросам бесстыкового пути в летний период.

Экономические расчеты эффективности внедрения конструкции бесстыкового пути в кривых малого радиуса ($R \leq 300$ м)

Предварительно были выполнены теоретические расчеты по определению эффективности применения конструкции бесстыкового пути с использованием скрепления типа СКД65-Б в кривых малого радиуса ($R \leq 300$ м) [1].

Отдельной задачей данных исследований был выбор методики технико-экономического сравнения двух вариантов ВСП в кривых участках пути. Для этого были проанализированы исследования [2...7] выдающихся ученых-путейцев, которые занимались вопросами методологии технико-экономических расчетов в путевом хозяйстве. Анализ указанных выше исследований дал возможность сделать следующий вывод: наиболее распространенной апробированной и такой, которая позволяет в полной мере проанализировать экономическую эффективность работы ВСП на протяжении всего срока эксплуатации является методика, которая базируется на анализе суммарных приведенных расходов [7]:

K_i

где K_i - капитальные вложения на укладку i -го варианта конструкции пути руб/км (расходы на капитальные ремонты пути);

- годовые эксплуатационные расходы по i -му варианту, руб/км за год;
- одновременные расходы (на комплекснооздоровительные, средние и другие виды ремонтов);

t_i - год, в котором определяют расходы;

- срок службы наиболее долгосрочного варианта конструкции пути, лет;

η_t - коэффициент отдаления расходов, который определяется по формуле:

$$\eta_t = \frac{1}{(1 + E_{\text{нп}})^t} \quad (2)$$

где η_t - норматив для приведения разновременных расходов (нормативный коэффициент эффективности).

Во время проведения расчетов, под названием кривой участок здесь в дальнейшем следует понимать кривой участок пути, радиусом 300 м и менее. Расчеты проводились для 1 км пути, который состоит из кривых и прямых участков, причем длина части километра, который состоит из кривых, в расчетах изменялось в пределах от 50 до 1000 м. Исследования проводились для разных категорий пути. Отдельно следует заметить, что к расчетам принимались два соотношения между интенсивностью бокового износа головки рельса для бесстыкового и звеньевого пути в кривых участках:

- интенсивности износа одинаковые;
- интенсивность износа рельсов бесстыкового пути на железобетонных шпалах в 1,5 раза меньше, чем на деревянных, согласно [4]

Общеизвестно, что в кривых, радиусом 300 м и меньше величина бокового износа рельсов является решающим фактором при назначении замены рельсов. В расчетах для разных категорий пути [8] был проанализирован диапазон грузонапряженности от 10 до 50 млн.т.км./год. Пример результатов расчетов относительно определения срока окупаемости бесстыкового пути в кривых участках пути, радиусом 200 м при длине кривой 400 м на 1 км колеи для грузонапряженности приведен на рис. 3, и рис. 4.

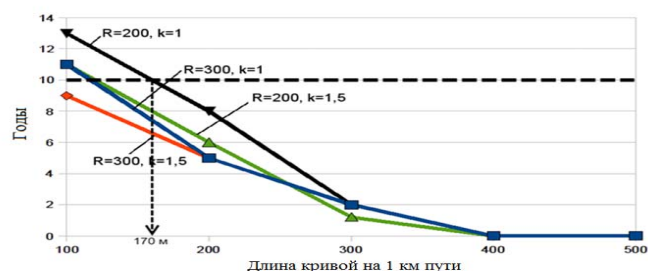


Рис. 3. Сроки окупаемости дополнительных расходов при $V=10$ млн.т.км/год

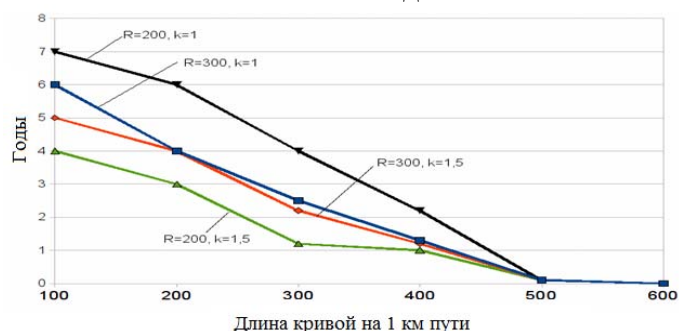


Рис. 4. Сроки окупаемости дополнительных расходов при $V=50$ млн.т.км/год

На рис. 3, 4 показаны соответствующие результаты относительно срока окупаемости расходов на устройство конструкции бесстыкового пути в кривых участках. На графиках (см. рис. 3, 4) приняты следующие обозначения: K – коэффициент отношения величины бокового износа звеньев пути на деревянных шпалах к величине износа рельсов бесстыкового пути на железобетонных шпалах. Аналогично были получены результаты окупаемости и при других грузонапряженностях.

Как видно, при указанных выше условиях укладка конструкции бесстыкового пути для рассмотренных категорий в кривых участках вместо звеньев пути на деревянных шпалах является экономически эффективной.

Результаты теоретических исследований ДНУЖТу по решению проблемы устойчивости бесстыкового пути в поперечной горизонтальной плоскости

Теоретические исследования ДНУЖТу показали, что конструкция бесстыкового пути в кривых, радиусом 300 м и меньше должна иметь силу поперечного сопротивления ее сдвигу в 1,8 раз больше чем путь с типовыми шпалами Ш1-1. Тогда устойчивость бесстыкового пути в кривых участках радиусом меньше 200 м приравняется устойчивости конструкции бесстыкового пути в кривых радиусом 400 м.

Решение проблемы устойчивости конструкции бесстыкового пути в кривых малого радиуса за рубежом

Обобщая и обрабатывая научную литературу, можно сказать, что за рубежом этим вопросом занимаются уже значительный период времени. В России ВНИИЖТом разработана новая конструкция железобетонной

шпалы типа ШЗ-ДУ с увеличенным сопротивлением против сдвига в балласте [9], что изображена на рис. 5.

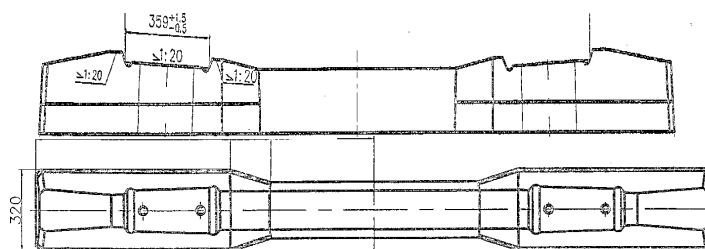


Рис. 5. Предварительно напряженная железобетонная шпала типа ШЗ ДУ

Был сделан вывод, что сопротивление шпалы ШЗ-ДУ [10] в среднем в 1,5-1,9 раза больше чем сопротивление стандартной шпалы типа Ш1-1. Но для производства таких шпал, необходимо создать новую технологию, а это трудоемкая и многозатратная работа.

В Европе (Италия, Германия, Австрия) разработана конструкция пути с железобетонными рамными шпалами, [11] что изображена на рис. 6.

Существуют недостатки, которые связаны с технологией изготовления новых рамных шпал. Кроме того во время эксплуатации образуются вторичные деформации, особенно в кривых участках пути малого радиуса.



Рис. 6. Путь на рамных шпалах на линии Турин (Италия)

В Германии разработанные двухблочные шпалы из полимер-бетона [11] а также шпалы типа BSS, у которых удвоена ширина шпалы (57 см). Данная конструкция шпалы изображена на рис. 7.

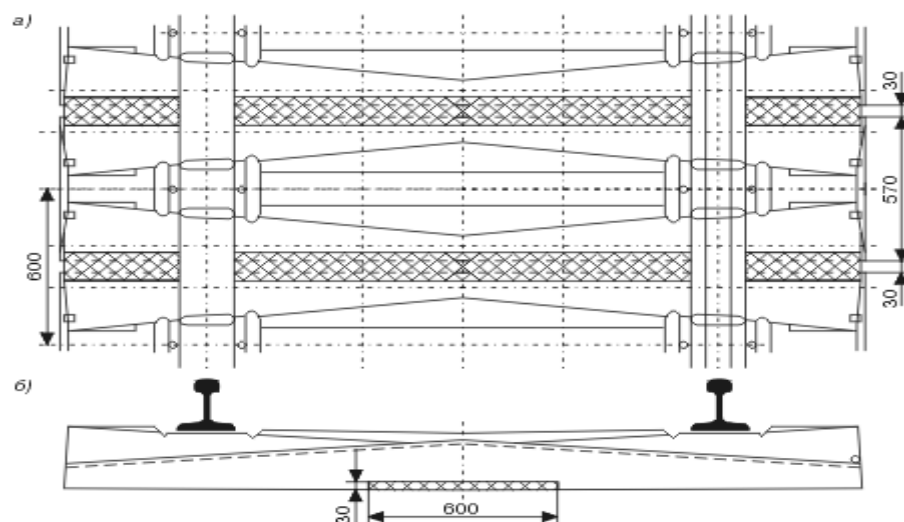


Рис. 7. Вид на шпалу BBS сверху (а) и сбоку (б)

Увеличенная масса данной конструкции не дала особого эффекта в эксплуатации, зато существенно возросла цена.

Разработанные за границей конструкции имеют общий недостаток: изменение технологии их изготовления, что очень дорого. Кроме того отсутствует техника для ремонта и текущего содержания железнодорожного пути с такими шпалами.

Разработка ДНУЖТом конструкции железобетонной шпалы с повышенным сопротивлением сдвигу в горизонтальной плоскости

ДНУЖТом была принята концепция создания шпал повышенного сопротивления на базе шпалы Ш1-1. При этом выполняются такие требования как: простота конструкции, технологичность в изготовлении, при сборке РШР на звенесборочных базах ПМС, укладке РШР в путь существующими машинными средствами при текущем содержании, технологичность обслуживания пути существующими путевыми машинами при выполнении различных путевых ремонтов.

На сегодняшний день ДНУЖТом выполнены работы по разработке новых шпал на базе Ш1-1, а точнее разработана конструкция анкерной шпалы Ш1-1А. Данная шпала отличается от типовой Ш1-1 наличием выступающих из подошвы шпалы на 100 мм вниз стержней. Конструкция данной шпалы изображена на рис. 7.

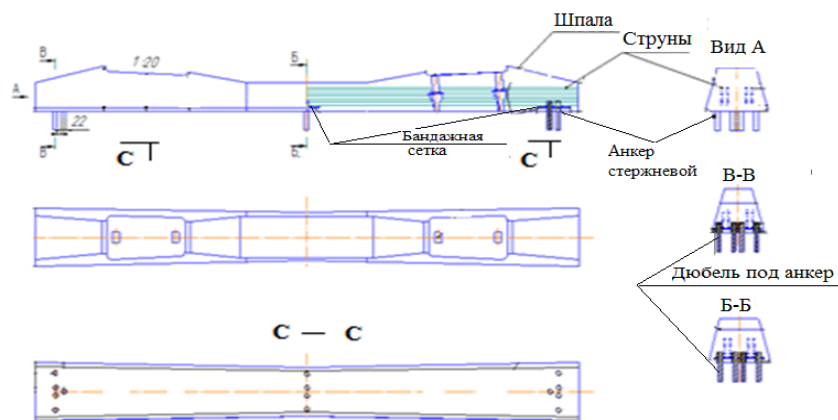


Рис. 7. Конструкция анкерной шпалы типа Ш1-1А

Основное преимущество шпалы типа Ш1-1А перед заграничными разработками - простота конструкции. Для ее изготовления не нужно конструировать новые формы, а также изменять технологию изготовления.

Лабораторные исследования ДНУЖТу по определению сил сопротивления шпалы Ш1-1А ее поперечному сдвигу

С целью внедрения в эксплуатацию шпал новой конструкции, а именно шпалы типа Ш1-1А, ДНУЖТом были выполнены лабораторные исследования. Во время эксперимента над типовой шпалой Ш1-1 установлено, что сопротивление сдвигу составляет 500 кгс (5 кН), а сопротивление сдвигу шпал с шиповаными анкерами, размещенными в трех сечениях по всей длине шпалы, составляет 1500 кгс (15 кН), что втрое больше по сравнению с типовой шпалой Ш1-1.

Поскольку шпалы Ш1-1А имеют сопротивление большее чем 1,5 тс, они могут быть применены в кривых участках $R \leq 300$ м, а бесстыковой путь будет обеспечен устойчивостью против выброса в поперечном соответственно оси пути направлении.

Перспективы внедрения шпалы типа Ш1-1А в прямых участках и в кривых $R > 400$ м

На сегодняшний день ДНУЖТ предлагает конструкцию анкерных шпал использовать в прямых участках пути. Это даст возможность снизить температуру закрепления плетей бесстыкового пути. Если понизить температуру закрепления на 10 °С, то растягивающее напряжение в плетях уменьшится всего на 25 МПа, то есть на 7 %. Предварительные расчеты ДНУЖТа показывают, что это позволит увеличить срок службы рельсов в 1,32 раза. Если понизить температуру закрепления на 15 °С, - срок службы рельсов увеличится в 1,5 раза. В этом случае межремонтные сроки увеличатся до 1,2 млрд. т.

Литература

1. Настечик М. П., Рибкін В. В., Маркуль Р. В., Арбузов М. А., Каленик К. Л. Економічна ефективність укладання безстыкової колії в кривих малого радіуса. Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту. Випуск 32., Д.:2013
2. Любимов Е. А. Определение возможных сроков службы деревянных шпал. Сб. Науч. тр. ХИИТа №90, 1967. - С 65-70
3. Шахунянц Г.М. Железнодорожный путь. - М.: Транспорт, 1987. - 479 с
4. Т. Г Яковлева. Железнодорожный путь. / Т. Г. Яковлева, Н. И. Карпущенко, С. И. Клинов и др. - М.:Транспорт, 1999. - 405 с
5. Шахунянц Г. М. Работа пути и расходы на его содержание [Текст]/ Труды МИИТа «Вопросы пути и его содержания», № 491 - М.: Транспорт, 1967. - 260 с
6. Шахунянц Г. М. Влияние срока и вида ремонта на затраты труда по текущему содержанию пути, зависящие от размеров движения поездов

[Текст]/ Труды МИИТа «Вопросы пути и его содержания», № 383 - М.: Транспорт, 1972. С. 3 — 23

7. Даніленко Е. І. Залізнична колія (2 том “Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомим складом”) / Е. І. Даніленко. - Вид-во Інпрес, 2010. - 456 с

8. Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях України, затверджено наказом Укрзалізниці від 10.08.2004 р. №630-ЦЗ. К.: 2004. - С 32

9. Крысанов Л. Г. Шпалы с повышенным сопротивлением сдвигу [Текст] /

Л. Г Крысанов, В. В. Серебренников, Н. В. Ресина // Путь и путевое хозяйство. ВНИИЖТа. – 2009. – № 3. – С. 24-25

10. Клименко В. Я. Повышение сопротивления железобетонных шпал [Электронный ресурс] / В. Я. Клименко, Л. В. Клименко. // Вестник. – 2006. – № 1. – Режим доступа: www.zdmira.com

11. Ермаков В. М. Современные конструкции железобетонных шпал и промежуточных креплений для бесстыкового пути: учеб пособие / В. М. Ермаков, А. А. Бекиш. – М.: Петербургский государственный университет путей сообщения, 2009. – 100 с