

Влияние размера и формы шпал на осадку балластного пути

Используемый в пути балласт, состоящий из однородного по гранулометрическому составу дробленого щебня, обладает требуемой угловатостью, необходимой жесткостью и простотой замены. Однако в пути вследствие смещения или разрушения (истирания, раздавливания и т. п.) частиц балласта под циклической поездной нагрузкой возникают различные осадки, которые необходимо исследовать.

Научно-исследовательский институт железнодорожной техники Японии (RTRI) в целях повышения точности установленных ранее закономерностей осадки пути провел серию испытаний на полномасштабной модели пути, уложенного на жестком основании (в частности, на пролетном строении путепровода), с имитацией воздействия циклической нагрузки от подвижного состава. Ниже рассмотрены особенности циклических деформаций балласта и методика их оценки.

Исследования показали, что осадка пути при циклическом нагружении даже с относительно малыми амплитудами имеет тенденцию к росту. Наблюдалось изменение величины осадки в каждой точке измерений (концы и средние части шпал). Установлено, что разность величины осадки по концам шпал и в их середине увеличивается по мере постепенного нараста-

ния циклической нагрузки. Полагают, что это явление вызвано дисбалансом распределения реакции в области контакта между шпалой и балластом, причем зоны опирания шпал на балласт под воздействием нагрузки смещаются от мест нахождения рельсовых скрепленных двух нитей к середине шпал, особенно после подбивки. Между нижней постелью шпалы в местах опирания рельсов и верхом балласта образуется небольшой зазор, а разность амплитуд осадок концов шпал и их середины становится больше. Также полагают, что на это явление могут влиять изгибная жесткость шпал и их длина.

По мнению Зуссмманна (Sussmann) и его коллег, возможной причиной нарушения геометрии пути является неравномерный изгиб рельсов, обусловленный центральным опиранием шпал на балласт.

В рассматриваемом исследовании проблемы осадки пути на жестком основании под воздействием циклической нагрузки были использованы шпалы нескольких типов различной высоты и длины, изготовленные из твердого пенополиуретана, армированного стекловолокном. Этот материал выбран исходя из простоты придания ему требуемой формы (в отличие от железобетонных шпал) и однородности характеристик (недостижимой для деревянных шпал). Однако поскольку модуль Юнга армированного пенополиуретана составляет примерно одну треть этого же

показателя для железобетона, высота изготовленных из него шпал увеличена в 1,5 раза по сравнению с железобетонными для обеспечения соответствия жесткости на изгиб шпал двух указанных типов.

Размеры использованных в исследовании шпал приведены в табл. 1.

Прежние исследования

Как известно, в случае пути на балласте шпалы призваны:

- упростить укладку рельсов и за счет своей значительной удерживающей силы способствовать сохранению заданного положения рельсов, в частности, с точки зрения ширины колеи;
- в силу своей достаточной прочности и изгибной жесткости равномерно распределять нагрузку от подвижного состава на балласт;
- оказывать достаточное сопротивление выбросу пути;
- обеспечивать необходимую электрическую изоляцию между двумя рельсовыми нитями, выполняющими функции рельсовых цепей системы сигнализации и блокировки.

Относительно влияния формы и размеров шпал на характер распределения поездной нагрузки на балласт известно всего о нескольких исследованиях, выполненных в прошлом. Одно из них, относящееся к 1950-м годам, т. е. к первой стадии разработки и внедрения предварительно напряженных железобетонных шпал, касалось вопросов стабильности пути, в том числе с точки зрения осадки.

При разработке шпал подлежат учету следующие параметры их размеров и формы.

Размеры шпал. Длина шпалы оказывает большое влияние на ее

Таблица 1

Размеры шпал, использованных в исследовании

Ширина, мм	Высота h , мм	Длина l , мм
240	130	2000
	195	
	260	
	130	2300
	195	
	260	
240	130	2600
	195	
	260	

изгибающий момент. В общем случае абсолютная величина отрицательного изгибающего момента в середине шпалы с увеличением длины уменьшается, и этот показатель может приобрести положительное значение. Влияние положительного изгибающего момента постепенно возрастает в зонах, находящихся непосредственно под рельсовыми скреплениями двух нитей. Поэтому длину предварительно напряженных железобетонных шпал следует определять исходя из того, чтобы изгибающий момент в средней части шпалы был согласован с моментом непосредственно под рельсовыми нитями.

Желательно увеличивать высоту и массу шпал и, следовательно, силы продольного и поперечного сопротивления смещению шпал в балласте. Однако при этом повышается стоимость шпал вследствие увеличения потребности в цементе и наполнителях. Кроме того, по мере увеличения высоты шпалы возрастает опасность ее разрушения при кручении.

Форма шпал. Известны сравнительные исследования влияния формы деревянных и железобетонных шпал на устойчивость пути, выполненные Окабе (Okabe) и его коллегами. В ходе этих исследований статическим и динамическим испытаниям под циклической нагрузкой был подвергнут путь с железобетонными шпалами 20 типов различной длины (2,0; 2,1; 2,2 и 2,3 м), высоты (от 120 до 180 мм) и ширины (от 180 до 280 мм). Результаты испытаний показали, что при увеличении площади опирания шпалы на балласт в целях предупреждения осадки пути целесообразнее увеличивать скорее длину шпалы, чем ширину. Кроме того, выявлена необходимость придания шпалам определенной гибкости за счет их удлинения и зауживания, поскольку железобетонным шпалам изначально присуща достаточно высокая изгибная жесткость.

Исходная ситуация. В силу большей стоимости железобетонных

шпал по сравнению с деревянными представляется, что экономически оптимальная длина шпал должна быть равна 2,0 м из соображений минимальной длины (400 мм) заармирования предварительно напряженной арматуры. Указанная длина нужна для обеспечения необходимого предварительного напряжения в каждом поперечном сечении под рельсовыми нитями, где изгибающий момент, вызванный приложением нагрузки, — максимальный. Так что длина шпал, укладываемых на обычных линиях в настоящее время, почти такая же, как и у разработанных в 1961 г.

Высота железобетонных шпал, как и деревянных, первоначально принималась равной 140 мм из соображений простоты замены. Однако затем она была увеличена до 230 мм с целью обеспечения поперечной устойчивости бесстыкового пути против выброса и для снижения поперечных сил, возникающих во взаимодействии колес и рельсов в кривых малого радиуса.

Все это показывает, что полученные знания относительно взаимосвязи между размерами, формой шпал и осадкой пути еще не полностью учитываются при разработке современных шпал.

Взаимосвязь между размерами шпал и циклическим нагружением

Испытательный участок. На рисунке показано поперечное сечение испытательного участка пути. Во избежание распространения нагрузки на соседние шпалы

вследствие жесткости пути приложение массы в каждом цикле испытаний ограничивалось одной шпалой. Балласт был структурирован в соответствии со стандартными процедурами. Сначала балласту придавали предусмотренную форму и уплотняли плоскими трамбовками до укладки шпалы. После этого балласт вновь уплотняли непосредственно под шпалами с помощью подбивочного оборудования, а плечи балластной призмы — с помощью плоских трамбовок. Чтобы уменьшить влияние предшествующих испытаний, второй этап уплотнения балласта повторяли перед началом каждого очередного цикла. Используемый в ходе испытаний балластный материал представлял собой андезитовый щебень воздушной сушки.

Приложение нагрузки. В ходе испытаний вертикальную нагрузку, величину которой определяли моделированием реальной поезда нагрузки и ее распределения по осям, прикладывали непосредственно к обоим рельсам пути. Максимальная величина нагрузки принята равной $P_{\max} = 45$ кН, минимальная — $P_{\min} = 2$ кН соответственно с учетом эффекта распределения нагрузки, обусловленного жесткостью рельсошпальной решетки. Сначала 10 раз прикладывали циклическую нагрузку с увеличением до P_{\max} и уменьшением до P_{\min} с темпом повышения и снижения, равным 1 кН/с. После этого в течение $2 \cdot 10^5$ циклов прикладывали синусоидальную циклическую нагрузку с частотой 2 Гц.

Результаты испытаний. Выявлено, что при длине шпалы, рав-

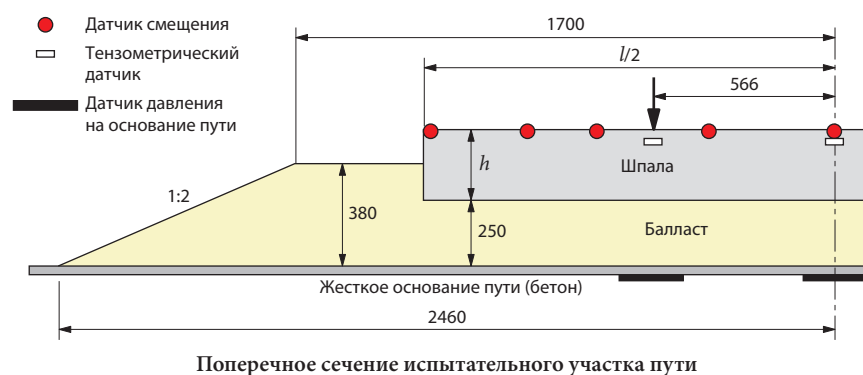


Таблица 2
Схемы опирания шпал на балласт после $2 \cdot 10^5$ циклов нагружения

Длина шпалы l , м	Высота шпалы h , мм		
	130	195	260
2,0	По центру		
2,3	Полное	По концам	По центру
2,6	По концам		

ной $l = 2,0$ м, измеренная неравномерная осадка под обоими рельсовыми нитями обусловлена ростом амплитуд смещения на концах шпалы под циклической нагрузкой. При $l = 2,6$ м различие в амплитудах смещения на обоих концах шпалы небольшое, тогда как амплитуда смещения в середине шпалы под циклической нагрузкой увеличивается; можно видеть, что осадка относительно равномерная. При $l = 2,3$ м имеют место различия в характере осадки в зависимости от высоты шпалы. При высоте шпалы $h = 130$ мм различия в амплитудах прогиба под воздействием начального периода циклических нагрузок небольшие, и шпала оседает постепенно и равномерно. При $h = 260$ мм неравномерность осадки под двумя рельсовыми нитями обусловлена ростом амплитуд смещения на концах шпалы под действием циклической нагрузки.

Характер изменения формы прогиба шпал несколько варьируется в зависимости от длины и высоты шпалы. Табл. 2 детализирует схемы опирания шпал на балласт после $2 \cdot 10^5$ циклов нагружения. Для изучения причин различия в схемах опирания (по центру и по концам шпалы) при циклической нагрузке рассмотрели неравномерные осадки шпал на начальном этапе циклического нагружения. Опирание по центру шпалы имеет место, когда смещение больше по концам, опирание по концам — когда смещение больше в середине шпалы.

Можно заключить, что только шпалы длиной 2,3 м и высотой 130 мм после $2 \cdot 10^5$ циклов нагружения опираются на балласт поч-

ти полностью, а шпалы других размеров при нагрузке P_{\min} имеют частичный зазор между нижней постелью и балластом; полный контакт наступает на начальном этапе циклического нагружения. Есть также мнение, что поведение балласта при деформации под воздействием циклической нагрузки различное в случае полного и частичного контакта. В связи с этим для разделения характера деформаций до и после контакта построили билинейную кривую нагружения, из которой видно, что темп увеличения смещения шпал под нагрузкой D_{void} до контакта сначала относительно высокий, но постепенно снижается, в то время как темп увеличения смещения шпал D_{contact} по достижении контакта становится все более низким, и в зоне максимальных нагрузок смещения остаются практически неизменными.

При оценке осадки пути под воздействием циклической нагрузки рассматривали данные как по абсолютной ее величине D_{max} , так и по разнице амплитуд смещения L_{max} (неравномерности осадки) в местах расположения рельсовых креплений двух нитей.

Видно, что величина осадки сначала увеличивалась очень быстро, затем все медленнее. При длине шпал $l = 2,0$ м наибольшая величина осадки после $2 \cdot 10^5$ циклов нагружения ($D_{\text{max}} = 9$ мм) зафиксирована у шпал высотой $h = 130$ мм, затем ($D_{\text{max}} = 7,5$ мм) у шпал с $h = 195$ мм и, наконец, наименьшая ($D_{\text{max}} = 5$ мм) — у шпал с $h = 260$ мм; при $l = 2,3$ м наибольшую осадку ($D_{\text{max}} = 9$ мм) имели шпалы с высотой $h = 195$ мм, затем ($D_{\text{max}} = 6$ мм) шпалы с $h = 260$ мм и наименьшую ($D_{\text{max}} = 4,5$ мм) — шпалы с $h = 130$ мм; при $l = 2,6$ м наибольшая осадка ($D_{\text{max}} = 8$ мм) также была у шпал с высотой $h = 195$ мм, в то время как у шпал с $h = 130$ и 260 мм осадка в конце нагружения оказалась практически одинаковой ($D_{\text{max}} = 5$ мм).

В отношении разницы амплитуд смещения L_{max} определенной закономерности ее измене-

ния установить не удалось, хотя и она возрастала (но неравномерно) по мере увеличения числа циклов нагружения. Так, при длине шпал $l = 2,0$ м наибольшая разница амплитуд смещения ($L_{\text{max}} = 2,7$ мм) зафиксирована у шпал высотой $h = 130$ мм, затем ($L_{\text{max}} = 1,9$ мм) у шпал с $h = 195$ мм и наименьшая ($L_{\text{max}} = 0,5$ мм) — у шпал с $h = 260$ мм; при $l = 2,3$ м наибольшую разницу амплитуд смещения ($L_{\text{max}} = 1,5$ мм) имели шпалы с высотой $h = 260$ мм, затем ($L_{\text{max}} = 0,5$ мм) шпалы с $h = 195$ мм и наименьшую ($L_{\text{max}} = 0,25$ мм) — шпалы с $h = 130$ мм; при $l = 2,6$ м наибольшая разница амплитуд смещения ($L_{\text{max}} = 0,6$ мм) была у шпал высотой $h = 195$ мм, затем ($L_{\text{max}} = 0,4$ мм) у шпал с $h = 260$ мм и наименьшая ($L_{\text{max}} = 0,2$ мм) — у шпал с $h = 130$ мм (значения всех величин округлены).

Выводы

На основе результатов выполненного исследования можно сделать следующие выводы.

1. При длине шпалы $l = 2,0$ м в основном имеет место схема опирания шпал на балласт по центру, а при $l = 2,6$ м — по концам, хотя переменный характер формы прогиба шпал имеет некоторые вариации в зависимости от их длины и высоты.

2. Возможно, разность между амплитудами смещения по концам шпалы и в ее середине в начальный период циклического нагружения определяется тем, какая именно схема опирания шпалы на балласт — по центру или по концам — имеет место на данном этапе нагружения.

3. Разница амплитуд смещения (неравномерность осадки) по мере увеличения числа циклов нагрузки имеет тенденцию к росту, темп которого зависит от размеров и формы шпалы, отражая переход к схеме опирания шпалы на балласт по центру.