

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ПУТИ

инж. М.С. Тихов

При проведении испытаний для установления скоростей движения подвижного состава прочность пути экспериментально оценивается в основном по напряжениям в элементах пути и по силам, действующим на промежуточные рельсовые скрепления. Прямое измерение показателей напряженно-деформированного состояния пути при воздействии на него подвижного состава возможно только на небольшом участке в ограниченном количестве сечений пути из-за дискретности их измерений и ограниченных измерительных возможностей.

Общее количество измеряемых процессов при проведении испытаний по воздействию нового или модифицированного подвижного состава на путь ограничивается числом каналов  $N$  измерительной системы и разделяется на:

$N_1$  – количество датчиков напряжений в наружной и внутренней кромках подошвы рельсов, обычно измеряемых одновременно в одних и тех же сечениях для определения осевых напряжений в подошве рельса, которые затем сопоставляются с расчетными при установлении условий обращения подвижного состава по пути различных конструкций верхнего строения;

$N_2$  – количество датчиков горизонтальных и вертикальных нагрузок на рельсы, горизонтальные нагрузки на рельсы определяют прочность промежуточных рельсовых скреплений, вертикальные нагрузки используются при расчетах воздействия опытного подвижного состава на железнодорожные пути различных конструкций верхнего строения [1-3];

$N_3$  – количество датчиков горизонтальных и вертикальных нагрузок на шпалы; отношение максимальной горизонтальной нагрузки к средней вертикальной служит оценкой прочности промежуточных рельсовых скреплений, поэтому датчики должны устанавливаться попарно на одной либо соседних шпалах.

Поскольку информация о нагрузках и напряжениях дополняют друг друга, для получения полной картины о напряженно-деформированном состоянии пути и обеспечения достоверности получаемых результатов приборы всех типов должны устанавливаться либо в одних и тех же, либо в соседних сечениях пути. Таким образом, количество измерительных сечений  $N_{\text{сеч}}$  с учетом необходимости измерения в одном сечении пути попарно напряжений в наружной и внутренней кромках подошвы и горизонтальных и вертикальных нагрузок составит:

$$N_{\text{сеч}} = N_1/2 + N_2/2 + N_3/2$$

При одинаковом количестве датчиков каждого типа число оборудованных сечений пути составит  $N/6$ . При этом рассматриваемые показатели напряженно-деформированного состояния пути связаны между собой: нагрузки на рельсы при известной жесткости основания определяют нагрузки на шпалы [4], полусумма напряжений в наружной и внутренней кромках подошвы рельсов зависит от вертикального воздействия на путь, а полуразность напряжений – от горизонтального воздействия.

Установление зависимостей между группами показателей, определяющих воздействие на путь в вертикальном и горизонтальном направлении, позволяет отказаться от измерения трех различных типов характеристик напряженно-деформированного состояния пути и значительно увеличить количество исследуемых сечений. Однако, для этого необходимо определить измерение каких показателей может обеспечить полноту экспериментальной информации о напряженно-деформированном состоянии пути при сохранении достоверности получаемых экспериментальных данных.

Измерение нагрузок на шпалы требует установки специальных силоизмерительных подкладок, при этом вносятся изменения в конструкцию пути на опытных участках, а также точность сильно зависит от жесткости измерительных сечений, поэтому более целесообразным является измерение напряжений в рельсах методом тензометрирования, не требующим внесения изменений в конструкцию пути опытного участка. Измерение нагрузок на рельсы по методу Шлюмпфа [5,6] также производится на основе тензометрирования и проведения силовых калибровок измерительных сечений.

Были получены зависимости горизонтальных и вертикальных нагрузок на одну деревянную шпалу в кривом участке пути радиусом 350 метров от соответствующих нагрузок на рельс, измеряемых в этом же сечении пути. В одну совокупность сведены нагрузки, возникающие при воздействии на путь всех осей локомотивов и пассажирского вагона. Как показывает анализ полученных зависимостей нагрузки, передаваемые от рельса на шпалу в одном сечении пути по обоим рельсовым нитям, могут с достаточной достоверностью определены по нагрузкам, возникающим в контакте колесо-рельс. Зависимости горизонтальных и вертикальных нагрузок на шпалы от нагрузок на рельсы для одного промежуточного скрепления характеризуются одинаковым рассеянием показателей, обусловленным стабильностью под-рельсовой структуры: коэффициенты корреляции для наружной нити кривой составили 0,77, а по внутренней – 0,88. Аналогичный уровень взаимозависимости получен и при одновременном измерении вертикальных нагрузок на рельсы и железобетонные шпалы.

Для разных сечений зависимости нагрузок на шпалы от нагрузок на рельсы могут значительно отличаться, что объясняется неравноупругостью железнодорожного пути, как в вертикальном, так и горизонтальном поперечном направлении.

Проведенное исследование по результатам ряда испытаний по воздействию на путь, в которых одновременно регистрировались нагрузки на рельсы и напряжения в кромках, с целью определения взаимозависимостей полусумм напряжений и вертикальных нагрузок на рельсы, показало, что между этими экспериментально определяемыми показателями напряженно-деформированного состояния пути также существует устойчивая связь, обеспечивающая корреляцию выше 0.8 при рассмотрении всей совокупности значений. Неопределенность в устанавливаемых зависимостях вносят напряжения, возникающие в рельсах из-за эксцентриситета приложения вертикальной нагрузки [6,7] и различающиеся в различных сечениях в зависимости от траектории движения колесных пар.

Обычно на испытаниях опытный поезд состоит из локомотивов, вагона-лаборатории и опытных объектов, поездки с определением показателей воздействия на путь проводятся в пологой и крутой кривых. Большое рассеивание величин характерно на испытаниях грузовых вагонов, когда в опытных поезд входят и локомотивы и вагоны, на испытаниях локомотивов достигаются более устойчивые взаимозависимости между напряжениями в кромках подошвы рельсов и нагрузками на рельс. Это объясняется тем, что данная зависимость определяется поверхностью контакта между колесом и рельсом, а именно ее смещением поперек оси пути. Для локомотивов в кривых участках характерно постоянное набегание гребнем на наружную нить первыми осями тележек, для грузовых вагонов этот эффект достигается только при положительном непогашенном ускорении из-за большей склонности к вилянию. Таким образом, различные точки контакта между колесами локомотивов и вагонов и рельсами могут значительно влиять на характер устанавливаемой взаимосвязи.

Другим важным фактором, как и при установлении зависимостей нагрузок на шпалы от нагрузок на рельсы, является значительный разброс коэффициентов зависимостей в различных сечениях, что объясняется неравноупругостью пути. Разница между коэффициентами может достигать величины в 1,5-2 раза.

Были получены зависимости полуразностей в кромках подошвы рельсов от горизонтальных нагрузок на рельсы на испытаниях грузовых вагонов в двух участках пути. Коэффициенты корреляции в основном составляют величины между 0,8 и 0,95, при этом в практически всех сечениях корреляции выше, чем в объединенной совокупности из-за различного влияния неровностей пути на траекторию движения в разных сечениях. Аналогичный результат имеет место и на испытаниях локомотивов, корреляции между полуразностями напряжений и горизонтальной нагрузкой на рельс во всех измерительных сечениях превышают 0,9.

Зависимости полусумм напряжений в наружной и внутренней кромках подошвы рельса от вертикальной нагрузки на рельс в отдельных сечениях пути также в основном превышают показатели для объединенной совокупности данных. В отдельных случаях коэффициент корреляции оказывается значительно ниже и, например, в одном измерительном сечении составил всего 0,72.

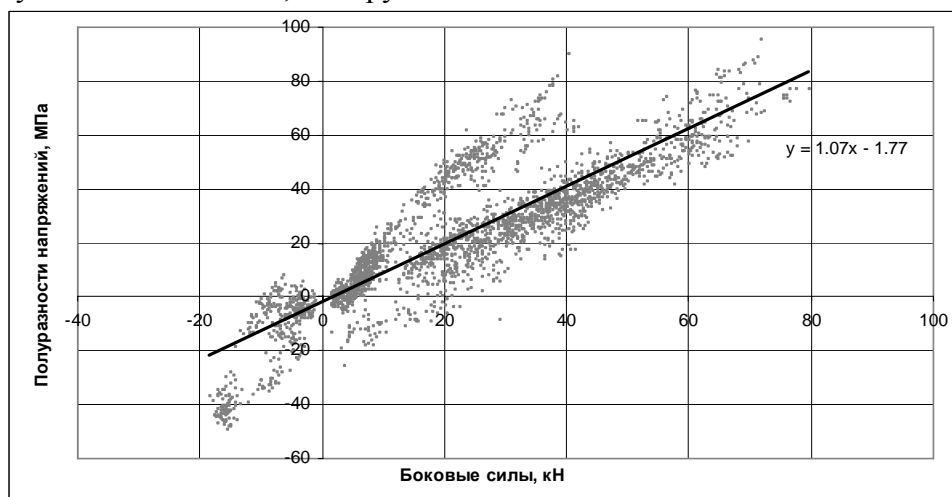
В этом случае зависимость имеет другой характер, значительно меньше оказывается линейный коэффициент, что косвенно характеризует «слабость» пути в данном сечении из-за плохой работы шпал. Исключение подобных сечений из рассмотрения при проведении типовых испытаний по воздействию на путь, когда определяющими являются максимальные значения показателей, скажется лишь на объеме экспериментальных данных, но не получаемых результатов. Для установления скоростей движения надо ориентироваться на наибольшие значения. Как показывает анализ проведенный по целому ряду испытаний, количество таких сечений не превышает 1-2 на каждом опытном участке, где обычно измерения проводятся в 12 сечениях.

Как и в остальных рассматриваемых зависимостях между зависимостями в отдельных сечениях имеет место определенный разброс, который и определяет меньшую корреляцию для полной совокупности данных.

При проведении испытаний по воздействию на путь конструкций верхнего строения с железобетонными шпалами получены в среднем более высокие коэффициенты корреляции, что объясняется большей жесткостью такого пути. Во всех рассмотренных измерительных сечениях корреляция между полуразностями напряжений и горизонтальными нагрузками на рельсы составила более 0,90, в этих же сечениях между полусуммами напряжений и вертикальной нагрузкой на рельс были получены как и устойчивые взаимозависимости, так и весьма низкие корреляции, это подтверждает ранее полученный результат для пути на деревянных шпалах относительно «слабых» в вертикальном плане сечений пути.

По полученным зависимостям полуразностей и полусумм напряжений в кромках подошвы рельсов от горизонтальных и вертикальных нагрузок на рельсы можно восстановить на основе измерения только нагрузок на рельсы напряжения в наружной кромке подошвы рельса, которое традиционно является критерием прочности рельсов. В качестве вероятностной оценки, определяемой по зависимости величины, можно использовать величину среднеквадратического отклонения мгновенных значений от линейной зависимости (рисунок 1).

Проблемой, требующей дополнительного исследования для возможности определения всей совокупности показателей напряженно-деформированного состояния пути, является согласование мест установки датчиков, так как напряжения в кромках подошвы рельсов измеряются в междушпальных ящиках, а нагрузки на подкладки – на шпалах.



Коэффициент корреляции 0.87

Среднеквадрат. отклонение 12,2 МПа

Рисунок 1 - Полуразности напряжений в кромках подошвы в зависимости от боковых сил. Полученные результаты свидетельствуют о том, что измерение в процессе опытных поездок только одной группы показателей воздействия на путь – нагрузок на рельсы или напряжений в кромках подошвы рельсов – позволяет получить всю совокупность информации о напряженно-деформированном состоянии. Но для этого необходимо проводить предварительную оценку упругости пути в этих сечениях. Для этого требуется на стадии подготовки опытного участка проводить калибровки измерительных сечений для оценки жесткости пути, это позволит увеличить число измерительных сечений при проведении опытных поездок.

Применение такого подхода обеспечит возможность в два-три раза увеличить объем экспериментальной информации без дополнительного увеличения измерительных систем и может применяться при проведении испытаний по воздействию на путь с целью установления условий обращения подвижного состава, в частности, установления скоростей движения по железнодорожному пути с различными конструкциями верхнего строения.

Выводы:

- практикующееся в настоящее время измерение трех различных типов показателей напряженно-деформированного состояния пути, между которыми существуют теоретически обоснованные зависимости, сужает возможности используемых измерительных систем;
- экспериментальное измерение только одного типа показателей напряженно-деформированного состояния пути позволит значительно увеличить количество измерительных сечений пути;
- наименее эффективными для определения других показателей воздействия подвижного состава на путь являются нагрузки на шпалы;
- между экспериментально определяемыми горизонтальными и вертикальными нагрузками на шпалы и на рельсы существует устойчивая взаимосвязь, зависящая от состояния конкретного промежуточного рельсового скрепления;
- между экспериментально определяемыми напряжениями в кромках подошвы рельсов и нагрузками на рельсы существует устойчивая взаимосвязь, на тесноту которой значительное влияние оказывает величина модуля упругости пути;
- разница в точках контакта рельса и колеса различного подвижного состава незначительно увеличивает разброс зависимостей напряжений от нагрузок;
- переход к измерению только одного показателя воздействия на путь, по которому будут определяться все остальные, возможен при проведении дополнительной оценки модуля упругости пути в измерительных сечениях или при использовании большего экспериментального объема информации по проведенным испытаниям.

Список литературы

1. Правила производства расчетов верхнего строения железнодорожного пути на прочность. Литограф. изд. МПС 1954.
2. Сборник трудов ЦНИИ МПС №466. Динамические исследования пути и корректировка правил расчетов железнодорожного пути на прочность. Под ред. М.Ф. Вериго. М.: Транспорт, 1972.
3. Методика оценки воздействия подвижного состава на путь по условиям обеспечения его надежности. М.: 2000.
4. Вериго М.Ф., Крепкогорский С.С. Основные требования к подвижному составу по воздействию на путь. В сб. «Труды ЦНИИ МПС», вып. 248. М., Трансжелдориздат, 1962.
5. Н. Weber. Zur direkten Messung der Kräfte zwischen Rad und Schiene. Elektrische Bahnen, 1961, №5, Bern, 93-110.
6. Вериго М.Ф., Коган А.Я. Взаимодействие пути и подвижного состава. М., 1986.
7. Ершков О.П. Установление коэффициентов, учитывающий боковой изгиб и кручение рельсов. В сб. «Труды ЦНИИ МПС», вып. 97. М.: Трансжелдориздат, 1955.

*(Труды третьей научно-технической конференции с международным участием, МИИТ, 2006, с. 137-140).*