

## К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ КАЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

Для рассмотрения вопросов по обеспечению условий плавности движения и оптимизации работы железнодорожного пути предложено ввести понятия систем качественной оценки работоспособности и развернутой диагностики.

Для розгляду питань по забезпеченню умов плавності руху і оптимізації роботи залізничної колії запропоновано ввести поняття систем якісної оцінки працездатності і розгорненої діагностики.

For consideration of questions on providing of terms of smoothness of motion and optimization of work of railway way it is suggested to enter the concepts of the systems of high-quality estimation of capacity and unfolded diagnostics.

Качество железнодорожного пути в описательном его понятии – свойство, делающее его работоспособным в заданных условиях эксплуатации железнодорожной линии.

Качество пути определяется проектом и его выполнением. Следовательно, можно говорить о качестве проектирования, изготовления, укладки и содержания. Важнейшая цель повышения качества заключается в доведении технической деятельности до такого уровня, которое исключало бы все отступления от норм. Поэтому, прежде всего, необходима разработка системы однозначных критериев оценки качества.

Разнообразные качественные показатели, характеризующие состояния конструкции железнодорожного пути делятся на две группы: численные и альтернативные. Причем многие численные характеристики поддаются альтернативной оценке, как, например, геометрические параметры железнодорожного пути, который может рассматриваться как система двух рельсовых нитей, оцениваемых по положению в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Для создания такой методики необходимо систематизировать существующие показатели, при необходимости добавить новые и разработать соответствующую систему диагностики. Это даст возможность оптимизировать нормы наработку верхнего строения пути. Такая оптимизация позволит, во-первых, назначить соответствующий ремонт до накопления в верхнем строении пути таких деформаций, которые не удастся устранить с относительно малыми затратами, и, во-вторых, обеспечить возможно минимальное число таких ремонтов в течение периода эксплуатации конструкции железнодорожного пути (между сплошными сменами).

Единая стройная методика оценки работоспособности железнодорожного пути на сети дорог должна базироваться на системе мониторинга всех элементов, составляющих его конструкцию. Такая система мониторинга должна создаваться как комплекс различных методов диагностики и режимных наблюдений, учитывающий многообразие инженерно-геологических и техногенных условий, причины и типы деформаций каждого элемента конструкции пути и их взаимосвязь. Создание такой системы мониторинга позволит объединить все диагностические средства в одно целое, что даст возможность оценить эффективность их использования и определить направления по их развитию и усовершенствованию, а также установить их совокупность для конкретных условий. Комплексное, продуманное и согласованное использование средств диагностики позволит получать реальную информацию о железнодорожном пути, при этом она будет систематизированной, а не отрывочной, каковой она является.

Рассмотрим необходимость, возможность и направления разработки единой стройной методики оценки работоспособности железнодорожного пути и развернутой диагностики железнодорожного пути.

Возникновение упругих деформаций в любой нагруженной конструкции неизбежно, также неизбежны и обусловленные этими деформациями перемещения отдельных точек конструкции. Рассмотрим происходящие в конструкции железнодорожного пути изменения, вызванные приложением нагрузки к рельсам. Такие элементы как песчаная подушка, балластный слой, прокладки, подкладки и деревянные шпалы будут испытывать как перемеще-

ния, так и деформации, рельсы и железобетонные шпалы - преимущественно перемещения, а земляное полотно - только деформацию. Совокупность деформации и перемещения элементов, составляющих конструкцию железнодорожного пути, либо их частей и представляет собою деформативность железнодорожного пути.

Необходимость создания единой стройной методики оценки работоспособности железнодорожного пути, основанной на оценке деформативности пути, обусловлена следующими предпосылками:

1. Если рассматривать конструкцию железнодорожного пути как целостную систему, состоящую из отдельных элементов (рельсов, креплений, шпал, балласта, земляного полотна), подверженных изнашиванию в процессе эксплуатации, то на существующем этапе нет единой стройной методики оценки работоспособности такой системы.

2. До сих пор отсутствует рекомендация об оптимальной жесткости пути с точки зрения продления его срока эксплуатации.

3. Конструкция рельсошпальной решетки бесстыкового пути предусматривает укладку по длине пути однотипных элементов с одинаковыми характеристиками. Такие элементы как рельсовые плети и железобетонные шпалы соответствуют этим требованиям, а крепления не отвечают им. В работе крепления немаловажное значение играют материал и толщина прокладок, так как именно они характеризуют жесткость крепления. Согласно [1] жесткость прокладок ПРЦП-4, ПНЦП 31-1, может изменяться на 8 %, ПРП-2 из полиуретана на 533%, а ПРП-2 из полиэтилена на 200%, а несовпадение толщины может колебаться в пределах 3 мм, что также вносит разброс в жесткость крепления. Таким образом, жесткость однотипных креплений с прокладками соответствующими техническим требованиям, расположенных на соседних шпалах может значительно различаться, что сводит на минимум все усилия по обеспечению равножесткости бесстыковой конструкции железнодорожного пути даже при использовании подготовленного подшпального основания и однотипных конструкций железобетонных шпал и рельсовых плетей. Что еще раз доказывает необходимость нормирования деформативности пути.

4. Если железнодорожный путь с железобетонными шпалами уложен на неподготовленное подшпальное основание (при этом модуль деформации грунта  $E_{гр} \leq 20$  МПа, а модуль

деформации щебня  $E_{щ} = 100$  МПа), то крепления не выполняют полностью свою функцию и деформация конструкции пути происходит за счет деформации земляного полотна. Так, при неподготовленном земляном полотне, доля прогибов земляного полотна составляет 86...96 %, рельсошпальной решетки – 2...4 %, балластного слоя – 2...10 %. А при подготовленном земляном полотне ( $E_{гр} \geq 50$  МПа,  $E_{щ} = 100$  МПа), доля прогибов земляного полотна составляет 52...78 %, рельсошпальной решетки – 11...23 %, балластного слоя – 11...25 %. При меньших значениях модулей деформации щебня будет уменьшаться доля деформаций земляного полотна за счет увеличения доли балластного слоя, а доля рельсошпальной решетки останется такой же. В работе [2] на примере конструкции железнодорожного пути первой категории, было показано, как при различных характеристиках балластного слоя и земляного полотна изменяется доля прогибов рельсошпальной решетки. Таким образом, чтобы эффективно использовать крепления необходимо для каждого существующего типа крепления установить его оптимальный режим работы, то есть интервал значений модуля упругости подшпального основания. А разработка требований к жесткости крепления в зависимости от модуля упругости подшпального основания даст возможность качественно разрабатывать их конструкцию.

5. При подготовленном земляном полотне и больших значениях модулей деформации слоя щебня или щебня и стабилизирующего слоя, а также эффективно используя жесткость крепления, долю прогибов земляного полотна, можно уменьшить до 5 %. Это, во-первых, продлит срок службы земляного полотна и сократит расходы по его содержанию и ремонту, и, во-вторых, задача по определению и обеспечению оптимальной жесткости бесстыкового пути будет решаться только за счет использования усовершенствованных или вновь разработанных упругих элементов конструкции.

6. Следующим аспектом, требующим ввода дополнительного критерия оценки пути, то есть ввода оценки деформативности пути является назначение комплексно-оздоровительных ремонтов. Изменение геометрии параметров рельсовой колеи (ширина колеи, положение по уровню и в плане, просадки рельсовых нитей) и конструкции пути в целом (величина плеча балластной призмы и обочина, откосы балласта и земляного полотна) напрямую связаны с из-

менением состояния каждого элемента конструкции железнодорожного пути (гнилость шпал, загрязненность балластного слоя, состояние креплений, состояния земполотна). Поэтому нельзя рассматривать изменения одних параметров без учета других. Комплексно-оздоровительный ремонт проводят для обеспечения равноупругости подшпального основания и выполняют работы по сплошной выправке и рихтовке пути, очистке загрязненного балласта в местах выплесков, замене негодных элементов верхнего строения пути. Критериями назначения комплексно-оздоровительного ремонта являются количество отступлений и количество непригодных шпал и креплений. Так для назначения комплексно-оздоровительного ремонта для I, II и III категорий пути необходимо, чтобы на участке было 20 шт. (пог.м)/км второй степени и 3 шт. (пог.м)/км отступлений третьей и большей степени. Но на одну и ту же степень отступления приходится разное количество неисправностей: отступления по уровню и в плане, просадки, перекосы, а также их сочетания. Поэтому без информации о состоянии элементов конструкции пути планирование участков работ по восстановлению равноупругости железнодорожного пути не может быть оптимальным. Что также доказывает необходимость нормирования деформативности пути и установления взаимосвязи с существующими критериями оценки.

Существует только один интегральный параметр, используемый в расчетах, который характеризует деформативность конструкции железнодорожного пути – модуль упругости подрельсового основания в вертикальной плоскости. Ранее автором были предложены методика расчета его значений с учетом разнообразности элементов составляющих конструкцию пути и методика качественной оценки деформативности железнодорожного пути [2, 3]. Модуль упругости подрельсового основания можно представить как диагональ параллелепипеда. По сути, модуль упругости подрельсового основания в вертикальной плоскости – это вертикальная проекция диагонали параллелепипеда, модуль упругости подрельсового основания в горизонтальной (поперечной) плоскости – горизонтальная проекция, то же в продольной плоскости – продольная составляющая. Поэтому, ограничивая только одну составляющую (модуль упругости подрельсового основания в вертикальной плоскости) невозможно судить о модуле упругости подрельсового основания и как следствие о состоянии пути, так как неиз-

бежны деформации и перемещения элементов конструкции пути в поперечной или продольной плоскостях. Продольная составляющая модуля упругости подрельсового основания ограничена работой конструкции пути. Поэтому ограничение двух составляющих (вертикальной и горизонтальной) позволяет достоверно оценить данный параметр.

Свидетельствует ли данный факт о необходимости нормирования модуля упругости в горизонтальной плоскости? Оценка геометрических параметров железнодорожного пути, рассматриваемого как система двух рельсовых нитей, производится по положению в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Поэтому априори нормирование модуля упругости в горизонтальной плоскости также оправдано. Кроме того, горизонтальный модуль упругости подрельсового основания существенно влияет на устойчивость конструкции в целом, рост интенсивности бокового износа рельсов, рост повреждаемости рельсов в зимний период.

Можно ли решить поставленные задачи не вводя новый критерий оценки модуля упругости подрельсового основания в горизонтальной плоскости? Это возможно только при соблюдении следующих позиций:

1. Нормировать горизонтальную жесткость элементов.
2. Учесть влияния состояния элементов пути на формирование модуля упругости.
3. Учесть влияние геометрии рельсовой колеи на формирование модуля упругости.
4. При этом необходимо разделить модуль упругости подрельсового основания на модуль упругости подшпального основания и рельсошпальной решетки.

Что касается последнего пункта, то в результате такого разделения получим следующие преимущества: учтем особенность работы элементов из «сыпучих» материалов со свободными боковыми поверхностями, то есть балластного слоя и земляного полотна, и максимально используем ресурс скрепления в формировании модуля упругости подрельсового основания.

Рассмотрим выполнение первой позиции. Горизонтальная жесткость земляного полотна. Известно, что грунты представляют собой трехфазную пористую структуру, состоящую из частиц грунта, воды, воздуха и пара. При воздействии вибродинамической нагрузки в грунте происходит механическое разрушение между частицами, изменение порового про-

странства и изменение температуры всех фаз грунта. Это вызывает перераспределение частиц грунта, нарушает баланс влаги и пара. Измерения вертикальных перемещений характеризуют только осадку, то есть уплотнение пассивной твердой фазы грунта, но не позволяют оценить горизонтальные перемещения, которые являются основным показателем развития деформаций. Существуют разные способы диагностики несущей способности грунтов, в том числе и с определением изменения порового давления, который позволяет достоверно судить о стабильности грунтов, как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях. Но введение требований к грунтам, укладываемых в конструкцию пути по значениям модуля деформации  $E$ , плотности  $\rho$ , коэффициента пористости  $\varepsilon$  и влажности  $\omega$  грунта могут гарантировать стабильность грунтов, как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях.

Поэтому требования по перечисленным критериям ( $E$ ,  $\rho$ ,  $\varepsilon$ ,  $\omega$ ) к земляному полотну и балласту при устройстве и содержании позволяют оценивать деформативность подшпального основания в процессе эксплуатации только по его модулю упругости в вертикальной плоскости.

В подшпальном основании земляное полотно имеет наибольший срок эксплуатации. При стабильном земляном полотне, во время проведения очистки щебня необходимо слой балласта возвращать к тем параметрам, которые были заложены при его устройстве. Технологии производства работ определяют степень уплотнения балластного слоя, что в свою очередь, определяет период стабилизации отремонтированного пути, а также влияют на скорости обращения поездов после выполнения ремонтно-путевых работ. Использование динамического стабилизатора на заключительном этапе отделочных работ не позволяет добиться качественного уплотнения балластного слоя. Требуемая степень уплотнения балласта после ремонтно-путевых работ с глубокой очисткой щебня 20-21 % [4]. При этом период стабилизации равен нулю. Фактическая степень уплотнения балласта при ремонтах 10-14 %, при этом период стабилизации 1,0-1,5 млн. т бр. Поэтому существует необходимость в технологии послойного уплотнения балластного слоя. Толщина слоя, подлежащая уплотнению по строительным нормам должна составлять 15-20 см. С учетом того, что максимальная толщина балластного слоя на дорогах Украины для I категории пути составляет 40 см, то необходимо про-

водить уплотнение балластного слоя 2 раза. Технологическая цепочка такого уплотнения: работа щебнеочистительной машины – проход динамического стабилизатора – выгрузка нового щебня – подъемка пути – проход динамического стабилизатора.

Не последнее место занимает вопрос об использовании геоматериалов в конструкции железнодорожного пути для ее усиления или стабилизации. Существуют следующие виды геоматериалов: тканый, нетканый, вязанный, сетка, решетка, мембрана. Все они обладают различными функциями и свойствами, и их применение может способствовать как усилению и стабилизации конструкции железнодорожного пути, так и ее ослаблению.

Предпочитают укладку георешетки в качестве армирующего элемента в балластном слое. При этом модуль упругости подрельсового основания в вертикальной плоскости увеличивается в 1,23...2,16 раз, в зависимости от типа решетки и количества ее слоев. Но использование этого эффективного способа приводит к тому, что при засорении балластного слоя, дабы не повредить георешетку очищают только щебень находящийся на 5 см выше решетки. Поэтому минимально 10 см щебня (при укладке одного слоя решетки) и максимально 40 см щебня (при двух слоев) остаются не очищенными. В результате под очищенным щебнем образуется слой, аккумулирующий грязь и влагу и, создающий благоприятные условия для вымывания (перемещения) частиц грунта, тем самым, приближая момент появления деформаций земляного полотна. Если же укладывать геотекстиль, то при слабом подшпальном основании под действием нагрузки он или деформируется или рвется. Поэтому существует необходимость в разработке технологии укладки георешетки с геотекстилем или геотекстиля со стабилизирующим слоем в подбалластном или в верхнем слое земляного полотна, используя не только армирующие, но и разделительные свойства геоматериалов.

Горизонтальная жесткость рельсошпальной решетки (при установленных критериях подшпального основания) в основном определяется горизонтальной жесткостью скрепления. Поэтому для оценки деформативности рельсошпальной решетки достаточно разработать требования к вертикальной и горизонтальной жесткости скрепления в зависимости от модуля упругости подшпального основания.

Диагностика деформативности железнодорожного пути должна базироваться на существ-

вующих способах измерения. Так как основным параметром для оценки деформативности служит прогиб рельса или других элементов, то для диагностики данной величины возможно использование путеизмерительного вагона и нагрузочного диагностического комплекса. Но данные, получаемые после прохода указанных средств представляют собой качественную оценку деформативности пути в целом, так как могут указать наличие или отсутствие отклонения от принятого для данной конструкции пути исправного состояния, но не могут определить конкретную причину, вызвавшую неисправность, и элемент, который подлежит ремонту. Стационарный модульный вагон позволяет проанализировать вертикальную и горизонтальную жесткость пути, оценить вклад каждого элемента и наличие люфтов в формировании деформативности конструкции пути. Поэтому для регулярных наблюдений можно использовать передвижные средства диагностики (путеизмерительные вагоны и тележки, нагрузочные устройства и георадарные комплексы), а при сплошных сменах использовать стационарные средства (модульное устройство, тензодатчики, месдозы, датчики порового давления, тепловизоры), в зависимости от конкретных условий ремонтируемого участка.

Выше изложенное приводит к следующим заключениям:

1. Для достоверной оценки состояния конструкции железнодорожного пути и его изменения необходимо ввести качественную оценку деформативности железнодорожного пути.

2. Для обеспечения качества проектирования, изготовления, укладки и содержания железнодорожного пути необходимо систематизировать существующие показатели его оценки и привести их в соответствие с оценкой деформативности конструкции.

3. Для оптимизации нормы на наработку

верхнего строения пути необходимо провести исследования и установить зависимость между деформативностью и работоспособностью железнодорожного пути.

4. Для повышения безопасности движения поездов и снижения эксплуатационных потерь необходимо разработать систему развернутой диагностики железнодорожного пути, включающей мониторинг всех элементов конструкции пути.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Яковлев В. О. Практичні рекомендації щодо проведення вхідного контролю якості матеріалів верхньої будови колії / В. О. Яковлев, К. В. Мойсеєнко, В. В. Говоруха // Нормативне виробничо-практичне видання, затверджене від 30.01.2003 р. № ЦП-7/72. – Д., 2003. – 196 с.
2. Методика расчета характеристик стабилизирующего слоя / Бондаренко И. А. // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. імені акад. В. Лазаряна. – Вип. 14. – Д., 2007. – С. 76-80.
3. К вопросу определения модуля упругости пути в вертикальной плоскости / Бондаренко И. А. // Транспортні системи і технології, вип. 5, – К.: КУЕТТ, 2004. – С. 16-27.
4. Гапеенко Ю. В. Комплексные технологии уплотнения балластного слоя при ремонтах пути / Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути. Тр. III-й науч.-техн. конфер. – М., 2006. – С. 185-186.

Надійшла до редколегії 30.05.07.