

УДК 625.1.03-027.45

Бондаренко И. А., Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Днепропетровск, Украина

К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ПУТЬ

Рассмотрен вопрос об изменении принципа, заложенного при оценке влияния воздействий подвижного состава на путь.

Ключевые слова: железнодорожная техника, функциональная безопасность, жизненный цикл, деформативные характеристики, эксплуатационная надежность.

Bondarenko I., Dnepropetrovsk national university of railway transport named after academician V. Lazaryan, Ukraine

TO THE ASSESSMENT ISSUES OF IMPACT OF THE ROLLING STOCK ON THE RAILWAY TRACK

This article highlights the changes of the principle laid down in the assessment of the impact of the rolling stock on the railway track.

Key words: railway technics, functional safety, life cycle, deformability characteristics, operational dependability.

Введение

Условия обращения подвижного состава это условия обеспечивающие безопасность движения, соблюдения правил обслуживания и содержание, а также допустимое воздействие на железнодорожную колею (при условии обязательного выполнения которых подвижной состав железных дорог может применяться в перевозочном процессе). Изначально под конкретные условия обращения подвижного состава (грузонапряженность и устанавливаемые скорости движения) определяются характеристики подсистемы инфраструктуры железнодорожного транспорта, которая включает в себя верхнее строение пути, земляное полотно, водоотводные, противодеформационные, защитные и укрепительные сооружения земляного полотна, расположенные в полосе отвода, а также искусственные сооружения. А уже в процессе эксплуатации корректируются условия обращения в соответствии с состоянием подсистемы инфраструктуры железнодорожного транспорта. И при неудовлетворительном состоянии подсистемы ее реконструируют под необходимые эксплуатационные условия. Цикл изменения условий обращения подвижного состава состоит из двух операций. Однако в реальности этот процесс гораздо сложнее.

Анализ данных и постановка проблемы

Конструкция пути была создана более ста лет назад. На тот момент к ней предъявлялись следующие требования: нагрузка от локомотива 130 кН, от вагона 50 кН, конструктивная скорость 80 км/ч. Согласно существующей нормативной документации воздействие от вагона 294 кН, конструктивная скорость 120 км/ч. За время эксплуатации изменились не только значения воздействий, но и режим эксплуатации, учитывая процент обращения локомотивов и вагонов.

Любая конструкции пути имеет свой ресурс. Если рассматривать конструкцию верхнего строения, то она ограничивается либо пропущенным тоннажем (в пределах 800 млн ткм бр.) либо годами, максимальный срок которых составляет 30 лет. Сложнее с нижней конструкцией пути. Так под указанные выше проектные нагрузки предполагалось, что срок эксплуатации земляного полотна может составлять 400 лет. За все годы эксплуатации земляного полотна в среднем дважды должны были быть полностью заменены все водоотводные сооружения. Конструкция земляного полотна по нормам должна соответствовать нормативным геометрическим размерам и коэффициентам плотности и устойчивости, а также подвергаться воздействиям не более 80 кПа, приложенных на его основную площадку. Если геометрические размеры и возможно проверить, то плотность грунтов по глубине никогда не проверялась, так как это возможно только при проведении ремонта со снятием верхнего строения пути, а такие ремонты проводятся только при форс-мажорных обстоятельствах. Значения воздействий на основную площадку рассчитывается по правилам расчета пути на прочность, где считается, что во всех конструкциях верхнего строения пути уложена песчаная подушка.

Однако современные типовые технологические процессы капитальных ремонтов или модернизации не предусматривают ее обновление. Кроме того, методика расчета пути на прочность предполагает использование значения модуля упругости подрельсового основания. Эти значение никаким нормативным документом не регламентированы. Эта величина относится к параметрам деформативности. К таким параметрам также относятся модуль упругости балласта и грунтов, составляющих земляное полотно, упругая осадка подшпального основания или каждого его элемента, степень изменчивости сжимаемости грунтов. Ни одна из перечисленных величин не нормируется, а значит и не контролируется.

Но во всех нормативных документах предусматривается, что конструкция железнодорожного пути работает в упругой стадии и земляное полотно «здоровое». Эта словесная фраза выражается в подстановке при всех расчетах и прогнозах поведения конструкции пути от воздействий подвижного состава значения модуля упругости подрельсового основания 50 МПа. И хотя эта величина нигде не указана, но установление скорости обращения подвижного состава, эшюры шпал, допустимых напряжений в элементах конструкции пути и др., происходит с использованием именно этого значения.

Для использования иных значений необходимо провести определение этой величины, но такие технологии в массовом применении отсутствуют. Теоретической зависимости значения модуля упругости подрельсового основания от составляющих элементов конструкции пути нормативно утвержденной также не существует. Таким образом, возникает несоответствие фактических и нормативных жесткостных параметров железнодорожного пути.

Что касается устойчивости земляного полотна, то положение осложнено тем, что на геобазах отсутствуют данные его паспортизации. В паспортах указаны только геометрические данные конструкции земляного полотна, время возведения и проверок его состояния. При этом полностью отсутствуют данные о составляющих земляное полотно грунтах, не говоря уже об их характеристиках. Переустройство отдельных участков проводится с использованием автоматизированных комплексов, как правило, на базе метода конечных элементов, в лучшем случае с использованием теории зернистых сред, на основании установленных для данного участка геодезических и геологических данных.

Однако отсутствие критериев оценки переустройства приводит к тому, что эффективность разработанных мероприятий оценивается не по параметрам обеспечения безопасности перевозочного процесса на период жизненного цикла инфраструктуры и технико-экономическим показателям, а только по последним.

Все существующие нормативные методики расчетов показателей воздействия подвижного состава железных дорог на железнодорожный путь основаны на выполнении требований прочности и устойчивости. При этом не всегда их выполнение приводит к положительному результату, так как нет четких взаимосвязей между расчетами по различным методикам, например, расчет устойчивости земляного полотна никоим образом не связан с расчетом его прочности.

Кроме того, отсутствие критериев по деформативным характеристикам компонентов верхнего и нижнего строений приводит, во-первых, к неравноупругости железнодорожного пути по протяженности, во-вторых, к невозможности обеспечения на всех участках железнодорожных линий существующих нормативных значений параметров напряженно-деформированного состояния и ресурса, в-третьих, к не обеспечению требований безопасной эксплуатации на протяжении жизненного цикла.

Таким образом, существующие методы и методики оценки показателей воздействия подвижного состава на путь не обеспечивают своего главного назначения: обеспечения эксплуатационной надежности подсистем инфраструктур.

Анализ нормативной базы касательно нормативно-технической и конструкторской документации железнодорожных путей и его элементов

Основным направлением изменения нормативной базы железнодорожного транспорта за последние годы, стал учет безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта. Так приняты и разрабатываются следующие стандарты: ГОСТ 32192-2013 «Надежность в железнодорожной технике. Основные понятия. Термины и определения», ГОСТ (проект) «Безопасность функциональ-

ная. Политика, программа обеспечения безопасности. Доказательство безопасности объектов железнодорожного транспорта», ГОСТ (проект) «Безопасность функциональная. Управление рисками на железнодорожном транспорте», изменения, вносимые в технический регламент Таможенного союза «О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта».

Основное требование, в целях обеспечения безопасности к железнодорожному пути, сводится к тому, что все составные части железнодорожного пути (земляное полотно, верхнее строение пути и др.) и элементы составных частей железнодорожного пути (рельсы, стрелочные переводы, рельсовые скрепления, шпалы, балласт и др.) по прочности, несущей способности и устойчивости, должны обеспечивать безопасное движение железнодорожного подвижного состава с наибольшими скоростями в пределах допустимых значений на протяжении всего жизненного цикла. При этом верхнее строение пути и земляное полотно должны обеспечивать стабильность положения железнодорожного пути в плане и продольном профиле как в нагруженном, так и в ненагруженном состоянии на всем периоде эксплуатации. Геометрические параметры кривых должны устанавливаться таким образом, чтобы обеспечивать устойчивость железнодорожного подвижного состава, препятствующую сходу его колес с рельсов и опрокидыванию. А конструкция бесстыкового пути должна исключать выбросы рельсошпальной решетки при одновременном воздействии поездных и температурных нагрузок.

Внесено небольшое изменение, которое заключается в соблюдении функциональной безопасности: свойстве объекта железнодорожного транспорта выполнять требуемые функции безопасности при всех предусмотренных условиях в течение заданного периода времени. Обобщающим показателем безопасности, определяющим необходимую степень уверенности того, что объект будет выполнять заданные функции безопасности, является уровень полноты безопасности.

Это небольшое изменение кардинально меняет принцип, заложенный при оценке влияния воздействий подвижного состава на путь. Он изменяется от оценки рисков на основе правил к оценке рисков на основе соображений безопасности. Ранее было достаточно проверить соответствие разрозненных показателей по плоским статическим моделям (по своей сути). Внесенное изменение ставит перед необходимостью рассматривать не момент времени (при котором учтены все неблагоприятные условия для отдельно рассматриваемой плоскости), а динамический процесс изменения состояния эксплуатационной надежности железнодорожного пути.

Этот процесс должен быть классифицирован по комплексной оценке положения рельсовых нитей в плане и профиле, дефектов рельсов, влияющих на их форму, упругих свойств пути, при отслеживании горизонтального и вертикального смещения колеса относительно рельса и промежутков времени, в течение которого происходит смещение. Критерии классификации должны полностью оценивать состояния железнодорожного пути в соответствии состояниям надежности.

Учитывая вышеизложенное, можно констатировать факт, что ни одна из существующих нормативных методик не справится с поставленной задачей. В то же время переход на цифровую запись экспериментальных исследований [1] полностью подготовил их к верификации и валидации данных для документированного подтверждения того, что объект выполняет все заданные требования к функциональной безопасности как составной части надежности, а современные методы съемки пространственной геометрии пути [2] позволяют контролировать эти требования.

При изучении колебаний системы «экипаж-путь» ранее сформированы два направления исследований: изучение колебаний подвижного состава и изучение колебаний пути. Оба направления изучают колебания исследуемого объекта при условии, что партнер по взаимодействию задается определенными возбуждающими колебаниями. Оба направления не учитывают отклик партнера от взаимодействия.

Исследование колебаний конструкций верхнего и нижнего строений пути сводятся к изучению колебаний рельса при определенных воздействиях подвижного состава и определенных характеристиках подрельсового, а иногда подшпального, основания. Результатами таких исследований является напряженно-деформированное состояние, характеризующее прочность, устойчивость и выносливость.

Колебания подвижного состава изучаются несколько шире. Но при их исследовании колебания системы конструкций верхнего и нижнего строений железнодорожного пути представляют как набор возбуждающих колебаний. Функции, описывающие эти колебания, не имеют четкой зависимости от характеристик элементов системы конструкций верхнего и нижнего строений железнодорожного пути.

На данном этапе моделирования идет процесс объединения различных моделей в одну. Основной целью этого слияния является описание установления взаимосвязи между моделями, описывающими параметры взаимодействия пути и подвижного состава по двум направлениям.

В первом направлении используют расширенные программные комплексы для моделирования динамики рельсовых экипажей на основе положений метода конечных элементов, позволяющие моделировать во временной области, то есть в зависимости от времени. Комплексы позволяют создавать полностью параметризованные модели, т. е. задавать с помощью идентификаторов или выражений инерционные, геометрические параметры (в том числе и графические изображения элементов), а также основные характеристики силовых элементов (например, жесткости пружин, коэффициенты диссипации гасителей, коэффициенты трения в контактах и так далее). Параметризация модели является основой оптимизационных расчетов рельсовых экипажей [3].

Во втором направлении используют расширенное моделирование работы железнодорожного пути как на основе положений метода конечных элементов, так и на основе положений распространений волнового процесса в различных

средах [4, 5]. И первое и второе направления сконцентрированы на описание динамических процессов, а не учета их последствий. А для решения поставленной задачи по определению надежной работы железнодорожного транспорта важно именно описание динамического взаимодействия во времени и с учетом отклика этого процесса. Рассмотрение динамических процессов необходимо для разработки специальных требований к надежности и безопасности инфраструктуры и подвижного состава железнодорожного транспорта на всех этапах жизненного цикла объектов железнодорожного транспорта, а также и для достижения соответствия этим требованиям.

Выводы

На надежность и безопасность объекта железнодорожного транспорта оказывается воздействие тремя способами: через источники отказов, происходящие внутри объекта на любом этапе жизненного цикла (системные условия), через источники отказов, возникающие во время эксплуатации объекта (условия эксплуатации), через источники отказов, возникающие в объекте во время проведения технического обслуживания (условия технического обслуживания). При реализации конкретной железнодорожной системы необходимо определить факторы, которые могут повлиять на ее надежность и безопасность, оценить их воздействие и осуществлять управление причиной этих воздействий на протяжении всего жизненного цикла с помощью применения соответствующего системного управления для оптимизации показателей работы данной системы. Поэтому необходимо вопрос об оценке влияния воздействий подвижного состава на путь рассматривать как динамический процесс, критерии граничных состояний которого обусловлены на основании существующих нормативов соотношенных с состояниями надежности, а на их основе разработать критерии по безопасности на протяжении всего жизненного цикла.

Список литературы

1. Використання цифрової виміральної техніки для експериментальних досліджень взаємодії колії і рухомого складу / І. О. Бондаренко, Д. М. Курган, О.М. Патласов, В.Є. Савлук // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2011. – Вип. 37. – С. 124–128.
2. Takafumi Hisa Rail and Contact Line Inspection Technology for Safe and Reliable Railway Traffic / Takafumi Hisa, Motonari Kanaya, Mitsuo Sakai, Keishin Hamaoka // Hitachi Review. – Vol. 61 (2012). – № 7. – P. 325–330.
3. Универсальный механизм. Моделирование динамики механических систем [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.umlub.ru/pages/index.php?id=1#>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.
4. Настечик М. П. Дослідження напруженого стану в елементах вузла проміжного рейкового скріплення типу КПП-5 під дією рухомого складу / М. П. Настечик, І. О. Бондаренко, Р. В. Маркуль // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2015. – Вип. 2 (56). – С. 146–156.
5. Бондаренко І. О. Стосовно питань моделювання життєвого циклу деформативної роботи елементів залізничної колії / І. О. Бондаренко // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2015. – Вип. 1 (55). – С. 78–89.