

УДК 656.212.5:004

А. К. ГОЛОВНИЧ, доктор технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ВИРТУАЛЬНЫХ ОБЪЕКТАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СТАНЦИИ

Рассматривается принципиальная возможность разработки динамической трехмерной модели путевого развития и технического оснащения железнодорожной станции с имитацией физических процессов движения, торможения, сопротивления, трения, оказывающих влияние на состояние отдельных элементов пути и подвижного состава, которое становится критичным при достижении соответствующих предельных внутренних характеристик молекулярной и атомной структуры рельсов, шпал, колеса, оси. Данный подход существенно расширяет возможности практического использования систем моделирования для прогнозирования отказов устройств пути и подвижного состава.

Существующие трехмерные модели масштабного путевого развития железнодорожной станции рассматриваются, как правило, с позиций правильной геометрии представления маршрутов передвижения поездов с точностью до координирования контрольных точек путей, стрелочных переводов, светофоров, предельных столбиков, обеспечивающих зданий и сооружений в пределах закрепленной территории. Состояние путевой инфраструктуры с оценкой влияния возникающих нагрузок от подвижного состава и других внешних факторов при этом никак не учитывается. По сути, такая модель при высокой аутентичности модельных объектов ничем не отличается от обычной фотографии реального раздельного пункта и служит исключительно презентационным целям. Более широкий охват возможных практических назначений может иметь динамическая модель станции с контролем состояний всех путей и графическим отображением результатов воздействий от проходящих поездов, температурного расширения и др. Все внешние нагрузки рассматриваются как входные характеристики, априори известные для системы моделирования. В такой модели железнодорожной путь определяется как напряженно-деформируемая система конструктивно связанных объектов с возможностью считывания значений параметров, определяющих возникающие в контрольных точках усилия, давления, деформации.

Общая схема структурного прототипирования объектов железнодорожной станции представляется следующим образом: для выбранного участка железнодорожного пути, оснащенного датчиками, через некоторый, достаточно непродолжительный, интервал времени производится съем всей необходимой информации по внешним силам со стороны проходящего подвижного состава. Производятся соответствующие расчеты возникающих усилий, результаты которых позволяют сформировать *модель напряжений* всех объектов, участвующих в реконструкции реальных событий. Производится сравнение сопоставляемых опытных и расчетных характеристик, и посредством введения поправочных коэффициентов, учитывающих влияние других факторов, достигается согласование характеристик объектов модели и прототипа.

Расчитанные напряжения, давления и усилия позволяют получить выходные параметры деформаций отдельных элементов модельных объектов. Эти выходные параметры обеспечивают формирование *модели*

деформации объектов. Реальное изменение координат объектов в результате действия нагрузок фиксируются напольными датчиками, которые позволяют измерить перемещения пути, стрелочных переводов, целостность рельсов и шпал, просадки пути, стыковые ступеньки и пр. На данном этапе также будет иметь место рассогласование модельного образа и реальной картины. Кроме того, потребуется применение определенных корректирующих мер с вводом в модель эмпирических поправок для получения адекватного результата.

Моделируемые состояния объектов связываются с соответствующими силами, создающими внутреннее напряжение в объектах, которое можно измерить и вычислить. Из-за сложных внутренних физических процессов, происходящих на уровне кристаллической решетки материалов рельс и шпал, ожидается достаточно большое расхождение соответствующих опытных и расчетных параметров в сторону как уменьшения, так и увеличения.

Что касается модели положения объектов, то можно предположить, что погрешность ее расчетов будет ниже, и диапазон различий расчетных и напольных координат изменения положения, например рельса криволинейного участка пути, на данный момент времени будет меньше, чем соответствующие сопоставляемые характеристики состояния на этот же момент времени, приведшие к такому положению. Это предположение строится на гипотезе более точного расчета положения легко определяемых точек координат, чем изменений на уровне молекулярной и атомной структур элементов физической системы. Однако остаются достаточно серьезные вопросы и в данном случае. Речь идет прежде всего о трещинах в рельсах и шпалах как результатах действия нагрузок от подвижного состава. Диагностирование такого эффекта трудно назвать изменением положения и измерением координат. Его можно определить только в случае визуально наблюдаемых разломов. Можно лишь отметить, что микротрещины и другие изменения структуры элементов пути целесообразно не фиксировать ни в модели, ни натурными измерениями, если они не создают угрозу безопасности движения в настоящее время и ближайшем будущем (это «ближайшее будущее» должно быть по длительности не меньше времени производства возможных ремонтных работ, исключаяющих данную угрозу).

Важный вопрос заключается в следующем: правильно ли в грубую модель расчета состояний вводить по-

правочные коэффициенты, на 50 % и более корректирующие результат для согласования с натурными данными? Ведь чем выше расхождение со статистикой, тем выше вероятность, что в следующей реализации потребуются другие компенсирующие коэффициенты, и степень доверия к такой модели окажется ниже допустимого. Поэтому должен существовать определенный порог расхождения модели и реальной статистики, и наблюдаться устойчивая (постоянная) погрешность результатов расчета и натуральных данных для связной последовательности состояний и положений. Возможно, подобные нормы должны действовать для моделей изменения и состояний, и положений.

Визуализация объектов моделирования производится только для тех объектов, которые по результатам расчетов изменяют свое координатное положение. В противном случае визуальный образ остается в той же точке пространственной локации, и графическую процедуру его воспроизведения выполнять не требуется. Поэтому оценивается только результат действия неупругих деформаций, которые могут приводить к угону пути, перекосу груза в штабеле, излому шпалы.

Таким образом, можно рассматривать два результативных действия сил на модельный объект станции: одно передает воздействия от данного объекта технически или технологически связанному с ним объекту, определяя продуктивные перемещения (вагона по рельсам, груза из вагона в склад, погрузо-разгрузочного механизма); второй характеризует особые силы внутреннего давления, приводящие к остаточной деформации и способные порождать непродуктивные перемещения. Из-за несовершенства технической конструкции объекта, наличия определенного износа деталей первоначальное воздействие, направленное на совершение полезной работы (например, сила тяги локомотива на перемещение группы вагонов по пути парка станции), достигает своего назначения с определенными потерями. Часть этой энергии уходит на преодоление сил трения и может вызвать определенные деструктивные последствия для самой конструкции объекта.

Таким образом, векторное поле сил, действующих на объект и создающих импульс для его возможного перемещения, состоит из продуктивной и непродуктивной составляющих. Непродуктивная компонента усиливает внутреннее напряжение в объекте, приближая барьер, за которым начинаются неупругие деформации. От цикла к циклу внешнего воздействия эти силы не повторяются по величине своих значений (например, из-за изменения направления движения поездов по данному пути, движения поездов с различными скоростями и весовыми нормами). Даже проход одного и того же поезда по различным стыкам рельсовых плетей создает разные составляющие силы исходного воздействия. Можно ожидать только, что силы одной модуляции (например, воздействия на данную точку пути от одного поезда) будут создавать одни и те же усилия по каждому моделируемому объекту (стыку, шпале, рельсу).

Усталостные напряжения внутри объекта могут рассеиваться, если отсутствуют постоянные частые воздействия извне. Например, железнодорожный путь будет с большей вероятностью работать без дефектов, если нагрузка по пропущенному тоннажу в 1 млн тонн обеспечивается за год, а не за месяц.

Для каждого объекта существует свое множество потенциальных дефектов, которые могут наступать при определенной периодичности и силе внешних воздействий. Дефекты могут быть *одиночными* и *связанными* (например, одновременно могут появляться сколы и трещины в рельсе).

Общая схема движения усилий от источника (локомотива, выгрузочного механизма, лебедки) к приемнику (вагону, пакету с грузом) представляется как передача внешней нагрузки через преодоление сил сопротивления объекту, в котором возникают внутренние напряжения, приводящие к деформациям.

Если деформации неупругие, то совершается полезная работа (при достаточном внешнем усилии). Остаточные деформации могут быть *критичными* (не допускающими совершения полезной работы (разрыв автосцепки в составе поезда при попытке трогания состава с места), *субкритичными* (полезная работа совершается, но с обязательным последующими ремонтными работами) (рисунок 1).



Рисунок 1 – Изменение состояния моделируемого объекта при воздействии внешней силы

Прилагаемая к приемнику внешняя сила носит временный характер. Например, нагрузка на путь исчезает после прохождения поезда, масса груза уменьшается после выгрузки пакета с грузом на складе, удары на стыках создают меньшее давление на балласт при уменьшении скорости движения поезда и т.д. Напряженное состояние пути при этом характеризуется достаточно сложными деформациями кристаллической решетки металла рельса и материала шпал, изменением положения участков балласта и земляного полотна.

При этом возникают наведенные нагрузки: от рельса к шпале, от шпалы к балласту, от балласта на земляное полотно. Возможно, различная природа внешних и наведенных сил будет приводить к разным напряжениям и деформациям. При этом характер воздействия может зависеть от удаления наведенных сил от основного источника. Так, влияние рельсов на шпалы можно назвать наведенным 1-го рода, шпал на балласт – 2-го рода, балласта на земляное полотно – 3-го рода, земляного полотна на площадку – 4-го рода, земляной площадки на подземные коммуникации – 5-го рода и т.д. Каждое последующее наведенное воздействие по силе

своего влияния меньше предыдущего, его порождающего.

Кроме вертикального могут наблюдаться и другие векторы влияния основных и порождающих сил. Однако основным вектором является вертикальное направление передаваемых воздействий от источника по уровням расположения различных элементов железнодорожного пути. Затухание сил невертикальных векторов происходит быстрее и уже на уровне 3–4 родов, скорее всего, окажется ниже порога погрешности регистрируемых значений.

Предлагаемую концепцию моделирования физических процессов на прототипированной 3D-станции можно попытаться применить для решения конкретной задачи воспроизведения виртуального динамического образа операций закрепления подвижного состава на железнодорожных путях. Надежное закрепление подвижного состава с помощью некоторых блокировочных устройств, препятствующих перемещению вагонов под действием внешних сил (уклона, ветровой нагрузки и др.) является важной задачей обеспечения безопасности при организации поездной и маневровой работы на станции.

Расчетные методики определения количества башмаков ориентированы на некоторые спрямленные профили, усредненные величины весовых характеристик вагонов, нормальное техническое состояние железнодорожного пути и находящегося на нем подвижного состава. В настоящее время надежное закрепление регламентируется эмпирическими рекомендациями с огромным коэффициентом запаса по требуемым усилиям, удерживающим подвижной состав на пути.

В действительности безопасное закрепление зависит от большого числа факторов, которые требуют учета конкретных значений параметров трех объектов взаимодействия (пути, подвижного состава и тормозных башмаков). Физика происходящих процессов оказывается достаточно сложна, и точную оценку действия сил трения, возникающих в области соприкосновения колеса, рельса и устройства торможения, провести достаточно сложно.

С позиций формирования полной структурной симуляции взаимодействующих объектов и возникающих физических процессов виртуальная имитация закрепления должна включать модели:

- железнодорожного пути с заданной пространственной геометрией, характеризующей наличие уклонов, реальных кривых в плане и профиле. Кроме того, цифровая имитация пути включает позвенные плети, уложенные на определенных виртуальных верхнем и нижнем строениях с точным позиционированием всех стыков, раскладкой шпал, брусев и их типов, характера, областей и характеристик дефектного состояния пути;

- вагона с полным набором элементов ходовых частей. Тележка виртуального вагона с двумя боковыми рамами и надрессорной балкой должна включать также

рессорный комплекс, подпятник, скользуны, буксовый узел в полном сборе (лабиринтное кольцо, роликовые подшипники, крепежная шайба, болты и прокладки). В модель вагона включаются устройства торможения с применением виртуальных тормозных колодок. Качественная цифровая имитация закрепления должна включать существующие механические изъяны колес (ползуны, наволакивание металла, выщербины, прокат, ложный или подрезанный гребень и др.). Кроме того, модельный вагон определяется как порожний или груженный. В последнем случае значение имеет род груза, способ укладки и его характеристики;

- устройства закрепления с точными геометрическими параметрами, определенными, конкретными поверхностями соприкосновения с колесом, с одной стороны, и рельсом, – с другой.

В качестве исходной позиции можно рассмотреть упрощенный вариант, в котором виртуальная имитация закрепления представляется как участок прямолинейного горизонтального железнодорожного пути с идеальными физическими характеристиками на жестком основании (некотором монолитном блоке), на который устанавливается один единственный модельный вагон, способный к движению благодаря вращению колеса, насаженного на ось, при приложении к вагону некоторой внешней силы (толчка локомотива, усилия лебедки и др.). Колеса модельного вагона блокируются установкой модельного башмака. Данная позиция определяется как наиболее простая, но обеспечивающая имитацию реальных физических процессов моделируемой системы движения вагона по железнодорожному пути с препятствием. При этом может быть предположено, что виртуальный вагон при движении теряет определенную энергию на трении колеса и оси (трение скольжения или качения) и трении колеса по рельсу. Множественные точки в конструкции вагона, где имеет место трение различных деталей, заменяется одной узловой поверхностью соприкосновения оси колесной пары и колеса.

Моделирование процесса закрепления производится посредством расчета возникающих усилий и напряжений в точках взаимодействия виртуальных колеса, вагона и соответствующего блокировочного устройства. Результаты расчетов остаточного импульса и кинетической энергии одного или нескольких закрепляемых модельных вагонов соразмеряются с нормативными, обеспечивающими надежное удержание вагона и безопасное проведение работ на станции. Расчеты напряженно-деформируемого состояния тел по определенной модельной позиции проводятся через некоторый промежуток времени, а их результаты визуализируются как последовательность изменения положения модельных вагонов при свободном движении по пути, накатывании на башмак, возможном движении вагона с башмаком, затормаживании и удержании.

Получено 04.09.2015

A. K. Golovnich. Modeling of physical processes in the virtual objects of railway station.

We consider the fundamental possibility of the development of a dynamic three-dimensional model of track development and technical equipment of the railway station with simulation of physical processes of motion, braking resistance, friction affecting the status of individual elements of track and rolling stock, which becomes critical when the corresponding limit internal characteristics of the molecular and atomic structure rails, sleepers, wheel axle. This approach significantly enhances the practical use of modeling systems to predict device failures track and rolling stock.