



Физические свойства объектов инженерной модели 3D-станции



Александр ГОЛОВНИЧ

Alexander C. GOLOVNICH

Physical Properties of Objects of 3D-Station Engineering Model
(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 31)

Особенности и принципиальные трудности реализации инженерной модели 3D-станции. В анализе методологических и ситуационных причин преимущественно присутствуют те из них, которые связаны с недостаточно полными знаниями о природе действия физических законов и сложностью модельного воспроизведения последствий взаимодействия объектов подвижного состава и железнодорожного пути. Обозначены подходы к симуляции физических и технологических процессов для конструирования адекватных реальности образов.

Ключевые слова: железная дорога, 3D-станция, физические законы, проектирование, моделирование, симуляция, силы притяжения, силы упругости, силы трения, кумулятивный эффект.

Головнич Александр Константинович – доктор технических наук, доцент, директор Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта Белорусского государственного университета транспорта, Гомель, Беларусь.

Инженерная трехмерная модель железнодорожной станции выдвигает достаточно жесткие требования к программной подсистеме имитации физических законов. Предполагается, что моделируемое состояние различных станционных объектов будет зависеть от их свойств, изменяющихся во времени по причине взаимодействия друг с другом и с окружением. Для полноценной инженерной модели принципиально важным является не только визуальная реалистичность результатов действия физических законов, но и достаточная точность описания всей системы прямых и опосредованных связей, приводящих к наблюдаемому кумулятивному эффекту. Более того, к числу требований можно было бы присовокупить и программную симуляцию причин, порождающих действие физических законов.

МЕТОДОЛОГИЯ И ФИЛОСОФИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Трехмерное моделирование всегда сопряжено с решением целого ряда непрямых задач, связанных с имитацией форм и состояний реальных объектов. Акцентируя внимание на физике происходящих

процессов и выдвигая требования учета взаимодействий модельных объектов, мы рассматриваем общую проблематику технологической реконструкции реального мира в его конкретной симуляции на транспорте в виде некоторой пространственно-временной локации функционирующей виртуальной железнодорожной станции.

Амбициозная попытка воссоздания реалистичной по форме и содержанию копии действительности наталкивается на множество принципиальных и непомерно сложных проблем, результатом осмысления которых может стать вполне логичный вывод: зачем создавать копию, которая, как ожидается, будет заведомо хуже своего оригинала и для воспроизводства которой нужны гигантские финансовые, технические и интеллектуальные ресурсы? Более того, ряд задач в такой постановке вообще кажется пока неразрешимым, поскольку остается неизвестной природа действия физических законов, а проявляемые эффекты в своем большинстве являются результатом скрытых от наблюдения молекулярных и иных взаимодействий, реконструировать которые в модели в высшей степени проблематично, достоверность получаемых модельных процессов трудно проверить из-за отсутствия соответствующих методик и т.д.

Тем не менее, проблема 3D-моделирования в такой системной постановке вполне заслуживает внимания, чтобы говорить о ней серьезно. Любая задача оказывается востребованной, если будет представлена достаточно убедительная доказательная база эффективности применения предлагаемых идей, причем не в отдаленном будущем, а в обозримом, близком, когда результаты внедрения исследований смогут увидеть сами разработчики.

Осязаемый эффект от информационно-физической модели железнодорожной станции можно получить, активно используя ее в практике изысканий, строительства, реконструкции и эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры. Представим на миг, что такая модель, в полной мере адекватная действительности, существует. Это значит, что она может быть «запущена» с любым исходным состоянием, на любой заданный момент времени, ее можно применять для оценки эффективности использования существующих

ресурсов, прогнозировать отказы технических средств, качественно планировать профилактические и ремонтные работы, заметно повышая безопасность движения. Модельный образ станет неотъемлемым спутником реальной станции, его тенью, неотступно следующей за своим прототипом, но способной уходить в будущее, возвращаться в прошлое, иллюстрировать альтернативные ситуации, способные наступать в ближайшем времени, упреждая опасные и пограничные состояния объектов благодаря модельным детекторам виртуальной станции. Полезные сигналы из модели, идущей по времени на шаг впереди от реального прототипа, будут корректировать оперативную работу дежурного по станции робота, отслеживая любые негативные проявления технического и технологического характера, заранее «увиденные» моделью.

Эта идиллическая картина вовсе не является продуктом неумейной фантазии. Автор вполне представляет себе трудности, стоящие на пути реализации даже слабого подобия той гигантской модельной информационно-физической среды, которая будет способна воспроизвести функции реального прототипа (железнодорожной станции) в таких подробностях, что эксперт (начальник станции), «инсталлированный» в этот мир с помощью соответствующих электронных гаджетов виртуальной реальности, не сможет найти особых отличий от действительности, с которой он сталкивается каждый день в процессе своей работы.

Проблемных позиций, требующих своего разрешения для получения ожидаемого продукта, видится достаточно много с весьма широким полем областей знаний. В перечне направлений, несомненно, дискуссионного характера стоит выделить прежде всего общеметодологические вопросы, определяющие мировоззренческие, философские сферы трехмерного моделирования, роль и место транспортных виртуальных моделей в жизни общества, а также целый ряд прикладных аспектов, имеющих непосредственное отношение к эффективной реализации полнофункциональных трехмерных образов железнодорожных станций [см., напр., 1].

Условно выставляя во главу угла наиболее общие направления, можно предло-



жить некую ранжированную последовательность идейных установок, очертить принципиальные позиции фундаментальных и прикладных научных положений и практически ориентированных задач при построении моделей 3D-станций. В поле зрения должны как минимум входить:

- семантически и семиотически точная характеристика предмета, целей и результатов решения проблемы (например, формирование реалистичного образа модельных объектов станции с точным воссозданием формы и имитацией процессов взаимодействия с окружением, причем адекватно действию таких же природных и технологических процессов на реальный прототип);

- философские аспекты построения функциональных прототипов транспортных систем, метрика оценки близости их реальных и виртуальных образов;

- влияние человеческого фактора на функционирование трехмерных моделей станции;

- ограничения модели по вычислительным ресурсам (возможность представления результатов работы в реальном масштабе времени);

- структурно-функциональное 3D-моделирование как способ создания «параллельного мира», построенные с его помощью «параллельные миры» виртуальных железнодорожных станций;

- верификация и валидация трехмерной модели станции, точность воспроизведения специфических и общетехнических эффектов;

- особенности механизма трения при появлении дефектов взаимодействующих модельных объектов;

- технологические требования в модельной интерпретации трехмерной станции;

- возможность появления корреляции промежуточных состояний объектов как гармоник их взаимодействия с окружением, реконструкция событий косвенной и опосредованной связи окружения объектов 3D-модели станции, ранжирование внешних факторов, оказывающих на них влияние.

Во всех случаях остаются актуальными вопросы: должен ли виртуальный мир быть интеллектуальным, чтобы стать подобием реального? как может выглядеть нечто

типа теста Тьюринга для сравнения реального и виртуального миров? какие практические задачи смогут решать виртуальные модели железнодорожных станций, которые не были определены таковыми экспертами по проверочному тесту? что важнее для 3D-станции — соблюдение физических законов или исполнение технологических требований?

Помимо прочего внимания заслуживают и некоторые другие позиции:

- механизм таймера 3D-модели станции;

- границы пространственной локации 3D-станции;

- области применения визуализации как способа представления результатов расчета состояний модельных объектов;

- латентные локации 3D-модели станции (результаты ненаблюдаемых событий в крытых складах, незначительные просадки земляного полотна, невидимые дефекты и др.);

- съем данных с виртуальных датчиков как способ получения квазистатистической информации;

- условия развития 3D-модели станции как адаптивной системы;

- особенности функционирования программного реконструктора как «строителя» виртуального мира 3D-станции;

- детектирование развивающихся дефектов виртуальных объектов.

Следуя обозначенным идеям и подходам, есть основание утверждать, что в инженерной модели 3D-станции возможно получение состояний объектов, адекватных соответствующим состояниям их реальных прототипов не только по внешнему виду, но и содержанию. Это значит, что такая модель способна помочь снимать показания виртуальных датчиков, проводить обработку статистического материала и обеспечить результаты, которые можно идентифицировать с обычными натурными исследованиями, имея удовлетворительную погрешность.

СИМУЛЯЦИЯ ДЕЙСТВИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ЗАКОНОВ НА ВИРТУАЛЬНЫЙ ВАГОН

Перемещение вагонов по станционным путям под действием некоторой силы в виде различных тяговых средств, технологи-

ческие операции с вагонами на пунктах погрузки-выгрузки, технические операции с подвижным составом всегда приводят к изменению состояния и(или) положения различных объектов. Визуально в модели эти изменения воспринимаются как виртуальная видеосъемка.

Особенностью инженерной модели является не только (и не столько) естественность внешнего образа, но и структурные изменения модельных объектов, происходящие в результате моделируемых процессов. В этом отношении важно определить степень детализации, точность воспроизведения изменений и адекватность их действительности. Следует отметить, что речь не идет о простой аппроксимации всех промежуточных состояний модельного объекта и выдаче некой результирующей структуры, полученной посредством эмпирического правила, «зашифрованного» в алгоритм модели и действующего по известному принципу *modus ponens*. Симуляция должна быть построена по образу и подобию реальной станции.

Например, если модель реализует движение вагона по станционному пути благодаря некоторой тяговой силе, то физика движения обязательно должна быть связана с трансформацией вращательного движения колесной пары в поступательное перемещение вагона. Причем кузов модельного вагона с достаточно определенной погрешностью должен повторять конструкцию своего прототипа и опираться на тележку через наддрессорную балку с подпятником, шкворнем и скользяном. Поэтому конструкция ходовых частей вагона, изображенная на рис. 1 по схеме

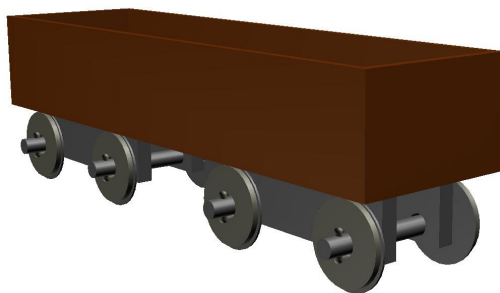


Рис. 1. Упрощенная модель вагона.

«кубик-модели», является в известной мере условной и может использоваться в первую очередь для прикладных задач, имеющих презентационное назначение.

Такая упрощенная схема не может давать правильные результаты и обеспечивать моделирование состояний объектов при решении целого ряда технических и технологических задач, поскольку существующий способ движения вагона основан на взаимодействии многих деталей (рис. 2).

Каждый конструкционный элемент тележки вагона имеет свое функциональное назначение (крепёж, смазка, защита от загрязнений, а в целом — гарантированное обеспечение безопасности). В полной сборке при движении данный узел вносит определенный вклад в общее сопротивление движению. Возможно, для определенных задач допустима аппроксимация элементного действия возникающих усилий в различных точках взаимодействия указанных элементов и их замена некоторой суммарной характеристикой потерь энергии движения на сопротивлениях с исполь-

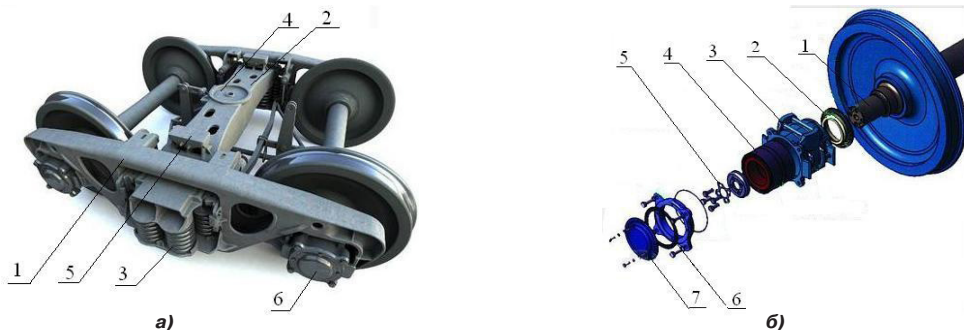


Рис. 2. Основные элементы тележки вагона:

а — общий вид: 1 — боковая рама; 2 — наддрессорная балка; 3 — рессорный комплекс; 4 — подпятник; 5 — скользян; 6 — буксовый узел; б — буксовый узел: 1 — шейка оси колесной пары; 2 — лабиринтное кольцо; 3 — корпус буксы; 4 — роликовые подшипники; 5 — крепительная шайба; 6 — крепительная крышка с болтами и прокладкой; 7 — смотровая крышка с болтами и шайбами.



зованием упрощенной модели вагона. Однако в общем случае следует формировать указанное на рис. 2б множество модельных элементов с правильным сопряжением их в сборке и последующей имитацией взаимодействия в динамике. Схемные позиции рис. 1 и 2 следует признать граничными в поле вариантных модельных детализаций, определяемых для виртуальной станции.

Автор полагает, что в дальнейшем можно будет математически доказать достаточный уровень детализации как элементного состава конструкции вагона, так и степени точности симуляции физических законов и их следствий в зависимости от прикладных задач.

Например, для демонстрации в учебных целях процесса роспуска вагонов с сортировочной горки целесообразно использовать трехмерную модель станции, основанную на простой схеме рис. 1 с аппроксимацией действия всех сил в виде некоторой векторной характеристики на абсолютно твердое тело, каким представляется вагон.

Визуально такая модель способна вполне реалистично представлять динамику движения с демонстрацией процесса скатывания с горки и эффектов столкновения вагонов в подгорочном парке. С другой стороны, исследование проблем взаимодействия колеса и рельса потребует от виртуального образа станции высокой точности модельной реконструкции ходовых частей подвижного состава, верхнего и нижнего строений железнодорожного пути, а также достаточно точную симуляцию физических законов трения, сохранения импульса и энергии.

СИМУЛЯЦИЯ ДЕЙСТВИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ЗАКОНОВ НА ВИРТУАЛЬНЫЙ ПУТЬ

Железнодорожный путь в инженерной модели станции обозначает маршрут движения вагона, обеспечивая изменение направления в кривых и стрелочных переводах. В последнем случае важным оказывается положение модельных острияков, определяющих движение по прямому или боковому пути. Как объект моделирования он представляет собой сложное инженерное сооружение, включающее в себя верхнее и нижнее строения пути. Нижнее — это комплекс

устройств железнодорожного полотна и искусственных сооружений. Верхнее — это балластный слой, шпалы и переводные брусья, рельсы и рельсовые крепления. По причине значительного элементного состава пути возможны его различные аппроксимации (рис. 3).

Наиболее простой образ пути представляет собой два рельса двутаврового сечения на шпалах, которые, в свою очередь, опираются на земляное полотно (см. рис. 3а). Функциональность такого модельного образа минимальная и обеспечивает исключительно визуальное представление о направлении движения вагонов, включая переходы на смежные пути по стрелочным переводам. Некоторое соединение фиксирует связь рельса и шпал, исключая их перемещение относительно друг друга, однако при этом не учитывает возникающих напряжений при проходе груженого подвижного состава со значительными скоростями. Более того, в такой модели подобных нагрузок нет, а следовательно, и необходимость их учета тоже отсутствует, что позволяет максимально упростить модель.

Варианты рис. 3б и 3в иллюстрируют насыщенное элементное содержание модели, приближенное к реальному прототипу. Сложность структурного наполнения реального железнодорожного пути диктуется прежде всего требованиями обеспечения безопасности движения.

Для корректного воспроизведения усилий и реакций в модельном пути необходимо с высокой степенью достоверности зафиксировать их в конкретных точках с целью возможного съема нагрузок виртуальными датчиками при решении различных исследовательских задач. Для таких целей оказывается важным предельно точно определить выходные характеристики состояния модельного пути как следствие действия физических законов.

ОБЪЕКТИВНЫЕ ПРИЧИНЫ ОГРАНИЧЕННОЙ ТОЧНОСТИ СИМУЛЯЦИИ

Поскольку природа действия физических законов недостаточно изучена, то оказывается затруднительным гарантировать точность воспроизведения их в инженерной модели из-за отсутствия надежных методов верификации. К тому же установ-

лено, что существующие программные средства симуляции физических законов построены на привязке к модельным объектам определенных материальных свойств, благодаря которым симуляции тел начинают вести себя как находящиеся в некотором модельном поле псевдогравитации. Сами объекты модели взаимодействуют друг с другом, как если бы они попали в некое поле, действие которого оказывается аналогичным по визуальным его оценкам влиянию реального поля гравитационно-инерциальных сил.

Если, например, в модельный мир среды Unity 3D ввести новый объект, то при рендеринге он останется статичным и никак не будет взаимодействовать с уже существующими объектами, пока ему не назначить определенные свойства (массы, упругости и др.). При отсутствии опорной поверхности модельные объекты, определяемые свойством твёрдого тела («Rigid Body») с активным тяготением, силой тяжести («Gravity»), падают в никуда, как если бы они ощущали притяжение со стороны каких-то удаленных гигантских масс. В реальном мире любой новый объект (допустим, поезд, прибывающий на станцию с перегона) сразу попадает в поле действия природных сил.

Инженерная модель станции должна обеспечивать моделирование поведения тел не только в поле тяготения, но и с учетом сил упругости и трения. Существующие теории относят их к следствиям проявления электромагнитных сил в результате взаимодействия заряженных частиц атомов и молекул объектов. Влияние сил упругости приводит к изменению формы и размеров тел. Так, скажем, силы упругости возникают в элементах рессорного подвешивания вагонов, которые являются гасителями колебаний и ударов, передаваемых от колес кузову. В реальных условиях при движении колесная пара может испытывать ускорения до 25 g. Поэтому данный компенсатор ограничивает негативное воздействие ударно-переменных нагрузок от колесных пар на конструктивные элементы подвижного состава, обеспечивает сохранность перевозимых грузов и комфорт пассажиров. Однако ожидается высокая сложность программной реализации действия сил упругости в инженерной

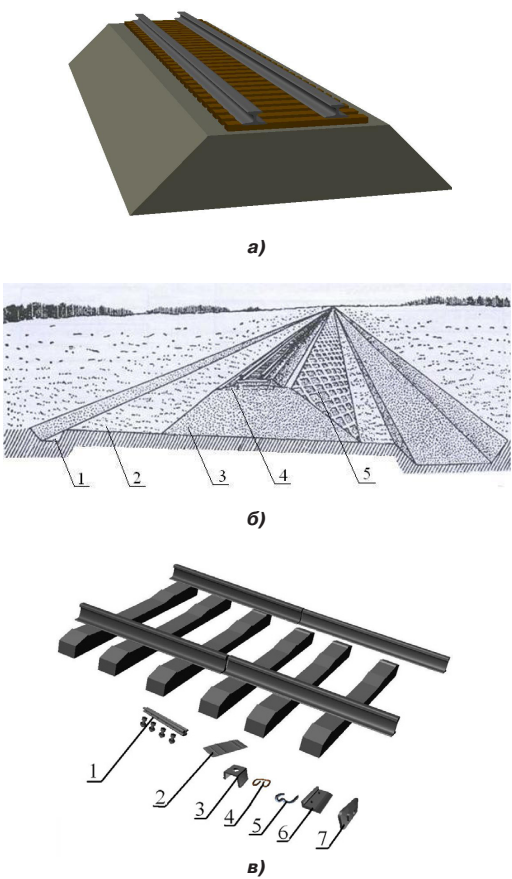


Рис. 3. Варианты модельной реконструкции железнодорожного пути на насыпи: а – условный образ; б – элементы земляного полотна: 1 – водоотводная канава; 2 – берма; 3 – насыпь; 4 – балластная призма; 5 – откос насыпи; в – элементы верхнего строения пути: 1 – накладка с болтами; 2 – подкладка; 3 – клемма рельсового крепления; 4 – клемма пружинная; 5 – противоугол; 6 – прижимная пластина; 7 – изолирующая втулка.

модели станции, но именно алгоритмическая и адекватная графическая имитация поведения рессорного подвешивания вагонов под нагрузкой оказывается значимой в задачах исследования взаимодействия колеса и рельса.

Сила трения, возникающая в зоне контакта колеса и рельса [см., напр., 2-5], пропорциональна силе нормального давления, перпендикулярного поверхности соприкасающихся тел. Различные методы оценки контактных напряжений (решение задачи Герца, моделирование контакта с использованием упругого винклеровского основания, выделение промежуточного слоя в зоне контакта в виде смеси из оксида железа и продуктов износа) с различной точностью позволяют имитировать реальные процессы. Различают продольное



и поперечное трения, а также проскальзывание вращения (юз). Сложные и до конца не изученные процессы продольного трения, возникающего при торможении вагонов, поперечного трения — при вписывании в кривые, оказываются очень важными при изучении причин повышенного износа рельсов, дополнительного расхода электроэнергии и топлива при движении поезда, угона пути в продольном и поперечном направлениях. Моделирование следствий действия сил трения, несомненно, будет способствовать эффективному решению указанных проблем. Однако основная проблема связана с определением степени достоверности модельных симуляций сил упругости и трения, физическая природа которых до сих пор не ясна.

Возможно, существует способ создания информационного образа пространства, обладающего свойствами материального мира, который можно было бы расценивать как корректное прототипирование физической основы существования и изменения состояния модельных объектов. Автор полагает, что в дальнейшем можно будет получить ответ только о достаточной (или недостаточной) адекватности принципа симуляции действия физических законов как проявляющихся свойств объектов и векторного воздействия гравитационного поля реального мира, как некоего следствия искривленного пространства. Причем для качественного решения прикладных задач на подобных инженерных моделях такой подход не отразится на получаемых результатах, надежно верифицируемых контрольными натурными обследованиями.

Главное — определенными количественными критериями зафиксировать элементный состав модельных объектов подвижного состава и пути, а также репродуцировать регистрируемые результаты их взаимодействия, в совокупности обеспечивающие достаточное совпадение наблюдаемых эффектов модели и действительности. Особенность такой постановки проблемы заключается в том, что при разработке подобной инженерной моде-

ли отсутствуют надежные методы верификации результатов. Нужны адекватные модельным натурные работы. Однако их проведение обесценит результаты модели, которые станут дублирующими и, естественно, менее ценными по сравнению с решениями, полученными на натурном материале.

Ричард Фейнман в своей Нобелевской лекции отмечал, что «угадывать уравнения» — наилучший способ подступиться к постижению законов в еще неизведанных областях физики [6, 7].

Тире в тексте. *Возможно, аппроксимация действия целого ряда следствий законов материального мира некоторыми интегрирующими модельными операциями, приводящими к корректным наблюдаемым эффектам, и будет той путеводной нитью, которая соединит первоначальные грубые образы инженерной модели с реальностью, а впоследствии позволит конструировать более точные симуляции физических и технологических процессов, происходящих на железнодорожной станции.*

ЛИТЕРАТУРА

1. Булавский П. Е., Мухамедходжаев С. Б. Автоматизация описания схематических планов станций с помощью атрибутивной грамматики // Известия ПГУПС. — 2013. — № 1. — С. 66–72.
2. Авджи́ева Т. Б., Георгиев М. Н., Николов Н. М. Контактное взаимодействие в паре «колесо—рельс» // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2010. — Т. 76. — № 8. — С. 54–57.
3. Воробьев А. А., Сорокин П. Г. Исследование напряженного состояния пятна колеса и рельса. Электронный ресурс: science-bsea.narod.ru/2004/mashin_2004/vorobiev_issled.htm. Дата доступа 02.03.2015.
4. Ляпушкин, Н. Н., Савоськин А. Н., Чучин А. А. Физические процессы при скольжении колеса по рельсу // Мир транспорта. — 2006. — № 4. — С. 16–23.
5. Ляпушкин Н. Н. Прогнозирование сцепных свойств локомотивов с различными типами тяговых электродвигателей/ Автореф. дис... док. техн. наук. — М.: МИИТ, 2014. — 46 с.
6. Фейнман Р. Характер физических законов: Нобелевская и мессенджерские лекции. — М.: ИЦ ЭНАС, 2004. — 176 с.
7. Feynman, Richard P. The Development of the Space-Time View of Quantum Electrodynamics. Nobel Lecture, December 11, 1965. Nobel Lectures, Physics 1963–1970, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1972. Электронный ресурс http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1965/feynman-lecture.html. Дата доступа 27.07.2015.

Координаты автора: **Головнич А. К.** — golovnich_alex@mail.ru

Статья поступила в редакцию 05.03.2015, актуализирована 28.07.2015, принята к публикации 17.05.2015/30.07.2015.

Golovnich, Alexander C., Belarusian State Transport University, Gomel, Belarus.

ABSTRACT

The article considers features and fundamental difficulties of implementing 3D-station engineering model. The analysis of methodological and situational difficulties is focused on causes associated with insufficient knowledge about nature of physical laws'

action and complexity of model reproduction of effects of interaction between objects of rolling stock and railway track. Approaches to simulation of physical and technological processes for construction of adequate real-world images are highlighted to be further developed.

Keywords: railway, 3D-station, laws of physics, design, modeling, simulation, gravity forces, elastic forces, friction forces, cumulative effect.

Background. Engineering three-dimensional model of a train station imposes quite stringent requirements for a program simulation subsystem of physical laws. It is assumed that the simulated state of various station objects will depend on their properties changing in time due to interaction with each other and with the environment. For a complete engineering model not only visual realism of the results of physical laws' action is fundamentally important, but also a sufficiently accurate description of the whole system of direct and indirect links that lead to observed cumulative effects is of key importance. Moreover, to a number of requirements could be added program simulation of reasons, causing physical laws' action.

Objective. The objective of the author is to investigate optimal requirements to general physical properties of objects of 3D-station engineering model.

Methods. The author uses general scientific and engineering methods, simulation, mathematical analysis, evaluation approach.

Results.

Methodology and philosophy of modeling

Three-dimensional modeling is always fraught with the solution of a number of challenges associated with imitation of forms and states of real objects. Paying attention to the physics of processes and making demands for accounting of model objects, we consider overall problematics of real world's technological renovation in its concrete simulation for transport in the form of a space-time location of a functioning virtual railway station.

An ambitious attempt to recreate a copy of reality, realistic in form and contents, runs into a lot of fundamental and prohibitively complex problems, the result of judgment of which may be a logical conclusion: why to create a copy, which will be obviously worse than its original and for reproduction of which huge financial, technical and intellectual resources are required? Moreover, a number of problems in this formulation seem to be unsolvable because nature of physical laws' action remains unknown, and manifested effects for the most part are the results of molecular and other interactions, hidden from observation and which are highly problematic to be reconstructed in the model, while the accuracy of obtained modeling process is difficult to be verified due to lack of appropriate methodologies, etc.

Nevertheless, the problem of 3D-modeling in such a system statement deserves attention; it is worth talking seriously about it. Any problem is in demand, if sufficiently convincing body of evidence is given concerning the effectiveness of proposed ideas, not in the distant future, but in the foreseeable near, when research results will be seen by developers.

Tangible effect of information- physical model of a railway station can be obtained actively using it in

practice of research, construction, reconstruction and operation of transport infrastructure objects. Imagine for a moment that such a model, fully adequate to reality, exists. This means that it can be «launched» with any initial state at any given time, it can be used to assess the effectiveness of existing resources, to predict failures of technical means, to efficiently plan maintenance and repair work, significantly increasing safety. The model image will be an essential companion of a real station, its shadow, pursuing for its prototype, but able to go into the future, to return to the past, to illustrate alternative situations that may advance in the near future, anticipating hazardous and border states of objects through model detectors of a virtual station. Useful signals from the model that goes by the time one step ahead of the actual prototype will adjust the operational work of the station operator robot, tracking any negative manifestations of technical and technological nature, previously «seen» by the model.

This idyllic picture is not a product of boundless imagination. Author realizes difficulties that stand on the way of implementation of even the slightest trace of the giant model of information and physical environment, which will be able to reproduce the function of a real prototype (train station) in such detail that the expert (head of the station), «installed» in the world with the help of appropriate electronic gadgets of virtual reality, will not find much difference from the reality with which he is confronted every day in his work.

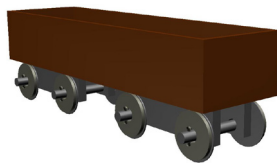
Problem positions requiring solution as to how obtain the expected product are many with a very wide field of knowledge areas. In a long list of directions, no doubt of debatable character, there are above all general methodological questions that define ideological, philosophical spheres of three-dimensional modeling, role and place of transport virtual models in life of society, as well as a number of practical aspects [see, e.g., 1] of direct relevance to the effective implementation of full-scale three-dimensional images of railway stations.

Conditionally bringing the most common directions to the fore, it is possible to offer some ranked sequence of ideological systems, to outline principle positions of fundamental and applied scientific statements and practical oriented problems in the construction of 3D-stations models. In the field of view should be:

- semiotically and semantically accurate description of the subject, objectives and results of solving the problem (for example, the formation of a realistic image of station model objects with accurate recreation of forms and imitation of the interaction with the environment appropriate to the action of the same natural and technological processes via a real prototype);

- philosophical aspects of the construction of transport systems' functional prototypes, metric of proximity assessment of their real and virtual images;





Pic. 1. Simplified model of the car.

- influence of human factor on the operation of three-dimensional models of the station;
- limitations of the model for computing resources (the possibility of presenting the work's results in real time);

- structural and functional 3D-modeling as a way of creating a «parallel world», e.g. «parallel worlds» of virtual railway stations;

- verification and validation of three-dimensional model of the station, reproduction of specific and general technical effects;

- features of friction mechanism when a defect of interacting model objects occurs;

- technological requirements to the model interpretation of three-dimensional station;

- the possibility of emergence of a correlation of objects' intermediate states as harmonics of their interaction with the environment, reconstruction of the events of indirect and mediated communication of environment of objects of station's 3D-model, ranking external factors affecting them.

In all cases, the question remains: should the virtual world be intelligent, to be the likeness of the real? how might look like something like the Turing test to compare real and virtual worlds? which practical problems can be solved with virtual models of railway stations that were not identified as such by experts on screening test? what is more important for 3D-station – compliance with the laws of physics or the execution of technological requirements?

Some other items are worth noticing:

- The mechanism of the timer of station's 3D-model;

- Borders of spatial location of 3D-station;

- The application scope of visualization as a way of presenting the results of the calculation of model objects' states;

- Latent locations of 3D-model of the station (the results of unobservable events in covered warehouses, small drawdowns of subgrade, invisible defects, and others.);

- Extraction of data from virtual sensors as a way to obtain quasi-static information;

- The conditions of development of station's 3D-model as an adaptive system;

- The peculiarities of functioning of program reconstructor as the «builder» of the virtual world of 3D-station;

- Detection of developing defects of virtual objects.

Following marked ideas and approaches, there is a reason to state that in an engineering model of 3D-station it is possible to receive the states of objects, adequate to corresponding states of real prototypes not only in appearance, but also in content. This means that such a model can help to take readings of virtual sensors, to carry out the processing of statistical data and to provide results that can be identified with conventional full-scale studies, having fair accuracy.

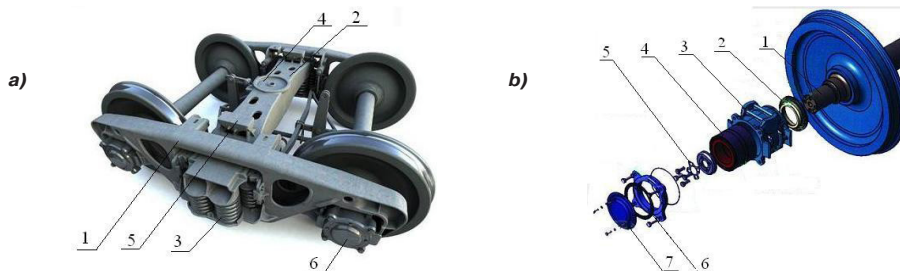
Simulating the action of physical laws on a virtual car

Movement of cars along station tracks under the influence of some force in a form of various traction means, technological operations with cars on the points of loading and unloading, technical operations with rolling stock always lead to a change in the state and (or) the position of various objects. Visually in the model these changes are perceived as a virtual video recording.

The peculiarity of the engineering model is not only (and not so much) the natural appearance of the image, but also structural changes in model objects that occur as a result of simulated processes. In this respect, it is important to determine the degree of detailing, accuracy in reproduction of changes and their adequacy to reality. It should be noted that we are not talking about simple approximation of all intermediate states of the model object and the issuance of some resulting structure obtained using a rule of thumb, «hardwired» into the algorithm of the model and acting on the known principle of *modus ponens*. The simulation should be built in the image and likeness of a real station.

For example, if the model implements the train's movement along a station track due to traction force, the physics of movement must necessarily be associated with the transformation of the rotational movement of the wheel set in the car's forward movement. And the body of the model car with a fairly specific error should repeat the prototype's design, and rely on the bogie through a thrust bearing with center pad, center pivot and side bearing. Therefore, the design of car's running gear, shown in Pic. 1 on a «cube model» is to a certain extent conditional and can be used primarily for applications with presentation purposes.

This simplified scheme cannot give correct results and provide modeling of objects' states in solving a number of technical and technological tasks as the existing method of car's motion is based on the interaction of many components (Pic. 2).



Pic. 2. The main elements of the car's bogie:

a – general view: 1 – side frame; 2 – bolster; 3 – spring complex; 4 – center pad; 5 – side bearing; 6 – axle equipment;
b – axle equipment: 1 – axle neck of a wheel set; 2 – labyrinth ring; 3 – axle box body; 4 – roller bearings; 5 – mounting washer; 6 – mounting lid with bolts and gaskets; 7 – inspection cover with bolts and washers.

Each structural element of the car's bogie has its functional purpose (fasteners, lubrication, protection against impurities and, in general – guaranteed safety). Being completely assembled and moving this unit contributes to the total resistance to movement. Perhaps, for certain tasks approximation of the elemental action of forces arising at different points in the interaction of these elements and their replacement by a total characteristic energy loss in the resistance movement using a simplified model of the car are acceptable. However, in general, it is necessary to form a set (shown in Pic. 2b) of model elements with the correct conjugation in the assembly and then simulation of the interaction in dynamics. Circuit positions of Pic. 1 and 2 should be recognized boundary in the field of variant model detailing defined for the virtual station.

The author believes that in the future it will be possible to prove mathematically a sufficient level of detailing as the elemental composition of car design and the degree of accuracy of physical laws' simulation and their consequences, depending on the applications.

For example, to demonstrate for educational purposes the dissolution of cars from hump yard it is advisable to use a three-dimensional model of the station, based on a simple scheme of Pic. 1 with approximation of the actions of all forces in the form of a vector characteristic on the rigid body, what appears to be a car.

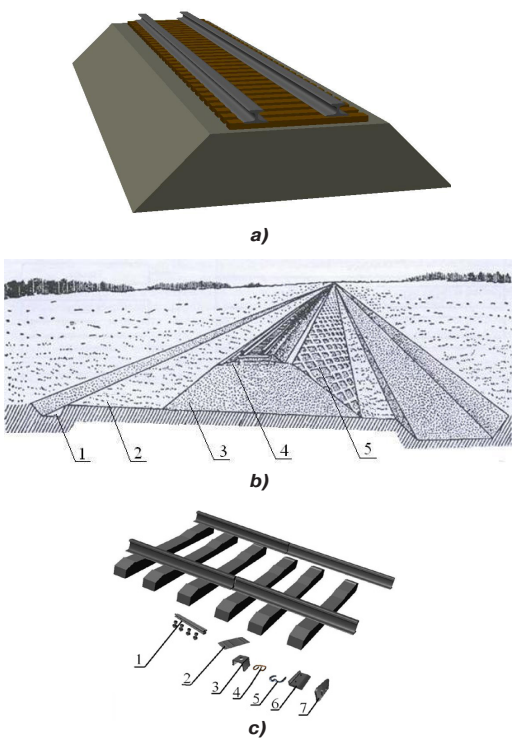
Visually, this model is able to realistically represent the dynamics of the movement with a demonstration of rolling process from the hump yard and the effects of the collision of cars in under-hump yard park. On the other hand, the study of problems of interaction between wheel and rail will require from a station's virtual image precision of model reconstruction of running gear of rolling stock, permanent way and substructure of railway track as well as a fairly accurate simulation of the physical laws of friction, momentum and energy conservation.

Simulating the action of physical laws on a virtual track

Railway track in the engineering model represents the car's route, providing a change of direction in curves and switches. In the latter case a position of model tongues determining the movement along direct or side track becomes important. As an object of simulation, it is a complex engineering structure, including permanent way and substructure. Substructure is a set of devices of railway bed and artificial structures. Permanent way is a layer of ballast, sleepers and switch ties, rails and rail fasteners. Because of the considerable elemental composition there can be various ways of its approximation (Pic. 3).

The simplest image of a track is two rails of I-section on sleepers, which, in turn, rely on roadbed (see Pic. 3a). The functionality of this model image is minimum and provides an extremely visual representation of the direction of cars' motion, including transition to adjacent tracks on switches. Some of the compounds fix the connection of rail and sleepers, excluding their movement in relation to each other, but it does not take into account emerging stresses in the passage of loaded rolling stock at great speeds. Moreover, in this model there are no similar loads, and hence there is no need to take them into account, which allows simplifying the model.

Options Pic. 3b, c illustrate the elemental content of the model, approximate to a real prototype. The complexity of the structural content of the real railway



Pic. 3. Options for the model reconstruction of the railway track on the subgrade: a – conventional image; b – elements of roadbed: 1 – drainage ditch; 2 – berm; 3 – subgrade; 4 – ballast section; 5 – railway slope; c – elements of the permanent way: 1 – latch with bolts; 2 – baseplate; 3 – terminal of rail mounting; 4 – spring terminal; 5 – anticreep device; 6 – pressure plate; 7 – insulator bush.

track is dictated primarily by traffic safety requirements.

For correct reproduction of efforts and reactions in a model track it is necessary with a high degree of certainty to fix them at specific points for possible extraction of loads by virtual sensors in solving various research tasks. For such purposes it is extremely important to accurately determine output characteristics of the state of the model track as a consequence of physical laws' action.

Objective reasons for limited accuracy of simulation

Since the nature of physical laws' action is insufficiently understood, it is difficult to ensure the accuracy of their reproduction in the engineering model because of the lack of reliable methods of verification. Also it is found that the existing software of physical laws' simulation are built on binding to the model objects of defined material properties, due to which the simulation of bodies begin to behave as being in a model field of pseudo-gravity. Model objects interact with each other, as if they were in a certain field, the effect of which is the same to its visual assessments of impact of the real field of gravitational-inertial forces.

If, for example, in the modeling world of the environment Unity 3D we introduce a new object, then in rendering it remains static and will not interact with existing objects until certain properties (mass, elasticity, etc.) are designated. In the absence of the supporting surface model objects, determined by the



property RigidBody with active Gravity, fall to nowhere, as if they felt the pull from some distant gigantic masses. In the real world, any new object (say, a train arriving at the station from a haul) immediately gets into the field of action of natural forces.

Engineering model of the station should provide simulation of bodies' behavior in not only a gravitational field, but also taking into account the forces of elasticity and friction. Existing theories refer to them as to the consequences of manifestation of electromagnetic forces resulting from the interaction of charged particles of atoms and molecules of objects. The elastic forces' influence leads to a change in the shape and size of bodies. Thus, for example, elastic forces occur in elements of spring suspension of cars that are absorbers of oscillations and shocks transmitted from wheels to the body. In the real world while driving wheel set can suffer accelerations of up to 25 g. Therefore, the compensator limits the negative impact of shock variable loads from the wheel set on rolling stock structural elements, ensures the safety of freight and passenger comfort. However, high complexity of program implementation of the action of elasticity forces in the station's engineering model is expected, but it is algorithmic and graphic simulation of the behavior of cars' spring suspension under load that is important in tasks of studying the interaction of wheel and rail.

Friction force that occurs in the contact zone of wheel and rail [see, e.g., 2-5], is proportional to normal pressure, perpendicular to the surface of bodies in contact. Various methods for evaluating contact stress (Hertz problem solution, modeling contact with the elastic Winkler foundation, the selection of the intermediate layer in the contact area in the form of a mixture of iron oxide and wear products) with different accuracy allows to simulate real processes. There are longitudinal and transverse friction and spin (wheel sliding). The complex and poorly understood process of longitudinal friction occurring during braking of cars, and of cross-friction during curve negotiation are very important in the study of the causes of rails' increased wear, additional costs of electricity and fuel for driving a train, track displacement in longitudinal and transverse directions. Simulation of the consequences of friction forces' action will no doubt contribute to the effective solution of these problems. However, the main problem is to determine the degree of reliability of model simulations of elastic forces and friction, physical nature of which is still unclear.

Perhaps there is a way to create an information image of the space with material world's properties, which could be regarded as a valid prototyping of a physical basis for existing and changing states of model objects. The author believes that in the future it will be possible to get an answer just about sufficient (or insufficient) adequacy of the principle of physical laws' action simulation as manifesting properties of objects and vector effects of the gravitational field of the real world, as of a kind of consequence of curved space. And for high-quality solutions of applications on similar engineering models, this approach will not be reflected in the results obtained, verified reliably by control full-scale surveys.

The main thing is to fix with certain quantitative criteria elemental composition of the model objects

of rolling stock and track, as well as to reproduce recorded results of their interaction, which together provide a sufficient overlap of observed effects of the model and reality. The peculiarity of this formulation of the problem is that in the development of such an engineering model there are no reliable methods of results' verification. We need full-scale works adequate to the model. However, their conducting will devalue the results obtained thorough the model itself, that will become redundant and, of course, less valuable compared with the solutions obtained in the full-scale material.

Conclusion. Richard Feynman in his Nobel lecture, noted that «... equation guessing might be the best method to proceed to obtain the laws for the part of physics which is presently unknown» [6, 7]. Perhaps the approximation of the action of a number of consequences of the laws of the material world by some integrating modeling operations leading to correct observed effects will be the one guiding thread, which connects original rough images of the engineering model with reality, and then allows to construct more accurate simulations of physical and engineering processes occurring at the railway station.

REFERENCES

1. Bulavsky, P.E., Muhamedhodzhaev, S. B. Automation of description of diagrammatic plans of rail stations with the help of attribute grammar [Avtomatizatsiya opisaniya schematicheskikh planov stantsiy s pomoschiu atributnoy grammatiki]. *Izvestiya PGUPS*, 2013, Iss. 1, pp. 66–72.
2. Avdjieva, T.B., Georgiev, M.N., Nikolov, N. M. Contact interaction in the set «wheel–rail» [Kontaktroe vzaimodeystvie v pare «koleso–rel'sa»]. *Zavodskaya laboratoriya. Materials diagnostics*, Vol. 76, 2010, Iss. 8, pp. 54–57.
3. Vorobiev, A.A., Sorokin, P. G. Study on stressed state of the contact area of the wheel and the rail [Issledovanie napriazhionnogo sostoyaniya pyatna kolesa i rel'sa]. Electronic resource: science-bsea.narod.ru/2004/mashin_2004/vorobiev_issled.htm. Last accessed 02.03.2015.
4. Lyapushkin, N.N., Savoskin, A.N., Chuchin, A. A. Physical processes at wheel's gliding along the rail. *World of Transport and Transportation*, Vol. 4, 2006, Iss. 4, pp. 16–23.
5. Lyapushkin, N. N. Forecasting of friction features of locomotives with different types of traction electric engines [Prognozirovanie stepnykh svoystv lokomotivov s razlichnymi tipami tyagovykh elektrodvigateley]. Abstract of D.Sc. (Eng.) thesis. Moscow, MIIT University, 2014, 46 p.
6. Feynman, Richard Ph. Character of Physical Law: A Series of Lectures [Harakter fizicheskikh zakonov: Nobelevskaya i messendzherovskie lekcii. Transl. from English]. Moscow, NTs ENAS, 2004, 176 p.
7. Feynman, Richard Ph. The Development of the Space-Time View of Quantum Electrodynamics. Nobel Lecture, December 11, 1965. In: Nobel Lectures, Physics 1963-1970, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1972. Electronic resource: http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1965/feynman-lecture.html. Last accessed 27.07.2015. ●

Information about the author:

Golovnich, Alexander C. – D.Sc. (Eng.), associate professor, director of Railway transport research institute of Belarusian State Transport University, Gomel, Belarus, golovnich_alex@mail.ru.

Article received 05.03.2015, revised 28.07.2015, accepted 17.05.2015/30.07.2015.