

# Технологические свойства объектов инженерной модели 3D-станции



Александр ГОЛОВНИЧ

Alexander K. GOLOVNICH

## Technological Properties of 3D Station Engineering Model

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 25)

**Опираясь на заявленные концептуальные основы разработки модельных образцов железнодорожных станций в трёхмерном формате (см.: Мир транспорта, 2016, № 1), автор выделяет значимые, на его взгляд, технологические ориентиры и локации. Суть исследования – особенности построения инженерной модели, корректно воспроизводящей технологию работы 3D-станции на базе реконструкции следствий физических законов, действующих в реальном мире.**

**Ключевые слова:** железная дорога, станция, проектирование, инженерная 3D-модель, технологическая локация, информационные технологии, физические законы, реконструкция следствий.

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

**П**оведение объектов в инженерной модели железнодорожной станции как функциональном образе транспортной системы должно быть адекватным с точки зрения технологии выполняемых с их участием операций. Корректное прототипирование следствий явлений физического мира оказывается важным для формирования базовой среды виртуальной станции. В условиях модельной гравитации, действия репродуцированных сил упругости и трения достигается высокорелистичное движение поездов, перемещение вагонов у грузовых фронтов, погрузка и выгрузка перевозимых грузов.

Однако кроме «ситуационной», своеобразной картографической основы, какой является модельная физическая среда, для инженерной 3D-станции особый интерес представляет технологическое поле операций, в которое погружаются объекты. Технология в рамках модели также может быть сведена в некоторые нормативы кондуитов объективных законов, строгого регламента вариаций состояния и местоположения вагонов, локомотивов, грузов, средств механизации и прочего. Например, изменение состояния объектов модельной станции определяется имитационными

физическими законами, которые обеспечивают движение вагонов с сортировочной горки с некоторым ускорением в соответствии с накопленной потенциальной энергией.

По аналогии с физическими законами могут быть установлены *технологические законы*, которые опять же будут иметь силу объективно действующих правил, но локальных – в пределах территории станции, так называемой транспортной локации. Кроме свойств массы, упругости, инерции, скорости станционные объекты наделяются специфическими признаками, определяющими безопасное выполнение операций, сохранность грузов, охрану труда работников станции и др.

## **ПРАВИЛА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ**

Модельное воспроизведение технологии в работе такой сложной технической системы, как железнодорожная станция, в значительной степени неоднозначно по критериям, цели, результатам. Существующие исследования [1–5] отражают многие проблемные аспекты и предлагают достаточно эффективные решения тех или иных задач моделирования технологии. Принципиальное отличие инженерной модели станции заключается в том, что все ее объекты погружаются в некоторую среду постоянных изменений и превращений в полном соответствии с рядом объективных требований, от которых все модельные структуры зависимы. Эта среда заставляет трансформироваться пути, вагоны, склады под действием определенных внешних сил физического и технологического происхождения. Данные изменения естественным образом соотносятся с установленной временной шкалой, счётчик времени которой включается сразу после загрузки модели.

Локальный характер технологических законов указывает, прежде всего, на менее выраженный вектор силы своего действия на станционные объекты, узконаправленный, избирательный, обеспечивающий эффективное и безопасное решение стоящей задачи. Более приемлемое название для технологических требований транспортной локации – *технологические правила*, которые можно разделить на регламен-

тирующие, рекомендуемые, стабилизирующие, условные, альтернативные.

Регламентирующие правила имеют статус жестких требований, выполняемых неукоснительно, без всяких ограничений и исключений. К данной категории следует отнести все требования к безопасности движения поездов, выполнению маневровой работы, охране труда.

Рекомендующие правила рассматриваются как более мягкие позиции, связанные с существованием определенных свойств объектов, активизируемых по указанию пользователя. Например, выгрузка грузов повагонной отправки в 3D-склад производится с использованием нескольких автопогрузчиков. В этом случае может потребоваться расчёт параллельных маршрутов следования выгрузочных механизмов и активизация контроля заполнения складской площади каждым автопогрузчиком.

Стабилизирующие правила востребуются при наступлении особых условий, способных вызвать негативное продолжение операций. Примером здесь может служить автоматическая установка выровненного положения отдельных грузовых мест при модельной выгрузке тарных грузов из крытого вагона на поддоны, установленные на вилочном автопогрузчике.

Условные правила расширяют возможности объектов, не заложенные в модель по умолчанию, но приводящие в определенных ситуациях к менее затратному выполнению отдельных технологических операций. Например, более быстрое завершение операции погрузки крытого вагона мелкими отправками может быть достигнуто благодаря включению в инженерную модель автоматического поиска завершающей группы грузов на площадке, обеспечивающие полное использование вместимости или грузоподъемности вагона.

Альтернативные правила выходят за пределы технических возможностей существующего транспорта, они предполагают более рациональное решение эксплуатационной задачи с помощью принципиально достижимых конструкционных или технологических новаций. В качестве примера можно привести моделирование операций расформирования поездов на безгорочной сортировочной станции с использованием быстродействующего поворотного круга,



способного выводить из состава поезда, фиксировать на приёмном участке отцеп и передавать его на позицию сортировочного пути посредством определенного тягового усилия. Второй пример альтернативных технологических правил связан с перевозкой пакетированных грузов мелкими отправками с электронной маркировкой на самодвижущихся тележках, обеспечивающих в автоматическом режиме выгрузку, сортировку и погрузку крытых вагонов без каких-либо средств механизации.

### ЗНАЧИМАЯ ОБЛАСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Технологические операции на железнодорожных станциях выполняются в строгом соответствии с требованиями инструктивных документов и норм устоявшейся практики. Сохранение содержательной основы реальных станций в инженерной модели приводит к необходимости переноса, реставрации регламента в реплицированных объектах транспортной локации.

Устанавливая область действия законов технологии, следует разграничить их сферу влияния с модельными физическими законами, которые формируют базовую, «псевдоматериальную» основу существования объектов инженерной модели. В определенных случаях такая граница может быть достаточно размытой с возможным объектным взаимопроникновением действия физических и технологических полей. Данное подмножество модельных конструкций транспортной локации классифицируем как *диффузию полей*. В свою очередь, точное разделение следствий действия физических законов и технологических правил по некоторому критериальному параметру можно определить как *дифференциацию полей*.

Технологические операции в инженерной модели, структурно адекватной реальной станции, производятся в установленном порядке с точным фиксированием целевых установок, контролируемых информационной системой. Следует отметить, что именно благодаря корректной физико-технологической имитации происходящих на реальной станции процессов, обеспечиваемых мощной информационной поддержкой, подобная инженерная

модель может оказаться востребованной. Ее функционирование с некоторым опережением реального масштаба времени помогает «просчитывать» возможные ситуации ближайшего будущего и переносить, «транслировать» модельные действия в оперативные команды.

Уверенность персонала в надежности подобных симуляций позволит верифицировать модельные физику и технологию. В этом отношении важным оказывается формирование подмножеств имитационных конструкций диффузии и дифференциации физических и технологических симуляций.

Анализ операций по обслуживанию поездопотоков в парках станций показывает, что однозначно зафиксировать обособленное действие технологических полей на участвующие в симуляциях объекты не удается.

Приём состава в парк инженерной модели сопровождается вводом 3D-поезда по данным входного светофора на свободный станционный путь с расчётом влияния на него массы каждого вагона, возможного продольного угона пути из-за торможения локомотива. Проведение такой технологической операции включает механизмы действия сил трения. Расформирование состава на сортировочной горке для инженерной модели одновременно означает расчёт скоростей скатывания отцепов в зависимости от скорости надвига, высоты и геометрии продольного профиля горки. Следовательно, и в этом случае технологическое поле операций расформирования органично связывается с физическим полем модельного тяготения, обеспечивающего превращение потенциальной энергии поднятого над землей тела (отцепа) в кинетическую энергию его движения со скатыванием в подгорочный парк.

На грузовых фронтах районов погрузки-выгрузки модельной станции также наблюдается диффузное действие физико-технологических полей. Вместе с выполнением последовательности работ по перемещению средств механизации на складах, штабелирования грузов на площадках виртуальной станции проводится расчёт нагрузки на площадку по условиям недопущения слёживаемости, потерь полезных качеств груза, возгорания в процессе хра-

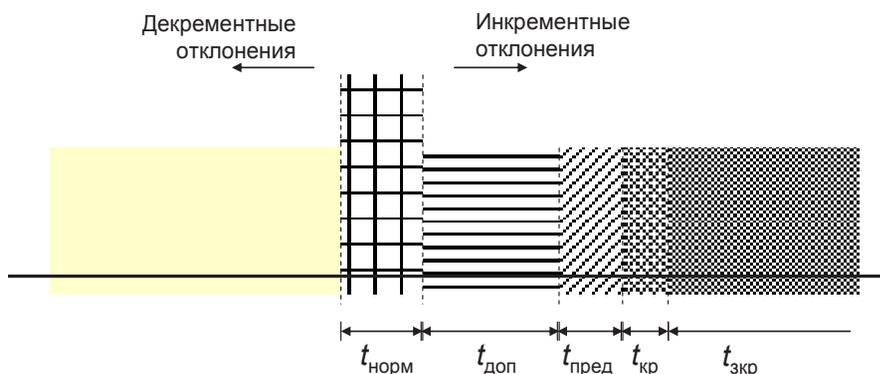


Рис. 1. Инкрементные отклонения продолжительности технологических операций.

нения и пр. Даже сужение временной области выполнения технологической операции не разрывает единства связи двух полей.

Для реальных условий материального мира действие физических законов абсолютно, следствия их приходится лишь констатировать и учитывать оперативными работниками при принятии управленческих решений. В инженерной модели надо моделировать все законы – и глобальные (физические), и локальные (технологические).

### ФОРМИРОВАНИЕ ЛОКАЦИИ

Технологические требования обеспечивают сохранное, безопасное и эффективное выполнение операций с возможными допусками в отклонении от их действующих норм. При этом отклонение от нормы не считается нарушением, но позволяет в модели учитывать особенности операций, сообразуясь со спецификой местных условий. Отклонения от нормы носят в основном инкрементный характер, способствуя завышению продолжительности технологических операций. Декрементные отклонения указывают на уменьшение длительности операции по сравнению с установленной нормой и являются достаточно редкими на практике. Как правило, инкрементные отклонения отражают факт наступления каких-либо негативных или нетипичных ситуаций, препятствующих исполнению технологической операции согласно регламенту. Следует рассматривать *допустимые, предельные, критичные* и *закритичные* инкрементные отклонения (рис. 1).

Диапазон инкрементного отклонения отличается для различных технологических операций. Возможно, он окажется пропорциональным времени исполнения операций в штатном режиме (кроме закритичных):

$$t_{\text{доп}} \vee t_{\text{пред}} \vee t_{\text{кр}} \vee t_{\text{зкр}} = f(t_{\text{норм}}) = at_{\text{норм}} + b,$$

где  $a$ ,  $b$  – параметры, характеризующие технологические операции.

Общая категория технологических операций включает целый ряд классифицированных позиций, указывающих на характер их выполнения:

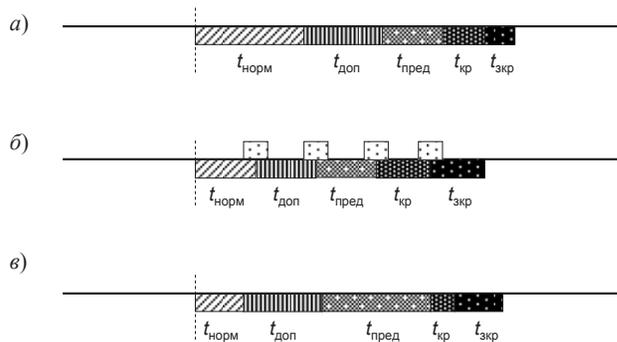
- технические (поездные, маневровые, приёмо-отправочные, ремонтные);
- грузовые;
- коммерческие;
- пассажирские.

Рассматриваются три основные гипотезы изменения продолжительности различных типов инкрементных отклонений по шкале их позиционного положения (рис. 2).

Подтверждение справедливости одной из гипотез или областей их действия может следовать из анализа особенностей технологических операций. При этом нужно учитывать, что отдельные операции существенно связаны между собой, а появление определенных событий способно обрывать установившуюся связь с выходом на операции другой категории. Например, в результате технического осмотра состава (операции по прибытии) на станции обнаружена неисправность в грузе в транзитном вагоне, не требующая подачи в депо и перегрузки. Устранение неисправности (ремонт) производится с задержкой опера-



**Рис. 2. Возможные зависимости изменения продолжительности инкрементных отклонений:**  
**а – обратная (гипотеза А);**  
**б – постоянной длительности с устойчивой или неустойчивой областью колебаний (гипотеза В);**  
**в – случайной длительности (гипотеза С).**



ций приёма, которые продолжатся после восстановления вагона.

Нелинейный характер связи технологических операций может определенным образом повлиять и на цепочку инкрементных отклонений. Для построения технологически связанной 3D-модели станции задачи оценки величин допускаемых значений параметров существенны, так как в результате их решения становится вероятным осуществление сопряженного подбора длительностей отдельных операций в поле границ функционирования реальных станций.

Возможно, в ходе исследований удастся установить некую техносферу устойчивой работы отдельных пунктов. Оставаясь в области притяжения такой техносферы, целеполагающие (бихевиористические) стимулы, заложенные в самодостаточной транспортной системе, наверняка включают квазигравитационные силы, которые обеспечивают стационарность работы всей станции. Компенсирующий механизм можно перенести в модель, закрепив компьютерные имитации разношерстных технологических операций достаточно жестким алгоритмом погашения колебаний их продолжительности, чтобы зафиксировать функциональное равновесие модельной среды.

Исследования в этом направлении указывают на существование подобного компенсатора в практике не только биологических, но и различных сложных систем [6]. Как бы то ни было, механизм самопогашения флуктуаций продолжительности технологических операций при наличии учета результатов гигантского количества взаимодействий объектов выглядит относительно надежным способом построения динамической модели работы железнодорожной станции.

Природа технологической сути работы станций известна, чего нельзя сказать о физических законах реальности. Модельный образ технологии можно воспроизвести «с нуля», последовательно воссоздавая цепочки причинно-следственных связей, заложенных в инструктивных требованиях, расчётных методиках. А вот строго определенной, детерминированной логики построения алгоритма выполнения модельных технологических операций ожидать не приходится.

Воспроизведение работы «черного ящика» физических законов, скорее всего, возможно в виде последовательности эмпирических правил, построенных на основе логики модус поненс. Можно полагать, что именно эти, во многом условные зависимости, полученные путем ограниченных наблюдений и экспериментов, будут основной трудностью на этапе верификации действующей инженерной модели железнодорожной станции.

Вероятно, поэтому следует делать акцент на построении высокореалистичной информационно-технологической модели, детально копируя многочисленные нюансы процессов приёма и расформирования поездов, пассажирских и грузовых операций, технического обслуживания подвижного состава. Есть основания полагать, что все транспортные процессы, осуществляемые на станциях, построены на относительно эффективных и целесообразных принципах согласно существующему уровню развития техники и знаний. Соответственно объективность технологических принципов должна следовать из физических законов, поскольку неизменно базируется на них. Формируя адекватную действительности технологическую модель, мы тем самым приближаем к своим

потребностям и понимание отдельных аспектов физической природы законов материального мира. Инженерная технология в своем функционировании отражает физику процессов, постоянно диктующих технической системе определенные целевые установки, а правильность такой заданности распознается по достигаемому эффекту от их реализации.

## ФИЗИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ

Рассмотрим возможные варианты реализации инженерной модели проследования вагона по стрелочному переводу с учетом технологических аспектов. Модельный стрелочный перевод фигурирует как приёмное устройство для колесных пар подвижного состава, который под действием тягового усилия, порождаемого другими устройствами (локомотив, лебедка) или действием силы тяжести, перемещается по острякам через переводную кривую на один из двух путей. По сути, стрелочный перевод служит переключателем движения модельного подвижного состава на смежный модельный путь.

Для виртуального образа стрелочного перевода существенным является то, что положение остряков физически определяет перемещение подвижного состава по выставленному маршруту. Вместе с тем движение может быть запрещено, ибо сразу за переводом могут располагаться другие вагоны или участок пути неисправен (запредельный зазор в стыках, ремонт пути и пр.). Иначе говоря, следует различать *потенциальные условия выполнения операции*, которые обеспечиваются разрешенными состояниями объекта (стрелочного перевода), и *реальные условия выполнения операции*, которые связываются с состоянием других элементов, технически и технологически взаимодействующих с данным.

Например, при выполнении маневровых и поездных операций существенным является включение стрелочного перевода в определенный маршрут. Для модельного аналога это означает наличие дополнительного технологического свойства — положения остряков в соответствии с маршрутом (возможно, равным 1 при включении в маршрут и 0 — в противном случае). Тех-

нологически обусловленным будет и свойство примыкания остряков к рамному рельсу (для обыкновенных переводов равно 1 при таком состоянии, что возможно движение по прямому пути, и 0 — на боковой путь и с него).

Остряк стрелочного перевода в инженерной модели станции должен иметь три состояния: прижатый к рамному рельсу, отжатый от рамного рельса и с неполным прилеганием, которое квалифицируется как неисправность и опасное состояние с запретом движения. Неплотное прилегание остряков на практике связывается с целым рядом причин, действие которых трудно имитировать в модели. Однако для полной внутренней, «содержательной» реалистичности модели такое состояние остряков следует предусматривать как потенциальную неисправность. В этом случае свойство модельного перевода, характеризующее прилегание остряков к рамному рельсу, должно быть равно 1. Неисправность критична с точки зрения безопасности движения и, следовательно, обязана найти свое отражение в инженерной модели.

Неплотное или немаршрутное прилегание остряков к рамному рельсу в модели, как и в действительности, должно приводить к взрезу. Взрез стрелки наблюдается при движении подвижного состава по переводу с неразрешенным маршрутом в пошерстном направлении, приводящем к принудительному переводу стрелки колесами подвижного состава. В реальных условиях последствиями взреза могут стать уширение колеи, нарушение плотности прилегания остряков к рамному рельсу, деформация или обрыв стрелочной тяги, выход из строя электропривода. При взрезу стрелки автоматически устанавливается запрещающее показание соответствующего светофора с невозможностью последующего управления стрелкой с поста. Эти последствия должны быть также перенесены в модель.

Кроме движущихся операций стрелочный перевод задействован и в других технологических операциях, связанных с текущим обслуживанием и ремонтом отдельных частей перевода, креплений, верхнего и нижнего строений. Им опять же предназначено находить отражение в ин-



женерной модели, обеспечивая псевдорелистичность конструируемых образов.

Отметим, корректное модельное перемещение по 3D-переводу инженерной модели может быть обеспечено при обязательном соблюдении трёх условий:

1. Достаточном тяговом усилии для преодоления сил трения 3D-колеса о 3D-рельс.

2. Наличии разрешенного маршрута движения.

3. Плотном прилегании одного из остяков к рамному рельсу и сохранении достаточного зазора между вторым остяком и вторым рамным рельсом.

Первое условие называется *физическим*, второе – *технологическим*, третье – *техническим*. Физическое и техническое условия объективно связаны друг с другом. Если по каким-либо причинам отсутствует плотное прилегание остяка к рамному рельсу, то возможно набегание колесной пары на остяк. Тяговые усилия по преодолению сил трения при изменении профиля катания колеса требуют сложных расчётов и воспроизведения не менее сложных адекватных действительности модельных ситуаций с возможной потерей колесом опорной поверхности катания. То есть несоблюдение технического условия вписывания в стрелочный перевод нуждается в прогнозировании еще и сложного поведения экипажа подвижного состава, обеспечиваемого физическим условием.

Аналогична связь технического и технологического условий. Несоблюдение последнего при взрезе стрелки повлечет за собой выход из строя 3D-перевода. Кроме того, при взрезе надо учитывать и физическое условие, поскольку достаточное или недостаточное тяговое усилие способно повлиять на степень повреждения перевода. Например, при взрезе стрелки вагоном, скатывающимся по пологому профилю с незначительной скоростью, может наступить остановка вагона по причине зажатия реборды колеса между остяком и рамным рельсом без вынужденного перевода стрелки.

Моделирование действия физического условия должно быть независимым от двух других условий. Только тогда инженерная модель станции будет приближена к реальности. Строго говоря, тяговое усилие мож-

но активизировать лишь в случае обязательного соблюдения технического и технологического условий. Однако, во-первых, если вагон начинает движение под действием силы тяжести, то физическое условие все равно объективно начинает действовать, не сообразуясь с корректным выполнением других требований. Во-вторых, неизбежное влияние человеческого фактора приводит к тому, что такая триединая связка часто нарушается. Поэтому модель призвана имитировать не только ситуации, гарантированно безопасные, но и критичные, представляющие угрозу и приводящие к невозможности соблюдения технического условия.

Сказанное значит, что в результате различного рода негативных следствий (сход подвижного состава, развал груза, повреждение пути, нарушение конструкционной целостности подвижного состава) должны моделироваться различные ситуации с невозможным технологически правильным функционированием станции в районе возникновения коллизии.

При этом следует отличать *ограниченно критичные ситуации* несоблюдения технического условия, которые не приводят к нарушению работы устройств по технологическому условию. Например, вовремя обнаруженный перегрев букс; покосившиеся, но исправленные стойки крепления леса на платформе; устранение начавшегося просыпания навалочного груза через люк полувагона; с небольшим зазором прилегание остяка к рамному рельсу, прижимаемого полностью первой колесной парой состава, и т.п. Эти ситуации правильнее относить к потенциальным позициям несоблюдения всех трёх условий цепочки: технического, физического, технологического.

Наличие значительного количества элементов, способных находиться в пограничных состояниях, приводит к тому, что стрелочный перевод становится менее надежным с точки зрения безопасности движения. Для инженерной модели станции этот факт имеет определяющее значение, вокруг него «витают» множество потенциально реализуемых виртуальных процессов, один из которых оказывается преобладающим в определенных условиях. В зоне прямого участка пути количество

таких процессов меньше из-за меньшего числа слагаемых элементов. В отличие от криволинейного, где виртуальных процессов опять-таки больше.

## МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Основной целью полноценной инженерной модели станции остается формирование технологической среды транспортных объектов.

На практике все технологические стимулы как побудительные мотивы активации отдельных элементов путевого развития, технического оснащения, перевозочных, погрузо-выгрузочных и других средств создаются человеком (дежурным, диспетчером, оператором, приёмосдатчиком и т.д.). Объекты на станции находятся в ожидании управления или в процессе управления.

Виртуальная копия отдельного пункта наделяется более широкими «полномочиями», делегированными ей человеком. Небольшая польза будет от компьютерной модели, которая воссоздает в хорошей технической детализации все станционные объекты, способные выполнять свою работу лишь при постоянном участии человека. Это же сколько потребуется живых людей для обслуживания модельных образцов виртуальной железнодорожной станции? Поэтому мы сознательно стараемся наделить инженерную модель собственными аналоговыми функциями, в реальной практике выполняемыми человеком.

С другой стороны, есть определенное понимание того факта, что в высшей степени проблематично создать самодостаточную модель станции, готовую в автоматическом режиме выполнить полный цикл операций с подвижным составом, грузами, обслуживающей транспортной инфраструктурой. «Мозг» такой системы должен обладать всеобъемлющим опытом и знаниями многочисленных специалистов различного профиля и решать постоянно возникающие сложные, нестандартные вопросы.

В итоге имеем две диаметрально противоположные по «интеллекту» модельные позиции, одна из которых включает только техническую сторону обеспечения процессов с полным контролем со стороны специалистов, вторая — виртуальная станция-

автомат. Причем подконтрольный человеку модельный образ объектов станции вовсе не указывает на простоту его создания. Ведь в этом варианте надо суметь создать физико-техническую псевдоматериальную конструкцию реальных объектов, обязательно визуализируемых для привычной работы с ними специалистами. В то же время виртуальная станция-автомат (пока еще не достигаемая для понимания способов ее построения) обладает несомненными преимуществами, поскольку может оперировать внутренними программными функциональными структурами, а не визуализированными образами, существенно сокращая количество требуемых расчётных операций.

Именно разумный компромисс этих двух стратегий, по всей вероятности, позволит сформировать эффективную модельную систему, в основе которой, в любом случае, будет лежать определенный технологический консистент, воспроизводящий операции с использованием максимально адаптированных виртуальных ресурсов при некотором участии человека.

В данном случае важно то, что физико-технологический симбиоз модельной реализации даст программный продукт, на основе которого можно решать широкую линейку прикладных задач. Приоритет технологической составляющей по возможности сузит масштабы субъективного восприятия такого глобального образа, как находящиеся в действии компьютерные копии реальных железнодорожных станций. Сложно, конечно, осознать многочисленные функциональные связи объектов, отдельных узлов и элементов системы при отсутствии надежных методов верификации модельных симуляций. Однако, учитывая тот факт, что функционирование станций обусловлено необходимостью выполнения определенного объёма и содержания работ технологического характера, логично искомым модельный образ ориентировать на конструктивную репродукцию технологии.

Несколько утрируя, можно сказать, что практически полезной была бы модель станции, в которой корректно и достаточно полно воспроизводились бы все технологические операции под влиянием абстрактных сил, имитирующих действие физических и иных факторов. Это влияние неким обра-



зом ранжировано спецификациями, заложенными в алгоритм модели. Предполагаемая абстрактная сила распознается по соответствующим признакам, и в результате включается механизм расчёта поправок на характер и продолжительность выполнения технологических операций.

Рассматривая под таким ракурсом общую проблему инженерной модели, можно надеяться на выявление характерных особенностей, присущих различным внешним факторам, воздействующим на саму процедуру технологической операции. Это поможет многоликие проявления бесконечной вереницы природных и порождаемых человеком воздействий на объекты железнодорожной станции свести к абстрактной, но результативной схеме корректного моделирования работы. Технологическая реинкарнация станционных объектов оказывается построенной на совершенно нереалистичной физике, неестественном управлении со стороны человека, которого в такой модели, скорее всего, не существует, но состояние объектов по любому временному сечению адекватно всем событиям, протекающим на станции при совпадении исходном положении с модельными объектами.

## ВЫВОДЫ

Приведенные соображения показывают высокую сложность реализации технологически адекватной модели станции, учитывающей физику движения вагона со сложным профилем катания колеса при проходе стрелочного перевода. Множество потенциально опасных состояний при этом во многом предопределено существующей конструкцией механизма передачи вагонов с одного пути на другой. Может быть, поэтому лучше сначала реализовать модельную схему с физикой движения по бескрестовинному стрелочному переводу, в котором участки рельсов пересекающихся маршрутов при необходимости мгновенно «проседают», принимая форму, обеспечивающую проход бандажа колеса, а после ухода поезда со стрелки сразу же восстанавливают исход-

ную структуру металла модельного рельса. А в будущем, возможно, удастся получить такой рельс на основе использования «умных» материалов с памятью структуры (своеобразный обратный пассаж реконструкции реальности из мира виртуального).

Таким образом, в рамках инженерной модели возникает потребность в комплексном учете влияния физико-технологических законов, действующих на 3D-станции, которые выступают в виде определенного синтетического конгломерата, обуславливающего интегральные свойства модельных станционных объектов. Виртуальные технологические операции не могут быть выполнены, если не будут обеспечены расчётами изменения физических свойств самих объектов и их окружения. Поэтому происходящие изменения модельных станционных объектов всегда будут иметь двойственную природу. Чем точнее инженерная модель способна воспроизводить такой дуализм, приводящий к соответствующим изменениям координатного положения и состояния всех взаимодействующих объектов, тем более адекватным своему прототипу следует ожидать порождаемый образ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Железнодорожные станции и узлы промышленных районов / Под ред. Н. Н. Числова. – Ростов-на-Дону, 2004. – 546 с.
2. Кузнецов В. Г., Федоров Е. А., Овсянников В. Ф., Альшевская С. П. Оперативное планирование поездной работы на основе модели поездообразования // Вестник БелГУТ: Наука и транспорт. – 2009. – № 1. – С. 42–47.
3. Ерофеева Е. А. Этапы применения имитационных моделей станций для расчёта нормативных значений простоев вагонов // Проблемы физики, математики и техники. – 2013. – № 1. – С. 96–100.
4. Ерофеев А. А. Оценка системных свойств структуры управления перевозочным процессом в условиях развития центра управления перевозками // Вестник БелГУТ: Наука и транспорт. – 2013. – № 2. – С. 60–64.
5. Ерофеев А. А. Системы поддержки принятия решений в управлении поездной работой в центре управления перевозками Белорусской железной дороги // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – Вып. 37. – 2013. – С. 42–47.
6. Акофф Р., Эмери Ф. О целеустремленных системах: Пер. с англ. – М.: Советское радио, 1974. – 272 с.
7. Головнич А. К. Концептуальные основы разработки инженерной модели 3D-станции // Мир транспорта. – 2016. – № 1. – С. 46–53. ●

Координаты автора: **Головнич А. К.** – golovnich\_alex@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 10.08.2015, принята к публикации 15.12.2015, актуализирована 18.03.2016.