



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.

Поведение 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 конструктивных 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 обоим действующим технологическим полям 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, штабелированию грузов на площадках виртуальной станции проводится расчёт нагрузки на площадку по условиям недопущения слёживаемости, потерь полезных качеств груза, возгорания в процессе хра-

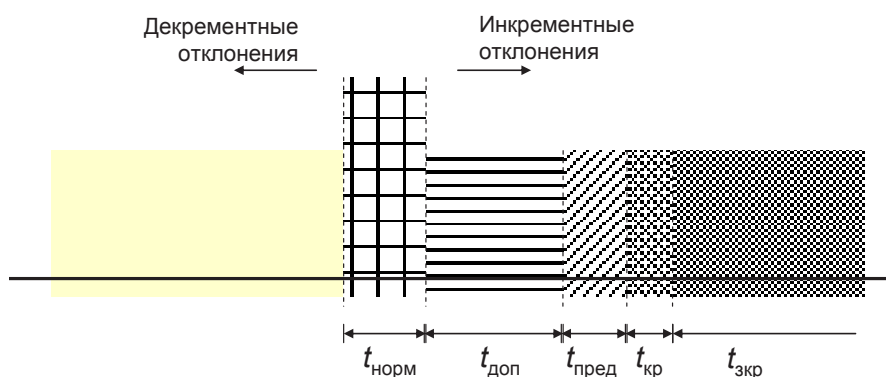


Рис. 1. Инкрементные отклонения продолжительности технологических операций.

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:

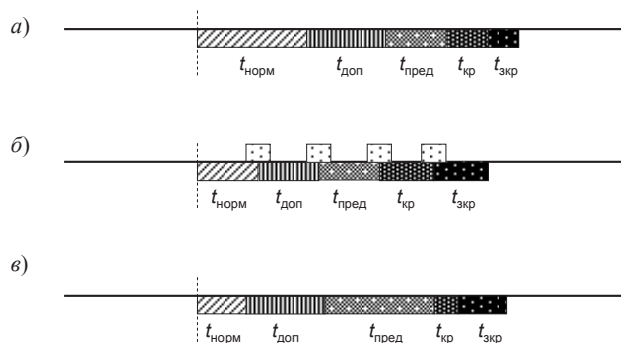
- технические (поездные, маневровые, приёмо-отправочные, ремонтные);
- грузовые;
- коммерческие;
- пассажирские.

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 цепочку 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 острижков к рамному рельсу и сохранении достаточного зазора между вторым острижком 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 острижка к рамному рельсу, то возможно набегание колесной пары на острижок. 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 острижком 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 острижка 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 раздельного 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 потребуются 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.

TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF 3D STATION ENGINEERING MODEL

Golovnich, Alexander K., Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus.

ABSTRACT

Relying on alleged conceptual basis for development of model samples of railway stations in the three-dimensional format (see *World of Transport and Transportation*, Vol. 14, 2016, Iss. 1), the author highlights important, in his view, technological

Keywords: railway, station, design, engineering 3D model, localization, information technologies, physical laws, consequences reconstruction.

Background. *The behavior of objects in the engineering model of a railway station as a functional form of transport system should be adequate in terms of technologies of operations carried out with their participation. Correct prototyping consequences of physical world phenomena is important for development of a base environment of a virtual station. In terms of model gravity and of the action of reproduced elasticity and friction forces, highly realistic movement of trains, movement of cars near freight fronts, loading and unloading of the transported goods are achieved.*

However, besides «situational», cartographic basis, which is a model physical environment, the technological field of operations is of particular interest for engineering 3D station, into which the objects are put. The technology within the model can also be reduced to some regulations of conduits of objective laws, strict rules for variations of state and location of cars, locomotives, goods, means of mechanization and others. For example, a change in the state of the model station's objects is determined by simulated physical laws that provide movement of cars from the hump yard with some acceleration in accordance with accumulated potential energy.

By analogy with physical laws technological laws could be established, which again will have an effect of objective existing rules, but of local ones, existing only within the territory of the station, that is to say within a so-called transport location. In addition to properties of mass, elasticity, inertia, speed, station objects are endowed with specific attributes that determine safe execution of operations, safety of goods, labor protection of station workers and others.

Objective. The objective of the author is to consider technological properties of 3D station engineering model.

Methods. The author uses general scientific and engineering methods, simulation, comparative analysis, computation.

Results.

The rules for functioning of objects

Model reproduction of technologies in such a complex technical system, as a railway station, to a large extent is ambiguous on criteria, objectives, results. Existing studies [1–5] reflect many problem aspects and offer sufficiently effective solutions to various problems of technology modeling. The principal difference of the engineering model of the station is that all its objects are immersed in a certain environment of constant changes and transformations in full compliance with a number of objective requirements on which all model structures are dependent. This environment makes tracks, cars, warehouses to transform under the influence of certain external forces of physical and technological origin. These changes naturally relate to the established temporal scale, time counter of which is activated immediately after loading of the model.

guidelines and locations. The research is essentially focused on peculiarities of construction of an engineering model, correctly reproducing technology of 3D station operations and basing on reconstruction of consequences of physical laws acting in the real world.

The local nature of technological law indicates first and foremost the less pronounced force vector of its action on station facilities. This vector is a narrow, selective one, providing an effective and safe solution to this challenge. A more acceptable name for technological requirements of the transport location can be formulated as technological rules that can be divided into regulatory, recommending, stabilizing, conventional and alternative rules.

Regulatory rules have a status of strict requirements, strictly carried out, without any limitations and exceptions. This category should include all the requirements for safety of trains, shunting work, labor protection.

Recommending rules are considered as softer positions, connected with existence of certain properties of the objects that are activated by the user instructions. For example, unloading of cargo of carload shipment in 3D storage is performed using several automatic loaders. In this case, it may require calculation of parallel routes of unloading mechanisms and activation of control of warehouse space filling by each automatic loader.

Stabilizing rules are required upon occurrence of specific conditions that can cause adverse continuation of operations. An example of this is automatic setting of alignment of individual packages during model unloading of packaged goods from a covered car on bolsters installed on the forklift truck.

Conditional rules extend capabilities of objects, not built into the model as a default, but in certain situations leading to less costly implementation of individual technological operations. For example, more rapid completion of operations for loading of a covered car with small shipments can be achieved thanks to inclusion into the engineering model of the automatic search the final group of goods on the site, ensuring full utilization of capacity or of load capacity of the car.

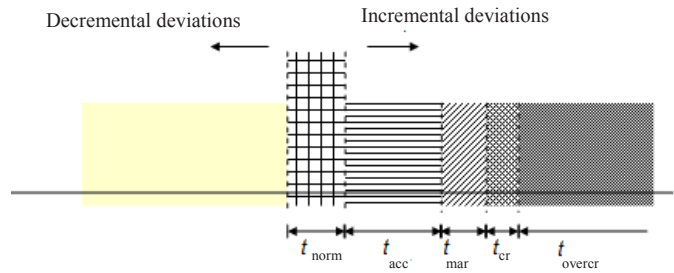
Alternative rules go beyond technical capabilities of existing transport; they assume a more rational solution of operational task by using basically achievable structural or technological innovations. As an example we can cite simulation of operations on breaking-up of trains on hump-less yard using a high-speed turn-table, able to deduce from the train an uncoupled sections of cars, to fix it on the receipt section and to transfer it to the sorting track position via a certain traction force. The second example of alternative technological rules is associated with transportation of packaged goods in small shipments with e-marking on self-propelled bogies, providing in automatic mode unloading, sorting and loading of covered cars without any mechanization means.

A significant area of technological field

Technological operations at railway stations are carried out in strict compliance with requirements of guidance documents and standards of established practices. Saving of substantial base of real stations in the engineering model leads to the need to transfer,



Pic. 1. Incremental deviations of technological operations duration.



restore regulations in replicated transport location objects.

Setting the scope of the technology law it is necessary to differentiate its sphere of influence with sphere of model physical laws that form fundamental, «pseudo-material» basis for the existence of engineering models. In certain cases, this limit can be quite blurred with possible object interpenetration of action of physical and technological fields. This subset of model structures of transport location is classified as *diffusion of fields*. In turn, the exact division of consequences of action of physical laws and technological regulations by certain criterial parameter can be defined as *differentiation of fields*.

Technological operations in the engineering model of a structurally adequate real station are executed in the prescribed manner with exact fixing of targets controlled by information system. It should be noted that due to correct physical and technological simulation of processes, taking place at a real station and ensured by a powerful information support, this engineering model may be in demand. Its functioning with some advance of real time scale helps to «calculate» possible situations of the near future and to transfer or «broadcast» model actions into operational commands.

Confidence of personnel in reliability of such simulations will allow to verify model physics and technology. In this respect, particular importance belongs to the development of subsets of simulation designs of diffusion and differentiation of physical and technological simulations.

Analysis of maintenance operations of train flows in the station parks shows that it is impossible to unambiguously fix a separate action of technological fields on objects involved in simulation.

Receipt of a train in the engineering model park is accompanied by introduction of 3D train according to data on input traffic lights on a free station track with calculation of impact on it of mass of each car and of possible longitudinal track displacement due to locomotive braking. Carrying out such a technological operation includes mechanisms of friction forces action. Dissolution of train at a hump yard also means that an engineering model needs to calculate speed of rolling of uncoupled sections depending on thrust speed, height and geometry of the longitudinal profile of the hump. Therefore, in this case the technological field of dissolution operations is organically linked with the physical field of model gravitation, providing conversion of potential energy of a body raised above the earth (uncoupling) in kinetic energy of its motion with sliding into hump yard.

On cargo fronts of areas of loading and unloading of a model station a diffuse effect of physical and technological fields is also observed. Along with set of operations for relocating of mechanization means in warehouses, and stacking of cargo on sites of a virtual station, the calculation of load on a site is carried out

under the terms of preventing caking, loss of useful qualities of cargo, ignition during storage and so on. Even restriction of temporal area of implementation of a technological operation does not break unity of relations between two fields.

For current conditions of the material world the action of physical laws is absolute, their consequences must be stated and taken into account by operational employees making management decisions. In the engineering model it is necessary to simulate all the laws – global (physical) laws, and local (technological) laws.

Formation of location

Technological requirements provide preserved, safe and efficient operations with possible tolerances in deviations from existing rules. This deviation from the norm is not considered as a violation, but allows in the model to take into account features of operations, in accordance with specific local conditions. Deviations from the norm are largely incremental in nature, contributing to an overestimation of the duration of technological operations. Decremental deviations indicate decrease in operation duration compared with established standard and are rare in practice. As a rule, incremental deviations reflect the fact of occurrence of any adverse or unusual situations, preventing fulfillment of technological operation according to the regulations. It is necessary to consider acceptable, marginal, critical and overcritical incremental deviations (Pic. 1).

Incremental deflection range is different for diverse technological operations. Perhaps it would be proportional to time of operations execution in normal mode (except for overcritical):

$$t_{acc} \vee t_{mar} \vee t_{cr} \vee t_{overcr} = f(t_{norm}) = at_{norm} + b,$$

where a, b are parameters, characterizing technological operations.

General category of technological operations includes a number of classified positions, indicating the nature of their performance:

- Technical (train, shunting, receipt and departure, repair);
- Cargo;
- Commercial;
- Passenger.

We consider three main hypotheses of change in duration of different types of incremental deviations on the scale of their position (Pic. 2).

Confirmation of validity of one of the hypotheses or areas of their actions can be followed by an analysis of features of technological operations. It should be borne in mind that individual operations are essentially connected to each other, and the appearance of certain events is able to pick off an established connection with access to the operations of another category. For example, as a result of technical inspection of a train (operations on arrival) at the station a fault in the loaded transit train was detected that did not require delivery to

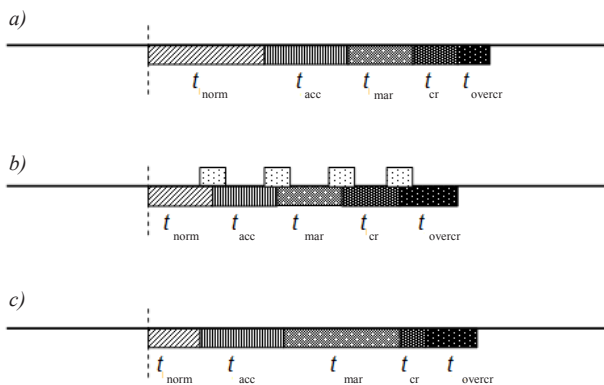


Fig. 2. Possible dependences of changes in duration of incremental deviations: a –reverse (hypothesis A); b–constant duration with stable or unstable oscillation area (hypothesis B); c – random duration (hypothesis C).

depot and overloading. Elimination of fault (repair) is made with a delay of receipt operations, which will continue after recovering the car.

The non-linear nature of relationship of technological operations may affect in a certain way a chain of incremental deviations. For construction of a technologically connected 3D model of a station estimates of values of permissible parameters are important, because as a result of their solution it becomes possible to implement dual selection of duration of individual operations in the field of real stations functioning.

Perhaps in the course of research it will be possible to establish some kind of technical sphere of stable operation of separate points. Remaining in the field of attraction of such a technical sphere, purposeful (behaviorist) incentives embodied in a self-contained transport system, probably include quasigravitational forces that will provide steady-state operation of the whole station. Compensatory mechanisms can be transferred into the model, securing computer simulations of heterogeneous technological operations with sufficiently rigid algorithm to quench oscillations of their duration, to fix functional equilibrium of model environment.

Research in this area indicates the existence of such a compensator in practices not only of biological but also of a variety of complex systems [6]. Be that as it may, the mechanism of self-quenching fluctuations of duration of technological operations, if account of results of a giant number of interactions of objects is organized, looks like a relatively reliable way to build a dynamic model of the railway station.

The nature of technological essence of the station operation is known, while that cannot be said about physical laws of reality. Model image of technology can be reproduced «from scratch», consistently recreating a chain of cause and effect relationships inherent in instructional requirements, calculation methods. But strictly defined, deterministic logic of building of an algorithm for execution of model technological operations is not expected.

Reproduction of work of a «black box» of physical laws is likely possible in the form of a sequence of empirical rules that are based on the logic of modus ponens. It is believed that just those largely conditional dependences, obtained by limited observations and experiments, will be the main challenge at the stage of verification of the current engineering model of the railway station.

Probably, therefore it is necessary to focus on building highly realistic information technological model, copying in detail numerous nuances of processes of

receipt and dissolution of trains, passenger and cargo operations, maintenance of rolling stock. There is reason to believe that all transport processes carried out at stations are built on relatively efficient and expedient principles according to existing state of technology and knowledge. Accordingly, the objectivity of technological principles must follow from physical laws, as it is always based on them. Forming a technological model adequate to reality, we thereby bring nearer to our needs understanding of certain aspects of physical nature of material world laws. Engineering technology in its functioning reflects physics of processes, constantly dictating the technical system's specified target settings, and correctness of this preconception is recognized via achievable effect of their implementation.

Physical and technological projections

Let's consider possible embodiments of the engineering model of the car movement on turnout based on technological aspects. Model turnout appears as a receiver for wheel sets of rolling stock, which under the effect of traction generated by other devices (locomotive, crab reel), or gravity force, moves along switch blade through turnout curve on one of two tracks. In fact, the turnout is a switch of model rolling movement to adjacent model track.

For a virtual image of turnout it is essential that the position of switch blades physically determines the movement of rolling stock on the set route. However, the movement can be forbidden, because right behind the turnout other cars can be located or track section is defective (ultraboundary gap in the joints, track repairs, etc.). In other words, it is necessary to distinguish between potential conditions of the operation implementation, which are provided by permissible states of the object (turnout), and real conditions of the operation implementation, which bind with the state of other elements that are technically and technologically interacting with data.

For example, when performing shunting or train operations inclusion of the turnout in a certain route is significant. For an analogue model it means that there is additional technological feature that is a position of switch blades in accordance with the route (perhaps equal to 1 when included in the route and 0 – otherwise). Wits property of abutment of switch blades to a point rail will be also technologically driven (for ordinary turnouts it is equal to 1 in such a state, so that it is possible to move on a straight track, and 0 – to a side track and from it).

Switch blade of a turnout in the engineering model of the station must have three states: pressed against a point rail, pulled from a point rail and with incomplete abutment, which is qualified as a failure and a dangerous



state with the prohibition of movement. Incomplete abutment of switch blades in practice is associated with a number of reasons, the effect of which is difficult to be simulated in a model. However, for a complete internal, «substantial» reality of a model such a state of switch blades should be provided as a potential defect. In this case, the property of a model turnout, characterizing abutment of switch blades to a point rail should be equal to –1. The fault is critical in terms of safety and, therefore, should be reflected in the engineering model.

Incomplete or non-route abutment of switch blades to a point rail in the model, as in reality, should lead to trailing of a point. Trailing of a point is observed when rolling stock is moving on a turnout with unauthorized route in trailing direction, resulting in the forced switch operation by wheels of rolling stock. In the real world consequences of trailing of a point may result in widening of a gauge, violation in density of abutment of switch blades to a point rail, deformation or breakage of throw rod, failure of electric drive. At the moment of trailing of a point prohibiting indication of corresponding traffic light is set automatically followed by inability of subsequent control over switch from the post. These effects must also be transferred to the model.

In addition to movement operations turnout is involved in other technological operations related to maintenance and repair of separate parts of a turnout, clamps, track structure and superstructure. They again are intended to be reflected in the engineering model, providing pseudorealism of constructed images.

Thus, correct model movement on 3D turnout in the engineering model can be provided with necessary compliance with three conditions:

1. Sufficient traction force to overcome friction forces of 3D wheel on a 3D rail.
2. The presence of authorized route of movement.
3. Complete abutment of one of switch blades to a point rail and a sufficient gap between the second switch blade and the second point rail.

The first condition is called physical, the second is deemed to be technological, the third is technical. The physical and technical conditions are objectively linked to each other. If for any reason there is no complete abutment of a switch blade to a point rail, climbing of a wheel set on a switch blade is possible. Traction effort to overcome friction forces, when changing wheel thread, requires complex calculations and reproduction of sophisticated model situations, adequate to real conditions, with possible loss of supporting thread area by a wheel. That is, a failure to comply with the technical conditions of negotiation into a turnout needs forecasting of a more complex behavior of a rolling stock unit, ensured by physical condition.

A relationship of technical and technological conditions is similar. Failure to comply with the latter when trailing of a point entails failure of 3D turnout. In addition, when trailing of a point it is necessary to take into account physical condition as sufficient or insufficient traction is able to influence the degree of damage to the turnout. For example, during trailing of a point by a car, sliding on a flat profile at a low speed, stop of the car can occur due to clamping of wheel flange between a switch blade and a point rail without the forced switching of points.

Modeling of action of physical conditions must be independent on two other conditions. Only then the engineering model of the station will be close to reality. Strictly speaking, the traction force can be activated only in the case of mandatory compliance with technical and technological conditions. However, firstly, if a car begins to move under the force of gravity, the physical condition

still objectively starts to operate, not conforming with correct execution of other requirements. Secondly, the inevitable influence of human factor leads to the fact that such a threefold link is often violated. Therefore, the model is designed to simulate not only situations, which are known safe, but also critical, dangerous situations, leading to inability to comply with technical conditions.

The above mentioned ideas mean that as a result of various kinds of negative consequences (derailment of rolling stock, falling of cargo, damage to a track, violation of rolling stock structural integrity) different situations should be modeled when technologically correct functioning of the station in the area of conflict is impossible.

Thus it is necessary to distinguish limited critical situations of non-compliance with technical conditions that do not lead to a disruption of devices by technological condition. For example, we can indicate timely detected hot boxes; lopsided, but fixed mount stands of timber on the platform; elimination of started spillage of bulk cargo through aperture of gondola car; abutment of a switch blade to a point rail with a slight clearance, when the blade is fully pressed against the first wheel set of a train, etc. These situations are more correctly referred to potential positions of non-compliance with all three conditions of a chain: technical, physical, technological.

The presence of a significant number of elements that might be in a transient, boundary state, leads to the fact that the turnout is less reliable in terms of traffic safety. For engineering model this fact is crucial, around it a lot of potentially realized virtual processes «hover», one of which can become predominant under certain circumstances. In the area of straight section of the track the number of processes is less because of the smaller number of components. The situation is different in the area of a curved section, wherein again there are more virtual processes.

Methodological aspects

The main purpose of a full engineering model of a station is development of technological environment of transport facilities.

In practice, all technological incentives as activation motives of individual elements of gridiron, technical equipment, transportation, loading and unloading and other tools are created by a man (station duty master, dispatcher, operator, commodity receptionist, etc.). Objects of the station are waiting for control or are within the control process.

A virtual copy of a separate point is endowed with wider «powers» delegated to it by a person. Few benefits can be achieved from the computer model which reproduces in good technical detailing all station facilities that are capable of performing their operations only with constant human intervention. That's how many alive people are required to service model images of the virtual train station? Therefore, we have consciously tried to give an engineering model its own analog functions, in actual practice, performed by a human.

On the other hand, there is a certain understanding of the fact that it is highly problematic to create a self-sustaining model of a station, ready to automatically perform a full cycle of operations with rolling stock, cargo, relevant transport structures. The «brain» of the system must have comprehensive experience and globe expertise of numerous specialists in various fields and address constantly evolving complex, non-standard questions.

As a result, we have two diametrically opposed by «intelligence» criterion model positions, one of which includes only a technical side of the process followed

by full control by experts, the second is virtual machine station. Moreover, model image of station objects, controlled by humans, does not mean relative simplicity of its creation. After all, in this embodiment, it is necessary to be able to create a physical and technical pseudo-material construction of real objects, necessarily visualized for usual work of professionals with them. At the same time the virtual machine station (not yet attainable for an understanding of the ways of its construction) offers many advantages, as it can handle internal program functional structures, but not visualized images, significantly reducing a required number of calculation operations.

It is a reasonable compromise of these two strategies, in all probability, that will form an effective model system, the basis of which, in any case, will be a certain technological consistent element reproducing operations using the most adapted virtual resources with some human intervention.

In this case, it is important that physical and technological symbiosis of model implementation will provide a software product, on the basis of which we can solve a wide range of applications. Priority of technological component possibly narrows the scope of subjective perception of such a global image as computer copies of real train stations, which are in operation. It is difficult, of course, to be aware of many functional links of facilities, separate units and elements of the system in the absence of reliable methods for verification of model simulations. However, given the fact that the operation of the station is conditioned by a need to perform technological operations of a certain amount and contents, it is logical to target a desired model image at a constructive reproduction of a technology.

Exaggerating to some extent, we can say that only a model of the station will be practically useful, in which all technological operations would be properly and adequately reproduced under the influence of abstract forces that simulate the action of natural and other factors. This effect can be somehow ranked by specifications laid down in the model algorithm. Estimated abstract force is recognized under relevant attributes, and as a result, the mechanism of adjustment according to nature and duration of technological operations turns on.

Considering under this view a general problem of the engineering model, we can hope to identify characteristics that are unique to various external factors affecting the very process of technological operation. This will help to reduce many-sided manifestation of the infinite string of natural and human-generated impacts on railway station objects to an abstract, but efficient scheme of correct modeling of operations. Technological reincarnation of the station facilities is built on a completely unrealistic physics, on unnatural control by a human, who in this model, most likely does not exist, but the status of objects at any temporal cross section is adequate to all events occurring at the station at starting position coinciding with model objects.

Conclusions. All these considerations show a high complexity of implementation of technologically adequate model of a station, taking into account physics of car motion with a complex wheel thread

when passing a turnout. Many potentially dangerous conditions are largely predetermined by the existing design of the mechanism of transfer of cars from one track to another. Maybe that would be better to implement first a model scheme with physics of motion through non-frog turnout, in which sections of rails of intersecting routes instantly «neck down», when it is necessary, taking a form providing passage of wheel tire, and after departure of the train from a switch immediately restore original structure of the metal of a model rail. And in the future it may be possible to obtain a rail on the basis of the use of «smart» materials with a memory of structure (a kind of reverse passage of reconstruction of reality from the virtual world).

Thus, within the framework of the engineering model there is a need for a comprehensive account of impact of physical and technological laws acting at 3D station that perform themselves as specific synthetic conglomerate, which determines integral properties of model station facilities. Virtual technological operations cannot be performed unless they are provided with the calculations of changes in physical properties of the objects themselves and their environment. Therefore, the changes of model station's objects will always have a dual nature. The more accurately the engineering model will be able to reproduce this dualism, which leads to a corresponding change of the coordinate position and status of all interacting objects, the more adequate to its prototype generated image will be expected.

REFERENCES

1. Railway stations and units of industrial areas [Zheleznodorozhnyye stancii i uzly promyshlennykh rajonov]. Ed. by N. N. Chislov. Rostov-on-Don, 2004, 546 p.
2. Kuznetsov, V. G., Fedorov, E. A., Ovsyannikov, V. F., Alshevskaya, S. P. Operational planning of train operation on the basis of train formation model [Operativnoe planirovanie poezdnoj raboty na osnove modeli poezdoobrazovaniya]. *Vestnik BelGUT: Nauka i transport*, 2009, Iss. 1, pp. 42–47.
3. Erofeeva, E. A. Stages of application of simulation models of stations for calculation of regulatory values of car downtime [Etapy primeneniya imitacionnykh modelej stancij dlja rascheta normativnykh znachenij prostoev vagonov]. *Problemy fiziki, matematiki i tehniki*, 2013, Iss. 1, pp. 96–100.
4. Erofeev, A. A. Evaluation of system properties of transportation process management structure in terms of Transportation control center [Ocenka sistemnykh svoystv struktury upravleniya perevozhnym processom v usloviyah razvitiya Centra upravleniya perevozkami]. *Vestnik BelGUT: Nauka i transport*, 2013, Iss. 2, pp. 60–64.
5. Erofeev, A. A. Decision support systems in train work control at transportation control center of Belarusian Railways [Sistemy podderzhki prinjatija reshenij v upravlenii poezdnoj rabotoj v centre upravleniya perevozkami Belorusskoj zheleznoj dorogi]. *Vestnik Volzhskoj gosudarstvennoj akademii vodnogo transporta*, 2013, Iss. 37, pp. 42–47.
6. Ackoff, R. L., Emery, F. E. On purposeful systems [O celeustremlynykh sistemah. *Transl. from English*]. Moscow, Sovetskoe radio publ., 1974, 272 p.
7. Golovnich, A. K. Conceptual Basis for Development of 3D Station Engineering Model. *World of Transport and Transportation*, Vol. 14, 2016, Iss. 1, pp. 46–53. ●

Information about the author:

Golovnich, Alexander K. – D.Sc. (Eng.), director of Railway Transport Research Institute of Belarusian State Transport University, Gomel, Belarus, golovnich_alex@mail.ru.

Article received 10.08.2015, accepted 15.12.2015, revised 18.03.2016.

