



Специфика отражения объектного пространства трёхмерных моделей станций



Александр ГОЛОВНИЧ

Alexander K. GOLOVNICH

Specific Reflection of the Object Space of Three-Dimensional Models of Stations

(текст статьи на англ. яз. – English text of
the article – p. 11)

***Разработка модели
железнодорожной станции
с формированием трёхмерных
объектов пути, подвижного состава
и искусственных сооружений,
функционирующих в полном
соответствии с технологией
раздельного пункта. Каждой
технологической операции
ставится в соответствие набор
формальных процедур, адекватно
воспроизводящих станционные
процессы. Воспроизведение
определённой последовательности
таких формальных процедур
на модельных объектах позволяет
реконструировать динамический
образ железнодорожной станции.***

Ключевые слова: железнодорожная
станция, объектное пространство,
трёхмерное моделирование,
формализация технологической
операции, динамический образ,
адекватность модели.

*Головнич Александр Константинович –
доктор технических наук, заведующий
кафедрой транспортных узлов Белорусского
государственного университета транспорта,
Гомель, Беларусь.*

Современные возможности информационных технологий позволяют сформировать трёхмерную конструкцию путевого развития и техническое оснащение железнодорожных станций, функционирующую адекватно реальному образу с отражением его существенных признаков. При этом достаточная точность воспроизведения внешних форм станционных объектов может дополняться определёнными свойствами физического и технологического плана, воспроизводя системную структуру целостной модельной реставрации железнодорожной станции.

На все объекты модельной станции по аналогии с прототипом оказывают влияние различные внешние силы. Как и в реальных условиях, эти силы должны порождаться некоторыми объектами, обладающими свойствами тягового воздействия (локомотивы, погрузо-выгрузочная техника). Например, сила тяги локомотива обеспечивает движение прицепленных к нему вагонов, сила давления от гружёного вагона приводит к возникновению соответствующей нагрузки на железнодорожный путь. Если давление от вагона превышает некоторое пороговое значение, то возникают неупругие деформации в конструкции рельсошпальной решётки,

приводящие к изменениям координатного положения элементов пути в плане или профиле (продольный и поперечный угоны). Значительная ветровая нагрузка в отдельных случаях также формирует достаточную силу, способную вывести из состояния покоя и привести в движение вагон на станционном пути. Эти условия моделируются как внешние факторы, под действием которых могут возникать изменения состояний объектов на модельной станции [1, 2].

Расчёт значений параметров объектов движения производится через заданные промежутки времени. Новые координатные положения вагонов являются входными данными для следующих циклов вычислений динамических состояний станционных объектов. Визуализация последовательных картин модельных репродукций предполагает получить анимационный образ технической и технологической пространственно-временной реконструкции работы железнодорожной станции.

КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ

Инфраструктура отдельного пункта включает определённый перечень статичных и мобильных объектов. Основным мобильным объектом является подвижной состав, движущийся по различным станционным путям и стрелочным переводам. При этом соотносимый с такими статичными объектами, как складские помещения, пассажирские платформы, вокзалы и прочее. Железнодорожные пути рассматриваются как координатно изменяемые объекты, способные перемещаться под воздействием различных нагрузок.

Реалистичность модельного образа трёхмерной инсталляции достигается технически и технологически корректным переносом связанной объектной структуры мобильных и статичных тел реальной станции в прототипированную реконструкцию. То есть формируется ряд связанных подмножеств однотипных и различных объектов, взаимодействующих между собой по некоторым регламентированным правилам и воспроизводящих работу железнодорожной станции. Объекты подвижного состава рассматриваются как множество A модельных структур. Аналогично существуют множества объектов пути B , зданий и сооружений C , объектов перевозки D .

Все вагоны включаются в подмножество a_1 , локомотивы — a_2 . Дифференциация ваго-

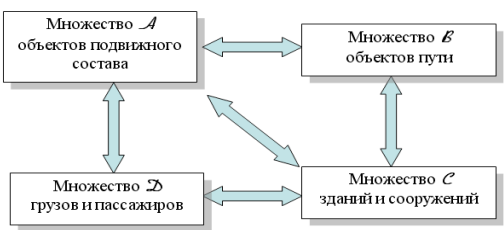


Рис. 1. Связные множества объектов модели станции.

нов по назначению приводит к выделению субподмножеств грузового a_{11} и пассажирского a_{12} парков, которые в свою очередь разделяются по типам a_{11i} (роду грузового подвижного состава), a_{12i} (различным категориям пассажирских вагонов, дизель-поездов, мотор-вагонных секций, специальных вагонов). Возможно разделение на инвентарный a_{13} и нерабочий a_{14} парки, общей сети a_{15} , приватные a_{16} и др. Все локомотивы делятся на парк поездных a_{21} и парк маневровых a_{22} .

Станционные пути множества B подразделяются на b_{1i} (главные b_{11} , приёмноотправочные b_{12} , сортировочные b_{13} , погрузо-выгрузочные b_{14} , горочные b_{15} , ходовые b_{16} , соединительные b_{17}). В перечень инфраструктурных объектов, зданий и сооружений C входят вокзалы, посты c_{1i} , различные складские помещения c_{2i} , платформы c_{3i} , другие искусственные сооружения c_{4i} . Множество объектов перевозки D включает подмножества грузов d_1 и пассажиров d_2 . Все объекты подобных множеств взаимодействуют между собой определённым образом (рис. 1).

Связная схема множеств объектов $A \leftrightarrow B \leftrightarrow C \leftrightarrow D$ позволяет сконструировать корректную среду взаимодействующих модельных структур в полном соответствии с технологией работы железнодорожной станции.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ

Модельное взаимодействие станционных объектов выражается определёнными отношениями [3]. Отношение связи элементов множеств указывает на взаимное положение объектов станции. Например, $a_1 \rightarrow c_2$ определяет тот факт, что вагон располагается у склада (или внутри склада); $d_{1j} \rightarrow a_{12}$ — груз находится в вагоне; $d_{2j} \rightarrow c_{11}$ — пассажир находится на вокзале и т.д. Данное отношение связи устанавливает взаимно однозначное соответствие между элементами только различных





Таблица 1

**Основные технологические операции
и связанные отношения модельных
станционных объектов**

Наименование технологической операции	Адекватная модельная операция
Приём поезда на приёмоотправочный путь	$(a_{11} \oplus a_{21}) \rightarrow b_{12i}$
Уборка поездного локомотива из-под поезда	$a_{21}(a_{11i}) \rightarrow b_{16}$
Заезд маневрового локомотива под состав	$a_{22} \rightarrow b_{12i}$
Подача поездного локомотива в парк	$a_{21} \rightarrow b_{12i}$
Отправление поезда со станции	$(a_{21} \oplus a_{1i}) \rightarrow b_{12i}$
Пропуск пассажирского поезда	$(a_{21} \oplus a_{12i}) \rightarrow b_{11}$
Подача вагона под выгрузку к складу	$((a_{11i} \oplus a_{22}) \rightarrow b_{14i}) \rightarrow c_{2i}$
Выгрузка груза из вагона в склад	$d_{1i}(a_{11i}) \rightarrow c_{2i}$
Погрузка груза из склада в вагон	$d_{1i}(c_{2i}) \rightarrow a_{11i}$
Сортировка грузов на контейнерной площадке с погрузкой на платформы контейнерным перегружателем	$(d_{1i}(c_{4i}) \rightarrow a_{11i} \uparrow \Omega) \rightarrow b_{14i}$
Уборка группы вагонов с грузового фронта в сортировочный парк	$((a_{11i} \oplus a_{22}) \rightarrow b_{14i}) \rightarrow b_{13i}$
Перестановка вагонов с сортировочного в отправочный парк	$((a_{11i} \oplus a_{22}) \rightarrow b_{13i}) \rightarrow b_{12i}$
Приём пассажирского поезда на станцию	$(a_{21} \oplus a_{12i}) \rightarrow b_{12}$
Посадка пассажиров в пригородный поезд	$d_{2i} \rightarrow c_{3i} \rightarrow a_{12i}$
Высадка пассажиров	$d_{2i} \rightarrow a_{12i} \rightarrow c_{3i}$

множеств. Если необходимо определить правило связи нескольких элементов одного множества (допустим, нахождение на погрузочном пути двух вагонов), то следует определить отношение дополнения: $(a_{12i} \oplus a_{12j}) \rightarrow b_{1j}$.

Операция «локомотив прицепляется к пассажирскому вагону и перемещает его на приёмоотправочный путь» определяется записью $(a_{22} \oplus a_{12}) \rightarrow b_{12}$. Технологическая операция перестановки вагона на приёмоотправочный путь, выполняемая с помощью маневрового локомотива, может быть представлена формальной записью: $(a_{11} \oplus a_{22}) \rightarrow b_{12}$. С учётом того, что локомотив способен двигаться самостоятельно, получаем операцию движения одиночного маневрового или поездного локомотивов по соединительному и приёмоотправочному путям: $a_{22} \rightarrow (b_{17} \oplus b_{12})$, $a_{21} \rightarrow (b_{17} \oplus b_{12})$.

Погрузо-выгрузочная техника перемещается автономно при условии наличия соответ-

ствующих транспортных связей Ω (подкрановых путей, автоподъездов и др.). Поэтому формальная запись общего вида $a_{3i} \rightarrow b_{1i}$ не является корректной, так как не учитывает дополнительное требование по проектированию коммуникационной структуры Ω , и следует ввести новое отношение включения условий $\uparrow$. Тогда рассматриваемые операции примут вид $(a_{3i} \uparrow \Omega) \rightarrow b_{14}$.

Таким образом, отношения связи $\rightarrow$, дополнения $\oplus$ и включения $\uparrow$ определяют в модели станции технологические операции, выполняемые реконструктивными объектами множеств A , B , C и D . Основной перечень технологических операций, воспроизводимых модельными объектами станции, и соответствующие им реляционные связи объектов и порождённых операций приведены в таблице 1.

Перечень технологических операций можно продолжать, проектируя их состав для конкретной станции, сообразно с характером её работы. При этом следует отметить, что модельные правила не будут полностью отвечать технологическим требованиям в силу сложности и вариабельности последних. Правила воспроизводят наиболее значимые системные элементы организации работы станции, которые отражаются в модели через предусмотренные отношения между объектами множеств. Поэтому должны быть определены исключения из правил как ряд связанных условий, при которых отдельное условие может быть скорректировано (мягкие ограничения) или его выполнение становится невозможным (жёсткие ограничения). Например, нахождение груза на пути $d_1 \rightarrow b_{1i}$ либо пассажирского вагона на вокзале $a_{12j} \rightarrow c_{1i}$. В первом варианте груз может располагаться на пути в неких особых случаях, связанных, допустим, с реконструкцией станции (замена рельсошпальной решётки, временно выступающей в качестве груза, доставляемого на платформах к месту производства работ). Второй пример модельной ситуации указывает на невозможность её возникновения на объекте.

Схема мажорного режима оказывается достаточно полезной при разработке особых, катастрофных моделей, имитирующих возникающие состояния отдельных объектов при нарушении техники безопасности производства работ. В мире конфликтных ситуаций относительной нормой становится спонтан-

ное и допускаемое особыми правилами нарушение принятых требований к выполнению технологических операций, расширение границ установленных критичных параметров. Катастрофные модели станции можно рассматривать как воспроизведение последствий различных технических и технологических нарушений, имеющих ненулевую вероятность своего возникновения на реальной железной дороге.

Особые схемы взаимодействия возникают для объектов множеств D с элементами множеств A и C . Предмет перевозки (грузы, пассажиры) наделён специфическими модельными формами. Каждый объект множества D способен перемещаться в пределах некоторого замкнутого пространства (груз — при ударах и столкновениях вагонов, пассажиры — в процессе собственного движения).

В общем случае модельный образ предмета перевозки «груз» должен определяться как способный перемещаться при помощи средств транспортирования (погрузо-разгрузочных машин), которые обеспечивают изменение его местонахождения (вагон, склад, сортировочная платформа и др.). Подобная операция в модели станции считается производительной. Инерционные же сдвиги груза в результате резкого изменения скорости движения вагона — это непроизводительные перемещения.

Предмет перевозки «пассажир» в модельной интерпретации рассматривается как мобильный объект, который может перемещаться самостоятельно на вокзал, посадочную платформу, в вагон или с помощью эскалаторов, лифтов и т.п. Для 3D-станции целесообразно воспринимать пассажиров в качестве своего рода аватаров с некоторой поведенческой мотивацией, свойственной именно этой классификационной категории пассажиропотоков и предопределённой целью поездки.

Степень мобильности предмета перевозки из множества D вне транспорта и на транспорте различна (таблица 2).

Непродуктивная подвижность, обозначаемая сочетанием символов $(- +)$, присуща грузам в вагонах после удара, развала груза и при некоторых других мажорных обстоятельствах. Ограниченная активность $(+ -)$ наблюдается у пассажиров на промежуточных между вокзалом и вагоном транспортных средствах и в вагонах.

Для модельных предметов перевозки важно определить пространство возможных перемещений, а также характер и степень подвижности в этом пространстве. Двойная подвижная структура модельных вагонов и грузов с обязательной имитацией как перемещений самого вагона на колёсах, так и содержимого вагона имеет принципиальное значение для корректной физической реконструкции событий. Это позволит моделировать транспортные процессы в различных условиях негативного характера, агрессивной внешней среды, усталостных напряжений, последующих критических деформаций элементов конструкции пути и подвижного состава.

**ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ
МОДЕЛЬНЫХ ПОСТРОЕНИЙ**

Подобие модельных правил взаимодействия объектов виртуальной и реальной станций позволяет разработать динамическую систему модельных конструктивов, изменяющих своё положение (вагоны, грузы) или состояние (железнодорожный путь). Все объекты указанных множеств обладают определёнными свойствами по принадлежности к соответствующему типу (вагонов, локомотивов, пути, зданий и др.), имеющими некоторую массу груза данной номенклатуры и характеризующимися достигнутым состоянием (дефектности пути, годности к погрузке вагонов, ресурса пробега локомотива и др.).

Объектный модельный конструктив (вагон, участок пути, партия груза, здание), дополненный присущими ему свойствами, называется технологическим модельным объектом. Так как реконструктивный образ железнодорожной

Таблица 2

Мобильность модельных предметов перевозки множества D

Предмет перевозки	Место нахождения		
	Вне вагона	На объекте транспортирования (на объектах подмножеств a_3, a_4)	В вагоне
Грузы	—	—	— +
Пассажиры	+	+ —	+ —



станции создаётся как самодостаточная и замкнутая модельная система, то объекты с заданными свойствами генерируются некоторым программным конструктором. После завершения работы на модельной станции образы вагонов, локомотивов с исходными или изменившимися характеристиками в процессе взаимодействия с другими объектами выводятся за пределы модельного пространства и погашаются специальным деконструктором.

Программный конструктор формирует составы поездов из технологических модельных объектов подвижного состава. Из соответствующих объектов пути создаются конструкции парков приёма, отправления, транзитного и др. Границами модельного пространства станции являются входные сигналы. Пути перегона с этих точек считаются главными путями модели станции. В модельной 3D-реконструкции принимается тезис, согласно которому все станционные объекты располагаются между плоскостями, проходящими перпендикулярно главным путям через точки границы станции по положению входных сигналов.

Программный конструктор может работать в режиме воссоздания модельных объектов со случайными свойствами или по определённой таблице некоторого задания. Парковые станционные структуры эмулируются на основании соответствующей оцифрованной схемы или плана путевого развития станции с известными длинами путей, типами и марками стрелочных переводов, текущего состояния пути и др. Цикличность технологических процессов железнодорожной станции позволяет алгоритмизировать последовательность выполняемых операций, представив их как ряд достаточно однозначных формализованных событий, повторяющихся через определённые временные интервалы.

Важным требованием корректного развития событий в ходе модельной реконструкции станции является формирование плана-задания на время, в течение которого программный контролирующий модуль обеспечит выполнение всех заявленных требований по обслуживанию потоков различных категорий. В случае наступления нештатных ситуаций контролирующий модуль должен выдавать

диагностические сообщения с переходом в режим ожидания управляющих действий со стороны оператора.

ВЫВОДЫ

Воспроизведение информационных объектов, адекватных реальным прототипам технических систем, по форме (внешнему виду) и функционалу (способности выполнять определённые операции) даёт возможность на основе существующих методов и подходов [4, 5] разработать динамическую среду, репродуцирующую на модельных объектах технологию работы железнодорожных разделных пунктов. Альтернативная 3D-инсталляция может быть сколь угодно близка к реально функционирующей станции в зависимости от степени детализации описания визуального образа и физики взаимодействия отдельных объектов.

Наиболее сложным представляется реконструкция технологических особенностей обработки поездо-, вагоно-, грузо- и пассажиропотоков на станциях. Возможно, по этой причине при просмотре соответствующего рендер-ролика функционирования 3D-станции обнаружатся визуальные и технологические несоответствия в развитии модельных процессов. Наличие контрольных точек, обеспечивающих остановку работы программного конструктора оператором, и возможность внесения соответствующих изменений в реконструкцию позволят скорректировать пространственно-временные позиции модельных станционных объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Головнич А. К. Базовые правила функционирования объектов трёхмерной технологической модели станции // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов: Международный сборник научных статей. — Гомель: БелГУТ, 2017. — С. 33–38.
2. Головнич А. К. Модели станций с функционалом прототипов физики процессов // Мир транспорта. — 2017. — № 5. — С. 6–10.
3. Головнич А. К. Автоматизация проектирования железнодорожных станций: Монография. — Гомель: БелГУТ, 2001. — С. 122–154.
4. Коткин Г. Л., Черкасский В. С. Компьютерное моделирование физических процессов с использованием Matlab: Учеб. пособие. — Новосибирск, 2001. — 173 с. [Электронный ресурс]: Mode of access: <http://www.phys.nsu.ru/cherk/main.pdf>. Доступ 04.06.2018.
5. Торн А. Основы анимации в Unity. — М.: ДМК, 2016. — 176 с.

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

Статья поступила в редакцию 05.06.2018, принята к публикации 30.09.2018.