



# 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.*

**С**овременные 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-

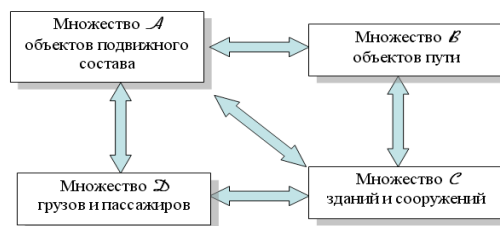


Рис. 1. Связные множества объектов модели станции.

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  $b_{11}$ , приёмootправочные  $b_{12}$ , 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	$(a_{21} \oplus a_{11}) \rightarrow b_{12i}$
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  $\Omega$  (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  $\Omega$ , 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  $d_{1i} \rightarrow b_{1i}$  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 критических 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 отдельных 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](mailto:golovnich_alex@mail.ru).

Статья поступила в редакцию 05.06.2018, принята к публикации 30.09.2018.

# SPECIFIC REFLECTION OF THE OBJECT SPACE OF THREE-DIMENSIONAL MODELS OF STATIONS

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

## ABSTRACT

Development of a model of a railway station with formation of three-dimensional objects of a track, rolling stock and artificial structures, functioning in full accordance with the technology of a separate point, is

considered. Each process operation is assigned with a set of formal procedures that adequately reproduce the station processes. Reproduction of a certain sequence of such formal procedures on model sites allows us to reconstruct a dynamic image of a railway station.

**Keywords:** railway station, object space, three-dimensional modeling, formalization of technological operation, dynamic image model adequacy.

**Background.** Modern features of information technologies allow to form a three-dimensional design of track development and technical equipment of railway stations, functioning adequately to real object with reflection of its essential features. At the same time, sufficient accuracy of reproduction of external forms of station objects can be supplemented with certain properties of the physical and technological plan, reproducing the system structure of integral model of a railway station.

All objects of a model station, by analogy with a prototype, are affected by various external forces. As in real conditions, these forces must be generated by some objects with traction effects (locomotives, loading and unloading equipment). For example, locomotive traction force ensures movement of cars coupled to it, pressure force from a loaded car leads to the corresponding load on a railway track. If the pressure from the car exceeds a certain threshold value, then inelastic deformations occur in the rail and tie grid design, leading to changes in the coordinate position of track elements in the plan or the profile (longitudinal and transverse slopes). In some cases, a significant wind load also forms a sufficient force capable of dislodging from rest and driving the car on the station track. These conditions are modeled as external factors, under the action of which there can be changes in the states of objects at the model station [1, 2].

The calculation of the values of the parameters of motion objects is performed at specified intervals. The new coordinate positions of cars are input data for the following cycles of calculating the dynamic states of station objects. The visualization of successive pictures of model reproductions suggests an animated image of technical and technological space-time reconstruction of a railway station.

**Objective.** The objective of the author is to consider specific reflection of the object space of three-dimensional models of stations.

**Methods.** The author uses general scientific methods, comparative analysis, simulation, scientific description.

## Results.

### Object classification

The infrastructure of a separate item includes a specific list of static and mobile objects. The main mobile object is rolling stock moving along various station tracks and switch turnouts. At the same time, it is correlated with such static objects as warehouses, passenger platforms, railway stations, and so on. Railway tracks are considered as coordinate changeable objects that can move under the influence of various loads.

The realistic image of the model image of the three-dimensional installation is achieved by technically and

technologically correct transferring the associated object structure of the mobile and static bodies of the real station to the prototyped reconstruction. That is, a number of connected subsets of similar and different objects are formed, interacting with each other according to some regulated rules and reproducing the work of a railway station. Rolling stock objects are considered as a set A of model structures. Similarly, there are sets of objects of track B, buildings and structures C, transportation objects D.

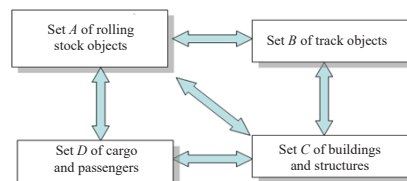
All cars are included in the subset  $a_1$ , locomotives –  $a_2$ . Differentiation of cars according to their purposes leads to allocation of subsets of cargo  $a_{11}$  and passenger  $a_{12}$  fleet, which, in turn, are divided into types  $a_{111}$  (type of freight rolling stock),  $a_{121}$  (different categories of passenger cars, diesel trains, motor-car sections, special cars). It is possible to divide it into inventory  $a_{13}$  and non-working  $a_{14}$  fleets, the general network  $a_{15}$ , private  $a_{16}$ , etc. All locomotives are divided into a train fleet  $a_{21}$  and a shunting fleet  $a_{22}$ .

Station tracks of set B are subdivided into  $b_{11}$  (main  $b_{111}$ , receiving and departure  $b_{12}$ , sorting  $b_{13}$ , loading and unloading  $b_{14}$ , hump  $b_{15}$ , running  $b_{16}$ , connecting  $b_{17}$ ). The list of infrastructure facilities, buildings and structures C includes railway stations, posts  $c_{11}$ , various storage rooms  $c_{21}$ , platforms  $c_{31}$  and other artificial structures  $c_{41}$ . The set of transportation objects D includes subsets of cargo  $d_1$  and passengers  $d_2$ . All objects of such sets interact with each other in a certain way (Pic. 1).

A coherent scheme of objects  $A \leftrightarrow B \leftrightarrow C \leftrightarrow D$  allows to construct the correct environment of the interacting model structures in full accordance with the technology of the railway station.

### Process design

The model interaction of station objects is expressed by certain relations [3]. The relationship of the elements of the set indicates the relative position of station objects. For example,  $a_1 \rightarrow c_2$  determines the fact that a car is located at a warehouse (or inside a warehouse);  $d_1 \rightarrow a_{12}$  – cargo is in a car;  $d_2 \rightarrow c_{11}$  – a passenger is at a station, etc. This relationship establishes a one-to-one correspondence between the elements of only different sets. If it is necessary to define a rule for connecting several elements of the



Pic. 1. Connected sets of station model objects.





Table 1

**Basic technological operations and coherent relations of model station objects**

Name of technological operation	Adequate model operation
Reception of a train at a receiving and departure track	$(a_{11} \oplus a_{21}) \rightarrow b_{12i}$
Removal of a train locomotive from a train	$a_{22}(a_{11}) \rightarrow b_{16}$
Ride of a shunting locomotive to a train	$a_{22} \rightarrow b_{12i}$
Delivery of a train locomotive to the fleet	$a_{21} \rightarrow b_{12i}$
Train departure from a station	$(a_{21} \oplus a_{11}) \rightarrow b_{12i}$
Handling of a passenger train	$(a_{21} \oplus a_{12i}) \rightarrow b_{11}$
Delivery of a car for unloading to a warehouse	$((a_{11} \oplus a_{22}) \rightarrow b_{14i}) \rightarrow c_{2i}$
Unloading cargo from a car to a warehouse	$d_{11}(a_{11}) \rightarrow c_{2i}$
Loading cargo from a warehouse to a car	$d_{11}(c_{2i}) \rightarrow a_{11i}$
Sorting of cargo at a container site with loading on platforms by a container loader	$(d_{11}(c_{4i}) \rightarrow a_{11i} \uparrow \Omega) \rightarrow b_{14i}$
Removal of groups of cars from cargo front to sorting park	$((a_{11} \oplus a_{22}) \rightarrow b_{14i}) \rightarrow b_{13i}$
Rearrangement of cars from sorting park to departure park	$((a_{11} \oplus a_{22}) \rightarrow b_{13i}) \rightarrow b_{12i}$
Reception of a passenger train to a station	$(a_{21} \oplus a_{12i}) \rightarrow b_{12}$
Embarkation of passengers to a commuter train	$d_{21} \rightarrow c_{3i} \rightarrow a_{12i}$
Disembarkation of passengers	$d_{21} \rightarrow a_{12i} \rightarrow c_{3i}$

same set (for example, stay of two cars on a loading track), then the add-on relation should be defined:  $(a_{12i} \oplus a_{12j}) \rightarrow b_{11}$ .

The operation "a locomotive is coupled to a passenger car and moves it to a receiving and departure track" is determined by the record  $(a_{22} \oplus a_{12}) \rightarrow b_{12}$ . The technological operation of shifting a car to a receiving and departure track, performed by means of a shunting locomotive, can be represented by a formal entry:  $(a_{11} \oplus a_{22}) \rightarrow b_{12}$ . Taking into account that the locomotive is able to move independently, we obtain operation of moving a single shunting or train locomotive along connecting and receiving and departure tracks:  $a_{22} \rightarrow (b_{17} \oplus b_{12})$ ,  $a_{21} \rightarrow (b_{17} \oplus b_{12})$ .

Loading and unloading equipment moves autonomously, subject to availability of appropriate transport links  $\Omega$  (crane runways, auto approaches, etc.). Therefore, the formal entry of the general form  $a_{3i} \rightarrow b_{1i}$  is not correct, since it does not take into account the additional requirement for designing the communication structure  $\Omega$ , and a new inclusion relation of conditions  $\uparrow$  should be introduced. Then the considered operations take the form:  $(a_{3i} \uparrow \Omega) \rightarrow b_{14}$ .

Thus, relations of communication  $\rightarrow$ , additions  $\oplus$  and inclusions  $\uparrow$  determine in the station model technological operations performed by reconstructive objects of sets A, B, C and D. The main list of technological operations reproduced by the model objects of the station and the corresponding relational connections of objects and generated operations are shown in Table 1.

The list of technological operations can be continued by designing their composition for a particular station,

in accordance with the nature of its work. It should be noted that the model rules will not fully meet the technological requirements due to complexity and variability of the latter. The rules reproduce the most significant system elements of organization of work of the station, which are reflected in the model through the provided relations between the objects of the sets. Therefore, exceptions to the rules should be defined as a series of related conditions under which a particular condition can be corrected (soft constraints) or its fulfillment becomes impossible (hard constraints). For example, stay of cargo on a track  $d_1 \rightarrow b_{1i}$  or a passenger car at a station  $a_{12i} \rightarrow c_{1i}$ . In the first variant, cargo may be located on a track in certain special cases connected, say, with reconstruction of a station (replacement of assembled rails and sleepers, temporarily acting as cargo delivered on platforms to the work site). The second example of a model situation indicates the impossibility of its occurrence on the object.

The scheme of the major mode turns out to be quite useful in development of special, catastrophic models that simulate the arising states of individual objects in the event of violation of work safety. In the world of conflict situations, a spontaneous and admitted by special rules violation of accepted requirements for performing technological operations, expanding the boundaries of established critical parameters, becomes a relative norm. Catastrophic station models can be viewed as reproducing the consequences of various technical and technological violations that have a non-zero probability of occurrence on a real railway.

Special interaction patterns arise for the objects of D sets with the elements of A and C sets. The object of transportation (cargo, passengers) is provided with specific model forms. Each object of the set D is able to move within a certain closed space (cargo – due to strikes and collisions of cars, passengers – in the process of their own movement).

In the general case, a model image of an object of transportation «cargo» should be defined as an object capable to be moved using means of transportation (loading and unloading machines), which provide a change in its location (car, warehouse, sorting platform, etc.). A similar operation in the station model is considered productive. The inertial shifts of cargo as a result of a sharp change in speed of movement of a car are unproductive movements.

The subject of transportation «passenger» in the model interpretation is considered as a mobile object that can move independently to a station, a landing platform, in a car or using escalators, elevators, etc. For a 3D station, it is advisable to take passengers as a kind of avatar with a certain behavioral motivation inherent in this particular classification category of passenger traffic and the predetermined purpose of the trip.

The degree of mobility of an object of transportation from the set D outside transport and on transport is different (Table 2).

Unproductive mobility, denoted by the combination of symbols  $(- +)$ , is inherent to cargo in cars after impact, collapse of cargo and under some other major circumstances. Limited activity  $(+ -)$  is observed in passengers on intermediate vehicles between a station and a car and in cars.

For model objects of transportation it is important to determine the space of possible movements, as well as the nature and degree of mobility in this space. The dual moving structure of model cars and goods with mandatory imitation of both movements of the car itself on wheels and the contents of the car is of fundamental

Mobility of model objects of transportation of the set  $D$ 

Object of transportation	Location		
	Outside a car	At a transport structure (at objects of subsets $a_3, a_4$ )	In a car
Cargo	–	–	– +
Passengers	+	+ –	+ –

importance for the correct physical reconstruction of events. This will allow to model transport processes in various conditions of negative nature, aggressive external environment, fatigue stresses, subsequent critical deformations of the structural elements of the track and rolling stock.

#### Assessment of the adequacy of model constructions

The similarity of model rules for interaction of virtual and real stations allows development of a dynamic system of model constructs that change their position (cars, cargo) or state (railway track). All objects of these sets have certain properties defined through belonging to the corresponding type (cars, locomotives, railways, buildings, etc.), having a certain mass of cargo of this nomenclature and characterized by the state reached (defectiveness of the track, suitability for loading cars, locomotive mileage, etc.).

An object model construct (car, track section, consignment, building), supplemented with its inherent properties, is called a technological model object. Since a reconstructive image of a railway station is created as a self-contained and closed model system, objects with specified properties are generated by some software designer. After completion of work at the model station, images of cars, locomotives with initial or changed characteristics in the process of interaction with other objects are displayed outside the model space and are redeemed by a special deconstructor.

A program designer forms trains from technological model objects of rolling stock. Constructions of reception, departure, transit, and other parks are created from the corresponding track objects. The boundaries of the station's model space are input signals. Transit paths from these points are considered the main paths of the station model. In the model 3D reconstruction, the thesis is adopted, according to which all station objects are located between the planes, passing perpendicular to the main tracks through the points of the station boundary according to the position of the input signals.

A software designer can work in the mode of reconstructing model objects with random properties or according to a certain table of a certain task. Park station structures are emulated on the basis of a corresponding digitized scheme or plan for station development with known path lengths, types and marks of turnouts, the current condition of the track, etc. The cyclical nature of the technological processes of a railway station allows one to perform certain operations, presenting them as a series of fairly unambiguous formalized events repeated at certain time intervals.

An important requirement for correct development of events during the model reconstruction of the station

is formation of a plan-task for the time during which the software control module will ensure that all stated requirements for servicing flows of various categories are met. In case of emergency situations, the controlling module should issue diagnostic messages with transition to the standby mode of control actions by an operator.

**Conclusions.** Reproduction of information objects adequate to real prototypes of technical systems, in form (appearance) and functionality (ability to perform certain operations) makes it possible, on the basis of existing methods and approaches [4, 5], to develop a dynamic environment that reproduces the technology of separate railway points at model objects. An alternative 3D installation can be arbitrarily close to a real-life station, depending on a level of detail of description of a visual image and the physics of interaction of individual objects.

The most difficult task is reconstruction of technological features of processing train, car, cargo and passenger flows at stations. Perhaps for this reason, when viewing the corresponding render video of functioning of a 3D station, there are visual and technological inconsistencies in development of model processes. The presence of control points to ensure that the operator's program designer stops operation and the possibility of making appropriate changes to reconstruction will allow for correction of space-time positions of model station objects.

#### REFERENCES

1. Golovnich, A. K. Basic rules for operation of objects of a three-dimensional technological model of a station [Bazovye pravila funkcionirovaniya ob'ektov trekhmernoi tekhnologicheskoi modeli stantsii]. *Problems of perspective development of railway stations and nodes: International collection of scientific articles*. Gomel, BelSUT, 2017, pp. 33–38.
2. Golovnich, A. K. Models of stations with functionality of prototypes of physical and technological processes. *World of Transport and Transportation*, Vol. 15, 2017, Iss. 5, pp. 6–10.
3. Golovnich, A. K. Automation of design of railway stations: Monograph [Avtomatizatsiya proektirovaniya zheleznodorozhnykh stantsii: Monografiya]. Gomel, BelSUT, 2001, pp. 122–154.
4. Kotkin, G. L., Cherkassky, V. S. Computer simulation of physical processes using Matlab: Study guide [Komp'yuternoe modelirovanie fizicheskikh protsessov s ispolzovaniem Matlab: Ucheb. posobie]. Novosibirsk, 2001, 173 p. [Electronic resource]: Mode of access: <http://www.phys.nsu.ru/cherk/main.pdf>. Last accessed 04.06.2018.
5. Thorn, A. The Basics of Animation in Unity [Osnovy animatsii v Unity]. Moscow, DMK, 2016, 176 p.

Information about the author:

**Golovnich, Alexander K.** – D.Sc. (Eng), head of the department of transport nodes of Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus, [golovnich\\_alex@mail.ru](mailto:golovnich_alex@mail.ru).

Article received 05.06.2018, accepted 30.09.2018.

