

## Визуальная реконструкция технологических операций в трехмерной модели железнодорожной станции

**А.К. Головнич**

Белорусский государственный университет транспорта (БелГУТ); 246653, г. Гомель, ул. Кирова, д. 34, Республика Беларусь

### АННОТАЦИЯ

Представлена разработка трехмерной модели функционирования железнодорожной станции, способной адекватно воспроизвести реальные процессы с причинно-следственными связями, обусловленными физикой взаимного влияния объектов и технологическими требованиями технической системы. Формирование компьютерной модели станции связывается с алгоритмом реализации анимационной структуры, которая в условиях цифровизации управленческой деятельности рассматривается как среда моделирования и прогнозирования краткосрочных и среднесрочных перспектив оперативной обстановки на железнодорожной станции. Эффективность такой среды зависит от интерфейса взаимодействия с управленческим персоналом, который должен визуальнo воспринимать компьютерную реставрацию как полноценный аналог реальной станции.

Корректность визуализации модельных операций 3D-среды зависит от степени детальности соответствующих перемещений вагонов и локомотивов по парковым путям и горловинам, учитывающих враждебности маршрутов, ограничения по ресурсам и др.

Цель исследования ориентирована на разработку структуры технологических операций, моделирование которых обеспечит достаточный уровень технологичности визуального отображения динамики станционных операций, закрепляющий доверительное отношение диспетчера к наблюдаемым модельным процессам, приводящим к результатам, сопоставимым с реальными. Предлагаемое в статье сопряжение задач алгоритмизации технологических операций с конкретными запросами положения вагонов и локомотивов в среде объектов окружения (средств механизации, складских помещений) определит в дальнейшем высокую эффективность разрабатываемой среды для целей практического использования.

Полученные результаты по структурам целесообразной визуализации элементарных составляющих технологических операций в модели станции дадут возможность в дальнейшем формировать целостный мотивационно адаптированный образ прототипируемой системы объектов инфраструктуры и подвижного состава железнодорожной станции.

**Ключевые слова:** трехмерное моделирование; железнодорожные станции; технологические операции; классификация операций; визуализация объектов; анимация; восприятие модели

## Visual reconstruction technological operations 3D-model of railway station

**Aleksandr K. Golovnich**

Belarusian State University of Transport (BelSUT); 34 Kirova st., Gomel, 246653, Republic of Belarus

### ABSTRACT

The article discusses the problems of visual reflection of station processes ensuring the development of a dynamic 3D model of a railway station adequate to reality. This model is based on rhythms of the animated structure of objects functioning in accordance with physics of real events and technological requirements of the regulation.

This structure makes it possible to form an environment for modeling and forecasting short-term and medium-term operational prospects for train station. The effectiveness of this environment depends on the detailing of individual movements of cars and locomotives along tracks and necks taking into account the hostility of routes, limited resources, etc.

Purpose of this article is to determine the composition of technological operations, which will provide a reliable display of the dynamics of station processes without too much detail. The dispatcher's work with such a system will be comfortable, based on a convenient interface with information shell. Man-machine architecture of the information physical model of the station will allow you to create a full-fledged computer animation that displays technological processes in the space of events alternative to the real world.

**Keywords:** 3D-modeling; railway stations; technological operations; classification of operations; visualization of objects; animation; perception of model

## ВВЕДЕНИЕ

Возможности современных высокопроизводительных компьютерных технологий по расчету и моделированию динамики взаимодействующих

тел позволяют создавать анимационную реконструкцию функционирования таких объектов сложных технических систем в реальном масштабе времени. Для практических целей важно получить не просто реалистичные по внешнему

виду объекты, изменяющие ориентацию в пространстве с течением времени, но и обладающие соответствующими свойствами, определяющими результат физического взаимодействия объектов друг с другом и окружением (трение, приводящее к изменению скорости, распределение массы, обуславливающее динамику движения и др.). По сути, речь идет о создании информационно-физической модели динамической системы, которая эквивалентна по внешней форме объектов и внутреннему содержанию производимых операций реальному прототипу.

В настоящее время отсутствуют системные теоретические исследования проблем самой возможности построения подобных моделей, которые способны были бы функционировать в самодостаточном режиме с известным полем погрешности и при этом позволять получать важные и полезные с точки зрения практики результаты, не достижимые другими приемами и способами (например, прогнозирование состояний объектов и системы в целом при форс-мажорных обстоятельствах, изучение взаимного влияния объектов с новыми механическими или электрическими свойствами, модельные краш-тесты и др.). Интерес автора к данной проблеме находится в конкретной области трехмерного моделирования работы железнодорожной станции. В качестве объектов 3D-реконструкции рассматриваются станционные пути, подвижной состав (вагоны, локомотивы), перемещающийся по этим путям, и сопутствующие им антуражные объекты в виде зданий (вокзал, посты электрической централизации), сооружений (складские помещения, сортировочные горки), погрузочно-разгрузочных машин и механизмов. Этот комплекс объектов модельных аналогов взаимодействует между собой в соответствии с законами физики и требованиями технологии работы железнодорожной станции.

Разработка подобной модели представляет собой ряд задач в области формирования приемов и методов алгоритмики взаимодействия модельных масс в условиях воздействия внешней среды, оценки достоверности развития модели, решения виртуальных конфликтных и аварийных ситуаций и др. В статье рассматриваются вопросы, связанные с визуализацией технологических операций, выполняемых на станции в процессе обслуживания поездо- и вагонопотоков.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исходным материалом для исследования вопросов эффективной визуализации технологии работы станции является соответствующий перечень технологических операций. Установим, что

множество динамических реконструкций будет охватывать только определенный набор процессных позиций, непосредственно связанных с целевыми установками разработки эксплуатационной модели, ориентированной на решение оперативных задач управления вагонопотоками и организации работы станции. Поэтому определим следующий перечень технологических операций, заявляемый к адекватному отражению в трехмерной модели:

- прием поезда на станцию;
- уборка поездного локомотива от состава;
- подача маневрового локомотива к составу;
- расформирование состава;
- накопление на пути сортировочного парка;
- подача маневрового локомотива;
- подача вагонов под выгрузку;
- расстановка вагонов;
- уборка маневрового локомотива от состава;
- выгрузка вагонов;
- сборка вагонов;
- перестановка вагонов под погрузку;
- уборка маневрового локомотива;
- погрузка вагонов;
- уборка вагонов;
- формирование состава;
- подача поездного локомотива к составу;
- отправление поезда со станции.

Анализ этих операций показывает, что они при конкретных условиях дополнительно включают достаточно большую последовательность элементарных составляющих. Например, операция выгрузки крытого вагона предваряется контролем целостности пломб и запорных устройств, открытием дверей, осмотром состояния груза в вагоне, составлением актов общей формы и коммерческих актов при несохранных перевозках. Так как цели моделирования лежат в плоскости разработки адекватной эксплуатационной модели станции, необходимо выделить основные позиции, имеющие существенное значение для формирования требуемого адекватного аналога прототипируемой системы.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Воспроизведение технологических операций, выполняемых на железнодорожной станции информационными средствами визуального моделирования, связывается с разработкой анимационной последовательности движения вагонов и локомотивов по станционным путям. На каждой технологической операции определяется *анимационная синтагма*, представляющая собой набор элементарных позиций, безусловно подлежащий визуализации в трехмерной модели станции. Кроме этого, следует решить, какой след оставляют в визуализации незначимые элементарные позиции

(редуцируемые остатки), чтобы общая картина модельной передачи технологии работы станции не потеряла адекватной связи с реальностью.

Рекомендации по выделению анимационных синтагм и соответствующей свертке побочных операций приведены в таблице.

Определенные по каждой технологической операции анимационные синтагмы являются «строительными блоками», из которых формируется общая динамика станционных событий, связанных с перемещением по различным парковым путям вагонов и локомотивов, а на грузовых пунктах дополнительно — средств механизации и грузов. Особое внимание следует обратить на визуализацию редуцируемых остатков. Многие из незначимых составляющих исключаются из модельной реконструкции. Однако общую динамику станционных процессов нельзя полноценно передать без связующих компонентов. В противном случае можно исказить существующие технологические режимы обслуживания вагонопотоков (например, исключая из модели закрепление и раскрепление составов в приемоотправочных парках) или получить несвязные, следующие друг за другом операции (после установки крытых вагонов у мест выгрузки, без визуализации процесса открытия вагона допуская перемещение груза из вагона на склад).

Связующими компонентами целостного отражения модельных процессов служат элементы, перечисленные в столбцах 5 и 6 таблицы. Значительными возможностями в создании гибкой анимационной среды обладает технология введения в станционную модель инфоперсонажей, иллюстрирующих функции технических работников (составительские бригады, персонал пункта технического осмотра (ПТО) и пункта коммерческого осмотра (ПКО), аппарат дежурных по станции и диспетчеров).

Так как в реальных условиях многие операции на станции производятся с участием людей, то и в модельной интерпретации данная составляющая также должна присутствовать. Речь не идет о моделировании мотивированных поступков с учетом множественных субъективных источников влияния человеческого фактора на эффективность модельной технологии работы станции. Тем не менее, различные конструкции аватаров и юзерпик-аналогов должны найти применение в реконструктивной технологии натурализации визуальных эффектов и предиктивного моделирования. В данной статье (см. табл.) их присутствие только обозначено в таких репродуцируемых операциях, как прием и отправление поездов на станцию, подача маневрового локомотива, расстановка, выгрузка и погрузка вагонов.

Воспроизведение анимационных синтагм технологических операций вместе с рекомендуемой

визуализацией редуцируемых остатков позволят создать *анимационные клипы*, достоверность отображения которых дополнится базами данных структурированной информацией по всем прошедшим и текущим состояниям модельных объектов. Поскольку технологические операции цикличны и повторяются с другими поездами, прибывающими на станцию, анимационные клипы могут быть своеобразными клише, на которые следует ориентироваться при выполнении соответствующей операции в последующих циклах работы станции при наступлении аналогичных условий, влиянии одних и тех же факторов, незначительном отклонении значений исходных характеристик сопоставляемых процессов и др.

Многие из технологических операций обладают визуальным подобием. В зависимости от степени подобия моделируемые технологические операции предлагается разделить на пять групп (рис.).

**Первая группа** включает пары операций, рассматриваемые как визуально обратимые, которые полностью или частично могут выполняться в реверсивном режиме относительно друг друга. К данной категории относятся операции подачи-уборки, отцепки-прицепки локомотивов и вагонов, расстановки-сборки вагонов. Если одна из пары операций  $O_i$  моделируется как последовательный набор связанных переходов  $A_{i,i+1}$ , а вторая, двойственная ей, операция  $\hat{O}_i$  воспроизводится как обратная последовательность этих же переходов  $A_{i+1,i}$ , то данная парная структура операций относится к первой группе.

В этой группе имеются такие пары операций, как прием — отправление поездов и погрузка — выгрузка вагонов, которые не являются тождественно обратимыми. Реверсивное выполнение слагающих элементных позиций второй связанной операции данных пар в визуальном плане не приводит к корректной наблюдаемой картине. Например, инвертирование операции прибытия модельного поезда приводит к визуализации отправления поезда со станции на перегон вагонами вперед, а погрузка насыпных грузов в подобном модельном представлении противоречит законам физики, так как связана с наблюдаемым перемещением отдельных фрагментов груза с площадки хранения вверх к выгрузочным люкам полувагона.

Технологически корректная реконструкция операции отправления может быть проведена при реверсивном выполнении операций только с перемещаемыми вагонами и измененном положении поездного локомотива, который всегда должен быть в голове состава. Таким образом, рассматриваемая парная операция приема — отправления поездов определяется как реверсивно обратимая для визуальной реконструкции с изменением положения поездного локомотива.

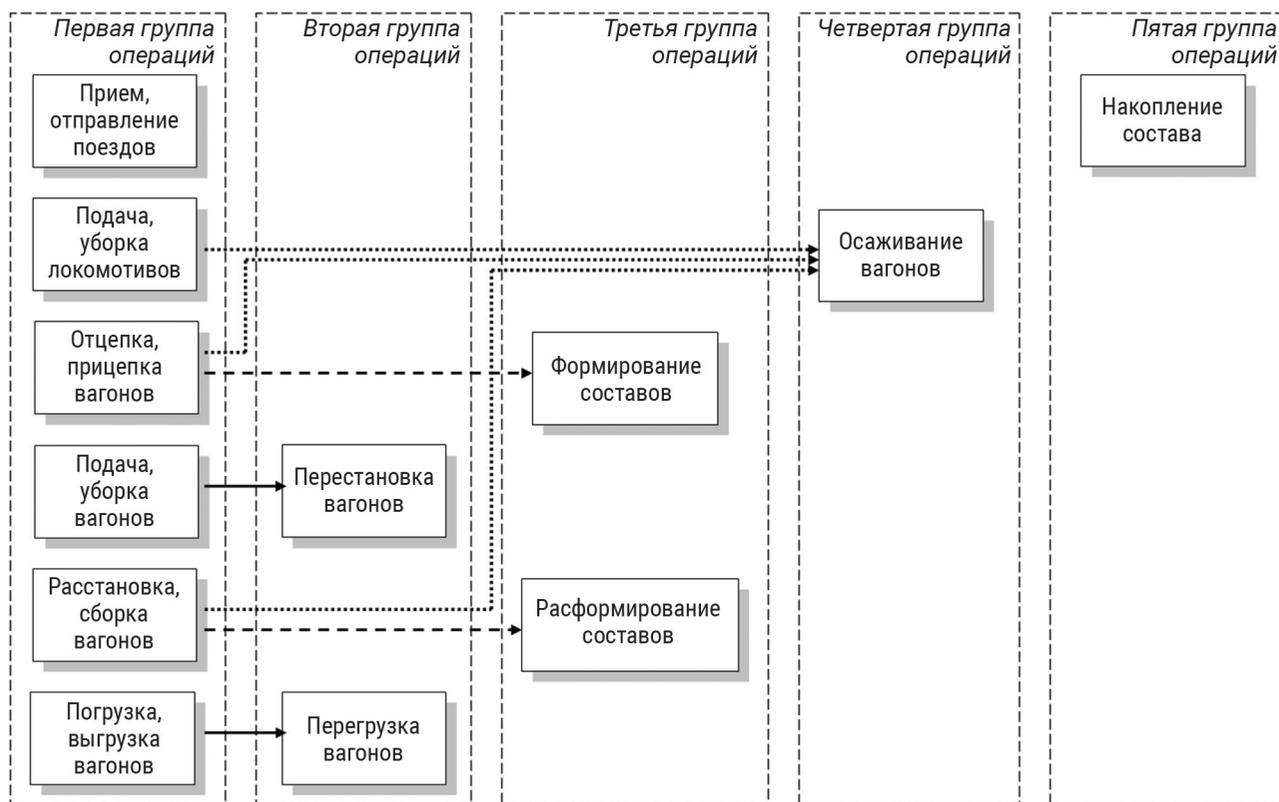


Рис. Классификация технологических операций по характеру визуального подобию в модели станции

Операции погрузки-выгрузки достаточно многочисленны и существенно различаются по структуре элементарных позиций. Широкая номенклатура грузов и различные используемые средства механизации для выполнения погрузочно-разгрузочных работ позволяют выделить три специфические позиции визуального исполнения данной операции:

- тождественно обратимые (погрузка — выгрузка контейнерных, лесных, тарно-упаковочных грузов, металлолома). Операция погрузки для данных грузов представляет собой строго инвертированную последовательность элементарных операций выгрузки;
- частично инверсные (погрузка — выгрузка зерновых, слив — налив нефтепродуктов). В этом случае выделяются отдельные спрайтовые последовательности динамического воспроизведения части технологической операции, которые можно инвертировать для соответствующей парной операции (например, движение насыпного груза по конвейеру в направлениях к вагону и от него, налив и слив нефтепродуктов по трубопроводу в цистерну и из нее);
- точно инверсные (погрузка грейфером навалочных грузов и их выгрузка на повышенном пути, погрузка угля в полувагон по конвейеру и выгрузка вагоноопрокидывателем). Для данных условий способы выгрузки и средства механизации оказывают существенное влияние

на технику компьютерной реконструкции связанных операций погрузки-выгрузки. В этих случаях можно выделить отдельные кадры из общей визуальной картины выгрузки, их допустимо использовать при реконструкции элементов соответствующей операции погрузки (движение груза под действием силы тяготения, формирование конусного штабеля груза при погрузке в вагон и выгрузке из вагона).

**Вторую группу** образуют две технологические операции объединенных парных структур первой группы. Перестановка вагонов в визуальной интерпретации представляет собой последовательное выполнение операций уборки и подачи, а перегрузка вагонов моделируется в трехмерной реконструкции как наследующие друг другу операции выгрузки и погрузки. Операции данной группы выполняются на различном составе объектов окружения. Если подача вагонов выполняется на некоторый конкретный грузовой пункт, то уборка, как элемент пары первой группы, является тождественно обратимой операцией. Для операции перестановки спрайтовая последовательность подачи выполняется на других путях и к другим складам, чем отличается от внешнего окружения операции подачи первой группы. Тем не менее, операции второй группы квалифицируются как порожденные составом операций первой группы.

**Третья группа** представлена операциями расформирования и формирования, которые имеют

Табл. Разделение операций по признаку целесообразной визуализации

Наименование операции	Поэлементная структура модельной операции			Отражение при визуализации редуцируемых остатков	
	анимационная синтагма	редуцируемые остатки		до операции	после операции
		до операции	после операции		
Прием поезда на станцию	Движение поезда от входного сигнала по горловине на путь парка приема	Подготовка маршрута приема, открытие входного светофора	Закрепление состава, технический и коммерческий осмотры состава	—	Использование инфоперсонажей (аватаров) составителя, операторов ПТО и ПКО
Уборка поездного локомотива от состава	Движение локомотива от состава в депо	Отцепка локомотива, установка маршрута		—	
Подача маневрового локомотива	Движение локомотива к составу	Прицепка локомотива	Раскрепление состава	—	Использование аватара составителя
Расформирование состава на горке	Надвиг, роспуск, осаживание с рельефной анимацией операции	Вытягивание состава из парка на вытяжной путь		Вытягивание состава из парка на вытяжной путь	
Подача вагонов под выгрузку	Движение с локомотивом группы вагонами вперед	Прицепка локомотива		—	
Расстановка вагонов	Установка вагонов у грузовых мест выгрузки		Закрепление вагонов и их отцепка локомотива		Использование аватара составителя для закрепления
Выгрузка груза из крытых вагонов	Перемещение груза на склад электропозвожничком	Контроль целостности пломб и запорных устройств, открытие дверей, осмотр состояния груза в вагоне	Зачистка вагона, закрытие дверей на закладки, установка закрутки	Использование анимированных текстур и текстовых фрагментов	
Формирование состава	Перемещение групп вагонов между путями сортировочного парка	Накопление состава	Отцепка локомотива	Накопление состава	—
Отправление поезда со станции	Движение поезда с пути отправления через горловину за выходной сигнал	Закрепление состава, уборка маневрового локомотива, технический и коммерческий осмотры, подача поездного локомотива, подготовка маршрута отправления, опробование автотормозов, открытие выходного светофора		Использование аватаров составителя, операторов ПТО и ПКО, подача поездного локомотива	

визуально распознаваемые фрагменты связанных операций расстановки — сборки и отцепки — прицепки вагонов. Расформирование поездов в визуальном плане может быть качественно смоделировано на основе разложения прибывшего в переработку состава и информации о заполненности путей сортировочного парка. Аналогия операции расформирования с расстановкой — сборкой

оказывается более точной в случае моделирования работы безгорочной станции с осаживанием вагонов. Визуализация расформирования составов с помощью изолированных и серийных локомотивных толчков требует разработки сложных алгоритмов динамики движения отцепов по маршрутам стрелочной зоны. Натурализация горочных операций еще более специфична, так как связана

с необходимостью учета физических особенностей взаимодействия пути и вагонов с переменной скоростью скатывания со сложного спускного профиля при действии многих факторных влияний сил сопротивления.

Все указанные способы расформирования в визуальном представлении объединяет иллюстрация разделения состава на группы вагонов по назначениям, которые перемещаются посредством локомотива или силы тяготения при скатывании с горки. В результате выполнения расформирования благодаря опорным операциям отцепки и расстановки состав расцепляется, и вагоны расставляются по путям сортировочного парка.

Операция формирования также может быть воспроизведена в трехмерной модельной реконструкции с использованием спрайтовых и кадровых элементов парных операций отцепки — прицепки и расстановки — сборки вагонов.

**Четвертая группа** характеризуется операцией осаживания вагонов маневровым локомотивом на путях сортировочного парка, ликвидирующей возникшие «окна» между отцепками в процессе роспуска с горки или расформирования толчками. Визуализация данной операции включает спрайтовые последовательности некоторых кадровых позиций операций подачи — уборки локомотивов, сборки и прицепки вагонов.

**Пятая группа** включает операцию накопления, особый статус которой связан с ее уникальностью в плане отличия от всех остальных станционных операций и слабой динамикой анимационных процессов в ходе их выполнения. Наиболее частым состоянием операции накопления является ожидание поступления групп вагонов при расформировании составов. Это значит, что 70–80 % длительности всей операции при визуальном наблюдении представляет собой статичную картину неизменного положения вагонов на пути сортировочного парка. Однако при общей визуализации состояния сортировочного парка и интенсивном расформировании процесс накопления визуально происходит достаточно динамично.

Следует указать, что технологически данную операцию правильнее квалифицировать как процесс, имеющий тесную связь с расформированием составов, однако в контексте визуального отражения накопление представляет собой последовательность статичных кадров фиксированных положений пространственно разделенных групп вагонов, сопровождаемых редкими анимационными «всплесками» поступления на путь новых вагонов, приводящим к изменению положения групп из-за возможных соударений. Только эти события приводят к необходимости информационного редактирования состояния пути сортировочного парка с применением алгоритмов движения вагонов

и соударения, которые отсутствуют как единицы операций первой группы.

Указанные пять групп имеют определенную связную схему наследования визуализируемых технологических операций. Каждая последующая обладает все менее выраженной связью с первой базовой группой. Так, операции второй группы *копируют* соответствующие операции первой, третьей группы — *трансформируют*, четвертой — *реконструируют*, у пятой группы связи с первой *отсутствуют*. Можно сказать, что в данном случае работает декрементная схема наследования признаков с ослаблением связей сравнительных элементов по мере удаления от первой группы. Однако особенностью разработанной классификации является то, что базовая группа сформирована как самая многочисленная по количеству операций, определяющих ядро визуальной реконструкции (67 % вместе со второй группой структур, основывающейся на первой).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Таким образом, выявленные классификационные признаки общности технологических операций, выполняемых на железнодорожной станции, позволяют определить характерные анимационные структуры, которые закладываются в основу алгоритмов модельной реализации. Значимыми позициями визуального представления станционных операций служат различного рода движения объектов (поездов, локомотивов, групп вагонов, грузов), их характер (вагонами вперед, с локомотивом в голове состава, инерционное движение вагонов или грузов) с необходимыми дополнениями, обеспечивающими целостность визуализируемой операции (например, закрепление подвижного состава, операции по приему, отправлению поезда и др.).

Визуализируемая последовательность технологических операций должна быть функционально подобной прототипу с достижением результатов, адекватных реальности. Степень подобия воспроизводимых модульных манипуляций с объектами должна быть такой, чтобы наблюдатель, оценивая качество прототипирования технологии работы железнодорожной станции, не смог выявить существенных различий по сравнению с реальными процессами. Такой тест Тьюринга для верификации информационно-физической модели станции может стать критерием оценки достоверности модельных реконструкций и адекватности визуализации процессов. Однако речь не идет о выполнении установок теста Тьюринга до неразличимости экранного образа станции и видеосъемки работы реального прототипа. Модель такой сложной технической системы, как железнодорожная станция не может быть тождественна ни по форме, ни по

содержанию своему прообразу. Визуализируемые редуцируемые остатки будут постоянным напоминанием о том, что диспетчер работает с продуктом компьютерной анимации. Двумерные спрайты, аватары, анимированные текстуры и сопроводительные текстовые фрагменты будут «выпадать» из модели станции, а приоритеты моделирования — тяготеть к адекватному отражению следствий действия на модельные объекты фундаментальных законов и требований технологии, поступаясь с реалистичностью внешних форм и детализацией прорисовки тел (например, незаполненных щебнем шпальных ящиков рельсовой решетки или слаборазличимого номера цистерны из-за множественных потеков темных нефтепродуктов, возникших при наливе).

Следует обратить внимание на тот факт, что формирование визуального образа модельного объекта и динамики изменения его состояний происходит как результат этапных вычислений взаимодействия с окружающей средой. И в этом случае не применим принцип оценки воздействия всех объектов на все из-за высокой размерности расчетного пространства возникающих событий. Поэтому значимые признаки элементных составляющих технологических операций должны дополняться ранжированным перечнем важнейших внешних

факторов воздействия на объекты. Если определяется, что в структуре модельной операции выгрузки вагона несущественной является визуализация взвешивания (не отражаемый редуцируемый остаток), то также следует соответствующим образом исключить действие, например, порывов штормового и ураганного ветров на вагоны с силой более 20 м/с (9 баллов и более по шкале Бофорта), совершенно нетипичного для средних географических широт области расположения железнодорожных станций, или не учитывать влияние на ходовые качества модельных аналогов вагонов микротрещин при отсутствии концентраторов напряжений.

Градуированная линейка значимых внешних факторов позволит учитывать их тормозящее или ускоряющее влияние на динамику перемещения вагонов, грузов в вагонах и складах, сближая внешнюю и внутреннюю процессную картину модели и прототипа. Поэтому рациональная технологическая визуализация модельных объектов, исследованная в данной статье, должна дополняться регистрируемыми и наблюдаемыми эффектами взаимодействия объектов с окружением. С этих позиций формирование информационно-физической модели станции рассматривается как результатная анимация технологических операций, обеспечиваемых квазиструктурными модельными объектами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Катаев М.Ю., Катаев С.Г., Кориков А.М. О применении технологии аватар в физическом и техническом электронном образовании // Вестник Томского государственного педагогического университета. 2014. № 11 (152). С. 187–192. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-primenenii-tehnologii-avatar-v-fizicheskom-i-tehnicheskom-elektronnom-obrazovanii>
2. Сигалов Д.С. Моделирование перемещения аватара в пространстве и его взаимодействия с объектами виртуальной среды: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Новочеркасск, 2012. 18 с.
3. Джонсон К. Предиктивное моделирование на практике. СПб.: Питер, 2019. 640 с.
4. Брускин С.Н. Модели и инструменты предиктивной аналитики для цифровой корпорации // Вестник Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова. 2017. № 5 (95). С. 135–139. DOI: 10.21686/2413-2829-2017-5-135-139
5. Головнич А.К. Моделирование состояний объектов технической системы с реконструкцией физических процессов // Проблемы физики, математики и техники. 2017. № 1 (30). С. 86–89.
6. Головнич А.К. Модели станций с функционалом прототипов физики процессов // Мир транспорта. 2017. Т. 15. № 5 (72). С. 6–13.
7. Головнич А.К. Специфика отражения объектного пространства трехмерных моделей станций // Мир транспорта. 2018. Т. 16. № 6 (79). С. 6–13.
8. Головнич А.К. Интегрированная модель станции с адекватной трехмерной визуализацией объектов // Мир транспорта. 2018. Т. 16. № 2 (75). С. 14–23.
9. Головнич А.К. Адаптивные алгоритмы реконструкции технологических процессов на трехмерных моделях технических систем // Проблемы физики, математики и техники. 2017. № 4 (33). С. 89–95.
10. Головнич А.К. Особенности экспериментов на процессной трехмерной модели станции // Мир транспорта. 2017. Т. 15. № 2 (69). С. 32–37.
11. Головнич А.К. Функционально-прототипирующая 3D-модель железнодорожной станции на основе физики процессов. Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов. Гомель: БелГУТ, 2019. С. 15–39.
12. Головнич А.К. Концептуальные основы разработки трехмерных компьютерных моделей железнодорожных станций: монография. Гомель: БелГУТ, 2019. 199 с.

## REFERENCES

1. Kataev M. Yu., Kataev S. G., Korikov A. M. About application of the avatar technology in physical and technical electronic education. *Bulletin of Tomsk State Pedagogical University*. 2014; 11(152):187-192. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-primenenii-tehnologii-avata-v-fizicheskom-i-tehnicheskom-elektronnom-obrazovanii> (In Russian).
2. Sigalov D. S. *Modeling the movement of an avatar in space and its interaction with objects of a virtual environment: abstract thesis of candidate of technical sciences*. Novocherkassk, 2012; 18. (In Russian).
3. Jonson K. *Predictive modeling in practice*. St. Petersburg, Piter, 2019; 640. (In Russian).
4. Bruskin S. N. Models and tools of predicting analytical research for digital corporation. *Vestnik of the Plekhanov Russian University of Economics*. 2017; 5(95):135-139. DOI: 10.21686/2413-2829-2017-5-135-139 (In Russian).
5. Golovnich A. K. Modeling condition of objects of the technical system with the reconstruction of physical processes. *Problems of Physics, Mathematics and Technics*. 2017; 1(30):86-89. (In Russian).
6. Golovnich A. K. Models of stations with functionality of prototypes of physical and technological processes. *World of Transport and Transportation Journal*. 2017; 15(5):(72):6-13. (In Russian).
7. Golovnich A. K. Specific reflection of the object space of three-dimensional models of stations. *World of Transport and Transportation Journal*. 2018; 16(6):(79):6-13. (In Russian).
8. Golovnich A. K. Integrated model of stations with adequate 3d visualization of objects. *World of Transport and Transportation Journal*. 2018; 16(2):(75):14-23. (In Russian).
9. Golovnich A. K. Adaptive algorithms of reconstruction technological processes on 3d-models of technical systems. *Problems of Physics, Mathematics and Technics*. 2017; 4(33):89-95. (In Russian).
10. Golovnich A. K. Features of experiments based on process 3d-model of the station. *World of Transport and Transportation Journal*. 2017; 15(2):(69):32-37. (In Russian).
11. Golovnich A. K. *Functionally and prototype 3D-model of railway station on the basis of physics processes. Problems of perspective development of railway stations and junction*. Gomel, BelSUT, 2019; 15-39. (In Russian).
12. Golovnich A. K. *Conceptual bases of development 3D-computer models of railway stations: monography*. Gomel, BelSUT, 2019; 199. (In Russian).

### Об авторе

**Александр Константинович Головнич** — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры проектирования, строительства и эксплуатации транспортных объектов, начальник Испытательного центра железнодорожного транспорта; **Белорусский государственный университет транспорта (БелГУТ)**; 246653, г. Гомель, ул. Кирова, д. 34, Республика Беларусь; [golovnich\\_alex@mail.ru](mailto:golovnich_alex@mail.ru).

### Bionotes

**Aleksandr K. Golovnich** — Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Design, Construction and Operation of Transport Objects, Head of Railway Transport Test Center; **Belarusian State University of Transport (BelsUT)**; 34 Kirova st., Gomel, 246653, Republic of Belarus; [golovnich\\_alex@mail.ru](mailto:golovnich_alex@mail.ru).

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Головнич А.К. Визуальная реконструкция технологических операций в трехмерной модели железнодорожной станции // Техник транспорта: образование и практика. 2020. Т. 1. № 1-2. С. 68–75. DOI: 10.46684/2687-1033.1.12

FOR CITATION: Golovnich A.K. Visual reconstruction technological operations 3D-model of railway station. *Transport technician: education and practice*. 2020; 1(1-2):68-75. DOI: 10.46684/2687-1033.1.12

Поступила в редакцию 16 апреля 2020 г.  
Received April 16, 2020.

© А.К. Головнич, 2020