



Модели станций с функционалом прототипов физики процессов



Александр ГОЛОВНИЧ

Alexander K. GOLOVNICH

Models of Stations with Functionality of Prototypes of Physical and Technological Processes

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

Возможности модельных реконструкций железнодорожных станций различного уровня сложности с воспроизведением технологии их работы на основе алгоритмов корректной физики процессов. Реалистичность построения моделей подчёркивается 3D-интерпретацией результатов вычислительных процедур, с помощью чего формируется визуальный образ, создаётся эрзац-структура станции, копируются значимые свойства прототипируемых объектов. При этом сопутствующие моделированию пространственно-временные изменения коррелируют с набором нелинейных явлений и множеством факторов системного и несистемного характера.

Ключевые слова: система, 3D-модель станции, прототип, технология, физические процессы, нелинейные явления, прогноз отказов.

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

Выполнение любой технологической операции связывается с учётом сложного влияния различных внешних и внутренних факторов [1]. Поэтому для корректной модельной интерпретации технологии работы станции существенную роль играет правильное отражение связей взаимодействующих объектов [2]. Объекты в такой модели должны изменять свое положение в соответствии с законами физики реального мира. Модельные вагоны рассматриваются [3] как псевдофизические конструкции элементов с упругими и жёсткими связями, обладающие определённой инерцией движения и способные под действием различных сил перемещаться по виртуальным железнодорожным путям. Вращательное движение колёс подвижного состава по аналогии с реальными физическими процессами преобразуется в поступательное движение вагона.

Моделирование любого технологического процесса связано с реализацией некоторого ряда операций, наследующих контент друг друга [4]. Переход операции O_i в технологически связанную O_{i+1} определяет алгоритм модельной технологии, обеспечивающий передачу достигнутого состояния объекта на момент завершения операции O_i .

Таблица 1

**Классификация модельных схем прототипирования технологических процессов
железнодорожной станции**

Модель уровня	Внешний вид объектов	Функциональные возможности	Ограничения	Возможные области применения
Нулевого	Реалистичное 3D-изображение путей и вагонов	Изменение состояния объектов под влиянием постоянных циклических воздействий среды окружения	Отсутствие учёта влияния факторов нерегулярного действия	Интерактивные технологии обучения, применение в качестве анимационных иллюстраций в электронных учебниках
Начального	Формирование информационных 3D-объектов станции	Интегральная оценка влияния множественных факторов на состояние объектов	Отсутствие оценки обособленного влияния значимых факторов нерегулярного действия на состояние объектов	Исследования зависимости влияния значимых факторов нерегулярного действия на состояние объектов; разработка методики верификации моделей начального уровня
Регуляционного	Высокореалистичный по форме и адекватный по содержанию модельный мир в динамике функционирующих процессов	Применение регулятора равновесия модельной системы с элементами адаптивной корректировки	Отсутствие полноценного механизма адаптации к резким воздействиям, способным вывести систему из области устойчивого равновесия	Изучение свойств объектов модельной среды, адекватной реальной технической системе
Репродуктивного	Устойчиво функционирующая модель в автономном режиме с высокой достоверностью прототипированных процессов	Поведенческие функции модельной среды, обеспечивающие реконструкцию технологических процессов в эффективном режиме широкого диапазона действия	Ограничение эффективности поведенческих функций модельной среды в мажорных условиях	Изучение возможностей реакции модели в нормальных условиях реконструкции технологии
Конструктивного	Появление в модельной системе технически усовершенствованных и новых объектов	Самовоспроизводящая среда новых возможностей прототипирующей системы на основе использования полиморфных алгоритмических структур	Невозможность полной верификации прототипируемых технологических процессов при любых условиях функционирования	Трансформация модельного мира в физически осязаемый посредством технологий трёхмерной печати информационных объектов с функционированием их в самодостаточном режиме

в следующую позицию. Поэтому для каждой последующей операции формируется определённый прогнозный образ её состояния, достигаемого объектом ко времени t . Технологический процесс, протекающий за время T_k , разделяется на кванты так, что $T_k = N_k \cdot \Delta t$, где N_k – число расчётных точек на временной шкале процесса; Δt – период времени между двумя смежными квантами. При этом принято, что изменение состояния объекта происходит только в моменты, кратные Δt . По мере увеличения числа квантов N_k и уменьшения расстояния Δt между ними визуализируемый результат изменения положения объектов на соответствующей 3D-модели становится более плавным и реалистичным. При особо динамичных процессах (например, роспуск ва-

гонов с горки) период времени Δt может быть переменным и обратно пропорциональным скорости протекания технологической операции.

Если технологические операции выполняются в штатном режиме и имеют циклический характер, то изменение состояния объектов, определяемое как перемещение вагонов по путям, можно связывать с фиксированным воздействием сил тяги различного рода (локомотивов, погрузо-разгрузочных механизмов, лебёдок и др.) и тормозящим влиянием сил сопротивления.

Модельные реконструкции физики функционирования технической системы. Модель системы с оценкой влияния различных факторов рассматривается как среда, прототипирующая реальные процессы



с соответствующей достоверностью. Адекватность реконструкции виртуального мира информационных образов реальным техническим структурам зависит от точности расчётов влияния сил различной природы. Поэтому различные модельные аналогии реконструкции многочисленных регулярных и нерегулярных воздействий и их причинно-следственных связей будут иметь различную точность воссоздания физических и технологических эффектов (таблица 1).

Особое значение приобретает перенесение результатов расчётных состояний в область 3D-инсталляций, поскольку появляется возможность наблюдать изменение состояний объектов в масштабах достаточно совершенной копии прототипированной реальной системы.

Модель нулевого уровня. Реализация такой модели подразумевает учёт влияния регулярных внутренних и внешних факторов различной природы. В этом случае технологические операции, повторяемые через заданные интервалы времени (прибытие поездов, расформирование, подача вагонов под грузовые операции и др.), являются определяющими, а сопутствующее множественное воздействие факторов учитывается некоторым поправочным коэффициентом. Расчёт сводится к нахождению величин перемещения объектов под действием фиксированной силы, исходящий от идентифицируемого объекта.

Основным объектом данной модели выступает вагон, обладающий такими свойствами, как размеры, масса, скорость. При моделировании движения вагона учитывается действие сил тяги и сопротивления, обеспечивающих определённое результирующее воздействие на расчётный объект и способствующих перемещению подвижного состава по модельному железнодорожному пути с переменной скоростью.

Все изменения состояния объектов в модели нулевого уровня определяются повторяющимися операциями, которые выполняются в полном соответствии с регламентной технологией железнодорожной станции (прием и отправление поездов, погрузка и выгрузка вагонов на складе грузового терминала и т.д.). Модельный образ грузовой операции представляет собой простую динамическую картину заполнения вагона или его выгрузки штучным,

насыпным, наливным или иным грузом в зависимости от продолжительности и характера операции.

Модель начального уровня. Модельный вагон рассматривается как инфообъект, обладающий рядом дополнительных свойств, характеризующих его в системах взаимодействия «вагон—путь», «вагон—груз», «вагон—локомотив» и др. К минимальному набору свойств, характерному для модели нулевого уровня, добавляются иные значимые свойства железнодорожного пути (параметры рельсошпальной решетки, верхнего и нижнего строений, текущее состояние, сроки выполнения ремонтов, наличие дефектов и т.д.). Тандемная связка «вагон—путь» позволяет рассчитывать внутренние напряжения и деформации верхнего строения от ударных нагрузок, передаваемых движущимся подвижным составом.

Характерная особенность начального уровня модели — расчёт состояний связанных объектов, влияющих друг на друга в процессе взаимодействия. Превалирующим объектом является вагон, взаимодействующий с железнодорожным путем, локомотивом, грузом. Здания и сооружения присутствуют в данной модели, но в качестве антуражных объектов. Из интегрального воздействия прочих факторов вычленяются эффекты, отражающие контакт вагонов с элементами пути.

Модель регуляционного уровня. В реальной системе существенное влияние на происходящие процессы оказывают другие сторонние силы различного происхождения (нагрузка от порывов ветра, температурные эффекты, дефекты колёсных пар вагонов и рельсов, деформация пути и т.д.). Эти влияния формируют среду флуктуационного воздействия факторов, которые вместе с силами тяги и сопротивления определяют характер выполнения технологических операций. В модели регуляционного уровня присутствие флуктуационного компонента демонстрируют расчёты вариативных сил нерегулярного действия. Интегральная картина сторонних воздействий модели начального уровня разлагается на составляющие с исследованием характеристик окружения ключевых исполнителей технологического процесса, определением точек их сопряжения и выявлением индивидуаль-

ного влияния. Наличие информации о предстоящих погодных условиях, состоянии вагонов прибывающих поездов, текущем состоянии пути позволяет формировать прогнозный график флуктуационных воздействий, корректирующий заданный ход технологических операций.

В реальной технической системе существует своя регламентная норма, своеобразный формально установленный (институционный) штамп состояния объектов, характеризуемый положением на временной оси развёртывания технологической операции. Подобный технологический шаблон обычно не приносит желаемого эффекта в силу ряда несистемных факторов. Поэтому целевое силовое воздействие на объект, приводящее к изменению его состояния, может рассматриваться как некий импульс, идентичный совокупному многофакторному влиянию внешней среды.

Модель регуляционного уровня содержит контур обратной связи. Если при конкретном сочетании значений параметров некоторый достигаемый режим работы модели был признан неудовлетворительным (приводит к опасным ситуациям, сопровождается выходом устройств из строя и т.д.), то в последующих циклах такой режим будет исключен.

Модель репродуктивного уровня развивает контуры обратной связи, формируя отказоустойчивые сочетания значений параметров функционирования объектов и обеспечивая растущую полноту настраиваемых поведенческих реакций модельной системы. В процессе работы накапливается интеллектуальная база знаний, позволяющая совершенствовать и оптимизировать процессные режимы с формированием модельного институционного штампа состояния объектов с возможными отклонениями. В базе знаний содержатся многопараметрические связные конструкции по зависимым друг от друга значениям состояния не только одного объекта (гомогенные структуры), но и нескольких объектов (гетерогенные структуры) — например, вагона и пути, вагона, пути и груза. Гетерогенные конструкции особенно важны для модели репродуктивного уровня. Они помогают формировать новые эффективные режимы работы стан-

ции, отсутствующие в практике реальных технических систем.

Модель конструктивного уровня обладает развитыми информационными средствами адаптации к внешним воздействиям с подстройкой системы технологического обеспечения под условия технологической операции. При этом активизируются возможности модельной среды, направленные на нейтрализацию негативного влияния среды. Например, программный анализ показывает, что сила ветра является существенным фактором, действие которого приводит к значительным экономическим потерям при расформировании вагонов на горке. Конструктивный алгоритм модели в ответ проектирует защитное сооружение с последующим вводом его в эксплуатацию прототипирующего образа технической системы.

Кроме того, в модели возможно использование мер, непосредственно воздействующих на причины возникновения негативных влияний. То же ветровое воздействие на процесс роспуска вагонов с горки может быть исключено и иными, внешними по отношению к железнодорожным станциям, средствами. Например, с помощью климатических станций, которые гасят воздушные потоки на подходах к промышленным центрам и городам. Так как речь идет о модельных мерах, в алгоритм работы подобных мегаструктур на уровне конструирования процессов и объектов могут закладываться режимы глобальной оптимизации с выходом реконструктивной среды за пределы границ отдельного пункта транспорта.

Модель конструктивного уровня позволяет проводить коррекцию негативного влияния среды всякий раз при появлении повторяющихся отрицательных процессов, приводящих к значительным затратам. Введение новых объектов в модельную систему производится только тогда, когда расчётами доказывается возможность снижения общих потерь экономического или иного характера и обеспечения более безопасного функционирования всей реконструктивной среды. В противном случае интеллектуальная модельная среда ищет рациональные варианты изменения технологии, минимизирующие то или иное негативное воздействие.



Таким образом, модель конструктивного уровня в активе своих возможностей имеет потенциал объектной и процессной реконструкций. Объектная реконструкция развивает модельную среду, расширяя численный состав объектов, дополняет существующий вариативный ресурс в архитектуре модельной среды. Процессная реконструкция не менее сложна, ибо приводит к изменению технологии, являясь мощным продуктивным средством нелокальной оптимизации. Комбинированное использование объектной и процессной реконструкций в моделях высокой интеллектуальности повышает шанс прототипировать развивающие среды, сделать реально прогрессирующими проектируемые и используемые технические системы.

ВЫВОДЫ

Модели функционирующей железнодорожной станции могут формироваться как ряд связанных последовательных программных модификаций. Модель нулевого уровня реконструирует только значимые технические и технологические свойства объектов, определяя общую картину развития процессов. Последующие уровни наследуют информационные образы предыдущих с развитием среды взаимодействия объектов в направлении адекватности функционалу прототипируемых образов. Благодаря механизму адаптации и использованию обширной базы знаний повышается точность отражения происходящих технологических процессов.

Актуализация модельных технологических процессов обеспечивается посредством сопоставления достигнутых состояний прототипированных объектов по контрольным точкам цикла развертывания реальных технологических операций. Эти точки могут быть фиксированными или изменяться в зависимости от характера сложности выполняемых операций.

Реалистичность модельных структур подчеркивается 3D-интерпретацией результатов всех вычислительных процедур. Представление итоговых состояний объектов в виде трёхмерной реконструкции формиру-

ет визуальный образ, создает эрзац-структуру реальной станции, копируя значимые свойства моделируемых объектов. Наличие в моделях мониторинных и адаптивных контуров подстройки приближает реконструкцию к реальным техническим системам, функционирующим в циклическом режиме сбалансированных состояний объектов и диапазонах, разрешённых физическими законами и технологическими требованиями.

Моделирование пространственно-временных изменений объектов и процессов на железнодорожной станции затрагивает необходимость воспроизведения сложных нелинейных явлений с множеством влияющих факторов системного и внесистемного характера. Поэтому реконструировать все события, происходящие на реальной станции, невозможно. Речь идет о прототипировании только значимых операций. Достоверность таких моделей следует определять как способность информационной среды реплицировать операции, регламентированные технологическим процессом станции, и корректно рассчитывать возможные положения объектов как следствия действия определённых факторов.

Воспроизведение работы железнодорожной станции в адекватном модельном аналоге с различной точностью реконструируемых физических процессов существенно расширяет возможности сферы прогнозирования отказов технических средств, оценки уровня безопасности выполняемых технологических операций при наступлении мажорных обстоятельств, а также проектирования более совершенных способов организации производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федоткин И. М. Математическое моделирование технологических процессов. — М.: Либроком, 2011. — 416 с.
2. Моделирование технологических процессов. [Электронный ресурс]: Mode of access: http://life-prog.ru/1_11797_modelirovanie-tehnologicheskikh-protsessov.html. Доступ 27.10.2017.
3. Головнич А. К. Физические свойства объектов инженерной модели 3D-станции // Мир транспорта. — 2015. — № 4. — С. 25–34.
4. Головнич А. К. Технологические свойства объектов инженерной модели 3D-станции // Мир транспорта. — 2016. — № 2. — С. 34–42.

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

Статья поступила в редакцию 04.10.2017, принята к публикации 27.10.2017.