



## Интегрированная модель станции с адекватной трёхмерной визуализацией объектов



Александр ГОЛОВНИЧ

Alexander K. GOLOVNICH

### Integrated Model of Stations with Adequate 3D Visualization of Objects

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p.20)

**Предлагается наиболее приближённая к реальности по внешнему восприятию и сути происходящих процессов трёхмерная модель железнодорожной станции. Показано, что попытка упростить модельные операции, не учитывая технологические связи отдельных процессов, основываясь лишь на физических аналогиях, приводит к формированию нефункциональных реконструкций. Речь идёт о востребованной системе модельных образов, способной не только воспроизводить динамику передвижений вагонов по путям станции, но и визуализировать последовательные состояния объектов при их взаимодействии.**

**Ключевые слова:** железнодорожная станция, система модельных образов, физические процессы, синергетические свойства, эмпирические характеристики.

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

**Ж**елезнодорожные станции выполняют обслуживание поездо-, вагоно-, грузо- и пассажиропотоков в регламентированных зонах безопасных технологических процессов. Различные условия операций зависят от множества факторов. Несмотря на цикличность работы станции и относительно небольшой набор основных технологических операций (приём-отправление, расформирование-формирование поездов, подача-уборка вагонов, погрузка-выгрузка грузов, посадка-высадка пассажиров), модельная реконструкция технологии представляет собой достаточно сложную проблему с позиций оценки достоверности её прототипирования. При этом важно учитывать технологические ограничения, не позволяющие выполнять операции в более интенсивном режиме, нежели разрешённом физикой процессов. Такие ограничения приводят к уменьшению скорости движения при приёме поездов на станцию, скорости надвига и роспуска на горке, высоты погрузки грузов в вагонах и др. Поэтому существующие связи физики процессов и технологии обслуживания поездов на станции должны быть соответствующим образом воссозданы в модельных интерпретациях.

## МОДЕЛЬНАЯ СРЕДА ФИЗИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ

Наиболее адекватной и наглядной из всех способов представления результатов моделирования работы станции является трёхмерная реконструкция объектов, функционирующих в соответствии с законами физики и требованиями технологии [1–3].

Воспроизведение динамики реального движения информационных аналогов вагонов, репродуцирование изменяющегося положения модельного подвижного состава при взаимном действии сил тяги и сопротивлений позволяет сформировать трёхмерную инсталляцию с высоким соответствием натурным объектам как по форме отображения, так и по содержанию (например, наблюдается движение реконструктивных образов вагонов по модельным путям спускной части сортировочной горки с замедлением скорости отцепов при подходе к расчётным точкам в сортировочном парке). Высокая точность реконструкции физики движения модельных вагонов, дополненная требованиями технологии обслуживания поездо- и вагонопотоков, обеспечит эффективность информационной среде, её соответствие реально функционирующей транспортной системе.

Таким образом, адекватность модельного образа станции своему прототипу можно рассматривать как соблюдение информационными объектами физических законов (тяготения, инерции, сохранения энергии и др.) и действующих норм технологии (безопасности, сохранности, поточности выполнения операций и т.п.).

Особой проблемой является поиск приемлемого алгоритма воспроизведения следствий действия законов физики на модельные объекты, приводящих к наблюдаемым и регистрируемым результатам реального мира. Неполнота фундаментальных знаний о природе физических законов, причинно-следственных зависимостях их влияния, сложность и многоплановость воздействия на реальные объекты определяют нечёткость исходных данных, способную привести к некорректному прототипированию. Поэтому модельная физика рассматривается как среда, реконструирующая новое состояние объектов по множественному интегральному воздействию на них других объектов и окружения [4].

Модельная технология может скорректировать направление физических преобразований реконструктивного образа. Например, по результатам расчётов информационные реконструкции вагонов могут скатываться с горки на любые сортировочные пути, а технологические требования определяют для каждого отцепа фиксированный путь согласно установленному плану формирования; вагоны, направляемые под погрузку, закрепляются за определённым грузовым пунктом под данный груз и т.д. Поэтому правила технологии могут выступать в качестве ограничений, существенно сокращающих размерность множества состояний объектов, разрешённых физическими процессами. В этом отношении технология выступает как некая целевая норма, корректирующая и регламентирующая диапазоны параметрических данных объектов при выполнении операций (скорость надвига — от  $V_{\text{над}}^{\min}$  до  $V_{\text{над}}^{\max}$ , загрузка вагона — от  $m_{\text{ваг}}^{\min}$  до  $m_{\text{ваг}}^{\max}$ , расстояние между отцепами на горке — от  $L_{\min}$  до  $L_{\max}$  и т.д.). Безусловное соблюдение норм технологии отвечает существующим требованиям безопасности перевозок, сохранности грузов, получения значимого экономического или социального эффекта.

Модельная технология должна алгоритмически воспроизводить управляющие стимулы, которые в реальных условиях поступают от дежурного по горке, станции, от диспетчера, регулировщика скорости движения отцепов. Поскольку результаты моделирования работы станции лежат в плоскости обязательного выполнения технологических требований, то последние являются для модельной имитации такими же жёсткими законами, как и каноны физики.

Определённое отличие технологических требований от физических законов заключается в большей вариабельности первых и необходимости подстройки их позиций под текущие условия обработки поездов на станции, состояния пути, климатических и других факторов. Следовательно, диапазон  $\Omega$  норм фиксированного технологического правила  $Tech_i$  шире аналогичного интервала  $I$  вариантного действия некоторого физического канона  $Phys_j$ . Соразмерность  $\Omega$  и  $I$  позволяет сопоставить  $\Omega(Tech_i)$  и  $I(Phys_j)$ , несмотря на то, что  $Phys_j$  имеет фундаментальный, природный, абсолютный характер,



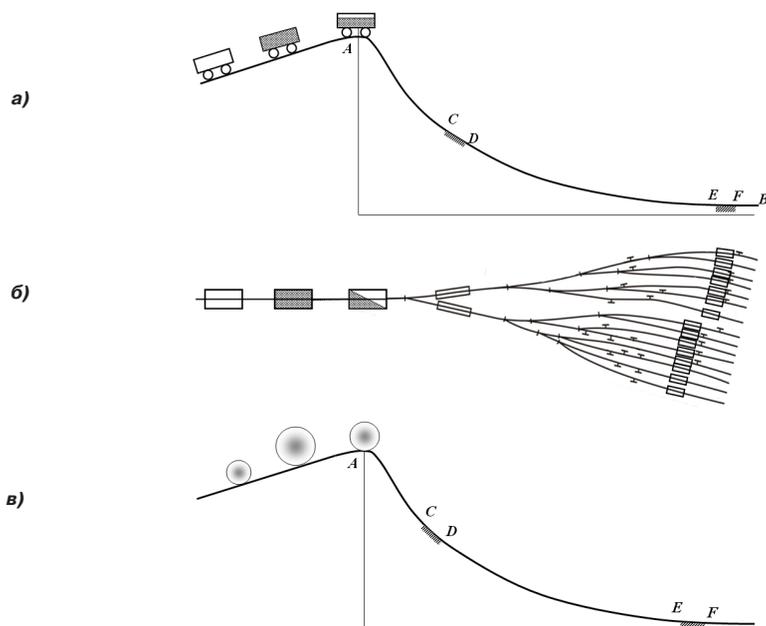


Рис. 1. Модельные схемы работы сортировочной горки с расчётом физических и технологических эффектов: а – при скатывании шаров с поверхности; б – при роспуске вагонов с горки; в – план горочной горловины.

и эти силы воспринимаются как основополагающие, являющиеся причинами изменений состояния объектов под действием неизблемых природных канонов. В свою очередь,  $Tech_i$  обусловлен рядом относительных, постулируемых позиций, продиктованных практическими соображениями и зависящих от существующего уровня техники и технологии.

### ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ОБРАЗОВ СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ

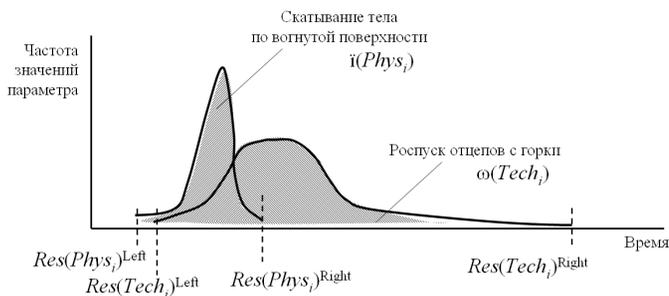
Разделение требований к модели функционирования технической системы на физические и технологические приводит к возможности репродуцирования динамики скатывания объектов по поверхности в двух различных модификациях. Рассмотрим  $I$ - и  $\Omega$ -реконструкции сортировочной горки (рис. 1).

Физическая интерпретация процессов (см. рис. 1а) предполагает реализацию модели безотносительно к технологическому аспекту роспуска вагонов с сортировочной горки. В такой постановке внимание акцентируется на расчёте физических эффектов при движении по вогнутой жёсткой поверхности металлических шаров с различными равномерно распределёнными по объёму тел массами, которые скатываются от некоторой начальной точки А до точки В. Дополни-

тельными условиями физической задачи являются:

- не превышение скорости скатывания шаров предельно допустимой  $V_{\text{пред}}$  в любой точке маршрута движения;
- поддержание интервала на маршруте скатывания между смежными шарами не менее  $I_{\text{min}}$ ;
- наличие преодолеваемого сопротивления движению металлических шаров по всему пути скатывания;
- начало движения шара со скоростью в интервале  $[V_{\text{min}}, V_{\text{скат}}]$ .

Соблюдение требуемых интервалов между шарами и не превышение скорости достигаются включением в модель вязкой среды – имитации тормозных замедлителей на участках  $CD$  и  $EF$ . Предполагается, что на элементах поверхности возможна быстрая замена твёрдой основы на резиновую и наоборот. Замена происходит за время ожидания вступления шара на данный участок, когда предыдущий шар уже прошёл соответствующий участок, а следующий за ним ещё не вступил на поверхность повышенного сопротивления. Возможности управления процессом скатывания шаров переменной массы по фиксированной поверхности минимальны и связаны с изменением начальной скорости скатывания  $V_{\text{скат}}$  и включением (или выключением)



**Рис. 2. Распределение областей изменения параметров в различных моделях.**

дополнительного сопротивления движению на участках *CD* и *EF*.

Вторая модельная аналогия (см. рис. 1б) реконструирует работу сортировочной горки с выполнением основного ряда технологических требований. Физические процессы в этой инсталляции представляются некоторым «чёрным ящиком» с эмпирически рассчитываемыми эффектами движения, торможения, соударения и пр. Технологическая имитация воспроизводит работу горки с учётом всех особенностей распускаемого подвижного состава и состояния горочного пути. Модельное расформирование состава производится в полном соответствии с планом горки (см. рис. 1в) по прототипированным путям надвига и роспуска, с разбиением на отцепы согласно плану формирования. Изменение скорости движения отцепов обеспечивается на позициях торможения. Дополнительными физическими условиями технологической постановки модельной задачи являются:

- аналитико-эмпирическое вычисление значений сопротивления движения и скорости скатывания;

- интегральные поправки к параметрам отцепов, определяющим их физические особенности и характер роспуска.

В расчётах технологической модели горки учитываются план и профиль спускных путей горочной горловины; положение замедлителей и других устройств торможения; план формирования, определяющий закрепление путей сортировочного парка за соответствующими назначениями. Оценка изменений состояния объектов расформирования производится по совокупному эффекту влияния друг на друга взаимодействующих тел. Это значит, что исключается глубокая модельная проработка возникающих трений в отдельных узлах и деталях вагонов, а также колеса и рельса, которые

являются очень сложными по проводимым расчётам [5, 6].

## СРАВНЕНИЕ ПРОТОТИПИРУЮЩИХ МОДЕЛЕЙ

По каждой из рассматриваемых моделей выделим  $i(Phys_s)$  и  $\omega(Tech_s)$  как элементы множеств физических законов и технологических правил, репродуцирующихся в соответствующих инсталляциях сортировочной горки. Согласно выдвинутой гипотезе – эквивалентности физических и технологических процессов – с точки зрения алгоритмов их воспроизведения результат действия на модельный объект некоторого  $k$ -го закона природы характеризуется нижней границей возможных влияющих условий  $Res(Phys_k)^{Left}$  и верхней границей  $Res(Phys_k)^{Right}$  ( $\Delta Res(Phys_k) = Res(Phys_k)^{Left} - Res(Phys_k)^{Right}$ ), а действие  $s$ -го технологического требования на этот же объект приведёт в условиях многофакторного влияния к результату  $\Delta Res(Tech_s) = Res(Tech_s)^{Left} - Res(Tech_s)^{Right}$ .

Тогда для любых  $k$  и  $s$ :  $\Delta Res(Tech_s) \gg \Delta Res(Phys_k)$ .

Графическая иллюстрация данного случая приведена на рис. 2.

В качестве параметра сравнения физических и технологических процессов выбираем продолжительность выполнения роспуска вагонов с сортировочной горки. Кривые частоты значений параметра показывают, что «чистые» физические процессы множества  $Phys_s$  обеспечивают менее продолжительное время скатывания тел по вогнутой поверхности благодаря более высокой скорости движения. Технологические требования к движению вагонов по спускной части горки более жёсткие, ограничивают скорость скатывания из-за необходимости учёта интервалов между бегунами, особенностей прохода вагонных замедлителей и др. Такие нормативы при-



водят к увеличению времени отпуска, и соответствующая кривая распределения  $\omega(Tech_i)$  по частоте значений сравниваемого параметра оказывается ниже, шире и смещённой вправо.

В физической реконструкции неявно присутствуют технологические компоненты (вес шаров может быть различен, что имитирует массы скатываемых отцепов; участки резиновой поверхности на маршруте скатывания шаров воспроизводят действие вагонных замедлителей), они приближают модель к реальной конструкции горки. То есть происходит подстройка модельных физических структур под технологические особенности системы, что приводит к изменению области распределения  $i(Phys_j)$ , сдвигает её вправо и приближает к  $\Omega(Tech_i)$ . С другой стороны, технологическая интерпретация при использовании более точных поправок, переходящих в аналитику расчёта физических эффектов, обеспечивает смещение  $\omega(Tech_i)$  к области  $I(Phys_j)$ .

Таким образом, исходные модели существенно обогащаются благодаря учёту сопряжённых факторов (достигаемая скорость отпуска физического тела, движущегося благодаря запасу потенциальной энергии с вершины горки по кривой скатывания, варьируется в зависимости не только от внешних условий физической среды, но и от текущих технологических режимов работы сортировочной горки). В результате оказывается, что разделить станционные процессы строго на физические и технологические в модельных образах, претендующих на последующее эффективное применение, достаточно сложно.

Железнодорожные станции работают, как правило, в штатных режимах обслуживания поездо- и вагонопотоков. Эти режимы являются чаще всего устойчивыми к различным изменениям мажорного характера. Технология требует использования физических процессов, способствующих качественному выполнению заявленных операций. Однако повтор той же технологической операции в следующем рабочем станционном цикле приводит к некоторому изменению результата, который становится итогом комплементарного действия  $Res(Tech_i)$  и  $Res(Phys_k)$ . Возможность регистрации отдельных результатов физической и технологической модельных компонент затрудняется, ибо на выходе

формируется определённый симбиотический, коррелированный результат  $Cor\{Res(Tech_i)$  и  $Res(Phys_k)\}$ , консолидирующий обособленные эффекты физического и технологического характера и приводящий к рекомбинации совместного влияния  $\Omega(Tech_i)$  и  $I(Phys_j)$ .

Анализ причин, влияющих на изменение требований  $\Omega(Tech_i)$  и  $I(Phys_j)$ , показывает, что существуют общие условия и факторы, одновременно оказывающие действие на физику и технологию исследуемых станционных процессов. Физические процессы на железнодорожной станции происходят в поле действия законов природы, технологические процессы являются определённым следствием физических и выполняются в соответствии с требованиями установленных регламентов. Поэтому станционные технологические процессы не могут выполняться вне физической причинности. Операции приёма поездов, расформирования, накопления, отправления происходили бы по-другому при иных проявлениях законов природы.

Зона вариаций  $I$  некоторого результата действия физического закона оказывается более определённой, прогнозируемой по сравнению с размерами отклонений технологической операции. При этом оказывается сложно разделить взаимозависимые состояния модельных объектов пути и подвижного состава. Выделение групп  $\Omega(Tech_i)$  и  $I(Phys_j)$  в отдельных модельных интерпретациях приводит к потере синергетивных связей, отличающих функционирование реальных транспортных систем от их модельных аналогов. Мультипликативность общего действия, возможно, является той ключевой особенностью, которая принципиально отличает невысокое качество прототипирования реконструктивных систем с обособлением и вычленением отдельных эффектов.

Функционирование существующих железнодорожных станций происходит в непрерывной связи динамически изменяющихся состояний моделируемых инфраструктурных объектов. По сути, все влияющие на процессы прямые и опосредованные факторы и условия некоторым образом переплетены по времени, длительности, периодичности и силе своего действия. Бесспорно, что декомпозиционная схематика модели определённо приводит к получению более простой, легко воспроизводимой структуры. Но без учёта технологии физический процесс модельной

технической системы абстрактен и не имеет практического приложения. Функционирование идеальной системы только в поле физических явлений существенно трансформирует реальную среду в некоторую формальную конструкцию. Такая алгоритмическая конвертация содержания процессов транспортной системы приводит к задаче, разрешимой с позиций формализации, но исключает принципиально важные межобъектные связи.

Мультипликативное действие связей может быть описано некоторыми числовыми поправками в виде группы эмпирических коэффициентов, призванных покрыть неучтённое влияние синергетивности системы. Однако при этом возможны случаи, когда из-за определённого взаимного действия ряда факторов происходит погашение или существенное сокращение резульатной силы на модельную конструкцию. Это значит, что множественное влияние ряда факторов приводит к своеобразному рассеянию их совокупного действия на станционный объект. Например, замедление скорости движения вагона на пути происходит не только за счёт сил сопротивления колеса и рельса, но и возможного дополнительного трения в конструкционных элементах вагона, эксплуатируемого в течение десятков лет. Потери кинетической энергии возникают на стыках рельсов, в том числе и дефектных участках путей, от случайных воздействий порывов ветра, изменения положения центра тяжести системы «вагон—груз» из-за перемещения последнего в результате соударений при роспуске с горки.

Аналогичные процессы происходят и в технологическом поле действия  $\Omega(Tech_i)$ . Расформирование поезда на сортировочной горке не всегда приводит к строгому соблюдению плана формирования с перемещением отдельных отцепов по назначениям на соответствующие пути сортировочного парка из-за нерасцепов на вершине горки; сцеплению вагонов различных назначений на спускной части горки при высокой скорости скатывания; наличию повторной сортировки из-за отсутствия достаточного количества сортировочных путей, соответствующих числу назначений по плану формирования поездов и т.п. Кроме того, каноны

технологических требований не остаются незыблемыми.

## ВЫВОДЫ

Как следует из контекста исследования, в конечном итоге должна формироваться одна модель функционирующей технической системы, в которой физическая и технологическая интерпретации рассматриваются как этапы разработки прототипирующей модельной среды, последовательно приближающей репродуцированную конструкцию к адекватной, практически значимой информационной альтернативе реальной железнодорожной станции.

Множественные эффекты взаимодействия объектов в процессе скатывания с поверхности шаров (физическая интерпретация) и отцепов при роспуске с горки (технологическая интерпретация) интегрируются некоторым общим алгоритмом с рядом эмпирических параметров. В результате появляется единая репродуктивная модель динамической системы расформирования поездов, способная воспроизвести наблюдаемые и параметры сортировочной горки при сопоставимых исходных условиях. Интегральные компоненты модели определённым образом мультиплицируют множественные эффекты, обеспечивая информационную реконструкцию корректирующими поправками, «выравнивающими» модельные неточности в поле реальных процессов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Головнич А. К. Физические свойства объектов инженерной модели 3D-станции // Мир транспорта.— 2015.— № 4.— С. 25–34.
2. Головнич А. К. Технологические свойства объектов инженерной модели 3D-станции // Мир транспорта.— 2016.— № 2.— С. 34–42.
3. Трёхмерные модели как системы отображения пространственной информации и их практическое использование. [Электронный ресурс]: <https://innoter.com/scientific-articles/829>. Доступ 24.02.2018.
4. Жердев В. Н., Беспалов С. Д. Перспективы моделирования природно-технических систем в целях оценки их состояния. [Электронный ресурс]: <http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/geograph/2003/01/zherdev.pdf>. Доступ 03.02.2018.
5. Балановский А. Е., Хаяси С. М. Проблема износа пары трения колесо—рельс (краткий анализ и предложения).— Иркутск: Плазмотрек, 1997.— 56 с.
6. Крательский И. В. Трение и износ.— М.: Машиностроение, 1968.— 480 с.

Координаты автора: **Головнич А. К.** – [golovnich\\_alex@mail.ru](mailto:golovnich_alex@mail.ru).

Статья поступила в редакцию 03.02.2018, принята к публикации 11.03.2018.

