

тижение целей будет основываться на трудах ученых, посвятивших свою жизнь развитию транспортной науки. Таким ученым был и останется в нашей памяти Николай Владимирович Правдин, идеи которого продолжают развивать его ученики.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Правдин, Н. В. Оценка и определение оптимальных технико-технологических параметров ПТС / Правдин Н. В., Каширцева Т. И. // ВИНИТИ. Транспорт. Наука, техника, управление. – 2003. – № 1. – С. 17–19.

2 Каширцева, Т. И. Выбор рационального соотношения объемов работы и технического оснащения ПТС : дис. ... канд. техн. наук. (05.22.08 – Управление процессами перевозок) / Т. И. Каширцева; рук. Н. В. Правдин; Московский ин-т инж. трансп. – М. : 2002. – 245 с.

Получено 22.03.2016.

**ISBN 978-985-554-707-6. Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов. Гомель, 2017**

УДК 656.21:004.414.23

*А. К. ГОЛОВНИЧ*

*Белорусский государственный университет транспорта (БелГУТ)*

### **БАЗОВЫЕ ПРАВИЛА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ТРЕХМЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СТАНЦИИ**

Рассмотрены теоретические аспекты построения 3D-модели путевого развития и технического оснащения станции с учетом уровней сложности формализованного описания правил функционирования объектов в соответствии с физическими законами и технологическими требованиями.

Масштабный план железнодорожной станции определяет координатно точное положение контуров и осей объектов путевого развития и технического оснащения. Для удобства пользователя в состав масштабных планов включаются условные обозначения многих точечных объектов, которые фиксируются одним контрольным пикетом съемки (предельные столбики, сигналы, объекты топографической ситуации).

В процессе формирования цифрового масштабного плана станции используются результаты полевых работ с пространственными координатами контрольных точек съемки. Неиспользуемая Z-координата хранится в базах данных 2D-плана. Она является характерным параметром, определяющим высоты пикетных точек с привязкой к существующей топографической ситуации, отметки верхнего строения пути, уровень возвышения зданий и сооружений и др.

3D-моделирование формирует виртуальную среду, которая благодаря своей масштабной основе максимально приближается к реальному миру. Погружение в этот мир с помощью визуальных и сенсорных устройств превращает программные образы в осязаемые структуры, мало отличимые от реальных объектов. При этом такой виртуальный мир оснащен мощным инструментом прогнозирования, который позволяет заглянуть в ближайшее обозримое будущее, ожидающее склад повагонных отправок, погруженные выгрузочные пути, площадку погрузки и разгрузки автомобилей.

Трехмерное моделирование технологических операций, выполняемых на железнодорожных станциях, позволит более качественно и эффективно производить мониторинг процессов, наглядно и убедительно демонстрировать возникающие сложности и предупреждать их, что обеспечивает значительную экономию средств и существенно сокращает многочисленные бросовые работы. 3D-модель выполняет функцию регистратора событий не только в реальном, а в виртуальном мире, в котором действуют те же физические законы и соблюдаются все требования к выполнению соответствующих технологических операций. Существенной особенностью виртуального мира является то, что извне можно изменять скорость происходящих в нем событий, ускоряя или замедляя отдельные процессы, визуально наблюдая их через своеобразный окуляр хроноскопа.

Технологические операции на железнодорожных станциях представляют сложные, взаимозависимые события с очень специфическими корреляционными связями и с большим количеством влияющих факторов внешнего и внутреннего характера. Все операции проводятся с обязательным участием определенных технических средств, и эти технические средства также должны стать объектами трехмерного моделирования. Поэтому, прежде чем моделировать операции, следует сформировать 3D-среду окружения этих операций. Адекватность существующей действительности виртуального путевого развития и технического оснащения станции определит качество моделирования технологических операций.

Трехмерные образы путевого развития и технического оснащения следует рассматривать как ресурс для производства операций. Поэтому должна быть безусловная привязка 3D-станции к технологии, так как трехмерный образ на порядок сложнее 2D-плана. И нужно быть уверенным в том, что модель станции правильно отражена в макете, корректно подготовлена к проведению операций. 2D-план в осевом и контурном представлении является по сути условным образом станции, достаточно простым (в виде набора линий абстрактных форм, распознаваемых как стрелочные переводы, сигналы и др.), а 3D-план – реалистичным миром адекватных действительности объектов, наделяемых свойствами эффективного проведения технологических операций.

Построение системы «ресурсного обеспечения» для проведения модельных технологических операций является важнейшим условием реалистичности происходящих событий. Поэтому исходной задачей является разработка макетных 3D-форм связанных объектов путевого развития, технического оснащения станции, способных выполнить определенные технологические операции.

Трехмерная визуализация объектной модели станции позволяет оперировать полноценными реалистическими образами, функционирующими в соответствии с физическими законами и технологическими требованиями. Например, 3D-вагон такой объектной модели, стоящий на приемо-отправочном пути виртуального парка, нельзя свободно переместить в любое место визуальной панорамы курсором или щелчком манипулятора мыши, как это можно выполнить в любом графическом редакторе при создании макетов. В объектной технологической модели 3D-вагон может перемещаться только по 3D-пути под воздействием некоторой внешней силы (эмулятора тягового усилия от локомотива, лебедки), сообщающей вагонам импульс движения. Данное воздействие оказывается на подвижной состав вдоль оси пути в одном из двух возможных направлений. При этом обеспечивается связность колесных пар модельного вагона и поверхности катания рельсов, приводящая к модельному сцеплению частиц колеса и рельса и, как следствие, движению вагона с проворачиванием колеса вокруг оси. При вхождении вагона на 3D-стрелочный перевод производится считывание соответствующего параметра его состояния, указывающего на положение остряков с безопасным проследованием по прямому или боковому пути. При пошерстном движении вагона перемещение разрешается только в том случае, если не будет взрезана стрелка.

Таким образом, в формализованном представлении имеем объекты:

- $A_i(m_j)$ , определяющие 3D-вагоны с конкретными техническими и эксплуатационными характеристиками;
- $B_i(n_j)$ , указывающие на участки железнодорожного пути с техническими характеристиками и параметрами состояния;
- $C_i(p_j)$ , имитирующие действие внешней силы, сообщающей движение модельным вагонам и также имеющие соответствующие базовые атрибуты.

Взаимодействие  $A_i(m_j) \oplus B_i(n_j)$  посредством  $C_i(p_j)$  заключается в том, что происходит перемещение объектов  $A_i$  (3D-вагонов) по объектам  $B_i$  (3D-путям) с соблюдением некоторых установленных правил  $G_i$ :

1) имитирующих физические законы реального мира  $G_i^f$ :

- трение колеса и рельса, следствием которого является вращение модельного колеса вагона;

- восприятие усилия со стороны внешнего воздействия, приводящего к движению (при достаточном усилии) вагона как целостного объекта в данном направлении с определенной скоростью с учетом веса вагонов;

- учет профиля пути, приводящего к ускорению или замедлению движения вагона после снятия внешнего воздействия;

2) имитирующих требования технологии  $G'_i$ :

- контроль над положением острьяков переводов, определяющих перемещение модельного вагона на соседний путь и возможный взрез стрелки;

- закрепление вагона башмаками, удержание стояночным тормозом;

- фиксирование габаритов подвижного состава при нахождении вагонов на других путях;

- невозможность перемещения вагонов за ограничители путей.

Данные правила охватывают общий перечень возможных требований предъявляемых к виртуальной станции, которые называются контрольным уровнем реалистичности модели.

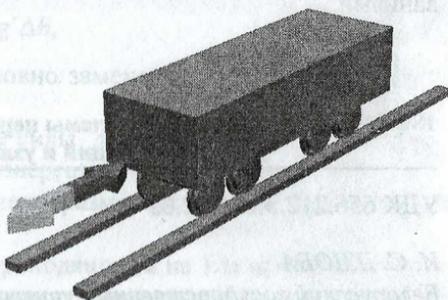
Взаимодействию  $A_i(m_j) \oplus B_i(n_j)$  присущи *нежесткие связи* контактирующих объектов. Это значит, что одни и те же объекты  $A_i(m_j)$  связываются с различными  $B_i(n_j)$  (модельными участками путей и стрелочными переводами с иными значениями контрольных параметров). При достижении границ объекта  $B_i(n_j)$  возможна ситуация, когда группа из нескольких модельных вагонов  $A_{3,4}(m_j)$  частью перешла границу и вступила в область действия параметров  $B_{i+1}(n_j)$ , а первые  $A_{1,2}(m_j)$  еще связаны с объектом  $B_i(n_j)$ .

В модели с указанным множеством контрольного уровня модели рассматривается упрощенная *схема условной объектной связи*, когда расписание поведения объектов модели производится по условиям жесткой связи: например, взаимодействие  $A_i(m_j)$  (несколько вагонов в модели) и  $B_i(n_j)$  (несколько участков пути в модели) определяется по параметрам объекта  $B_i(n_j)$  до тех пор, пока хотя бы один из  $A_i(m_j)$  находится в области действия  $B_i(m_j)$ . Данное правило работает только при условии, что все находящиеся на линии взаимодействия объекты  $B_i(n_j)$  – линейные участки 3D-пути. Если происходит переход с участка пути на модельный стрелочный перевод, то схема условной объектной связи не работает, и необходимо анализировать положение острьяков для правильного вписывания вагонов.

Следует отметить, что указанные физические и технологические требования  $G_i$  являются достаточно сложными для начального уровня модели. Исходные наиболее простые модельные схемы содержат отдельные позиции приведенных требований  $G_i^f$  и  $G_i'$ , а также элементов данных требований. Если в основе модели лежат отдельные физические и технологические требования из списка перечисленных в данной статье, то модель станции называется *условно реалистичной*, при использовании только элементарных позиций этих требований модель становится *начальной*.

Для начальной схемной модели внешняя форма трехмерных станционных объектов может быть разработана на основе «кубик-модели», в которой вагоны изображаются в виде параллелепипеда на колесах с простым профилем фиксации реборды, рельсы – двух полос прямоугольного сечения, а генератор тягового усилия – объемной стрелки с указанием направления воздействия (рисунок 1).

Рисунок 1 – «Кубик-модель» взаимодействующих условных объектов



3D-стрелочный перевод имеет особый статус (площадный объект, сформировавшийся пересечением двух линейных объектов). По сравнению с 3D-путем он имеет не две, а три области (одна – со стороны остряков, и две – со стороны крестовины) взаимодействия с другими объектами модельного путевого развития и характеризуется положением остряков (рисунок 2).

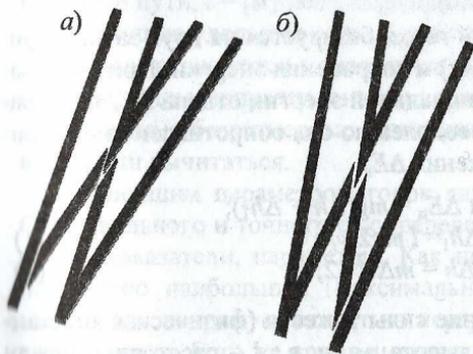


Рисунок 2 – Возможные модельные ситуации фиксированного положения остряков 3D-перевода с перемещением вагонов: а – прямо; б – по боковому пути

При разработке трехмерной модели станции сложно акцентировать внимание одновременно на реалистичности внешнего вида объектов и их функциональности. Поэтому предлагается на базе упрощенной «кубик-модели» формировать отдельные станционные объекты (пока только вагоны и станционные пути) с параметрами, значения которых можно использовать при модельном исполнении технологических операций. Определяется набор исходных, так называемых регулятивных позиций модели, представляющий собой физические и технологические правила, которые должны выполняться в данной модели при перемещении вагонов по путям. Анализ по-

казывает, что в такое множество входят достаточно сложные требования, которые в полном объеме реализовать в базовой модели не удастся, поэтому рассматривается возможность их разделения и упрощения исходной стратегии по определенным выделенным подмножествам регулятивной модели. Состав данных подмножеств должен определяться дальнейшими исследованиями.

Получено 11.12.2015.

ISBN 978-985-554-707-6. Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов. Гомель, 2017

УДК 656.212.5:656.22.05

И. С. ДЗЮБА

Белорусский государственный университет транспорта (БелГУТ)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ВАГОНОВ ПРИ РОСПУСКЕ С СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ

Выполнен анализ традиционной методики определения скоростей отцепов и спускной части сортировочной горки и предложен альтернативный метод расчёта.

Расчёт параметров сортировочной горки базируется на двух законах физики: гравитации (свободного падения) и сохранения энергии. При скатывании вагонов с горки изменение потенциальной энергии отцепа  $\Delta E_{\text{п}}$  преобразуется в механическую работу по преодолению сил сопротивления  $A$  и приращение кинетической энергии движения  $\Delta E_{\text{к}}$ :

$$\Delta E_{\text{п}} = A + \Delta E_{\text{к}} \text{ или } \Delta E_{\text{п}} = mg(\Delta h + \Delta h_1); \quad (1)$$

$$A = mg\Delta h_1 = l mg \sum w_i; \quad (2)$$

$$E_{\text{к}} = mg\Delta h = m\Delta v^2 / 2,$$

где  $m$  – масса отцепа, кг;  $g$  – ускорение силы тяжести (физическая константа),  $\text{м/с}^2$ ;  $\Delta h$ ,  $\Delta h_1$  – энергетическая высота, м эн. в.;  $l$  – расстояние между расчётными точками маршрута, м;  $\sum w_i$  – удельные силы сопротивления  $\text{Н/(кг}\cdot\text{м)}$ ;  $\Delta v$  – приращение линейной скорости отцепа,  $\text{м/с}$ .

Так как часть потенциальной энергии затрачивается на раскручивание колёс вагона, то при расчёте линейной скорости отцепа вводят эмпирический коэффициент, понижающий запас потенциальной энергии,

$$k = 1 / (1 + 0,42n / m), \quad (3)$$

где  $n$  – число осей в отцепе.

Таким образом, из уравнения (2) следует, что приращение квадрата линейной скорости