УДК 656.2:004.94

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА КАК ВИРТУАЛЬНОГО ПОЛИГОНА ДЛЯ ДВИЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ

Р. Ю. УПЫРЬ
Иркутский государственный университет путей сообщения
Иркутск, Россия

Переход к организации движения беспилотных грузовых поездов меняет не только технологию управления локомотивом, но и саму логику организации перевозочного процесса. Перед допуском таких поездов на реальную инфраструктуру железных дорог целесообразно иметь среду, позволяющую безопасно и многократно воспроизводить их движение, варьировать условия и оценивать последствия управленческих решений. Эту роль выполняет цифровой двойник железнодорожного участка в концепции виртуального цифрового полигона, воспроизводящего профиль пути, средства сигнализации и технологию организации движения поездов.

В работе представлен опыт разработки цифрового двойника двухпутного перегона, предназначенного для организации движения беспилотных грузовых поездов в среде имитационного моделирования Anylogic [1]. На рис. 1 представлена структурная модель трех блок-участков с трехзначной автоблокировкой, как базового класса для разработки модели железнодорожного участка.

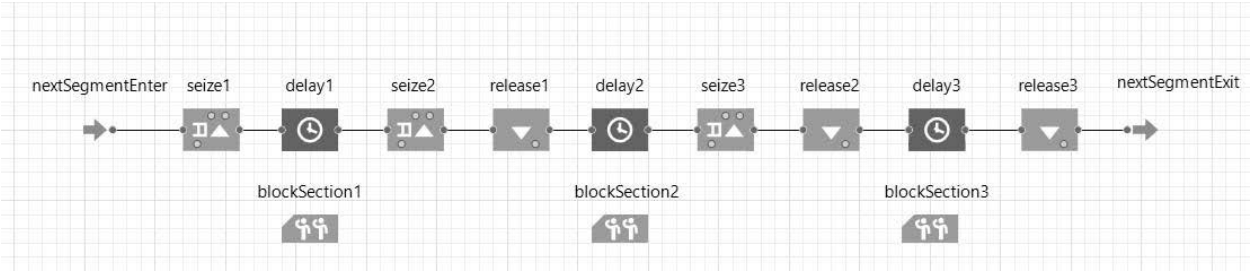

Рис. 1. Структурная модель трех блок-участков с трехзначной автоблокировкой (разработано автором в Anylogic)

Виртуальный цифровой полигон позволяет воспроизводить движение поездов по перегону с учётом реальных ограничений автоблокировки [2], наблюдать динамику заполнения участка и подходов к нему при разных режимах отправления, проверять гипотезы о влиянии интервалов отправления на устойчивость движения без риска для действующей инфраструктуры и служить базой для оценки управленческих сценариев, включая режимы интервального регулирования.

Цифровой двойник не заменяет натурные испытания, а предваряет их, выделяя заведомо неоптимальные варианты и подготавливая обоснованные рекомендации.

Базовая конфигурация модели – двухпутный участок, ограниченный двумя техническими станциями и оборудованный трёхзначной автоблокировкой, по которому организовано движение только грузовых поездов. Участок состоит из 30 блок-участков, длина каждого принята равной 2 000 м, что соответствует типовому диапазону значений в интервале от 1 000 до 2 600 м. Логика организации движения отражает базовые требования автоблокировки, когда в границах блок-участка не может находиться более одного состава. Показания проходных светофоров связаны с состоянием впереди лежащих участков, что и определяет допустимую скорость движения. Такой подход позволяет моделировать движение без остановок на перегоне, сохраняя эффект снижения скорости при ухудшении показаний светофора, что важно, поскольку остановки на перегоне внесли бы в картину дополнительные факторы, не связанные с исследуемой задачей.

На рис. 2 представлена зависимость времени достижения критического рабочего парка технической станции от времени отправления грузовых поездов на перегон.

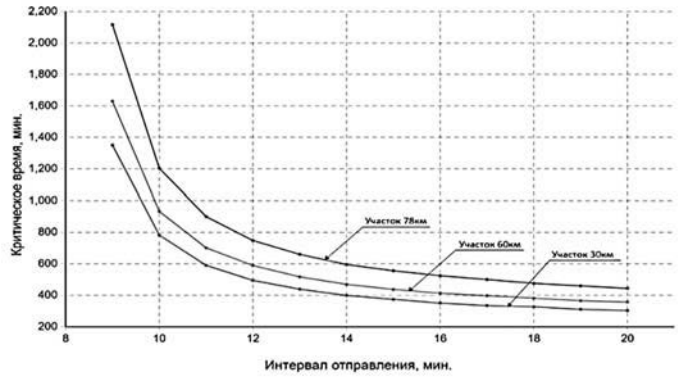

Рис. 2. Зависимость времени достижения критического рабочего парка технической станции от времени отправления грузовых поездов на перегон

Разработанный цифровой двойник позволяет перейти к сценарному анализу влияния интервалов отправления, наблюдать перераспределение вагонного парка между направлениями [3] и определять момент, когда запас вместимости станции оказывается исчерпанным, что делает его полноценным виртуальным полигоном для проверки гипотез о движении беспилотных грузовых поездов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Upyr, R.** Digital twin of railline / R. Upyr // Anylogic-Models. – URL: https://github.com/RomanUpyr/Anylogic-Models (date of access: 17.09.2026).

2. **Хабаров, В. И**. Создание имитационной модели движения поездов с использованием мультиагентного и дискретно-событийного подходов на примере Западно-Сибирской железной дороги / В. И. Хабаров, К. В. Красникова // Известия Транссиба. – 2017. – № 3 (31). – С. 143–154.

3. **Упырь, Р. Ю.** Методика пропуска поездов на ограничивающем перегоне в режиме «Виртуальная сцепка» как задача динамической оптимизации вагонного парка / Р. Ю. Упырь // Известия Транссиба. – 2026. – № 2 (66). – С. 46–53.