

АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УЗЛОВ: СРАВНЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКИХ И МАШИННО-ОБУЧАЕМЫХ ПОДХОДОВ

Скуратова Д. А., магистрант

Белорусский государственный университет

Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук, профессор Харин А. Ю.

Аннотация. В данной работе рассматривается проблема оценки пропускной способности и эффективности функционирования сложных железнодорожных узлов. Для решения этой задачи проводится сравнительный анализ двух ключевых подходов: классического аналитического моделирования на основе теории массового обслуживания (ТМО) и современных методов машинного обучения (ML). Основным выводом исследования заключается в том, что выбор оптимального метода напрямую зависит от горизонта планирования: аналитические модели незаменимы для стратегического анализа инфраструктуры, тогда как методы машинного обучения показывают высокую эффективность в задачах операционного прогнозирования.

Анализ пропускной способности и выявление узких мест в сложных железнодорожных узлах (на примере Иркутского узла) требуют выбора адекватного метода моделирования, при этом возникает задача сравнительной оценки применимости классических аналитических подходов и методов машинного обучения в зависимости от характера решаемой задачи – стратегического планирования либо оперативного управления.

Первый подход основан на строгом математическом аппарате теории массового обслуживания и стохастических процессов, позволяющем формализовать динамику функционирования железнодорожного узла с учетом его топологических характеристик (число и конфигурация путей, наличие конфликтных маршрутов) и стохастической природы поездопотоков (случайные интервалы прибытия и длительности обслуживания). Ключевое преимущество данного подхода – возможность проведения расписаниенезависимого (timetable-independent) стратегического анализа, ориентированного на оценку теоретической (максимально достижимой) пропускной способности и количественную оценку эффективности инфраструктурных изменений (например, строительства дополнительных горловин или реконструкции сортировочных устройств) в долгосрочном планировании [3, 11].

Второй подход основан на применении методов машинного обучения (в частности, LSTM, CNN и случайного леса) для выявления скрытых нелинейных зависимостей в исторических операционных данных, без явного учета физической структуры инфраструктуры. Его основное преимущество – высокая точность краткосрочного прогнозирования оперативных параметров (например, задержек, времени стоянки, пассажиропотока), обусловленная адаптивностью моделей к динамически изменяющимся условиям эксплуатации.

Для более глубокого понимания ценности аналитического подхода рассмотрим конкретное исследование, в котором он был применен для анализа одного из ключевых узлов Транссибирской магистрали.

В рамках апробации аналитического подхода на Иркутском железнодорожном узле (ИЖУ) была построена сеть массового обслуживания из 33 узлов и двух МАР-потоков, отражающая его структуру и поездопотоки с западного и восточного направлений. В первом эксперименте при плановой нагрузке (119 поездов/направление/сутки) оценивались показатели загрузки, длины очередей и времени блокировки. Во втором эксперименте имитировалось увеличение транзитного потока на 15 % и перенаправление 20 % таких поездов на обходной путь для выявления узких мест при возросшей

нагрузке. Полученные количественные оценки легли в основу рекомендаций по развитию инфраструктуры узла.

Моделирование Иркутского узла подтвердило достаточную пропускную способность при текущей нагрузке и выявило станцию Иркутск-Сортировочный как ключевое «узкое место», обосновав необходимость ее модернизации и оптимизации технологических процессов для увеличения транзитного потока на 15 %. В отличие от моделей машинного обучения, ориентированных на краткосрочное прогнозирование в рамках существующей инфраструктуры, аналитический подход, основанный на структурных и стохастических характеристиках системы, позволяет оценивать гипотетические сценарии развития и отвечать на стратегические вопросы типа «что, если?». Это обуславливает комплементарность методов: машинное обучение эффективно на оперативном уровне управления, тогда как аналитическое моделирование незаменимо на стратегическом – при проектировании и модернизации инфраструктуры.

Успешное управление железнодорожными перевозками требует дифференцированного выбора методов: аналитическое моделирование и машинное обучение решают разные, но взаимодополняющие задачи. Для стратегического планирования – оценки предельной пропускной способности, выявления структурных узких мест и обоснования инвестиций – предпочтительны аналитические модели на основе теории массового обслуживания, обеспечивающие расписание независимый анализ фундаментальных ограничений системы. Для оперативного управления, мониторинга в реальном времени и краткосрочного прогнозирования (задержек, пассажиропотока) эффективнее методы машинного обучения, способные улавливать сложные нелинейные зависимости в больших данных. Аналитика отвечает на стратегические вопросы «что модернизировать» и «где», тогда как ML обеспечивает оперативные решения – «когда реагировать» и «как управлять». Перспектива повышения эффективности лежит в синергии подходов: аналитика задает структурную основу, а машинное обучение оптимизирует ее динамическое использование.

Список использованных источников

1. Анисимов, В. А. О прогнозировании пассажиропотоков для высокоскоростных магистралей с учетом конкуренции на рынке пассажирских перевозок / В. А. Анисимов, А. С. Григорьева // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2022. – Т. 19. – № 3. – С. 576–589.
2. Бычков, И. В. Интеллектуальная технология моделирования железнодорожных станций на основе теории массового обслуживания / И. В. Бычков, А. Л. Казаков, М. Л. Жарков // Управление товарными потоками и перевозочным процессом на железнодорожном транспорте на основе клиентоориентированности и логистических принципов: коллективная монография / под ред. Б. М. Лapidуса, А. Т. Осьминина. – СПб.: ЛЕМА, 2019. – С. 185–193.
3. Жарков, М. Л. О моделировании железнодорожных узлов на основе теории массового обслуживания / М. Л. Жарков, А. В. Супруновский // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2022. – № 1 (25). – С. 120–132.
4. Журюкин, А. С. Прогнозирование пассажиропотока на железнодорожном транспорте с применением машинного обучения / А. С. Журюкин, С. В. Муктепавел, // Вестник науки. – 2025. – № 4 (85), Т. 3. – С. 751–760.
5. Козлов, П. А. Макромоделирование железнодорожных станций и узлов / П. А. Козлов, Н. А. Тушин, И. Г. Слободянюк // Наука и техника транспорта. – 2015. – № 2. – С. 82–88.