3 ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ В ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКЕ

УДК 519.248:656.07

Г. Т. АМАНГЕЛЬДЫЕВА
Институт телекоммуникаций и информатики Туркменистана, г. Ашхабад

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАДИОЧАСТОТНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ В ИНТЕГРАЦИОННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ

Современный этап развития мировой экономики характеризуется усилением интеграционных процессов, требующих создания единого информационного пространства для управления транспортными потоками. В условиях глобализации транспорт становится не просто средством перемещения грузов, а сложной киберфизической системой. Эффективность функционирования международных транспортных коридоров напрямую зависит от скорости и точности идентификации объектов на логистических узлах [1].

Особое значение приобретает внедрение интеллектуальных систем на базе радиочастотной идентификации (RFID), которые позволяют автоматизировать учет, минимизировать влияние человеческого фактора и обеспечить прозрачность внешнеэкономической деятельности. Однако эксплуатация таких систем в условиях крупных терминалов сопряжена с проблемой электромагнитной совместимости и возникновением коллизий при одновременном считывании большого количества меток. В связи с этим актуальной задачей является разработка математических моделей, позволяющих прогнозировать надежность считывания данных.

Основной задачей моделирования выступает определение зависимости вероятности успешной идентификации от плотности входящего потока транспортных единиц и мощности сигнала.

Для её решения используются методы теории вероятностей и математической статистики. Рассматривается модель транспортного терминала, оснащенного портальными RFID-считывателями. Информационный поток представляется как совокупность дискретных сигналов, поступающих в систему управления в случайные моменты времени.

Математическое описание модели считывания. В условиях высокой плотности объектов процесс поступления сигналов от RFID-меток можно описать распределением Пуассона. Вероятность того, что за время цикла опроса t в зону действия считывателя попадет ровно k меток, определяется выражением

$$P(k,t) = \frac{\lambda t^{\,k} e^{\lambda t}}{k},$$

где λ – интенсивность входящего потока объектов [2].

Одной из критических проблем является возникновение «коллизий» – ситуации, когда два или более сигнала перекрывают друг друга, что делает невозможным их корректную дешифрацию микропроцессорным блоком. Вероятность отсутствия коллизий (успешного одиночного считывания) P_s для классического протокола типа ALOHA рассчитывается как

$$P_s = Ge^{-2G},$$

где G – средняя нагрузка на канал связи.

Для повышения точности прогнозирования в модель вводится коэффициент затухания сигнала в промышленной среде. Мощность принимаемого сигнала P_r на расстоянии d от антенны считывателя описывается логарифмически-дистанционной моделью:

$$P_r(d) = P_0 - 10\log_{10}\frac{d}{d_0} + X_\sigma,$$

где P_0 – мощность на опорном расстоянии d_0, n – показатель потерь в тракте, X_σ – случайная величина, описывающая эффект затенения сигналов крупногабаритным транспортом [3].

Регрессионный анализ временных задержек. Для оценки оперативности управления в системе автоматизации был проведен статистический эксперимент. На основе полученных данных построено уравнение линейной регрессии, связывающее время обработки данных в микропроцессорной системе T_{proc} (мс) и количество меток в зоне считывания N_{tags}:

$$T_{proc} = \beta_0 + \beta_1 N_{\text{tags}} + \varepsilon.$$

Параметры β_0 и β_1 определяются методом наименьших квадратов. В ходе моделирования было выявлено, что при значениях $N_{\text{tags}} > 50$ наблюдается нелинейный рост задержек, что требует перехода к многопоточному алгоритму обработки в блоках управления.

Математическое моделирование информационных процессов в транспортных системах является фундаментом цифровой трансформации мировой экономики. Разработанная модель оценки вероятности считывания RFID-меток с учетом физических условий распространения сигнала позволяет обоснованно выбирать параметры оборудования для модернизации

транспортных узлов. Предложенные подходы к регрессионному анализу задержек обеспечивают базу для создания высокоэффективных систем интеллектуального управления, соответствующих международным стандартам качества и безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Елисеев, С. Ю**. Интеллектуальные транспортные системы : монография / С. Ю. Елисеев. – Гомель : БелГУТ, 2022. – 180 с.

2 **Мартынов, А. С.** Математические методы в логистике и управлении цепями поставок / А. С. Мартынов // Наука и транспорт. – 2024. – № 1. – С. 12–18.

3 **Павлов, В. Н.** Теория систем и системный анализ в управлении транспортом : учеб. / В. Н. Павлов. – М. : Транспорт, 2023. – 312 с.

4 Технологии цифровой идентификации в логистике // Информационный портал «Транспорт XXI века». – URL: http://transport-21.ru/it-logistics (дата обращения: 18.03.2026).

G. AMANGELDYEVA
Institute of Telecommunications and Informatics of Turkmenistan, Ashgabat

MATHEMATICAL MODELING OF THE EFFICIENCY OF RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION IN INTEGRATION TRANSPORT SYSTEMS

УДК 004.832

Д. В. АРТЮХОВ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

АНАЛИТИКА ЗАТРАТ И РИСКОВ В МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗКАХ

В условиях цифровой трансформации экономических отношений и усложнения логистических цепочек мультимодальные перевозки занимают центральное место в системе глобального товародвижения, выступая одновременно и драйвером эффективности, и зоной повышенной уязвимости. Специфика данного типа перевозок заключается в консолидации ответственности различных видов транспорта, что порождает феномен «разрыва» информационных потоков и, как следствие, латентное накопление рисков на стыках перегрузочных операций и этапов передачи контроля. Аналитика затрат в таких условиях перестает быть простой калькуляцией транзакционных издержек, трансформируясь в многомерную задачу оптимизации, где традиционное стремление к минимизации тарифной составляющей вступает в противоречие с требованиями надежности и временной определенности доставки.