

УДК 656.073.5:656.073.7(575.2)
DOI: 10.36979/1694-500X-2025-25-8-49-55

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК

М.Т. Алсеитов, Д.П. Окороков

Аннотация. Представлена комплексная модель системы контроля грузовых автомобильных перевозок, объединяющая технические, организационные и информационные компоненты. Предложена киберфизическая система с модульной архитектурой, включающая подсистемы мониторинга, обработки данных, принятия решений и интерфейсного управления. Математическая модель основывается на мультикритериальной целевой функции, учитывающей время, затраты, отклонения и риски. Описан системно-динамический и дискретно-событийный подход к управлению, реализуемый в реальном времени с использованием телематики и прогнозных алгоритмов. Проведена оценка эффективности, показавшая повышение точности и снижение затрат. Разработанная система масштабируема и адаптируема к условиям транспортной инфраструктуры Кыргызской Республики.

Ключевые слова: контроль; система; логистика; телематика; моделирование; транспортные средства; оптимизация; прогнозирование; управление; диспетчеризация.

АВТОУНАА ЖҮК ТАШУУСУН БАШКАРУУ СИСТЕМАСЫНЫН МОДЕЛИН ИШТЕП ЧЫГУУ

М.Т. Алсеитов, Д.П. Окороков

Аннотация. Макалада техникалык, уюштуруучулук жана маалыматтык компоненттерди айкалыштырган жүк ташууну башкаруу системасынын комплекстүү модели берилген. Мониторинг, маалыматтарды иштеп чыгуу, чечимдерди кабыл алуу жана интерфейсти башкаруу подсистемаларын камтыган модулдук архитектурасы бар киберфизикалык система сунушталууда. Математикалык модель убакытты, чыгымдарды, четөөлөрдү жана тобокелдиктерди эске алган көп критерийлүү максаттуу функцияга негизделген. Телематика жана болжолдоочу алгоритмдерди колдонуу менен реалдуу убакыт режиминде ишке ашырылган башкарууга системалык-динамикалык жана дискреттик-окуялык мамиле сүрөттөлөт. Эффективдүүлүктү баалоо жүргүзүлүп, тактыкты жана чыгымдарды азайтты. Иштелип чыккан система масштабдуу жана Кыргыз Республикасынын транспорт инфраструктурасынын шарттарына ыңгайлашкан.

Түйүндүү сөздөр: контроль; система; логистика; телематика; моделдөө; транспорт каражаттары; оптималдаштыруу; болжолдоо; башкаруу; диспетчердик.

DEVELOPMENT OF A MODEL OF A MOTOR CARGO TRANSPORTATION CONTROL SYSTEM

M.T. Alseitov, D.P. Okorokov

Abstract. The article presents a comprehensive model of a road freight transportation control system that combines technical, organizational and information components. A cyber-physical system with a modular architecture is proposed, including monitoring, data processing, decision-making and interface control subsystems. The mathematical model is based on a multi-criteria objective function that takes into account time, costs, deviations and risks. The paper describes a system-dynamic and discrete-event approach to management, implemented in real time using telematics and predictive algorithms. An efficiency assessment was conducted, showing increased accuracy and reduced costs. The developed system is scalable and adaptable to the conditions of the transport infrastructure of the Kyrgyz Republic.

Keywords: control; system; logistics; telematics; modeling; vehicles; optimization; forecasting; management; dispatching.

Проблема повышения эффективности контроля грузовых автомобильных перевозок требует научно обоснованного подхода к интеграции технических, организационных и информационных средств. Возникает необходимость в построении целостной модели системы контроля, обеспечивающей мониторинг, анализ, прогнозирование и адаптацию транспортного процесса в реальном времени [1, 2].

При этом особое внимание должно уделяться разработке критериев оценки эффективности систем контроля, их структурной организации, алгоритмизации функций и возможности тиражирования решений в условиях реальной транспортной инфраструктуры Кыргызской Республики.

Современная система контроля автотранспортных перевозок должна представлять собой интегрированную информационно-управляющую структуру, включающую в себя подсистемы мониторинга, обработки данных, принятия решений и обратной связи. Главной целью моделирования является формализация логистических и управленческих процессов с целью повышения эффективности перевозок и снижения отклонений от нормативных режимов движения, графиков доставки и эксплуатации транспортных средств [3, 4].

Систему контроля можно описать как дискретно-непрерывную киберфизическую систему, функционирующую в условиях неопределённости и стохастических воздействий. Она включает в себя множество элементов:

T_i – транспортные средства;

R_i – маршруты движения;

C_k – контрольные точки;

$D(t)$ – потоки данных от телематических систем;

$U(t)$ – управляющие воздействия диспетчерского центра.

Состояние системы на момент времени t можно описать вектором:

$$\vec{X}(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)],$$

где $x_i(t)$ – параметры транспортного средства: координаты, скорость, уровень топлива, режим работы водителя и др.

Управление системой реализуется по принципу оптимизации целевой функции, включающей показатели времени, затрат, отклонений и рисков [5, 6]. Пусть:

$T_{\text{общ}}$ – суммарное время выполнения рейса;

Z – затраты на перевозку;

Δ – совокупное отклонение от нормативного маршрута;

R – уровень риска (например, на основе анализа ДТП, пробок, погодных условий).

Целевая функция может быть представлена как мультикритериальная [7]:

$$\min F = \alpha_1 T_{\text{общ}} + \alpha_2 Z + \alpha_3 \Delta + \alpha_4 R,$$

где $\alpha_i \in [0, 1]$ – коэффициенты значимости, определяемые в зависимости от приоритетов предприятия.

Ограничения на модель накладываются следующими условиями:

Необходимость соблюдения нормативов труда и отдыха:

$$t_{\text{работы}} \leq t_{\text{max}}, t_{\text{отдыха}} \geq t_{\text{норм}}.$$

Требования к допустимому уровню отклонения от маршрута:

$$\Delta_{\text{доп}} = |x_i^{\text{реал}}(t) - x_i^{\text{план}}(t)| \leq \delta.$$

Таким образом, задача контроля может быть сведена к поиску траектории и стратегии управления $U(t)$, минимизирующих целевую функцию при выполнении условий ограничений. Это позволяет сформировать базовую математическую модель системы контроля, реализуемую в рамках информационно-аналитической платформы.

Разрабатываемая система контроля грузовых автомобильных перевозок представляет собой иерархически организованную модульную структуру, включающую как технические, так и информационно-аналитические компоненты. Целью построения структуры является формализация процессов наблюдения, диагностики и управления с возможностью масштабируемости и интеграции с внешними логистическими системами [7].

Общая схема системы включает в себя четыре ключевых подсистемы:

Подсистема телематического мониторинга (ПТМ). Основная задача ПТМ – обеспечение непрерывного сбора и передачи данных с транспортных средств в режиме реального времени. Эта подсистема состоит из:

- GPS/ГЛОНАСС-модулей позиционирования;
- CAN-шинных интерфейсов с ЭБУ (электронным блоком управления);
- тахографов;
- датчиков уровня топлива, температуры и вибраций;
- GSM/LTE/5G каналов связи для передачи информации в диспетчерский центр.

Объём поступающей информации от каждого ТС можно обозначить как:

$$I_i(t) = I_i(t) = \sum_{k=1}^m S_{ik}(t),$$

где $s_{ik}(t)$ – значение k -го параметра на i -м транспортном средстве.

Подсистема обработки и хранения данных (ПОХД). Эта подсистема реализует функции фильтрации, нормализации, агрегации и хранения телематической информации. Используются базы данных реального времени (RTDBMS) и инструменты интеллектуального анализа (data mining, OLAP, SQL-движки с машинным обучением). Система классифицирует данные по видам нарушений, отклонениям и временным меткам, формируя репозитории:

$$D = \bigcup_{i=1}^n \left\{ X_i(t), \Delta_i(t), Z_i(t) \right\}.$$

Подсистема принятия управленческих решений (ППУР). На основе данных из ПОХД формируются рекомендации и управляющие воздействия. Применяется методология сценарного моделирования и нейросетевого прогнозирования. Управляющее воздействие $U(t)$ формируется на основе правила:

$$U(t) = f(X(t), \vec{P}, K),$$

где $\vec{P}$ – параметры внешней среды (дорожные условия, погода, загруженность дорог), а K – система нормативов и критериев качества.

Функция f реализуется как алгоритм принятия решения с использованием моделей fuzzy-логики или деревьев решений:

$$U(t) = \arg \min [\alpha_1 T + \alpha_2 Z + \alpha_3 \Delta + \alpha_4 R].$$

Интерфейсно-диспетчерская подсистема (ИДП). Предназначена для визуализации информации, оперативного контроля и взаимодействия с пользователями. Использует веб-платформы с картографическими модулями, панели КРП, средства для генерации отчетов и уведомлений. Поддерживаются

мобильные и облачные клиент-серверные решения с двухфакторной авторизацией и ролевым доступом к данным.

Структурная схема системы может быть формализована через ориентированный граф:

$$G = (V, E)$$

$$V = \{v_1, v_2, v_3, v_4\},$$

$$E = \{e_{ij}\}$$

где v_i – подсистемы; e_{ij} – связи передачи информации между ними. Этот подход позволяет использовать методы теории графов и теории систем при анализе устойчивости и отказоустойчивости архитектуры.

Таким образом, предложенная структура интегрированной системы контроля охватывает все ключевые этапы логистического цикла – от получения данных с объектов наблюдения до формирования управляющего воздействия и обратной связи с пользователем. Это создаёт условия для построения интеллектуальной адаптивной системы, способной к самообучению и адаптации к изменениям в транспортной среде.

Математическое моделирование в рамках системы контроля грузовых автомобильных перевозок позволяет не только формализовать процессы управления, но и создать алгоритмы автоматизированной оценки текущей ситуации и генерации управляющих воздействий. В данной работе используется системно-динамический подход, в рамках которого система рассматривается как совокупность взаимодействующих объектов в условиях изменяющихся внешних и внутренних факторов [8, 9].

1. *Формализация состояния объекта контроля.* Пусть множество контролируемых транспортных единиц обозначено как $T = \{T_1, T_2, \dots, T_n\}$, где каждая единица характеризуется набором параметров:

$$\vec{X}_i(t) = [x_{i1}(t), x_{i2}(t), \dots, x_{in}(t)],$$

где $x_{ij}(t)$ – значение j -го параметра (скорость, координаты, уровень топлива, отклонение от маршрута, режим труда и отдыха и др.) для i -го ТС в момент времени t .

2. *Логика контрольного процесса.* Процесс контроля можно представить как автомат работы с логикой переключения между различными режимами: «норма», «отклонение», «критическое состояние». Это позволяет использовать дискретно-событийный подход. Для каждой контрольной точки времени t_k определяется функция состояния:

$$S_i(t_k) = \begin{cases} 0, & \text{если все параметры в норме;} \\ 1, & \text{если есть допустимые отклонения;} \\ 2, & \text{если выявлены критические отклонения.} \end{cases}$$

Переход между состояниями описывается через условную функцию:

$$S_i(t_{k+1}) = f(S_i(t_k), \Delta \vec{X}_i(t_k), \vec{P}(t_k)),$$

где $\Delta \vec{X}_i(t_k)$ – изменение параметров за интервал $[t_{k-1}, t_k]$; $\vec{P}(t_k)$ – внешние возмущения (погодные, дорожные и др.).

3. *Целевая функция управления.* Основной задачей системы управления является минимизация совокупных потерь от несоблюдения режимов движения, простоев, перерасхода ресурсов, а также риска сбоев в логистической цепи. Общая целевая функция управления может быть задана как:

$$J = \int_{to}^{tf} [\alpha_1 \times T(t) + \alpha_2 \times Z(t) + \alpha_3 \times \Delta(t) + \alpha_4 \times R(t)] dt ,$$

где $T(t)$ – текущие затраты времени; $Z(t)$ — транспортные и операционные затраты; $\Delta(t)$ – отклонения от маршрута; $R(t)$ – интегральный риск (например, по функциям плотности ДТП на маршруте).

Коэффициенты $\alpha_i \in [0,1]$ отражают относительную значимость каждого критерия.

4. *Управляющее воздействие и обратная связь.* Для минимизации функционала J формируется вектор управляющих воздействий:

$$\vec{U}(t) = [u_1(t), u_2(t), \dots, u_k(t)],$$

где каждое $u_i(t)$ может представлять собой:

- изменение маршрута (перенаправление);
- изменение графика движения;
- ограничение скорости;
- уведомление водителя;
- инициирование технической проверки.

Процесс управления осуществляется в контуре с обратной связью, включающем автоматическую оценку эффективности:

$$\text{Эффективность} = \frac{J_{до} - J_{после}}{J_{до}} \times 100\% ,$$

где $J_{до}$, $J_{после}$ – значения целевой функции до и после применения управляющего воздействия.

5. *Использование методов прогнозирования.* Прогнозирование параметров $\vec{X}_i(t)$ осуществляется на основе моделей:

- авторегрессии (ARIMA);
- рекуррентных нейронных сетей (RNN, LSTM);
- моделей Маркова (для вероятностного анализа переходов состояний).

Для стохастического прогноза можно использовать модель:

$$x_i(t + \tau) = \phi(x_i(t), x_i(t - 1), \dots, x_i(t - n)) + \varepsilon(t) ,$$

где ϕ – модель прогнозирования; $\varepsilon(t)$ – шум, отражающий неопределённость.

Таким образом, представленная модель логики контроля и управления формирует научно обоснованный базис для построения автоматизированной системы, адаптирующейся к внешним условиям и способной к оптимизации в реальном времени.

После построения концептуальной и математической модели системы контроля грузоперевозок, интегрирующей технические, организационные и информационные подходы, необходима количественная оценка её эффективности, что позволит обосновать практическую целесообразность внедрения и определить ключевые направления оптимизации.

1. Оценка эффективности системы производится на основе сравнительного анализа показателей до и после внедрения. В качестве базовых индикаторов эффективности Q_i принимаются:

Q_1 – снижение времени простоя (ч);

Q_2 – экономия топлива (л/100 км);

Q_3 – снижение нарушений маршрута (%);

Q_4 – уменьшение числа нештатных ситуаций (ед/мес);

Q_5 – повышение точности планирования доставки (%).

Интегральный показатель эффективности определяется по формуле:

$$E_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^k w_i \times \left(\frac{Q_i^{\text{до}} + Q_i^{\text{после}}}{Q_i^{\text{до}}} \right),$$

где w_i – весовой коэффициент значимости показателя i -го уровня (определяется экспертно); $Q_i^{\text{до}}$, $Q_i^{\text{после}}$ – значения показателя до и после внедрения системы.

2. Предположим, что по результатам пилотного внедрения системы в транспортной компании зафиксированы следующие изменения, которые приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Предположительные результаты пилотного внедрения системы в транспортной компании

Показатель	До	После	Улучшение (%)
Время простоя (ч)	120	85	29,2
Расход топлива (л/100 км)	28	25,5	8,9
Нарушения маршрута (%)	15	5	66,7
Нештатные ситуации (ед.)	10	6	40
Точность доставки (%)	82	93	+13,4

При равных весах $w_i = 0,2$, интегральный эффект составит:

$$E_{\text{общ}} = 0,2 \cdot (0,292 + 0,089 + 0,667 + 0,4 + 0,134) = 0,2 \cdot 1,582 \approx 0,316.$$

Таким образом, система обеспечивает приблизительно 31,6 % интегрального повышения эффективности.

3. Анализ результатов позволяет сформулировать следующие практические рекомендации:

- Установить технические средства мониторинга (тахографы, GPS, датчики нагрузки) на всех ключевых участках транспортной цепи – это обеспечит полноту данных и мгновенный контроль.
- Развернуть централизованную информационную платформу, способную интегрироваться с ERP, CRM и логистическими системами предприятия.
- Реализовать автоматическое оповещение водителей и диспетчеров при отклонениях от норм – снижение времени на реакцию позволит оперативно устранять сбои.
- Обеспечить аналитическую обработку данных в реальном времени с возможностью прогнозирования рисков, перегрузки и сбоев.
- Периодически проводить переобучение персонала, включая водителей и логистов, по вопросам работы с системой и реагирования на сигналы тревоги.
- Интегрировать регламенты контроля в нормативную документацию – в том числе графики техосмотров, сменность труда и нормы допустимых отклонений.
- Использовать систему для аудита и обратной связи – отчёты могут использоваться при планировании маршрутов, переговорах с заказчиками и внутреннем контроле качества.

4. Разработанная система может быть масштабирована с включением следующих функций:

- внедрение искусственного интеллекта для адаптивного управления маршрутами;
- использование цифровых двойников транспортных средств для моделирования критических ситуаций;

- интеграция с государственными системами контроля (ЭРА-ГЛОНАСС, налоговые, экологические службы);
- развитие в сторону умных контрактов и блокчейн-платформ для автоматизации документооборота.

Выводы. Сформулированы практические рекомендации по внедрению предложенной системы, включая установку технических датчиков, автоматизацию мониторинга и обучение персонала. Эти рекомендации имеют универсальный характер и могут быть адаптированы к различным формам логистической деятельности, включая как внутригородские, так и международные перевозки. Таким образом, разработанная система контроля отвечает современным требованиям цифровизации транспортной отрасли, повышает управляемость логистических процессов и создаёт основу для последующего внедрения элементов предиктивной аналитики и интеллектуального управления перевозками.

Поступила: 19.05.2025; рецензирована: 02.06.2025; принята: 04.06.2025.

Литература

1. Литовченко С.Ф. Системы мониторинга и управления автотранспортом: телематические технологии / С.Ф. Литовченко, С.Н. Елисеев. М.: Горячая линия. Телеком, 2020. 296 с.
2. Галкин В.В. Интеллектуальная система управления транспортными потоками в условиях мегаполиса / В.В. Галкин, А.В. Смирнов // Вестник транспортной логистики. 2022. № 2. С. 34–41.
3. Нагорный Э.А. Информационные технологии в логистике: теория и практика / Э.А. Нагорный. М.: ИНФРА-М, 2021. 320 с.
4. Беспалов Д.А. Интеллектуальные транспортные системы: основы построения и моделирования / Д.А. Беспалов, А.С. Рыжкова. М.: Лань, 2021. 252 с.
5. Литвинов А.В. Прогнозирование и адаптивное управление транспортной системой на основе нейросетевых моделей / А.В. Литвинов, П.А. Назаров // Известия РАН. Теория и системы управления. 2021. № 6. С. 72–79.
6. Капустина Н.Е. Использование телематических данных в логистике грузовых перевозок / Н.Е. Капустина, А.А. Селезнёв // Транспортная стратегия XXI века. 2023. № 1. С. 45–52.
7. Зайцев Д.А. Математическое моделирование транспортных процессов и логистических систем / Д.А. Зайцев, С.А. Савельев. СПб.: Питер, 2020. 288 с.
8. Кондратьев С.А. Мультикритериальная оптимизация в транспортной логистике / С.А. Кондратьев // Транспорт: наука, техника, управление. 2022. № 9. С. 18–25.
9. Тихомиров А.И. Теория автоматического управления: системный подход. / А.И. Тихомиров. М.: Машиностроение, 2018. 368 с.