

УДК 629.1.07

Методологический подход формирования интеллектуальных систем управления движением высокоавтоматизированных транспортно-технологических машин на предприятиях минерально-сырьевого комплекса

Сафиуллин Равилл Нуруллович,
заведующий кафедрой, д-р техн. наук, профессор

Safravi@mail.ru
SPIN-код: 5788-6340

Ефремова Виктория Александровна,
аспирант

Vikaefr99@gmail.com

Кафедра «Транспортно-технологические процессы и машины»,
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В статье предложен методологический подход построения интеллектуальных систем управления транспортно-технологическим процессом на предприятиях минерально-сырьевого комплекса с помощью информационных, телекоммуникационных и интеграционных транспортных технологий. Разработана модель формирования инфокоммуникационных технологий интеллектуальной транспортной системы минерально-сырьевого комплекса. Предложена целевая функция оптимизации транспортно-технологических схем, основанная на технико-экономических и технико-эксплуатационных параметрах.

Ключевые слова: интеллектуальная транспортная система, предприятия минерально-сырьевого комплекса, автоматизация транспорта, инфокоммуникационные технологии

A methodological approach to building intelligent control systems for the transport and technological process at enterprises of the mineral resource complex

Safiullin Ravill Nurullovich,
Head of the Department,
Doctor of Technical Sciences, Professor

Safravi@mail.ru
SPIN-code: 5788-6340

Efremova Victoria Alexandrovna,
Graduate Student

Vikaefr99@gmail.com

Department of "Transport and Technological processes and Machines",
Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russia

Abstract. A methodological approach has been developed for building intelligent control systems for the transport and technological process at enterprises of the mineral resource complex through the integration of information, telecommunications and transport technologies. Based on the proposed methodological approach, a model for the formation of info-

communication technologies of the intelligent transport system of the mineral resource complex has been developed. The objective function of optimizing transport and technological schemes based on technical, economic and operational parameters is proposed.

Keywords: intelligent transport system, enterprises of the mineral resource complex, automation of transport, information and communication technologies

Введение. Анализ процесса цифровизации транспортной отрасли выявил противоречие между существующими требованиями, предъявляемыми к транспортным средствам минерально-сырьевого комплекса, и оснащением транспортно-технологических машин и элементов инфраструктуры. Одним из решений данной задачи является оптимизация транспортно-технологических процессов при эксплуатации транспортных средств и организации устойчивой системы информационного взаимодействия за счет внедрения бортовых информационно-управляющих систем [1, 2].

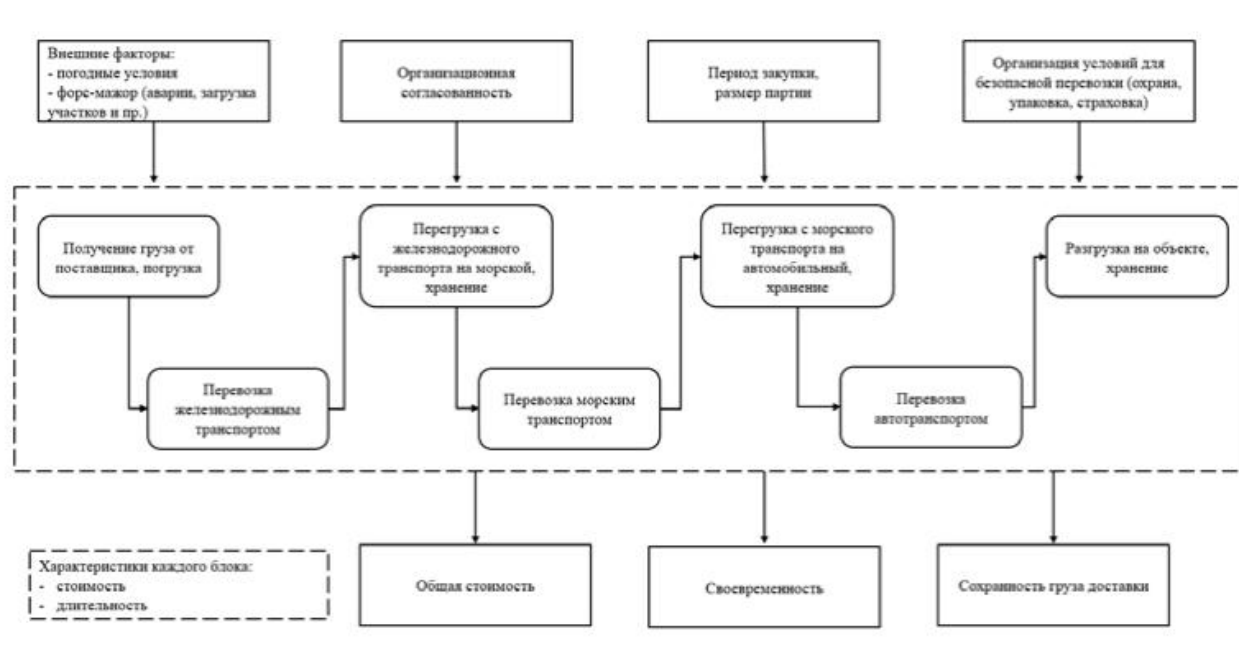


Рис. 1. Процесс транспортировки грузов и влияющие на него факторы

Помимо технологических и экономических аспектов, а также расширения объемов грузоперевозок и спектра транспортных услуг, существенное влияние на совершенствование транспортной деятельности оказывают факторы, обеспечивающие стабильность и устойчивый рост экономических отношений, что обуславливает необходимость формирования единой транспортной политики, направленной на оптимизацию соотношения между различными видами транспорта, то есть требует разработки и внедрения комплекса мер, ориентированных на удовлетворение транспортных предприятий (рис. 1). Следует также учитывать, что экономический рост неизбежно сопровождается ростом спроса на мобильность, формированием новых транспортных потоков, повышением интенсивности движения на магистральных направлениях и необхо-

димостью обеспечения доступности транспортных услуг в периферийных зонах [3, 4]. Удовлетворение этих требований предполагает значительные капитальные вложения.

Материалы и методы. Функциональные возможности системы должны обеспечивать оперативную обработку и передачу информации на объекты транспортной инфраструктуры, а также органам управления предприятий минерально-сырьевого комплекса. Кроме того, система должна обеспечивать привязку передаваемых данных к параметрам международных транспортных сетей [5, 6]. Согласно имеющемуся опыту разработки и внедрения интеллектуальных транспортных систем, их ключевым элементом выступают интеграционные процессы, объединяющие информационные технологии, телекоммуникационные средства и подвижной состав. Своевременная обработка получаемой информации и коррекция функционирования транспортно-технологических машин в процессе их эксплуатации, позволяют влиять на экономическую и технологическую эффективность предприятия [7, 8]. Изменение на 5 % одного из факторов эксплуатации горной техники влечет изменение затрат (в %) на тонну продукции согласно приведенного графика (рис. 2).

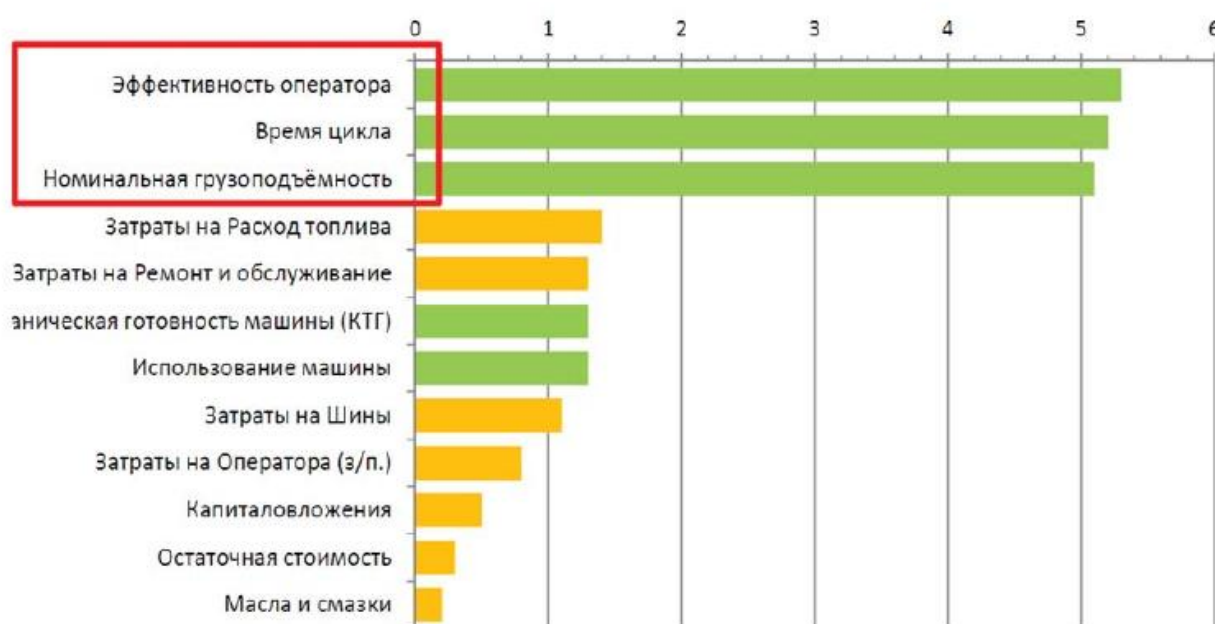


Рис. 2. Изменение затрат на тонну перевезенного груза при использовании интеграционных технологий

Развитие информационных технологий предполагает создание телекоммуникационных систем, способных повысить эффективность эксплуатации транспортно-технологических машин в области практического применения (рис. 3).

Целевая функция критерия оптимальности транспортной системы может быть выражена через один из технико-эксплуатационных или технико-экономических показателей и представляет собой значение:

$$\Pi = f(t_1, t_2, \dots, t_n),$$

где $t_1, t_2, \dots, t_n$ — характеристики транспортно-технологической схемы доставки грузов.



Рис. 3. Структура обмена информации телематических систем

Для формализации задачи оптимизации используется целевая функция критерия оптимальности, которая может быть выражена, например, через минимизацию суммарных затрат или времени доставки:

$$C_{\log} = \sum K (c_{k_{\text{trans}}} Q_k d_k + c_{k_{\text{handling}}} Q_k + c_{k_{\text{idle}}} \cdot T_{k_{\text{wait}}}) \rightarrow \min,$$

где K — количество маршрутов/потоков; Q_k — объем перевозимого сырья по маршруту k ; d_k — расстояние перевозки; $c_{k_{\text{trans}}}$ — удельная стоимость транспортировки (руб/т·км); $c_{k_{\text{handling}}}$ — удельные затраты на погрузку/выгрузку; $c_{k_{\text{idle}}}$ — издержки простоя техники; $T_{k_{\text{wait}}}$ — время ожидания в узлах перегрузки.

С целью достижения наибольшей эффективности эксплуатации предлагается использование многокритериального подхода с нормализацией и взвешиванием показателей [9, 10]. Предложенная целевая функция позволяет не только минимизировать затраты, но и обеспечивать надежность функционирования, по конкретным показателям, позволяющим учитывать специфику работы минерально-сырьевого комплекса:

$$F = \alpha \cdot C_{\max} \cdot C_{\text{total}} + (1 - \alpha) \cdot T_{\max} \cdot T_{\text{delivery}} \rightarrow \min,$$

где α — коэффициент приоритета выбранного показателя, $0 \leq \alpha \leq 1$.

Дальнейшим перспективным направлением является развитие цифровых двойников транспортно-технологических процессов, что позволит моделировать последствия сбоев и оперативно перестраивать процесс функционирования минерально-сырьевого комплекса.

Результаты. Развитие интеллектуальных транспортных систем характеризуется в первую очередь переходом на аппаратно-ориентированную технологию реализации, позволяющую сокращению временные затраты на выполнение технологических операций за счет расширения функциональных возможностей транспортно-технологических машин. В рамках общеевропейской концепции ИТС такая архитектура строится на основе взаимосвязанных телематических модулей, формирующих устойчивую и гибкую структуру.

На начальном этапе внедрения ИТС ключевым элементом ее технической базы может стать модуль экстренного оповещения. Он включает в себя навигационный приемник, совместимый с системами ГЛОНАСС и GPS, для точного определения координат транспортного средства, а также модуль сотовой связи, обеспечивающий передачу данных в диспетчерский центр. Дополнительно к этому модулю могут подключаться автомобильные датчики — например, акселерометры или системы контроля срабатывания подушек безопасности, — которые автоматически инициируют передачу сигнала при ДТП.

Развитие такой транспортной системы предполагает комплексное внедрение передовых информационных решений в деятельность транспортно-логистического сектора, а именно оснащение транспортных средств и транспортной инфраструктуры современным оборудованием, которое бы соответствовало разработанным методологическим основам и нормативным правилам, регулирующим формирование единого информационного пространства в рамках ИТС в режиме реального времени (рис. 4).

Выводы. В работе предложен методологический подход к построению интеллектуальных систем управления транспортно-технологическим процессом на предприятиях минерально-сырьевого комплекса, учитывающий интеграцию информационных, телекоммуникационных и транспортных технологий для формирования единой интеллектуальной транспортной системы. Разработана модель формирования инфокоммуникационных технологий ИТС, ориентированная на специфику МСК, и предложена целевая функция оптимизации транспортно-технологических схем, основанная на технико-экономических и технико-эксплуатационных параметрах. Предложена схема взаимодействия технологических компонентов интеллектуальной транспортной системы, позволяющих максимально эффективно наладить взаимодействие информацией между подсистемами.

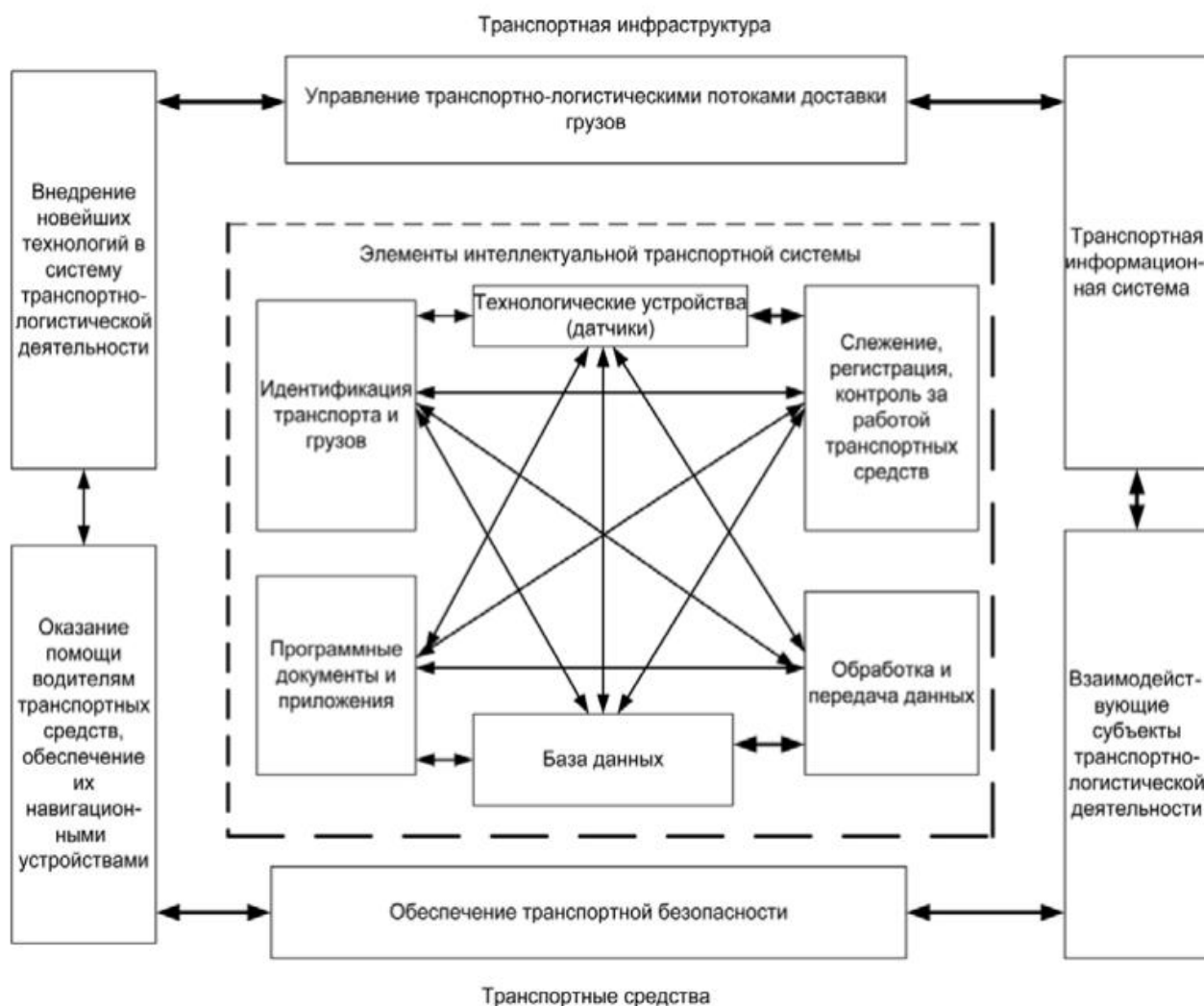


Рис. 4. Схема взаимодействия технологических компонентов интеллектуальной транспортной системы

Список источников

- [1] Клебанов А.Ф., Еремин И.В., Габусу П.А. Цифровые двойники процессов управления высокоавтоматизированными горнотранспортными комплексами. *Горная промышленность*, 2025, т. 4, с. 61–70. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-61-70>
- [21] Сафиуллин Р.Н., Кацуба Ю.Н., Унгефук А.А., Хисамутдинова Э.Л., Хохлов А.В. Бутстрэп-метод мониторинга безопасности систем управления движением высокоавтоматизированных горных машин. *Горная промышленность*, 2025, 1S, с. 73–80. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-1S-73-8012:05>
- [3] Череповицын А.Е., Третьяков Н.А. Разработка новой системы оценки применимости цифровых проектов в нефтегазовой сфере. *Записки Горного института*, 2023, т. 262, с. 628–642. EDN: QYBNMC
- [4] Аладин Д.В., Горячкин Б.С. и др. Подход к разработке модели цифрового двойника водителя высокоавтоматизированного транспортного средства на основе гибридной интеллектуальной информационной системы. *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки*, 2022, № 2–2, с. 34–40. <https://doi.org/10.37882/2223-2966.2022.02.01>

- [5] Ladanov V.I. Application of on-board information and control systems on military automotive equipment of troops. Almanac of the Perm military Institute of the National Guard troops, 2022, vol. 2 (6), pp. 85–91.
- [6] Ravi Kiran B., Sobh I., Talpaert V., Mannion P. Deep Reinforcement Learning for Autonomous Driving: A Survey. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2021, pp. 1–18. <https://doi.org/10.1109/TITS.2021.3054625>
- [7] Матрохина К.В., Трофимец В.Ю., Мазиков Е.Б., Маховиков А.Б., Хайкин М.М. Разработка методики сценарного анализа инвестиционных проектов предприятий минерально-сырьевого комплекса. *Записки Горного института*, 2023, т. 259, с. 112–124. <https://doi.org/10.31897/PMI.2023.3>
- [81] Дерябин С.А., Темкин И.О. Онтологическое моделирование и управление цифровой трансформацией архитектуры горно-добывающих предприятий. *Записки Горного института*, 2025, т. 275, с. 130–144. EDN: QIUTHS
- [9] Safiullin R., Efremova V., Ivanov B. The Method of Multi-criteria Evaluation of the Effectiveness of the Integrated Control System of a Highly Automated Vehicle. Open Transportation Journal, 2024, vol. 18, art. no. e18744478309909.
- [10] Сыркин И.С., Пашков Д.А., Дубинкин С.Д. Тенденции развития создания интеллектуальной собственности в области разработки цифровых систем диспетчеризации угольного карьера. *Интеллектуальные технологии на транспорте*, 2023, № 4 (36), с. 47–52. <https://doi.org/10.24412/2413-2527-2023-436-47-52>