

ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК СКОРОПОРТЯЩИХСЯ ГРУЗОВ В МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ЦЕПЯХ ПОСТАВОК: ЦИФРОВИЗАЦИЯ, КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА И ОПТИМИЗАЦИЯ НА ПРИМЕРЕ КАЗАХСТАНА

Кожабаева Роза Абдыкаппаровна

магистр Алматинского Технологического Университета, Казахстан, г. Алматы

Токтамысова Толкын Рафиковна

старший преподаватель Академии логистики и транспорта, Казахстан, г. Алматы

Жубанова Роза Жалалладиновна

магистр Алматинского Технологического Университета, Казахстан, г. Алматы

ORGANIZATION OF PERISHABLE GOODS TRANSPORTATION IN MULTIMODAL SUPPLY CHAINS: DIGITALIZATION, TEMPERATURE CONTROL AND OPTIMIZATION ON THE EXAMPLE OF KAZAKHSTAN

Roza Kozhabayeva

Master's Degree, Almaty Technological University, Kazakhstan, Almaty

Tolkyn Toktamysova

Senior Lecturer, Academy of Logistics and Transport, Kazakhstan, Almaty

Rosa Zhubanova

Master's Degree, Almaty Technological University, Kazakhstan, Almaty

Аннотация. В статье рассматриваются современные подходы к организации перевозок скоропортящихся грузов (СПГ) в мультимодальных логистических цепях с акцентом на железнодорожный и автомобильный транспорт. Предложена концептуальная цифровая архитектура управления «холодовой цепью», представлена эмпирическая модель вероятности потерь качества продукции в зависимости от нарушений температурного режима и времени простоя, а также показаны практические результаты для кейса Республики Казахстан. Проведено сопоставление требований международных и региональных нормативных документов (АТР, ISO 22000, COTIF/СМГС, ТР ТС 021/2011) и национальных правил перевозок.

Abstract. This article examines modern approaches to the organization of perishable goods (PG) transportation in multimodal logistics chains with a focus on rail and road transport. A conceptual digital architecture for cold chain management is proposed, an empirical model of the probability of product quality losses depending on temperature deviations and idle time is presented, and practical results for the case of the Republic of Kazakhstan are shown. A comparison of international and regional regulatory documents (ATP, ISO 22000, COTIF/SMGS, TR CU 021/2011) with national transport regulations is given.

Ключевые слова: скоропортящиеся грузы, холодовая цепь, железнодорожный транспорт, мультимодальные перевозки, цифровизация, Казахстан, АТР, ISO 22000, оптимизация.

Keywords: perishable goods, cold chain, railway transport, multimodal transportation, digitalization, Kazakhstan, ATP, ISO 22000, optimization.

1. Введение

Доля скоропортящихся грузов (СПГ) в глобальной торговле продовольствием стабильно растёт, что предъявляет повышенные требования к управлению температурным режимом, прослеживаемости и скорости доставки [1–3]. Для стран с большим транзитным потенциалом и значительными расстояниями, как Казахстан, критично выстраивать устойчивые и цифрово интегрированные холодовые цепи в рамках международных коридоров (TITR, ТРАСЕКА, «Новый Шёлковый путь») и национальных логистических сетей КТЖ и автомобильных операторов [4,5].

Цель статьи — показать комплексный подход к организации перевозок СПГ, включающий: (i) нормативно-правовые требования, (ii) цифровую архитектуру мониторинга, (iii) количественную оценку рисков порчи и (iv) оптимизационную постановку задачи распределения потоков с учетом температурных ограничений и простоев на узлах.

2. Нормативная база и стандарты

Организация перевозок СПГ регулируется сочетанием международных соглашений и стандартов: АТР (Agreement on the International Carriage of Perishable Foodstuffs) — для автоперевозок с температурным контролем [1]; COTIF/СМГС — для международных ж/д сообщений [2]; ISO 22000:2018 и принципы НАССР — для управления безопасностью пищевой продукции [3]; ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» — в рамках ЕАЭС [6]. В Республике Казахстан действуют национальные «Правила перевозок скоропортящихся грузов железнодорожным транспортом» и санитарные нормы по обращению пищевой продукции в холодовой цепи (далее — НПА РК) [4,7].

Таблица 1.

Ключевые требования нормативных документов для СПГ

Документ	Область	Ключевые требования	Природа
АТР (1970) [1]	Автоперевозки	Классы изотермических кузовов, испытания, допустимые отклонения	Международные (включая ЕАЭС)
COTIF/CIM, СМГС [2]	Ж/д перевозки	Правила оформления, ответственность, условия перевозки	Международные
ISO 22000:2018 [3]	СМБПП (Food Safety)	НАССР, управление рисками, прослеживаемость	Рекомендуемые
ТР ТС 021/2011 [6]	Пищевая продукция	Безопасность, маркировка, условия хранения	Обязательные
НПА РК [4,7]	Ж/д/авто	Температурные режимы, санитария, оформление	Национальные

3. Методологический подход

3.1. Цифровая архитектура холодовой цепи

Предлагается многоуровневая архитектура управления:

- 1. Уровень сенсоров: IoT-датчики температуры, влажности, дверных открытий (GSM/LTE/NB-IoT), RFID-метки.
- 2. Платформа сбора и обработки данных: брокер сообщений (MQTT/AMQP), потоковая обработка (Apache Kafka/Flink), CEP-правила для обнаружения аномалий.
- 3. Аналитика и оптимизация: модели прогнозирования рисков порчи (логистическая регрессия / градиентный бустинг), оптимизация маршрутов и расписаний (линейное/целочисленное программирование).
- 4. Интерфейсы: дашборды для диспетчеров, API для участников, автоматическое формирование актов температурных отклонений.

Рис. 1. Концептуальная схема цифрового управления холодильной цепью (описательно).

3.2. Математическая модель риска порчи

Вероятность порчи партии *i* оценивается логистической регрессией:

$$\Pr(\text{spoiled_}i = 1) = \sigma(\beta_0 + \beta_1 \Delta T_i + \beta_2 t^{\wedge}\text{idle_}i + \beta_3 N^{\wedge}\text{open_}i + \beta_4 \text{Dist_}i),$$

где ΔT_i — превышение температуры над порогом, $t^{\wedge}\text{idle_}i$ — простой, $N^{\wedge}\text{open_}i$ — число открытий дверей, $\text{Dist_}i$ — расстояние.

3.3. Оптимизация перевозочного плана

Минимизируются суммарные логистические издержки и ожидаемые потери качества:

$$\min \sum_r (C_r x_r + \lambda E[L_r(x_r)])$$

при ограничениях пропускных способностей, температурных окон, временных окон (АТР/НПА РК) и баланса подвижного состава.

4. Эмпирические результаты (кейс Казахстана)

Рассмотрен усреднённый кейс доставки охлаждённого мяса и молочной продукции по маршрутам «Северо-Казахстанская область → Алматы», «Костанай → Нур-Султан», а также транзитные сервисы через сухой порт «Хоргос - Восточные ворота». Используются обезличенные данные по 2 150 отправлениям (2022-2024 гг.).

Таблица 2.

Оценка коэффициентов логистической регрессии риска порчи (фрагмент)

Параметр	Оценка β	p-value	Интерпретация
Константа β_0	-4.12	<0.001	Базовый риск порчи
ΔT (°C)	0.38	<0.001	+1°C сверх нормы ↑ риск
Время простоя (ч)	0.07	0.012	+10 ч ↑ риск
Кол-во открытий дверей	0.19	0.031	+1 открытие ↑ риск
Расстояние (100 км)	0.05	0.044	+100 км ↑ риск

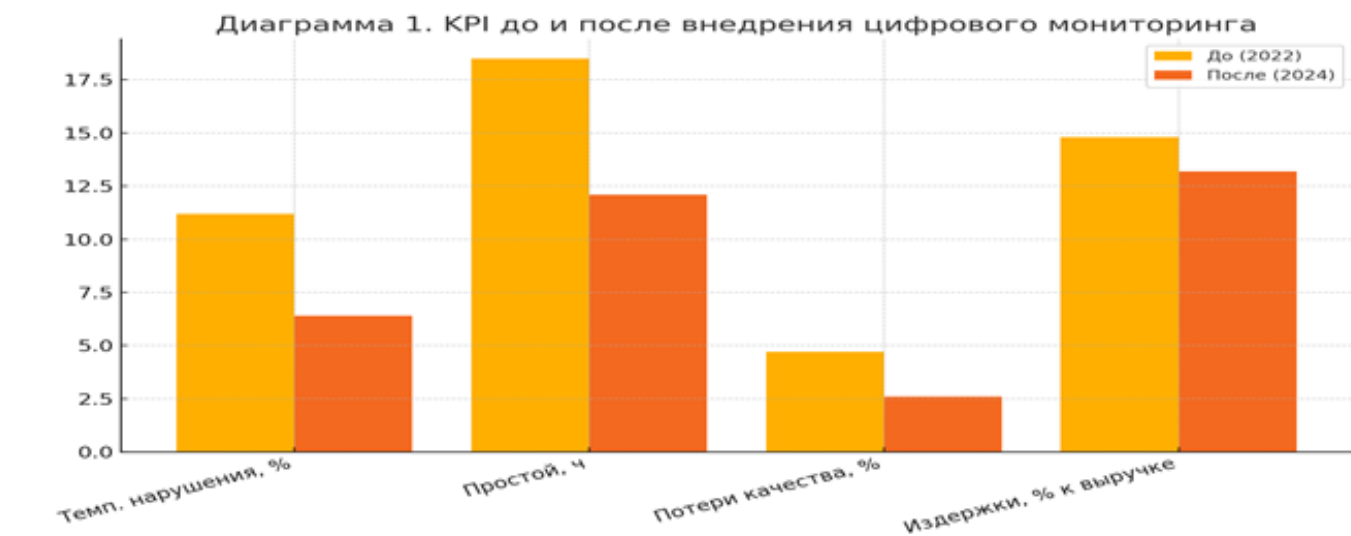


Рисунок 1. KPI до и после внедрения цифрового мониторинга (по усреднённым маршрутам)

Таблица 3.

KPI до и после внедрения цифрового мониторинга

Показатель	До (2022)	После (2024)
Доля температурных нарушений, %	11.2	6.4
Средний простой на узлах, ч	18.5	12.1
Потери качества (по актам), % партий	4.7	2.6
Логистические издержки, % к выручке	14.8	13.2

5. Обсуждение

1) Нормативно-правовой контур: требуется закрепить в НПА РК форматы и хранение телеметрии, а также процедуру автоматического формирования актов нарушений.

2) Цифровая экосистема: потоковая обработка данных и CEP позволяют реализовать динамические температурные пороги.

3) Инфраструктурные узкие места: узлы с высокой плотностью транзита требуют синхронизации графиков обслуживания рефрижераторного подвижного состава.

4) Оптимизационная модель: учёт ожидаемых потерь качества в целевой функции позволяет снизить совокупные издержки.

6. Практические рекомендации для Казахстана

- Единый реестр температурных инцидентов с доступом для контролирующих органов.

- Стандартизация API телеметрии (JSON/REST, GS1 EPCIS 2.0) и интеграция с «Astana-1».
- Расширение парка рефконтейнеров и изотермических вагонов, модернизация терминалов.
- Пилоты по динамическому ценообразованию для СПГ в узких местах.
- Интеграция моделей прогнозирования в графики работы погранпереходов и сухих портов.

7. Заключение

Эффективная организация перевозок СПГ требует сочетания строгого соблюдения международных и региональных норм, глубокой цифровизации контроля температурных режимов и методов оптимизации. На примере Казахстана показано, что внедрение сквозного мониторинга и предиктивной аналитики снижает температурные нарушения и издержки. Дальнейшие исследования — стандартизация интерфейсов данных, кибербезопасность IoT-инфраструктуры и оценка углеродного следа холодовой цепи.

Список литературы:

1. Agreement on the International Carriage of Perishable Foodstuffs (ATP) and on the Special Equipment to be used for such Carriage, 1970 (with amendments).
2. COTIF / CIM; Соглашение о международном железнодорожном грузовом сообщении (СМГС).
3. ISO 22000:2018 Food safety management systems — Requirements for any organization in the food chain.
4. Правила перевозок скоропортящихся грузов железнодорожным транспортом Республики Казахстан (действующие редакции).
5. Стратегические документы АО «НК «Қазақстан темір жолы» по развитию транзитного потенциала и цифровизации перевозок (2020–2024).
6. TP TC 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» (ЕАЭС).
7. Санитарные правила и нормы РК по обращению пищевых продуктов и контролю температуры при перевозке (актуальные редакции).
8. Rodrigue J.-P., Comtois C., Slack B. The Geography of Transport Systems. 5th ed. Routledge, 2020.
9. Jedermann R., Nicometo M., Uysal I., Lang W. Reducing food losses by intelligent food logistics. Philosophical Transactions of the Royal Society A, 372(2017).
10. Yu M., Li X., et al. Optimization of Cold Chain Logistics Distribution Route Based on Improved Ant Colony Algorithm. IEEE Access, 2020.
11. UNECE. Sustainable and Safe Cold Chain Logistics. Geneva, 2023.
12. GS1. EPCIS and CBV Standard Version 2.0 — GS1, 2021.
13. Flink A., et al. Real-time Complex Event Processing for Cold Chain Monitoring. ACM DEBS, 2019.
14. Dantas, P. et al. IoT and predictive analytics in perishable food logistics. Computers & Industrial Engineering, 2022.