

РАЗДЕЛ 3: ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ И СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Научная статья
Original article

Особенности построения информационно-технологической архитектуры типового транспортно-логистического центра

Шагов Н.С., Мамедова Н.А. *, Уринцов А.И.

Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Москва, Россия

** Автор-корреспондент: nmamedova@bk.ru*

Аннотация: Статья посвящена решению задачи оптимизации взаимодействия физической инфраструктуры и информационно-технологической архитектуры транспортно-логистического центра (ТЛЦ) как базового условия эффективной реализации логистических операций в условиях территориально-распределенной деятельности. Оптимизировать взаимодействие предложено за счет повышения операционной эффективности по двум направлениям – обеспечение учёта грузов в складской логистике и обеспечение информационной и технологической безопасности объектов ТЛЦ, как сетевого технологического комплекса. В исследовании обобщены стандартные решения, используемые для автоматизации складской и транспортной логистической деятельности. Представлен комплекс технологических и программных решений в иерархии слоев информационно-технологической архитектуры ТЛЦ на основе облачно-туманно-гранично-пользовательской модели информационной системы (CFEU-модели). Предложено дополнить комплекс стандартных решений по применению мониторинговых систем за счет технологии радиочастотной идентификации объектов для отслеживания и фиксации перемещений грузов, персонала, внешних посетителей и транспорта с применением современных IoT-решений на основе наборов датчиков.

Ключевые слова: транспортно-логистический центр, цифровая экономика в логистике, облачные технологии, облачно-туманно-гранично-пользовательская модель, сухопутная логистика, радиочастотная идентификация объектов, внешний периметр безопасности.

Для цитирования: Шагов Н.С., Мамедова Н.А., Уринцов А.И. Особенности построения информационно-технологической архитектуры типового транспортно-логистического центра. Умная цифровая экономика. 2023. Т.3, №2, с. 135-144

Features of building information technology architecture of a typical transport and logistics center

Shagov N.S., Mamedova N.A. *, Urintsov A.I.

Russian Economic University. G.V. Plekhanov, Moscow, Russia

**Corresponding author: nmamedova@bk.ru*

Abstract: The article is devoted to solving the problem of optimizing the interaction between the physical infrastructure and the information technology architecture of a transport and logistics center (TLC) as a basic condition for the effective implementation of logistics operations in a geographically distributed activity. It is proposed to optimize the interaction by increasing operational efficiency in two directions - ensuring the accounting of goods in warehouse logistics and ensuring the

information and technological security of TLC facilities as a network technological complex. The study summarizes standard solutions used to automate warehouse and transport logistics activities. A complex of technological and software solutions is presented in the hierarchy of layers of the information technology architecture of the TLC based on the cloud-fog-boundary-user model of the information system (CFEU-model). It is proposed to supplement the set of standard solutions for the use of monitoring systems with the technology of radio frequency identification of objects for tracking and fixing the movements of goods, personnel, external visitors and vehicles using modern IoT solutions based on sensor sets.

Keywords: transport and logistics center, digital economy in logistics, cloud technologies, cloud-fog-border-user model, land logistics, radio frequency identification of objects, external security perimeter.

For citation: Shagov N.S., Mamedova N.A., Urintsov A.I. Features of building information technology architecture of a typical transport and logistics center. Smart digital economy. 2023. Vol. 3, №2, pp. 135-144

Введение

Согласно Национальной программе «Цифровая экономика Российской Федерации», развитие облачных технологий для реального сектора экономики является одним из приоритетных направлений ее реализации [1]. Это согласуется с запросом организаций различных отраслей народного хозяйства о разработке и внедрении облачных решений. Наиболее актуальны они в условиях территориально-распределенной деятельности. И с учетом уже достигнутого уровня развития цифровой инфраструктуры в сфере IoT и тенденций ее развития в России [2] в среднесрочной перспективе будут востребованы решения на базе облачных, туманных и граничных технологий. Данное исследование сфокусировано на задаче развития цифровой инфраструктуры логистического комплекса и ориентировано на возможности оптимизации информационно-технологической архитектуры для типового транспортно-логистического центра.

Транспортно-логистический центр (ТЛЦ), по определению Федеральной программы «Транспортно-логистические центры» [3], представляет собой сетевой технологический комплекс как базовый элемент транспортно-технологических систем перевозки грузов, включающий в себя группу терминалов, объекты инженерной транспортной и административной инфраструктуры, необходимые для полноценного функционирования комплекса. Информационно-технологическая архитектура таких центров позволяет обслуживать нужды региональных, экспортно-импортных и транзитных грузопотоков и реализовывать для участников перевозочного процесса передовые логистические решения как в базовом варианте, так и в виде дополнительных услуг.

Разработка информационно-технологической архитектуры ТЛЦ определяется многими факторами – назначением комплекса и направлениями его деятельности, его местоположением и географическими особенностями местности, уровнем развития и доступности транспортной инфраструктуры. Естественным ограничением для разработки является выбор приоритетного типа перевозок, согласованного по транспортной инфраструктуре с принимающим груз ТЛЦ [4]. Так, структура логистического центра, предлагающего решения для автомобильного, железнодорожного, морского и авиационного транспорта, включает [5]:



Терминалы, используемые для отгрузки (отправки) и выгрузки (приёма) грузов, перемещаемых от места и к месту различными видами транспорта – автомобильным, морским, железнодорожным или авиационным.

Внутренние складские объекты для грузов и контейнеров различных типов, размеров и назначения.

Распределительный центр, управляющий входящими (из терминалов на склады) и исходящими (со складов в терминалы) потоками грузов.

Транспортный парк, который включает в себя, в зависимости от месторасположения центра и пункта назначения, одну или несколько транспортных компонент:

- стоянку для дальнебойного и малого грузового автомобильного транспорта;
- железнодорожное депо с транспортными ветками-путями;
- причал и доки для грузовых и маломерных морских судов;
- взлётную полосу для судов малой авиации, вертолётные площадки;
- отделы обслуживания и ремонта автомобильной, железнодорожной, морской и/или авиационной техники.

5. Вспомогательные структуры, занимающиеся решением задач, связанных с ведением финансовой, таможенной и иной отчётности, взаимодействием с клиентами, поддержанием исправности информационной системы ТЛЦ, оборудования и транспорта, а также физической и информационной безопасностью объектов:

- экономический отдел;
- таможенно-логистический отдел;
- информационно-технический отдел;
- отдел по работе с клиентами;
- служба безопасности объектов, включающая в себя отделы информационной безопасности и быстрого реагирования.

Методология исследования

Данное исследование проводилось на примере типового ТЛЦ, предназначенного для гражданских сухопутных перевозок железнодорожным и автомобильным путём, клиентами которого являются юридические лица. Соответственно его структура включает все элементы за исключением компонентов, предназначенных для логистических операций с применением малой авиации и морского транспорта.

Оптимальным решением, которое обеспечит возможности масштабирования деятельности ТЛЦ в соответствии с вышеприведенной физической инфраструктурой, является построение информационно-технологической архитектуры ТЛЦ на основе облачно-туманно-гранично-пользовательской модели ИС (CFEU-модели), разработанной коллективом авторов [6]. Согласно этой модели, возможные технологические и программные решения, применяемые внутри структурных подразделений ТЛЦ, располагаются согласно иерархии слоев CFEU-модели.

В верхнем, облачном, слое информационно-технологической архитектуры ТЛЦ располагается один или несколько крупных серверов, а также хранилище данных, необходимые для обработки и хранения данных по реализации сложных логистических задач управления: маршрутизации транспорта, размещения и перемещения потоков грузов внутри ТЛЦ.

В среднем, туманном, слое информационно-технологической архитектуры ТЛЦ размещается крупное магистральное сетевое оборудование, предназначенное для передачи потоков обработанных данных в облако, а также сервера и хранилища основных структурных подразделений, на которых содержатся данные, представленные в Таблице 1.

Таблица 1 - Содержимое серверов и хранилищ структурных подразделений туманного слоя

Структурное подразделение	Данные, обрабатываемые серверами, содержимое хранилищ
Складские отделы Терминалы Распределительные пункты	Данные о количестве, характеристиках и местоположении принимаемого, хранящегося и перемещаемого груза
Транспортный парк	Данные о местонахождении и передвижении транспорта в районе ТЛЦ, Данные техническом состоянии и статусе транспорта
Отдел безопасности	Данные логов и записей камер видеонаблюдения, База данных пропусков и информации о сотрудниках и посетителях, Данные отметок перемещений через КПП и зоны, Треки маршрутов и перемещений транспорта, Данные систем пожаротушения
Экономический отдел	Данные о производимых экономических операциях и расчётных взаимоотношениях с сотрудниками и заказчиками
Таможенно-логистический отдел	Данные о производимых таможенных и логистических операциях и маршрутах
Технический отдел IT-отдел	Данные о состоянии и конфигурации оборудования и вычислительной сети ТЛЦ
Отдел по работе с клиентами	Данные о клиентах, активных и выполненных заказах

Граничный слой информационно-технологической архитектуры ТЛЦ образуют проводное и беспроводное сетевое оборудование секторов, ПК и мобильные устройства сотрудников, а также уникальное оборудование отделов, представленное в Таблице 2.

Таблица 2 - Уникальное оборудование структурных подразделений в граничном слое

Структурное подразделение	Оборудование, закреплённое за подразделениями
Складские отделы Терминалы Распределительные пункты	RFID-сканеры меток на грузах, Электроника беспилотных и управляемых погрузчиков Электроника складских БПЛА, Оборудование для изготовления RFID-меток
Транспортный парк Технический отдел IT-отдел	Электроника отладочного, ремонтного и диагностического оборудования на базе микропроцессоров и микроконтроллеров
Отдел безопасности	Электроника камер видеонаблюдения и рамок безопасности, RFID- и контактные сканеры пропускной системы, устройств сигнализации и оповещения
Экономический отдел Таможенно-логистический отдел Отдел по работе с клиентами	Офисное оборудование

Самый нижний, пользовательский, слой информационно-технологической архитектуры ТЛЦ, кроме персонала как источника рабочих процессов, а также RFID-пропусков сотрудников, содержит наборы датчиков и источники рабочих процессов, представленные в Таблице 3

Таблица 3 - Датчики устройств и источники данных в пользовательском слое

Структурное подразделение	Данные, обрабатываемые серверами, содержимое хранилищ
Складские отделы Терминалы Распределительные пункты	Датчики погрузочно-разгрузочного оборудования RFID-метки на грузах
Транспортный парк	Датчики состояния и местоположения на транспорте
Отдел безопасности	Датчики камер видеонаблюдения, рамок безопасности и пропускной системы Датчики устройств сигнализации и оповещения Временные RFID-пропуска внешних посетителей
Технический отдел IT-отдел	Датчики отладочного, ремонтного и диагностического оборудования
Отдел по работе с клиентами	Клиенты как источники рабочих задач

Результаты и обсуждение

Стандартные решения

Рассмотренная выше модель CFEU, применённая в целях анализа архитектуры ТЛЦ, позволяет сконцентрировать внимание на нижних её слоях, например, для последующего составления карты информационных потоков и задания по результатам картирования эффективной логики и стратегии взаимодействия различных подразделений. Но для построения при текущем уровне развития технологий недостаточно принятия

административных решений, основанных только на оптимизации существующей материально-технической базы комплекса – необходимо также введение в эксплуатацию новых и использование актуальных технологических решений.

Для автоматизации складской и транспортной логистической деятельности на современном этапе функционирования в рамках мер по созданию и поддержке развития цифровой экономики применяется комплекс стандартных решений, включающий в себя [7]:

- учетные системы управления складом WMS (warehouse management system), работающие в полуавтоматическом режиме и отражающие события, происходящие в ТЛЦ. В настоящее время данный подход интегрируется с высокотехнологичным оборудованием, таким как роботизированные погрузчики и тележки, промышленные БПЛА, системы оптимизации и сортировки паллетной погрузки на основе массогабаритных характеристик груза;

- математические методы оцифровки топологии, пространственного и технологического моделирования процессов центра, позволяющие оценить размещение грузов по складским помещениям, грузовые потоки между складами распределительным. Данные методы являются не столь распространёнными и используются около 15-20% компаний, но с каждым годом получают всё более широкое распространение.

- системы мониторинга и трекинга, позволяющие отслеживать передвижение объектов материальных объектов, транспорта и персонала внутри склада в режиме реального времени, сопоставляя реальные процессы с оптимальной моделью для оценки эффективности её внедрения. Такие системы вводят в эксплуатацию компании, исчерпавшие, по их мнению, в плане развития ресурсы ручной оптимизации процессов.

RFID в логистике грузов

В последнее время для учёта и нахождения товаров, хранящихся на складах и перемещающихся через распределительный центр к терминалам и обратно, широкое распространение получила технология радиочастотной идентификации объектов RFID. Принцип работы технологии заключается в активации пассивных (для SHF – пассивных и активных) меток-антенн на грузах, на которых при их создании записывается информация об объекте, которая при последующей идентификации может быть считана магнитным полем специального сканера ближнего или дальнего действия [8].

Стоимость такого решения с учётом затрат на обслуживание оборудования C_{maint} включает в себя стоимость [9] ручных и зональных сканеров C_{scan} , оборудования для печати и записи меток C_{print} , а также используемых RFID-меток C_{tags} , т.е.

$$C_{\text{RFID}} = \sum_{i=1}^M C_{\text{scan } i} + \sum_{j=1}^N C_{\text{print } j} + \sum_{k=1}^{M+N} C_{\text{maint } k} + \sum_{l=1}^P C_{\text{tags } l} \quad (1)$$

Часто используемыми и наиболее распространёнными типами меток являются [10]:

RFID верхнего килогерцового (LF) и нижнего мегагерцового (HF) диапазона – ближнего радиуса действия (10 см – 3м),



RFID верхнего мегагерцового (UHF) диапазона – среднего радиуса действия (3–10 м)

RFID нижнего гигагерцового (SHF) диапазона – наибольшего радиуса действия (свыше 10 м)

Все вышеперечисленные варианты находятся в разных ценовых категориях [11], и самыми доступными из них являются LF и HF RFID. Эта доступность определяется сравнительной простотой изготовления низкочастотных пассивных антенн, а также сканеров ближнего радиуса действия, поскольку нет необходимости создания поля. Самые дорогие решения построены на базе SHF RFID, и их стоимость определяется необходимостью комплектовать RFID-сканеры и RFID-принтеры дополнительными СВЧ-модулями для работы в гигагерцовом диапазоне, а активные RFID-метки, предназначенные для этой же цели – дополнительными источниками питания, без которых метка остаётся пассивной и её считывание возможно в гораздо меньшем радиусе.

Для оптимизации затрат при решении задачи обеспечения учёта грузов в складской логистике предлагается использовать пассивные RFID-метки верхнего мегагерцового диапазона (UHF) совместно с зональными RFID-сканерами с зоной покрытия 5–15 метров [9]. Метки среднего радиуса действия позволяют удалённо в границах выделенной зоны помещения, покрываемой сканером, а не только при прямом физическом контакте, проверять и отслеживать текущее местонахождение груза на складе. При этом проверка проводится, исходя из предварительных данных о местоположении и характеристиках груза, имеющихся в базе данных зоны складского комплекса, распределительного центра или терминала. Преимуществом решения является также то, что радиус действия метки достаточен для автоматического сканирования грузов и объектов на небольшом удалении. Данное решение обеспечит экономию как на стоимости RFID-меток, так и на стоимости оборудования для их создания и считывания и, соответственно, на его обслуживании за счёт отсутствия в электронном оборудовании подобного класса дорогих гигагерцовых СВЧ-модулей.

Решение проблем безопасности

При разработке информационно-технологической архитектуры ТЛЦ вопросом, требующим решения, является обеспечение информационной и технологической безопасности объекта, для чего создаётся так называемый «внешний периметр безопасности» [12]. Он включает в себя физический внешний периметр – физическое и технологическое ограничение доступа посторонних лиц во внутренние зоны объекта, – и информационный внешний периметр – ограничение доступа клиентов ко всем внутренним данным ТЛЦ, разграничение прав различных категорий и групп сотрудников с доступом к отдельным, строго ограниченными рамками должностных обязанностей, категориям данных, а также защита от сетевых атак на IT-инфраструктуру ТЛЦ.

Контроль передвижения сотрудников и посетителей

Для эффективного решения задачи контроля за перемещением сотрудников и посторонних лиц, разграничения доступа к зонам ответственности уже недостаточно широко распространенных средств контроля физического внешнего периметра – камер видеонаблюдения, штата охранного персонала и контроля доступа к зонам по пропускам.

Сложность заключается в том, что типовые ТЛЦ состоят из множества разнородных зон, на территориях которых содержатся тысячи объектов контроля, а в случае со складскими структурами – сотни тысяч и миллионы, каждый из которых может быть выведен из строя либо незаконно вывезен с территории ТЛЦ.

В качестве практического решения предлагается вводить контроль за сигналами о местоположении мобильных устройств сотрудников и посетителей, попадающих в зону покрытия мобильной и навигационной сети на территории ТЛЦ [13], в комбинации с использованием носимых зональных RFID-пропусков, активируемых при переходах между зонами ТЛЦ и в промежуточных точках [14]. Эксплуатация подобных пропусков вместе с применением стандартных средств контроля физического периметра для наблюдения за зонами объекта позволит своевременно распознать попытки несанкционированного доступа посторонних лиц и сотрудников в зоны, не являющиеся зонами их ответственности, а также предотвратить незаконный вынос и вывоз грузов с территории ТЛЦ.

Управление движением груза

Для обеспечения соблюдения рабочего графика перевозок и целостности грузов предлагается оснастить транспорт набором датчиков контроля за состоянием и местоположением транспорта (в частности, с использованием национальной системы ЭРА ГЛОНАСС [15]). Решение включает датчики контроля уровня топлива, а также контроля присутствия на борту груза на основе датчиков положения и сканера RFID-меток. На всём пути следования транспорта данные будут передаваться по мобильной или спутниковой сети в автоматизированные системы мониторинга в туманном слое информационно-технологической архитектуры ТЛЦ отправления и ТЛЦ назначения. При возникновении нештатной ситуации (потеря груза или связи с транспортом, аварийные ситуации) это позволит предпринять оперативные меры для связи с водителем автотранспорта или машинистом состава – уточнить ситуацию, вызвать при необходимости экстренную службу, получить вводные данные для организации поиска груза. Также подобные меры позволят своевременно обнаруживать и принимать меры к пресечению слива и продажи автомобильного топлива, что является частой проблемой для работы многих логистических и транспортных предприятий [16].

Заключение

Итоговый комплекс предлагаемых решений для разработки информационно-технологической архитектуры типового ТЛЦ включает следующие компоненты: использование CFEU-модели для анализа процессов, происходящих на предприятии и построения с её помощью высокоэффективной архитектуры ТЛЦ, использование в купе с распространёнными бизнес-решениями, – использованием учетных систем управления складом, математических методов пространственной и технологической оптимизации складских процессов, мониторинговых систем, – дополнительно технологии радиочастотной идентификации объектов для отслеживания и фиксации перемещений грузов, персонала, внешних посетителей и транспорта с применением современных IoT-решений на основе наборов датчиков.



Подобный комплекс решений позволит повысить эффективность функционирования ТЛЦ и, может быть рекомендован к использованию и масштабированию в ТЛЦ сухопутной логистики при условии удачно выбранного с экономической точки зрения местоположения предприятия, обеспечивающего наличие достаточной для развертывания инфраструктуры центра свободной земельной площади в сочетании с его максимальной транспортной доступностью [17]. К факторам такой доступности относятся, например, расположение ТЛЦ в радиусе 3-5 км от крупного железнодорожного транспортного узла или станции и наличие в непосредственной близости от предприятия многополосной автомобильной магистрали и развязок для обеспечения доступности оперативного подъезда и выезда автотранспорта при условии успешного прохождения им процедур на въездных и выездных КПП.

Список литературы

1. ИТ в логистике: четыре уровня автоматизации. Retail.ru - Для ритейлера и поставщика. <https://www.retail.ru/articles/it-v-logistike-chetyre-urovnya-avtomatizatsii/> (дата обращения: 20.02.2023).
2. Лопаткин, Г. А. (2020). Формирование цифровой логистической структуры управления автомобильным транспортом. Учет и статистика, № 1(57), с. 116-125.
3. Москвичев О.В., Москвичева Е.Е. Системный анализ математических моделей размещения транспортно-логистических объектов различного уровня. Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (ВЕСТНИК ВНИИЖТ). 2022;81(3):267-276. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2022-81-3-267-276>.
4. Наука, инновации и технологии. Росстат - Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/science> (дата обращения: 15.02.2023).
5. Прайс-лист на торгово-складское оборудование. АПР-Технология Лтд. - Технологии сканирования. URL: <https://rfid-scan.ru/catalog/> (дата обращения: 15.02.2023).
6. Тихонова, Т. С. Нормирование и контроль расхода топлива на автомобильном транспорте при помощи систем спутниковой навигации / Т. С. Тихонова, М. Г. Корчажкин, Л. А. Бердников // Транспортные системы. – 2020. – № 1(15). – С. 22-27. – DOI 10.46960/62045_2020_1_22.
7. Цифровая экономика Российской Федерации. Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. URL: digital.gov.ru/ru/activity/directions/858/ дата обращения: 15.02.2023).
8. Федеральный проект «Транспортно-логистические центры» Официальный портал государственных программ Российской Федерации. URL: https://programs.gov.ru/Portal/pilot_program/24/elements/179e46eb-04d9-43ad-8f07-62107c8220bd (дата обращения: 15.02.2023).
9. Moore, R., Lopes, J., 1999. Paper templates. In TEMPLATE'06, 1st International Conference on Template Production. SCITEPRESS.
10. Lagorio, A., Cimini, C., Pinto, R. & Cavalieri, S. (2023). 5G in Logistics 4.0: potential applications and challenges. Procedia Computer Science, Volume 217, pp. 650-659, ISSN 1877-0509, DOI: 10.1016/j.procs.2022.12.261.

11. Lenko, F. (2021). Specifics of RFID Based Access Control Systems Used in Logistics Centers. *Transportation Research Procedia*, Volume 55, pp. 1613-1619, ISSN 2352-1465, DOI: 10.1016/j.trpro.2021.07.151.
12. Smith, J., 1998. *The book, The publishing company*. London, 2nd edition.
13. Shagov, N. S., Mamedova, N. A. & Urintsov, A. I. (2021). The Construction of the Graph Model and Objective Function for the Cloud-fog-edge-user [CFEU] Hybrid System, 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus), St. Petersburg, Moscow, Russia, pp. 1946-1950, DOI: 10.1109/ElConRus51938.2021.9396442.
14. Shokry, M., Awad, A.I., Abd-Ellah, M. K., Khalaf, A.A.M. (2022). Systematic survey of advanced metering infrastructure security: Vulnerabilities, attacks, countermeasures, and future vision. *Future Generation Computer Systems*, Volume 136, pp. 358-377, ISSN 0167-739X, DOI: 10.1016/j.future.2022.06.013.
15. ISO/IEC 24753:2011(en), Information technology – Radio frequency identification (RFID) for item management – Application protocol: encoding and processing rules for sensors and batteries. ISO – International Organisation for Standardization. URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:24753:ed-1:v1:en> (дата обращения: 20.02.2023).
16. Popova, I., Abdullina, E., Danilov, I., Marusin, A., Marusin Al., Ruchkina, I. & Shemyakin, A., Application of the RFID technology in logistics. *Transportation Research Procedia*, Volume 57, pp. 452-462, ISSN 2352-1465, DOI: 10.1016/j.trpro.2021.09.072.
17. Tan, W.C., Sidhu, M.S. (2022). Review of RFID and IoT integration in supply chain management. *Operations Research Perspectives*, Volume 9, 100229, ISSN 2214-7160, DOI: 10.1016/j.orp.2022.100229.

