

В. И. МЕДЕННИКОВ

ФИЦ «Информатика и управление» РАН, Москва

А. Н. РАЙКОВ

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ В ЛОГИСТИКЕ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

На основе анализа эволюции информационных технологий в мире от разрозненного учета отдельных операций до интеграции их на базе облачных технологий предлагается гибкая математическая модель трансформации управления в логистике. Для этого формируется единая цифровая логистическая платформа как связующее звено всех участников цепочки создания добавленной стоимости, включая производителей продукции, поставщиков ресурсов, потребителей продукции и логистических компаний. При этом из логистической цепочки исключаются посредники, которые не создают добавленной стоимости.

Введение. Россия в рейтинге эффективности логистики занимает 95 место в мире, поэтому потребность в цифровой трансформации данного вида деятельности очевидна. Одним из весомых факторов повышения качества логистики в стране – это совершенствование различных видов объединений между всеми участниками логистических цепочек за счет формирования единого информационного пространства цифрового взаимодействия, на основе современных методов моделирования и сквозных цифровых технологий, включая искусственный интеллект.

Обзор. В результате эволюции ИКТ в логистике можно выделить следующие виды объединений по мере степени их интеграции: субконтрактинговая сеть поставок (ССП), информационная субконтрактинговая сеть (ИСС), производственно-логистическая сеть (ПЛС) [1, 2]. В отличие от ИСС, являющейся некоторой «доской объявлений», в ПЛС единое информационное пространство (ЕИП) является площадкой планирования и управления проектами в Интернет с общей БД в «облаке», размещаются данные по выполнению логистических операций, классификаторы, нормативы, общие для всех зарегистрированных участников.

Если в концепции ПЛС в ЕИП включена лишь незначительная часть различных автономных предприятий с ограниченным набором информационного наполнения, то в концепции национальной платформы «Цифровое сельское хозяйство» авторами была предложена математическая модель формирования единой цифровой логистической платформы [3]. Настоящая работа посвящена расширению этой модели для обеспечения возможности формировать цепочки поставок произвольной конфигурации с участием уже большинства хозяйствующих субъектов практически всех отраслей страны.

При построении модели учитывалось, что особое место в развитии логистической деятельности в мире сейчас занимает ее интеллектуальная трансформация. Так, в работе [4] показывается, что без умных цепочек поставок принципиально невозможно построение «умного» города. При этом, среди умных решений следует особо выделить:

- интеллектуальные транспортные системы;
- автономная логистика, обеспечивающая беспилотное перемещение людей и грузов;
- физический интернет для максимально эффективного перемещения товара;
- интеллектуальный груз, обладающий всеми знаниями о своем перемещении;
- самоорганизующаяся логистика, которая может работать без усилий менеджеров.

Логистическая деятельность имеет различные масштабы. Так, в работе [5] отмечается, что в последние годы глобальные логистические операции, связанные с электронной торговлей, стали очень зависеть от времени. Международные курьеры сталкиваются с повседневными проблемами, связанными с временными окнами, задержками, экспресс управления поставками, безопасностью и возвратом налога на добавленную стоимость. Существуют методологии управления цепочками поставок, которые на основе принципов бережливого производства, интегрированных с концепциями Industry 4.0, уже достаточно хорошо решают эти проблемы. В работе [6] логистический параметр является одним из основных для приоритизации и сегментации экспорта агропромышленной продукции страны.

В логистике стоит выделить методы прямого решения задач с жесткой синхронизацией этапов поставки продукции, а также обратного решения задач, при которых оптимальные цепочки поставок оперативно синтезируются под вновь возникающие потребности пользователей. Немаловажное место занимают институциональные построения, механизму управления ответственностью и мотивацией, современные методы построения пространства доверия с применением блокчейн-технологий (распределенные реестры), интернета вещей, облачных и туманных вычислений.

На этом фоне представляется целесообразным предложить достаточно универсальную модель формирования оптимальных логистических цепочек.

Математическая модель. Ставится задача формирования оптимальных логистических цепочек поставки поставщиками продуктов потребителям транспортными компаниями с использованием складов на основе критерия минимизации общих затрат на продукты, транспортировку их, складские услуги. При этом должен происходить выбор поставщиков продуктов, выбор складов, выбор транспортных компаний (ТК) с загрузкой транспортных средств (ТС). В силу этого будут в комплексе решаться задачи: отслеживание транспорта, управление заказами (заявками), управление расходами на транспорт и складские услуги. Считаем, что транспортных компаний достаточно количество, чтобы удовлетворить все потребности, предложение товаров превышает спрос. Процесс управления предполагается периодическим с периодом T и все логистические операции усреднены по времени.

Переменные:

x_{ijk} – объем поставок k -го продукта из пункта j в пункт i , где $i \in I$, $k \in K$, $j \in J$;

y_{ims}^1 – объем поставок продукта из пункта s в пункт i r -м видом ТС n -й ТК, где s – номер склада, $s \in S$, $n \in N$, $r \in R$;

y_{imsh}^1 – объем поставок продукта из пункта s в пункт i r -м видом ТС n -й ТК через h -й пункт, $h \in I$;

y_{jms}^2 – объем поставок продукта из пункта j в пункт s r -м видом ТС n -й ТК;

y_{ijn}^3 – объем прямых поставок продукта из пункта j в пункт i ;

y_{ks}^4 – объемы хранения k -го продукта на s -м складе;

Уравнения и неравенства:

$\sum_j x_{ijk} = v_{ik}$, где v_{ik} – объем потребности i -го потребителя в k -ом продукте;

$\sum_i x_{ijk} \leq w_{jk}$, где w_{jk} – объем наличия k -го продукта у j -го поставщика;

$\sum_{is} y_{ims}^1 + \sum_{js} y_{jms}^2 + \sum_{ij} y_{ijn}^3 \leq D_m$, где D_m – суммарная фактическая грузоподъемность всех

ТС r -го вида у n -й ТК с учетом удельной объемной грузоподъемности, $D_m = d_r * R_n$, где R_n – количество видов ТС у n -й ТК;

балансовые соотношения: $\sum_{irns} y_{irns}^1 = \sum_{jms} y_{jms}^2$, $\sum_{jk} x_{ijk} = \sum_{rns} y_{irns}^1 + \sum_{jm} y_{ijn}^3$, $\sum_{ik} x_{ijk} = \sum_{rns} y_{jms}^2 +$

$\sum_{irn} y_{ijn}^3$, $\sum_{jm} y_{jms}^2 = \sum_k y_{ks}^4$, $y_{ims}^1 = \sum_h y_{imsh}^1$, $\sum_{irn} y_{irns}^1 = \sum_k y_{ks}^4$;

$d_r - \varepsilon_r \leq y_{ijn}^3$, где d_r – фактическая грузоподъемность r -го вида ТС, выражение определяет требование почти полной загрузки (ε_r – допустимый недозагруз) прямых поставок продукта из пункта j в пункт i r -го вида ТС n -й ТК;

$d_r - \varepsilon_r \leq \sum_i y_{imsh}^1$ – требование почти полной загрузки (ε_r – допустимый недозагруз) r -го вида ТС n -й ТК при поставке продукта из пункта s в пункт i через h -й пункт;

$\sum_k y_{ks}^4 \leq A_s$, где A_s – мощность склада s .

Критерий эффективности: $c_0 = c_1 + c_2 + c_3 + c_4 + c_5 \rightarrow \min$, где $c_1 = \sum_{irms} f_{irms}^1 y_{irms}^1, f_{irms}^1$ – расценки перевозки единицы продукта из пункта s в пункт i , $c_2 = \sum_{jrms} f_{jrms}^2 y_{jrms}^2, f_{jrms}^2$ – расценки перевозки единицы продукта из пункта j в пункт s r -м видом ТС у n -й ТК, $c_3 = \sum_{ijrn} f_{ijrn}^3 y_{ijrn}^3, f_{ijrn}^3$ – расценки перевозки единицы продукта (без перевалки) из пункта j в пункт i r -м видом ТС у n -й ТК, $c_4 = \sum_{ks} d_{ks} y_{ks}^4, d_{ks}$ – расценки на хранение и грузообработку единицы k -го продукта на s -м складе, $c_5 = \sum_{ijk} p_{jk} x_{ijk}, p_{jk}$ – цена единицы k -го продукта у j -го поставщика.

В результате получим конкретные значения $x_{ijk}^*, y_{ims}^{*1}, y_{imsh}^{*1}, y_{jrms}^{*2}, y_{ijrn}^{*3}, y_{ks}^{*4}$.

Заключение. Предложена математическая модель логистическая платформа, которая позволит наиболее эффективно внедрить технологии распределенных реестров и интеллектуальных контрактов в логистику, потенциально обеспечит отслеживание грузов в режиме реального времени, сокращение трудоемкости процесса и повышение доверия между участниками цепочки поставок.

Поддержана РФФИ, грант 18-29-03086.

ЛИТЕРАТУРА

1. Толуев Ю.И., Планковский С.И. Моделирование и симуляция логистических систем. Киев: «Миллениум», 2009. 85 с.
2. Байда В.Н., Гайдаш К.А., Ерешко Ф.И., Меденников В.И. Цифровые платформы в логистике. Сборник трудов XIII Международной научно-практической конференции «Современные сложные системы управления HTCS'2018». СТИ НИТУ «МИСиС», Старый Оскол, 2018. С. 110-113.
3. Меденников В.И., Райков А.Н. Применимость опыта цифровой трансформации в мире для формирования единой цифровой платформы сельского хозяйства России / Труды III Всероссийской с международным участием научно-практической конференции. Симферополь: ИП Зуева Т.В., 2020. С. 62-68.
4. Kaufa S. Smart logistics as a basis for the development of the smart city, *ScienceDirect, Transportation Research Procedia* 39, 2019, pp. 143–149.
5. Frontoni E., Rosetti R., Paolanti M., Alves A.C. HATS project for lean and smart global logistic: A shipping company case study, *Manufacturing Letters* 23, 2020, pp. 71–74 <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2019.12.003>
6. Raikov A., Abrosimov V. Import Countries Ranking with Econometric and Artificial Intelligence Methods. *Proc. Third International Conference Digital Transformation and Global Society, DTGS 2018, St. Petersburg, Russia, 2018, Revised Selected Papers, Part I.* p. 402-414. https://doi.org/10.1007/978-3-030-02843-5_32

V.I. Medennikov (Federal Research Center “Informatics and Control” of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia), A.N. Raikov (V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia)

Digital Transformation of Control in Logistics Based on a Mathematical Model

Based on the analysis of the evolution of information technologies in the world from separate accounting of individual operations to their integration on the basis of cloud technologies, a universal mathematical model of management transformation in logistics is proposed. For this, a single digital logistics platform is being formed as a connecting link for all participants in the chain of value-added creation, including product manufacturers, resource suppliers, product consumers, and logistics companies. At the same time, intermediaries who do not create added value are excluded from the supply chain.