УДК 656.02: 338.242.2

DOI: 10.21779/2542-0321-2017-32-4-56-62

Б.И. Алибеков¹, Э.А. Мамаев²

Мультиагентные системы в логистике: информационно-аналитические аспекты¹

¹ ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет»; Россия, 367002, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева 43а; alibekovbi@yandex.ru;

² ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения»; Россия, 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского стрелкового полка Народного ополчения, 2; tataev_enver@mail.ru

Информационные системы управления логистическими системами являются мультиагентными, реализация которых сопровождается проблемами согласования экономических интересов, решением коммуникационных и информационных задач. Рассматриваются вопросы формализованного представления интересов агентов для получения интегрированного эффекта. Структурированы интересы агентов и модели их поведения в логистической системе. Исследованы проблемы согласования информационно-аналитических решений управления логистическими процессами и представлены основные коллизии, возникающие при реализации мультиагентной информационной системы в узлах логистической системы.

Ключевые слова: мультиагентные системы управления, информационные технологии, логистические потоки, системы принятия решений, устойчивость, экономический эффект, логистическая цепь.

Введение

Функционирование логистической системы, представляемой совокупностью предприятий, обеспечивающих формирование, преобразование и прохождение материального потока в экономической системе, реализуется преимущественно через логистические предприятия. Промежуточное положение логистических предприятий между производителями, поставщиками, транспортными и сбытовыми организациями, а также высокая зависимость результатов их работы от экономической активности отраслей формируют задачи, в числе которых вопросы стратегического планирования, взаимодействия предприятий с разнородными по своим целевым ориентирам предприятиями, полное и качественное транспортно-логистическое обеспечение предприятий и др. [1, 7, 8]. При этом решение практически всех задач опирается на информационно-аналитические технологии, независимое развитие которых в логистических, промышленных и транспортных предприятиях определяют и задачи обеспечения их совместности.

С одной стороны, мультиагентные технологии в реализации информационно-управляющих систем управления логистическими процессами предприятия, безусловно, являются современным этапом развития технологий их взаимодействия. С другой стороны, эффективное взаимодействие элементов и подсистем в мультиагентной промышленно-транспортной логистической системе имеет целью поиск и реализацию оп-

¹ Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XII Международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы математики и информатики», которая прошла 19–22 сентября 2017 года в Дагестанском государственном университете (г. Махачкала, РФ).

тимальных схем их интеграции в единую логистическую систему. Решение задач координации их взаимодействия должно строиться на принципах взаимовыгодного сотрудничества при прочих равных условиях (риски, условия поставок, качество обслуживания). Интегральный эффект от реализации такой среды-системы, построенной на логистических принципах, должен быть значимым (существенным) для каждого участника логистической цепи, который определяет стратегическую цель ее функционирования [2, 3, 5].

Постановка задачи

Формализованное аналитическое представление интересов агентов в мультиагентной логистической системе имеет следующий вид. Пусть логистическая цепь (условно представляющая логистическую систему) включает n предприятий-агентов. Известны следующие данные:

T_i – максимальные трудовые ресурсы в i -м элементе логистической цепи;

M_i – максимальная мощность производственных ресурсов в i -м элементе логистической цепи;

S_i – максимальный объем ресурса (сырьевого), который может быть привлечен для функционирования (производства) i -го элемента логистической цепи;

ct_i (cm_i, cs_i) – стоимость единицы трудового ресурса (мощности, сырьевого ресурса) в обеспечении работы i -го элемента логистической цепи;

Δtm_i – потребность единицы трудового ресурса в обслуживании (обеспечении работы) единицы производственной мощности i -го элемента логистической цепи;

Δsm_i – потребность в единице производственной мощности i -го элемента логистической цепи для переработки единицы сырьевого ресурса;

Δxos_i – потребность в единице ресурса для производства единицы продукции (услуги) на i -м элементе логистической цепи;

Δxis_{i-1} – потребность в единице ресурса на i -м элементе логистической цепи для переработки продукции (услуг) от $i-1$ -го элемента логистической цепи;

cp_i – стоимость (цена) единицы производства (услуги) i -го элемента логистической цепи.

Схематически формализованный элемент логистической цепи представлен на рис. 1.

Рис. 1. Обозначения элементов логистической цепи

Требуется определить объем производства (услуг) каждым элементом логистической цепи для рационального (оптимального) функционирования логистической системы.

мы. При этом максимально возможный объем производства (потока) последнего элемента имеет значение для рынка.

Обозначим x_i объем производства i -го элемента логистической цепи, P_n – предельный спрос рынка на продукцию (услуги), генерируемую логистической цепью (системой). Тогда оптимизационная задача для функционирования логистической системы (цепи) имеет вид

$$x_n \rightarrow \max, \quad (1)$$

при ограничениях

$$x_n \leq P_n, \quad (2)$$

$$x_1 = \Delta x o s_1 s_1, \quad (3)$$

$$x_l = \Delta x o s_l s_l, \quad l = \overline{2, n}, \quad (4)$$

$$s_l = \Delta x i s_{l-1} x_{l-1}, \quad l = \overline{2, n}, \quad (5)$$

$$m_l = \Delta s m_l s_l, \quad l = \overline{1, n}, \quad (6)$$

$$t_l = \Delta t m_l m_l, \quad l = \overline{1, n}, \quad (7)$$

$$m_l \leq M_l, \quad s_l \leq S_l, \quad t_l \leq T_l, \quad l = \overline{1, n}, \quad (8)$$

$$x_l \geq 0, \quad l = \overline{1, n}, \quad (9)$$

$$c p_l x_l \geq c t_l t_l + c m_l m_l + c s_l s_l + c p_{l-1} x_{l-1}, \quad l = \overline{2, n}, \quad (10)$$

$$c p_1 x_1 \geq c t_1 t_1 + c m_1 m_1 + c s_1 s_1. \quad (11)$$

Ограничения (1), (8), (9) определяют граничные значения переменных и параметров, (3) – (7) – балансовые ограничения, (10), (11) – условия безубыточности функционирования элементов логистической цепи (системы).

В такой постановке оптимальное решение задачи определяется двумя условиями-ограничениями: (2) – предельный выпуск продукции, (10), (11) – условие безубыточности каждого элемента логистической цепи (системы). Другими словами, итерационный алгоритм пошагового увеличения (пока выполняются все ограничения) определяет решение задачи. Такое упрощение постановки и решения задачи имеет место в силу следующих допущений:

- переменные и параметры являются непрерывными,
- все зависимости линейны,
- продукция однородная для всех предприятий,
- нет условий, определяющих конкуренцию за рынок сырья, выпуска продукции (услуг) и др.

Дискретное изменение мощностей и их использования, поставок сырья и производства продукции переводит задачу в класс задач дискретной оптимизации, нелинейность зависимостей (стоимости сырья, использования мощностей и других ресурсов) приводит к появлению многоэкстремальности, многопродуктовый характер функционирования элементов логистической цепи приводит как к увеличению размерности, так и к вариативности в использовании сырья, загрузки мощностей для производства разных типов продукции, росту вариативности спроса и возможной взаимозаменяемости продукции и услуг.

Учет конкуренции приводит к системной постановке задачи, определяющей, по сути, оптимизацию функционирования логистической системы, включающей множество альтернативных цепей, логистических каналов и прочих обслуживающих предприятий и производств.

Решения

Не усложняя задачи, приведем альтернативные постановки взаимодействия предприятий в логистической системе.

1. Задача балансирования интересов агентов в логистической системе (цепи), заключающаяся в получении «равной» доли выгоды от реализации потока в логистической системе. Исходя из основных принципов функционирования экономики в условиях совершенной конкуренции, заключающейся в том, что нормы прибыли от деятельности предприятий на рынке не должны существенно разниться, имеем следующее условие функционирования логистической системы (цепи):

$$\left(\max_t \frac{cp_t x_t}{R_t} - \min_t \frac{cp_t x_t}{R_t} \right) \rightarrow \min, \quad (12)$$

где

$$R_t = \begin{cases} ct_t t_t + cm_t m_t + cs_t s_t, & \text{при } t = 1, \\ ct_t t_t + cm_t m_t + cs_t s_t + cp_{t-1} x_{t-1}, & \text{при } t \geq 2, \end{cases} \quad (13)$$

$$cp_t x_t \geq R_t. \quad (14)$$

С другой стороны, прибыльность (рентабельность) работы логистического предприятия должна быть на уровне среднерыночной. Пусть $\rho_{\text{рын}}^{\text{рын}}$ – минимальная норма рентабельности работы предприятия на рынке. Тогда (12) – (14) можно заменить следующим ограничением

$$\min_t \frac{cp_t x_t - R_t}{R_t} \geq \rho_{\text{рын}}^{\text{рын}}. \quad (15)$$

2. Для многоагентной системы, функционирующей как «единое целое», представляет интерес совокупная прибыль (чистый доход) системы

$$D_{\text{сист}} = \sum_{t=1}^n (cp_t x_t - R_t), \quad (16)$$

совокупная рентабельность

$$\rho_{\text{сист}} = \frac{\sum_{t=1}^n (cp_t x_t - R_t)}{\sum_{t=1}^n R_t}. \quad (17)$$

Условием стабильности или эффективного функционирования многоагентной системы можно считать

$$\rho_{\text{сист}} \geq \rho_{\text{рын}}^{\text{рын}}. \quad (18)$$

«Практическая задача» по перераспределению прибыли от высоколиквидных элементов цепи к низкорентабельным вполне реализуема, поскольку на практике функционирования логистических цепей наблюдается прямая экономическая поддержка элементов цепей или создания организаций холдингового типа для снижения производственно-хозяйственных рисков.

Рассматривая частные интересы предприятий в сфере логистики и транспорта, следует отметить, что при логистическом аутсорсинге экономия, получаемая предприятием, решает в первую очередь задачи агента. Составляющие эффекта от включения логистического предприятия в транспортно-технологическую цепь в общем случае предполагает:

- эффект от масштаба использования мощностей машин и механизмов, от мобильности использования средств на разных предприятиях узла, комплексного выполнения логистических, транспортно-технологических и производственных операций на базе единого плана;

- снижение рисков за счет их хеджирования между элементами логистической цепи при изменении логистического потока, уменьшение потребности в средствах на развитие основных фондов, сокращение потерь, включая штрафы за нарушение технологических регламентов и операций;

– совершенствование системы управления операционной работой транспортного, логистического и промышленного предприятий на базе универсальной и инвариантной к месту положения, материального потока (подвижного состава, грузовой единицы, единицы хранения на складе и т. д.), сокращения времени на операции за счет внедрения кроссплатформенных информационно-управляющих систем,

– повышение качества за счет профессионализма в управлении активами и операциями, экономия на резервировании компетенций работников и специалистов, привлекаемых к управлению интегрированными логистическими цепями в логистике и др.

3. Устойчивость функционирования логистической цепи (системы) в условиях конкуренции на рынке за капитал (инвестиции) зависит от вариативности рентабельности элементов цепи

$$\rho_i = \frac{CPL_i - R_i}{K_i}, \quad i = \overline{1, n}.$$

Элементы системы, для которых выполняется условие $\rho_i \geq \rho_{\min}^{\text{рын}}$ являются финансово устойчивыми, причем «высвобождающиеся» капитальные средства требуют размещения либо в самой мультиагентной логистической системе, либо в менее рискованных активах (для накопления и страхования капитала). Рассматривая ρ_i как нормально распределенную случайную величину, естественно предположить, что $M(\rho_i) \geq 0$, $i = \overline{1, n}$.

Таким образом, возникает задача из области развития интегрированной логистики – развитие логистической системы из самостоятельных агентов – экономических субъектов.

Из анализа можно заключить следующее:

– выполняется условие (18), существует вариант перераспределения средств внутри логистической системы: из элементов с $\rho_i \geq \rho_{\min}^{\text{рын}}$ в первую очередь к элементам $\rho_i \leq 0$;

– условие (18) не выполняется, но $\sum_{\rho_i > \rho_{\min}^{\text{рын}}} \rho_i - \left| \sum_{\rho_i < 0} \rho_i \right| > 0$. В этом случае логистическая система также имеет возможность самостоятельного функционирования без внешних инвестиций;

– условие (18) не выполняется и $\sum_{\rho_i > \rho_{\min}^{\text{рын}}} \rho_i - \left| \sum_{\rho_i < 0} \rho_i \right| < 0$. Тогда возможны два варианта развития. Первый объединение капитала (в форме холдинга) для обеспечения положительной рентабельности мультиагентной логистической системы. Второй – вовлечение в логистическую систему хозяйствующих экономических субъектов, имеющих рентабельность выше среднерыночной или $\rho_{\min}^{\text{рын}}$. Этот процесс может происходить в форме развития уровня логистических услуг 4PL или 5PL [4, 9].

4. Важным элементом эффективности логистического аутсорсинга является информационная интеграция логистических агентов, причем эффект от аутсорсинга не может обеспечиваться отдельными предприятиями в логистических цепях товаро- и материалопотоков. Эффект достигается за счет внедрения информационно-управляющих технологий. При этом проблема совместимости информационных систем достигается за счет реализации кроссплатформенных технологий [6, 10].

Основные коллизии в реализации мультиагентной информационной системы управления потоковыми процессами в узле следующие.

1. Каждый агент преследует цель – сокращение собственных издержек и рисков реализации потоковых процессов, что делает их малоуправляемыми или неуправляе-

мыми. Для получения агломерационного эффекта от аутсорсинга управляющая сторона как минимум должна консолидировать процессы и получить «эффект от масштаба», а как максимум – разработать систему эффективного управления этими процессами. Оба эти направления лежат в области развития мультиагентных информационных систем управления.

2. Внешняя среда предоставляет многообразие вариантов развития логистических и транспортно-технологических процессов, которые не в полной мере прописываются в технологических процессах взаимодействия агентов логистической цепи. Ограниченность описания технологических процессов приводит к задержкам и дополнительным расходам. Элиминацию издержек в связи с указанным обстоятельством можно получить использованием интегрированных информационно-управляющих систем логистических цепей.

3. Предприятия, передавая на аутсорсинг технологические процессы, оставляет за собой право на контроль над собственными активами, участвующими в этих процессах. Это приводит к ограниченности получения «эффекта от масштаба» от их использования в процессах, не относящихся к данному предприятию. Несмотря на риски, целесообразно передать активы на оперативное управление логистической компании при соответствующей компенсации за их использование в технологических процессах других предприятий (транспортные средства, дороги, подъездные пути, подъемно-транспортные средства и т. д.).

Выводы

1. Мультиагентные системы получают качественное представление для исследования в логистических системах, являющихся единым организационно-хозяйственным механизмом по отношению к рынку. Согласование интересов агентов-субъектов в таких логистических системах возможно с использованием аналитических методов оценки и распределения интегрального эффекта, получаемого системой.

2. Сложные экономические системы в логистике требуют адекватных систем управления, причем распределенность их элементов (субъектов рынка) как в географическом, так и в экономическом пространстве требует интеграции через единое информационное пространство. При этом роль кроссплатформенной информационно-управляющей системы для реализации логистических задач является доминирующей для достижения целей участников мультиагентной системы.

Литература

1. Алибеков Б.И. Логистика грузовых перевозок региональных транспортных систем: моделирование и управление; монография // Рост. гос. ун-т путей сообщения. – Ростов н/Д, 2010. – 180 с.
2. Булгаков С.В. Применение мультиагентных систем в информационных системах // Перспективы науки и образования. – 2015. – № 5 (17). – С. 136–140.
3. Гуда А.Н., Мамаев Э.А., Порицкий Э.А., Чернов А.В. Методические подходы к созданию единого информационного пространства транспортно-логистического рынка // Казанская наука. – 2013. – № 9. – С. 90–95.
4. Дутиков И.М. Внедрение электронного управления цепями поставок (E-SCM) // Логистика и управление цепями поставок. – 2016. – № 4 (75). – С. 41–51.
5. Камельский В.Д., Аксенов К.А. Разработка сервиса имитационного моделирования бизнес-процессов // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 3. – С. 133.

6. Колесников В.И., Ковалев С.М., Иванченко В.И. Интеллектуализация транспортных процессов на основе гибридных технологий и мультиагентных систем // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2012. – № 1 (45). – С. 107–113.

7. Маркелов В.М. Применение мультиагентных систем для управления логистическими системами // Славянский форум. – 2014. – № 2 (6). – С. 82–87.

8. Матюхин В.Г. Концептуальное моделирование процессов управления на железнодорожном транспорте // Управление большими системами: сборник трудов. – 2012. – № 38. – С. 20–35.

9. Юрасов В.А. Мультиагентные системы региональной логистической системы // Ученые записки Российского государственного социального университета. – 2010. – № 8. – С. 143–153.

10. Яровенко В.А., Фоменков С.А. FREEAGENT-платформа для разработки мультиагентных систем // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2012. – Т. 13, № 4 (91). – С. 164–166.

Поступила в редакцию 12 августа 2017 г.

UDC 656.02: 338.242.2

DOI: 10.21779/2542-0321-2017-32-4-56-62

Multi-agent systems of logistics: information and analytical aspects

B.I. Alibekov¹, E.A. Mamaev²

¹ Dagestan State University; Russia, 367001, Makhachkala, M. Gadzhiev st., 43a; alibekovbi@yandex.ru;

² Rostov State Transport University (RSTU); Russia, 344038, Rostov-on-Don, sq. Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya, mamaev_enver@mail.ru

Information systems for the management of logistics systems are multiagent, the implementation of which is accompanied by problems of harmonizing economic interests, solving communication and information problems. The issues of formalized representation of agents' interests for obtaining an integrated effect are considered in the article, the interests of agents and their behavior patterns in the logistical system are structured. The problems of coordination of informational and analytical solutions for the management of logistics processes are investigated in the article as well as the main collisions arising in the implementation of the multi-agent information system in the nodes of the logistics system are presented.

Keywords: *multi-agent management systems, information technologies, logistics flows, decision-making systems, sustainability, economic effect, logistics chain.*

Received 12 August, 2017