

## Логистическое проектирование цепи поставок с учетом оценки эксплуатации

© И. Н. Омельченко, Д. О. Кузнецова

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Современные динамично изменяющиеся экономические условия стимулируют развитие машиностроительных отраслей экономики. Сегодня наблюдается тенденция к улучшению координационных взаимодействий участников цепей поставки в сфере совместной разработки новых продуктов. Разработана модель координационных взаимодействий участников цепей, основанная на принципах логистического проектирования. Модель заключается в построении производственно-логистической цепи, основанной на стратегическом взаимодействии центров ключевых компетенций.*

**Ключевые слова:** логистика, логистическое проектирование, цепи поставок, машиностроение, центры ключевых компетенций.

Ведущую роль в инновационном развитии сегодня играют предприятия машиностроения в отраслях автомобильной и авиационной промышленности. Состояние инновационных отраслей экономики имеет для России исключительное значение. Развитие авиационного, ракетно-космического, энергетического, транспортного машиностроения характеризует уровень научно-технического потенциала страны, а также обеспечения ее безопасности.

Изменение рыночных условий требует внедрения инновационных концепций при проектировании производственно-логистических цепей, что позволяет компаниям создавать повышенную производительность и гибкость. С целью оптимизации производственных процессов российских машиностроительных компаний, позволяющей эффективно реагировать на динамично изменяющиеся условия внешней среды, необходимо изменить схему организации взаимодействий внутри участников процессов. Наиболее важно при этом улучшение координационных взаимодействий участников цепей поставки в сфере совместной разработки новых продуктов, что лежит в основе концепции логистического проектирования.

Взаимодействие компаний в данной области приводит к достижению следующих результатов:

- повышение эффективности производительности за счет прозрачности процессов;
- сокращение трудоемкости производственных процессов;

- выпуск продукции с улучшенными характеристиками;
- сокращение длительности производственного цикла изготовления продукции;
- сокращение потерь;
- уменьшение себестоимости изделия.

Логистическое проектирование включает концепцию производственного проектирования и охватывает весь материальный поток на множестве объектов производственно-логистической цепи. Применение концепции логистического проектирования позволяет:

- сформировать производственно-логистическую сеть;
- выделить ключевые звенья сформированной сети;
- создать цепь под разработанную конфигурацию нового продукта.

Производственно-логистическая сеть представляет интегрированные во времени и пространстве цепи поставок. Их взаимодействие, образуемое контурами прямых и обратных материальных и информационных потоков, определяет структуру сети.

Для эффективного функционирования такой системы необходимо организовать предприятия как агентов сети на основе их ключевых компетенций. Ключевые компетенции — это области деятельности предприятия с наибольшей добавленной ценностью, на которых необходимо сконцентрировать ресурсы предприятия. Цель интеграции, основанной на ключевых компетенциях, заключается в максимальном вкладе в логистическую цепь достижений в каждой отдельной области. Центры компетенции совместно прогнозируют, управляют запасами, оптимизируют технологические процессы и поставки, тем самым формируя гибкие динамичные производственно-логистические сети.

Для конфигурации цепи предлагаем использовать модель, основанную на межзаводской кооперации и специализации. Она заключается в построении производственно-логистической сети, основанной на стратегическом взаимодействии центров ключевых компетенций.

Такое взаимодействие позволяет сконцентрировать ресурсы и усилия на ключевых компетенциях, определяющих конкурентоспособность отдельного предприятия и всей производственно-логистической сети в целом.

Внедрение сформированной на основе концепции логистического проектирования производственно-логистической сети позволяет полностью оптимизировать сложные цепи поставок и значительно улучшить ключевые показатели эффективности и конкурентоспособности рынка.

Моделирование производственно-логистической цепи можно условно разделить на два этапа:

- 1) описание элементов цепи и структур;
- 2) составление плана производственно-логистической цепи [1].

Исходным пунктом моделирования цепи служит описание ее элементов и структур.

Согласно введенным обозначениям модель состоит из множества  $G = \{G_m, m \in M\}$  предприятий-изготовителей, поставщиков сырья и материалов, складских терминалов, транспортных фирм. В рамках цепи поставок может выполняться множество операций  $E = \{E_i, i \in I\}$  [7].

Для соотнесения элементов множеств  $G$  и  $E$  введем понятие ключевой компетенции, т.е. способности предприятия выполнять ту или иную операцию.

Параметр ключевой компетенции будет определяться парой  $(G_m, E_i)$ , т.е. если предприятие  $m$  может выполнять операцию  $i$ , то оно обладает компетенцией  $K_{mi}$ .

Цепь поставок может быть представлена в виде направленного графа, в котором вершины являются компетенц-единицами предприятий, а дугами обозначены технологические связи между компетенц-единицами.

Каждая компетенция характеризуется такими свойствами, как доступные производственные мощности  $T_{mi}(t)$  на каждом из интервалов времени  $t$ , стоимость выполнения работы  $c_{mi}$  и качество  $q_{mi}$ .

Для учета таких факторов, как репутация фирмы, уровень доверия, надежность поставщика, введем функцию репутации агента  $R_{mi} = f(Z_{mi}, V_i)$ , где  $Z_{mi}$  — знания об агенте  $G_m$ , по компетенции  $K_{mi}$ ,  $V_i$  — важность работы  $E_i$ . Таким образом, функция предложения агента  $G_m$  по компетенции  $K_{mi}$  может быть сформулирована так:

$$GF_{mj} = f(T_{mi}(t), c_{mi}, q_{mi}, R_{mi}). \quad (1)$$

После описания элементов цепи перейдем к составлению плана производственно-логистической цепи.

Составление плана производственно-логистической цепи состоит из следующих этапов:

- 1) определение для каждой технологической операции каждого подзаказа множество альтернативных вариантов логистических цепей;

- 2) оценка альтернативных вариантов логистических цепей с учетом соответствия требованиям заказа клиента.

Для оценки разработаем математическую модель. Введем обозначения элементов, используемые в разрабатываемой модели:

Обозначение	Определение индекса
$i (i = 1, 2, \dots, I)$	Операция, выполняемая в рамках цепи поставок
$m (m = 1, 2, \dots, M)$	Агент (предприятия) цепи поставок
$l (l = 1, 2, \dots, L)$	Вид выбранной логистической цепочки
$s (s = 1, 2, \dots, S)$	Подзаказ в рамках одного заказа
$j (j = 1, 2, \dots, J)$	Множество заданных параметров

Для заказанного клиентом конечного изделия формируется заказ  $A$ . Для описания изделия используется многоуровневая спецификация. Для каждой позиции спецификации (сырье, материалы, детали, узлы, готовое изделие) формируется отдельный подзаказ  $A_s$ .

Выполнение заказа  $A$  состоит в выполнении всех  $s$ -подзаказов. Таким образом, для выполнения заказа  $A$  в соответствии со спецификацией заказанного изделия формируется множество  $A = \{A_s, s \in S\}$  подзаказов. Для каждого подзаказа известна технология его выполнения  $D_s$ , которая представляет собой упорядоченную последовательность технологических операций  $E_i$ , ( $i = 1, 2, \dots, i_s$ ), где  $i_s$  — количество операций, необходимое для выполнения  $s$ -подзаказа. Каждому подзаказу соответствует нормативное время выполнения  $t_s > 0$ .

Заказ  $A$  должен быть выполнен в соответствии с требованиями клиента, к которым относятся желаемая дата поставки  $T_{end}^a$ , предельно допустимая стоимость заказа  $C^a$ .

Пусть  $x_{mi}^s$  — время, требуемое  $m$ -му предприятию на  $i$ -ю операцию в рамках  $s$ -го подзаказа.

Обозначим  $a_{si}^m$  — вариант технологической операции при выполнении  $i$ -й операции в рамках  $s$ -го подзаказа;  $a_{si}^m \in \Delta$ ,  $\Delta$  — множество альтернативных вариантов использования ресурсов;  $p_i^s$  — себестоимость выполнения  $i$ -й операции  $s$ -го подзаказа;  $c_{is}$  — стоимость  $i$ -й операции производства  $s$ -го подзаказа.

Лимит полезного времени в интервал времени  $t$  работы оборудования  $i$ -й операции  $m$ -го агента определим равным  $Tim(t)$ ; объем имеющихся ресурсов для  $i$ -й операции  $m$ -го агента обозначим  $Lim$ ;  $u1$  — показатель надежности логистической цепи 1,  $\delta$  — погрешность.

Агенты имеют собственные локальные цели.

Для множества заказов  $m$ -го агента двухкритериальная функция оптимизации может быть сформулирована так:

$$I_1^m = \sum_{i=1}^I T_{mi}(t) - \sum_{i=1}^I \sum_{s=1}^S x_{mi}^s(a_{si}^m) \rightarrow \min \quad (2)$$

$$I_2^m = \sum_{i=1}^i \sum_{s=1}^S c_{si}(a_{si}^m) - \sum_{i=1}^i \sum_{s=1}^S p_i^s(a_{si}^m) \rightarrow \max \quad (3)$$

при следующих ограничениях:

- ограничение на срок производства

$$\sum_{i=1}^i x_{mi}^s(a_{si}^m) \leq t_s; \quad (4)$$

- ограничение на стоимость

$$\sum_{i=1}^I c_{si}(a_{si}^m) \leq C^s; \quad (5)$$

- ограничение на уровень качества

$$\prod_{i=1}^I q_{si}(a_{si}^m) \leq Q^s; \quad (6)$$

- ограничение на ресурсы

$$\sum_{i=1}^I L_{si}(a_{si}^m) \leq L^s. \quad (7)$$

Введем параметр годовой стоимости эксплуатации  $P$  заказа  $A$ .  
Исходные данные:

$T_{\text{экс}}$  — календарная продолжительность эксплуатации конечного изделия до списания;

$\tau_{\text{экс.}j}$  — календарная продолжительность эксплуатации (назначенный ресурс)  $j$ -ого компонента до замены;

$k_{js}$  — количество  $j$ -х компонентов в составе  $s$ -го подзаказа;

$p_j^s$  — себестоимость производства  $j$ -го компонента  $s$ -го подзаказа;

$C_{sj}$  — средняя отпускная цена  $j$ -го компонента  $s$ -го подзаказа;

$J$  — общее число видов заменяемых компонентов (шт);

$T_{\text{вып}}$  — календарный период выпуска конечного изделия (год);

$n$  — средний годовой выпуск конечного изделия (шт/год).

Число замен  $j$ -го компонента за период  $T_{\text{экс}}$  (потребность в запасных компонентах):

$$z_j = \frac{T_{\text{экс}}}{\tau_{\text{экс.}j}}. \quad (8)$$

Стоимость замены компонента  $j$  в составе  $s$ -го подзаказа

$$P_{zj} = z_j \sum_{s=1}^s k_{js}(c_{js} - p_{js}). \quad (9)$$

Стоимость потребного количества заменяемых компонентов для одного конечного изделия за весь период эксплуатации:

$$P_z = \sum_{j=1}^J z_j \sum_{s=1}^s k_{js} (c_{js} - p_{js}) = T_{\text{экс}} \sum_{j=1}^J \frac{\sum_{s=1}^s k_{js} (c_{js} - p_{js})}{\tau_{\text{экс}j}}. \quad (10)$$

Годовая стоимость эксплуатации одного изделия:

$$P_z^{\text{год}} = \frac{P_z}{T_{\text{экс}}} = \sum_{j=1}^J \frac{\sum_{s=1}^s k_{js} (c_{js} - p_{js})}{\tau_{\text{экс}j}}. \quad (11)$$

Если заказ  $A$  предполагает производство  $Z$  изделий, то годовая стоимость эксплуатации заказа составит

$$P^{\text{год}} = \frac{\sum_{z=1}^Z P_z}{T_{\text{экс}}} = \sum_{z=1}^Z \sum_{j=1}^J \frac{\sum_{s=1}^s k_{js} (c_{js} - p_{js})}{\tau_{\text{экс}j}}. \quad (12)$$

Введем дополнительный критерий оптимизации для  $m$ -го агента

$$I_3^m = \sum_{z=1}^Z \sum_{j=1}^J \frac{\sum_{s=1}^s k_{js}^m (c_{js}^m - p_{js}^m)}{\tau_{\text{экс}j}} \rightarrow \max \quad (13)$$

и дополнительное ограничение

$$\sum_{j=1}^J P_{zi}^m \leq P_x^{\text{год}}. \quad (14)$$

Одновременно с решением задачи оптимизации на уровне агента производится оценка альтернативных вариантов логистических цепей с учетом соответствия требованиям заказа клиента:

$$Xa \leq T_{\text{end}}^a \mp \delta_{T_{\text{end}}^a}; \quad (15)$$

$$\sum_{m=1}^M \sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^I c_{si} (a_{si}^m) \leq C^a \mp \delta_{C^a}; \quad (16)$$

$$\prod_{m=1}^M \prod_{s=1}^S \prod_{i=1}^I q_{si} (a_{si}^m) \leq Q^a \mp \delta_{Q^a}; \quad (17)$$

$$\sum_{m=1}^M \sum_{z=1}^Z \sum_{j=1}^J P_{zi}^m \leq P^a \mp \delta_{P^a}; \quad (18)$$

$$U_{1a} \rightarrow \max, \quad (19)$$

$P^a$  — ограничение заказчика на стоимость эксплуатации заказа.

Кроме указанных можно ввести дополнительные ограничения. Логистические цепи, не удовлетворяющие основным ограничениям, из дальнейшего рассмотрения исключаются. Из множества оставшихся необходимо выбрать единственный вариант.

Для оценки целесообразно применять многокритериальный подход. В качестве критериев рассмотрим штрафные функции в зависимости от величины отклонений рассматриваемых характеристик  $f_j(\delta_j), j \in J$ .

Таким образом, функция оценки примет вид:

$$F = \{f_1(\delta_1), \dots, f_j(\delta_j)\} \rightarrow \min. \quad (20)$$

Для выбора финального варианта необходимо принять принцип оптимальности и установить веса всех локальных критериев.

Результатом является нахождение логистической цепи для каждого заказа клиентов. Найденная логистическая цепочка характеризуется:

- компетенциями  $k_{ni}$  участвующих в ней агентов;
- временем выполнения заказа —  $X_a$ ;
- себестоимостью производства  $C_a = \sum_{m=1}^M \sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^I c_{si}(a_{si}^m)$ ;
- уровнем качества  $Q_a = \prod_{m=1}^M \prod_{s=1}^S \prod_{i=1}^I q_{si}(a_{si}^m)$ ;
- надежностью логистической цепи  $U_{la}$ ,

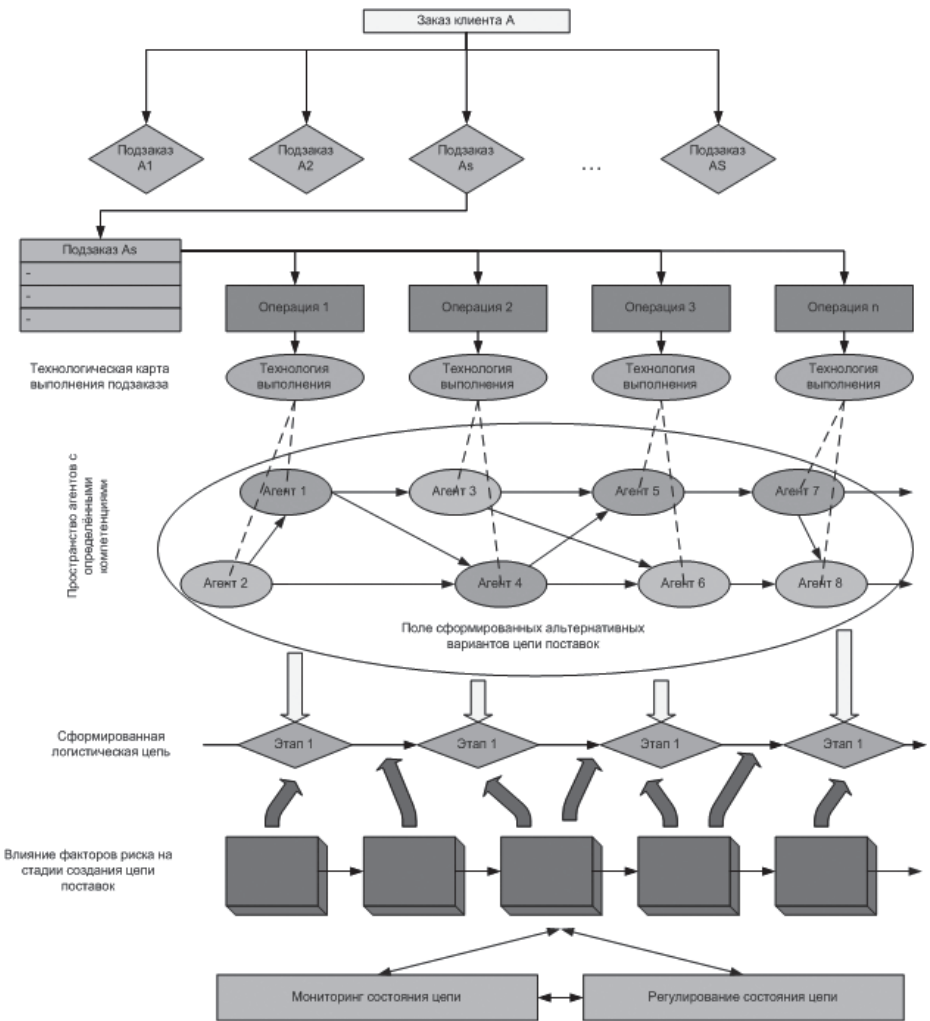
$$I_a = \{k_{mi}, X_a, C_a, Q_a, U_{la}\}.$$

Сформированная логистическая цепь позволяет:

- значительно повысить качество продукции;
- сократить сроки НИОКР;
- уменьшить затраты на производство;
- снизить стоимость эксплуатации;
- сократить время вывода на рынок продукции;
- обеспечить оптимальную загрузку производственных мощностей;
- повысить экономическую эффективность производства.

Функционирование логистической цепи является динамичным процессом, в котором неизбежны отклонения от планов производства и поставок. Данная особенность требует корректировки в процессе оперативного управления логистическими цепями. Модель мониторинга и реконфигурирования производственно-логистической цепи представлена на рисунке.

Применение концепции логистического проектирования позволяет конфигурировать производственно-логистические цепи с учетом особенностей машиностроительных предприятий. Кроме того, данный подход учитывает динамичность функционирования современных предприятий и предусматривает мониторинг возникающих изменений и отклонений.



**Модель мониторинга и реконфигурирования цепи**

Концепцию логистического проектирования можно рассматривать как новую стратегию ведения бизнеса, успешно внедренную крупнейшими мировыми лидерами — предприятиями машиностроения в отраслях автомобильного и авиастроения. Концентрация машиностроительного производства на ключевой компетенции способствует всестороннему развитию кооперации и улучшению конкурентоспособности предприятия. Формирование эффективной системы взаимодействия и кооперации машиностроительных отраслей способствует повышению конкурентоспособности промышленности и экономики страны в целом.

В завершение отметим, что развитие направления управления логистическим проектированием позволит обеспечить высокотехнологичной промышленности России долгосрочное конкурентное преимущество.



## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Иванов Д. *Логистика. Стратегическая кооперация*. Санкт-Петербург, Питер, 2005.
- [2] Кристофер М. *Логистика и управление цепочками поставок*. Санкт-Петербург, Питер, 2004.

Статья поступила в редакцию 18.10.2013

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Омельченко И.Н., Кузнецова Д.О. Логистическое проектирование цепи поставок с учетом оценки эксплуатации. *Гуманитарный вестник*, 2013, вып. 10. URL: <http://hmbul.bmstu.ru/catalog/econom/log/123.html>

**Омельченко Ирина Николаевна** — д-р техн. наук, д-р экон. наук, заведующая кафедрой «Промышленная логистика», декан факультета «Инженерный бизнес и менеджмент» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

**Кузнецова Дана Олеговна** — аспирант кафедры «Промышленная логистика» МГТУ им. Н.Э. Баумана. e-mail: [ibm3@ibm.bmstu.ru](mailto:ibm3@ibm.bmstu.ru)