

УДК 330.43

SUPPLY CHAIN COORDINATION: ПОДХОДЫ И ОБОБЩЕНИЯ

М.И. Гераськин

*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева*
Россия, 443086, Самара, Московское шоссе, 34
E-mail: innovation@ssau.ru

Д.Ю. Горохов

*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева*
Россия, 443086, Самара, Московское шоссе, 34
E-mail: Goroh63@mail.ru

Ключевые слова: цепь поставок, поставщик, ритейлер, иерархическая система

Аннотация: Рассматриваются базовые подходы к оптимизации управления цепями поставок товаров. Проведен сравнительный анализ российского и зарубежного подходов. Разработана обобщенная модель оптимального управления цепью поставок.

Координация (или управление) в цепях поставок товаров, связывающих таких игроков (агентов), как поставщики и ритейлеры, является на сегодня одним из актуальнейших разделов теории игр. Рассмотрим базовые модели этого блока идей.

Согласно классическому обзору Т. Мэлоуна, К. Кроутона [1], координация – это управление зависимостями между активностями. Особенности координации предопределены типами интеграции фирм [2]: 1) вертикальная интеграция; 2) горизонтальная интеграция. Вертикальная интеграция, трактовку которой дал О. Уильямсон [3], возникает вследствие взаимосвязей между стадиями бизнес-процесса создания товара или услуги, который включает в себя как стадии производства, так и товародвижения к конечному покупателю, и зависит от вертикальных связей между рынками [4,5]. Наиболее характерный случай вертикальных рыночных связей – это взаимоотношения поставщика (производителя) товаров и ритейлеров, осуществляющих продажу этих товаров конечному покупателю. В этом случае поставщики и ритейлеры образуют двухсекторную систему, формальное моделирование которой основано на следующих базовых предположениях (рис. 1).

Рыночную связь между производителем и ритейлером принято называть цепью поставок (supply chain). С. Ванг, насколько нам известно, одним из первых определил [6] координацию в цепях поставок (Supply chain coordination, SCC) как многоступенчатое регулирование объемов товарных и производственных запасов и заказов, адаптированное к динамике спроса конечных покупателей, производственным и логистическим мощностям. На наш взгляд, SCC – это прежде всего оптимальное регулирование, поэтому в дальнейшем рассматриваются аспекты этой проблемы с позиций методов оптимизации. Координация цепей поставок формализуется через контракты, для которых экономическая практика наработала следующие основные типы [7-10] (рис. 2).

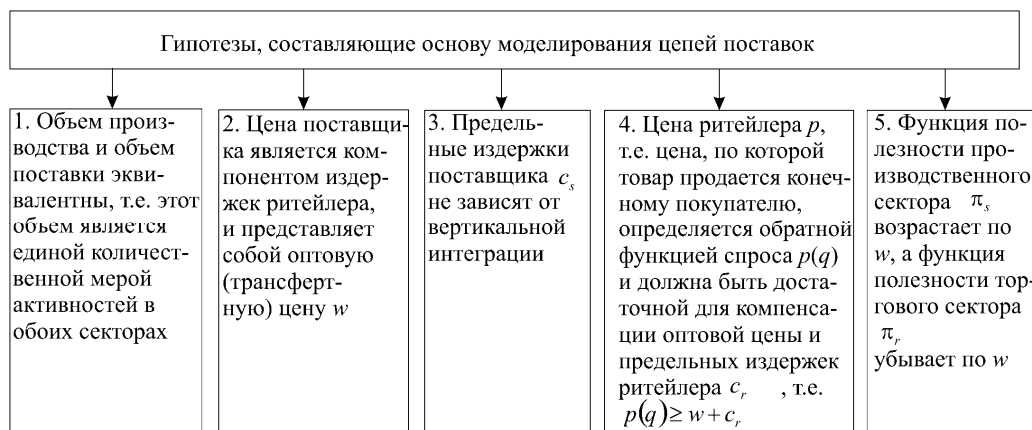


Рис. 1. Предположения, на которых базируется моделирование цепей поставок.

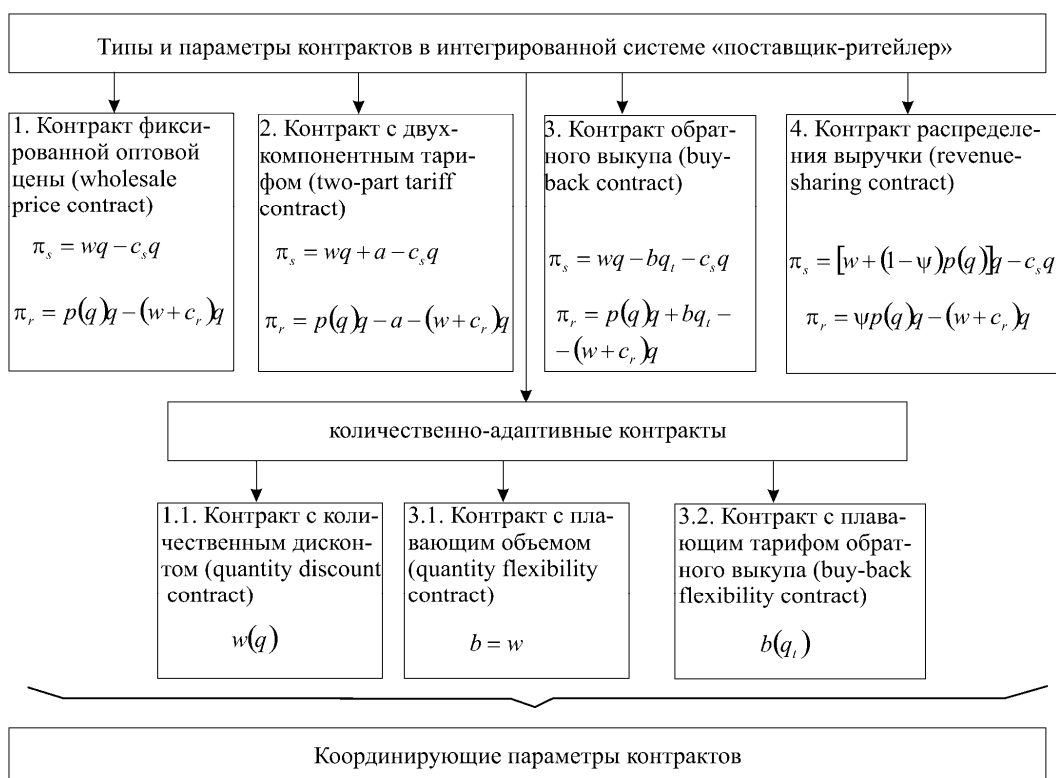


Рис. 2. Характеристики контрактов в системе «поставщик-ритейлер».

Анализ этих типов контрактов показывает, что равновесное состояние цепи поставок достигается за счет выбора одного или нескольких координирующих параметров. Координирующий параметр – это такой компонент, одновременно присутствующий в функциях полезности поставщика и ритейлера, изменение которого в определенных диапазонах приводит к увеличению функции полезности одного из секторов цепи поставок и уменьшению функции полезности другого сектора.

В количественно-адаптивных контрактах [11-13] координация цепей поставок требует решения задачи оптимального выбора нескольких параметров, и возникает иерархия задач с повышением уровня сложности (рис. 3).

Наряду с рассмотренным выше качественным принципом классификации цепей поставок существуют и иные подходы. Количественные принципы классификации цепей поставок следующие: 1) число каналов товародвижения; 2) число агентов цепи поставок. Двухканальная цепь поставок [14, 15] возникает в случае, если поставщик

наряду с первым каналом продажи через ритейлера использует второй канал продажи товаров в сети Интернет.

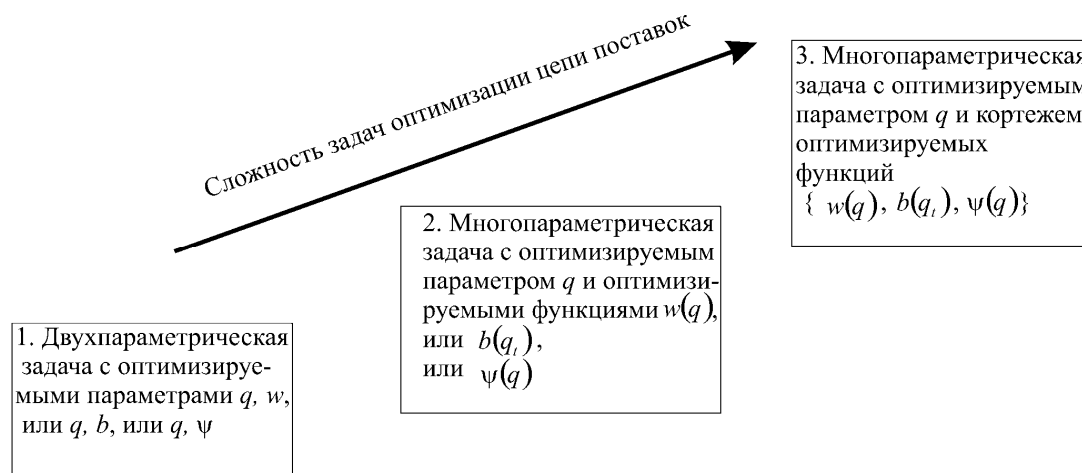


Рис. 3. Иерархия задач оптимизации цепи поставок.

В отечественной литературе, как свидетельствует обзор Д.А. Новикова и А.В. Лысакова [16], большинство исследований проблемы управления цепями поставок сконцентрировано на аналогичной проблеме взаимодействия «поставщик-заказчик», которые рассматривались как *иерархическая игра «центр-агент»* [17] (рис. 4).

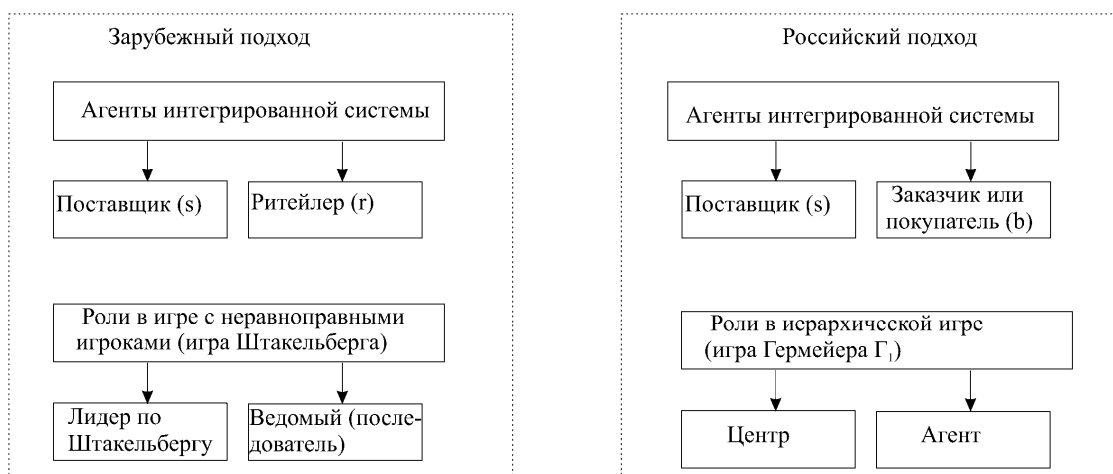


Рис. 4. Терминология в двухагентной системе (сравнительный анализ российского и зарубежного подходов).

Сформируем модель мультиагентной и многоканальной цепи поставок, в которой задействованы S поставщиков и R ритейлеров, т.е. обозначим каждую цепь двойным индексом jn , подразумевая, что эта цепь соединяет j -го поставщика ($j = 1, \dots, S$) с n -м ритейлером ($n = 1, \dots, R$). Обозначим канал поставки индексом k ($k = r, l, \dots, K$), причем канал $k=r$ соответствует поставке через ритейлера, канал $k=l$ выражает прямую поставку через сеть Интернет. Соответственно, обозначим объем товара q_{jnk} , $j \in A_s = \{1, \dots, S\}$, $n \in A_r = \{1, \dots, R\}$, $k \in A_k = \{r, l, \dots, K\}$, реализуемого через цепь jnk . Введем следующие матрицы.

Матрица объемов поставок характеризует товарные потоки между всеми поставщиками и ритейлерами через все каналы:

$$\mathbf{q}(\boldsymbol{\theta}) = \begin{bmatrix} \mathbf{q}_k(\boldsymbol{\theta}) \\ 1 \\ \mathbf{q}_t \end{bmatrix},$$

причем

$$\mathbf{q}_k(\boldsymbol{\theta}) = \begin{bmatrix} \mathbf{q}_r(\boldsymbol{\theta}) \\ \mathbf{q}_l(\boldsymbol{\theta}) \end{bmatrix}, \boldsymbol{\theta} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{\theta}_r \\ \boldsymbol{\theta}_l \\ \dots \\ \boldsymbol{\theta}_K \end{bmatrix}, \mathbf{q}_r(\boldsymbol{\theta}) = \begin{bmatrix} q_{11r}(\theta_{1r}) & \dots & q_{1Rr}(\theta_{1r}) \\ \dots & q_{jnr}(\theta_{jr}) & \dots \\ q_{S1r}(\theta_{Sr}) & \dots & q_{SRr}(\theta_{Sr}) \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{q}_l(\boldsymbol{\theta}) = \begin{bmatrix} q_{11l}(\theta_{1l}) & \dots & q_{1Rl}(\theta_{1l}) \\ \dots & q_{jnl}(\theta_{jl}) & \dots \\ q_{S1l}(\theta_{Sl}) & \dots & q_{SRl}(\theta_{Sl}) \end{bmatrix},$$

где q_{ij} – объем товародвижения между j – м поставщиком и n – м ритейлером; $\boldsymbol{\theta}$ – матрица коэффициентов распределения товародвижения между каналами по всем поставщикам; $\boldsymbol{\theta}_k = \{\theta_{1k}, \dots, \theta_{Sk}\}$ – вектор долей поставки j -го поставщика, направленной покупателю через k – й канал, $q_{jnr} = \theta_{jk}q_{jn}$.

Матрица цен поставщиков отражает платежи, поступающие поставщикам от ритейлеров:

$$\mathbf{P}_s(\mathbf{q}, \mathbf{w}, \boldsymbol{\Psi}, \mathbf{a}) = \begin{bmatrix} \mathbf{w} + (\mathbf{I} - \boldsymbol{\Psi})\mathbf{p}(\mathbf{q}) \\ \mathbf{a} \\ 0 \end{bmatrix},$$

причем

$$\mathbf{p}(\mathbf{q}) = \begin{bmatrix} \mathbf{p}_r(Q_r) \\ \mathbf{p}_l(Q_l) \end{bmatrix}, Q_r = \sum_{j \in A_S} q_{jr}, Q_l = \sum_{j \in A_S} q_{jl}, \mathbf{a} = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1R} \\ \dots & a_{jn} & \dots \\ a_{S1} & \dots & a_{SR} \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{w} = \begin{bmatrix} w_{11} & \dots & w_{1R} \\ \dots & w_{jn} & \dots \\ w_{S1} & \dots & w_{SR} \end{bmatrix}, \boldsymbol{\Psi} = \begin{bmatrix} \psi_{11} & \dots & \psi_{1R} \\ \dots & \psi_{jn} & \dots \\ \psi_{S1} & \dots & \psi_{SR} \end{bmatrix},$$

где $\mathbf{p}(\mathbf{q})$ – вектор обратных функций спроса конечных покупателей на товар через k – й канал; \mathbf{I} – единичный вектор или единичная матрица; Q_r – суммарный объем продаж всех поставщиков через ритейлеров; Q_l – суммарный объем продаж всех поставщиков через Интернет; $\mathbf{a}, \mathbf{w}, \boldsymbol{\Psi}$ – матрицы координирующих параметров в контрактах, компоненты которых выражают следующее: a_{jn} – параметр двухкомпонентного тарифа контракта между j – м поставщиком и n -м ритейлером; w_{jn} – оптовая цена контракта между j – м поставщиком и n – м ритейлером; ψ_{jn} – параметр распределения выручки между j -м поставщиком и n -м ритейлером.

Матрица цен ритейлеров характеризует розничную цену, а также трансфертные комиссии в расчетах с поставщиками:

$$\mathbf{P}_r(\mathbf{q}, \boldsymbol{\Psi}, \mathbf{b}) = \begin{bmatrix} \boldsymbol{\Psi}\mathbf{p}(\mathbf{q}) \\ -\mathbf{a} \\ \mathbf{b} \end{bmatrix}, \mathbf{b} = \begin{bmatrix} b_{11} & \dots & b_{1R} \\ \dots & b_{jn} & \dots \\ b_{S1} & \dots & b_{SR} \end{bmatrix},$$

где \mathbf{b} – матрица координирующих параметров в контрактах с обратным выкупом, компоненты которой b_{jn} означает тариф выкупа между j – м поставщиком и n – м ритейлером.

Матрицы удельных (на единицу товара) издержек поставщика и ритейлера:

$$\mathbf{c}_s(\mathbf{b}) = \begin{bmatrix} \mathbf{c}_s \\ 0 \\ \mathbf{b} \end{bmatrix}, \mathbf{c}_r(\mathbf{w}) = \begin{bmatrix} \mathbf{w} + \mathbf{c}_r \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix},$$

компоненты которых c_{sj}, c_{rn} – удельные издержки j – го поставщика и n – го ритейлера.

В результате формируются матричные функции полезности производственного и торгового секторов $\boldsymbol{\pi}_i, i = s, r$ следующего вида:

$$\boldsymbol{\pi}_s = \mathbf{P}_s(\mathbf{q}, \mathbf{w}, \boldsymbol{\Psi}, \mathbf{a})\mathbf{q}(\boldsymbol{\theta}) - \mathbf{c}_s(\mathbf{b})\mathbf{q}(\boldsymbol{\theta}), \boldsymbol{\pi}_r = \mathbf{P}_r(\mathbf{q}, \boldsymbol{\Psi}, \mathbf{b})\mathbf{q}(\boldsymbol{\theta}) - \mathbf{c}_r(\mathbf{w})\mathbf{q}(\boldsymbol{\theta}).$$

Следовательно, можно сформулировать оптимизационные модели производственного и торгового секторов в интегрированной мультиагентной и многоканальной цепи поставок:

$$\max_{\mathbf{q}, \mathbf{w}, \boldsymbol{\psi}, \mathbf{a}, \boldsymbol{\theta}, \mathbf{b}} \pi_s = \mathbf{P}_s(\mathbf{q}, \mathbf{w}, \boldsymbol{\psi}, \mathbf{a})\mathbf{q}(\boldsymbol{\theta}) - \mathbf{c}_s(\mathbf{b})\mathbf{q}(\boldsymbol{\theta}), \quad \max_{\mathbf{q}, \mathbf{w}, \boldsymbol{\psi}, \mathbf{a}, \boldsymbol{\theta}, \mathbf{b}} \pi_r = \mathbf{P}_r(\mathbf{q}, \boldsymbol{\psi}, \mathbf{b})\mathbf{q}(\boldsymbol{\theta}) - \mathbf{c}_r(\mathbf{w})\mathbf{q}(\boldsymbol{\theta}).$$

Таким образом, в задаче управления мультиагентной и многоканальной цепью поставок оптимизируется матрица координирующих параметров управления \mathbf{u} , компонентами которой являются векторы этих параметров, т.е.

$$\mathbf{u} = \{\mathbf{q}, \mathbf{w}, \boldsymbol{\psi}, \mathbf{a}, \mathbf{b}, \boldsymbol{\theta}\}.$$

Это обстоятельство относит рассматриваемую задачу к *векторным задачам математического программирования*, которые являются наиболее сложными среди задач исследования операций.

Список литературы

1. Malone T.W., Crowston K. The interdisciplinary study of coordination // ACM Computing Surveys. 1993. Vol. 26, No. 1. P. 87-119.
2. Baligh H., Richartz L. Vertical Market Structures. Boston: Allyn and Bacon. 1967.
3. Williamson, O. The Vertical Integration of Production: Market Failure Considerations // American Economic Review. 1971. No. 51. P. 112-123.
4. Machlup F., Taber M. Bilateral Monopoly, Successive Monopoly and Vertical Integration // Economica. 1960. No. 27. P. 101-119.
5. Mathewson G., Winter R. An Economic Theory of Vertical Restraints // The Rand Journal of Economic. 1984. Vol. 15, No. 1. P. 27-38.
6. Whang S. Coordination in operations: A taxonomy // Journal of Operations Management. 1995. Vol. 12, No. 3,4. P. 413-422.
7. Cachon G.P. Supply chain coordination with contracts // Supply chain management: Design, coordination and operation. Handbooks in Operations Research and Management Science. 2003. Vol. 11. P. 229-339.
8. Berezinets I., Meshkova M., Nikolchenko N. The problem of supply chain profit maximization using sales rebate contract // Contributions to game theory and management. 2019. No. 12. P. 70-99.
9. Giannoccaro I. Supply chain coordination by revenue sharing contracts // International Journal of Production Economics. 2004. No. 89. P. 131-139.
10. Зенкевич Н. А., Гладкова М. А. Координирующие долевыe контракты в цепочке создания ценности: на примере киноиндустрии США // Вестник СПбГУ. Менеджмент. 2018. Т. 17, № 1. С. 26-45.
11. Быкадоров И. А., Коковин С. Г., Желободько Е. В. Товарное разнообразие в вертикальном распределительном канале при монополистической конкуренции // Управление большими системами. 2011. № 35. С. 165–206.
12. Cachon G. Competitive and cooperative inventory management in a two-echelon supply chain with lost sales // Operations, Information and Decisions Papers. 1999. No. 1. P. 1-34.
13. Zhang B. Supply chain coordination based on a buyback contract under fuzzy random variable demand // Fuzzy Sets Systems. 2014. No. 255. P. 1-16.
14. Huang S., Yang C., Zhang X. Pricing and production decisions in dual-channel supply chains with demand disruptions // Computers & Industrial Engineering. 2012. Vol. 62, No. 1. P. 70-83.
15. Modak N., Panda S., Sana S., Basu M. Corporate social responsibility, coordination and profit distribution in a dual-channel supply chain // Pacific Science Review. 2014. No. 16. P. 235-249.
16. Новиков Д.А., Лысаков А.В. Договорные отношения в управлении проектами. М.: ИПУ РАН. 2004. 100 с.
17. Гермейер Ю.Б. Игры с противоположными интересами. М.: Наука, 1976. 340 с.