

УДК 338.242.2

Д. Л. Головцов

СПбГЭУ, Санкт-Петербург, e-mail: kaf16@list.ru

А. Г. Шейкин

СПбГЭУ, Санкт-Петербург, e-mail: sheykin.art@gmail.com

ПОДХОДЫ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ УСТОЙЧИВОСТИ ЦЕПЕЙ ПОСТАВОК

Ключевые слова: дизайн и проектирование сетей цепей поставок, устойчивость цепей поставок, методы повышения устойчивости цепей поставок, проектирование устойчивых сетей цепочек поставок, методы моделирования и оптимизации цепочек поставок.

Сети цепочек поставок (SCN) являются типичным примером сложной и крупномасштабной системы, являющейся сетью поставщиков, производственных предприятий, складов и каналов распределения, организованных для приобретения сырья, преобразования этого сырья в готовые продукты, последующего распространения этих продуктов среди клиентов. В такой сложной системе постоянное принятие множества эффективных и обоснованных управленческих решений – неотъемлемая часть высокопроизводительного функционирования бизнеса. Однако, чем сложнее система, тем менее полной и не точной является информация, доступная для ее классификации, характеристики, и, следовательно, тем выше уровень неопределённости.

D. L. Golovtsov

Saint Petersburg State University, St. Petersburg, e-mail: kaf16@list.ru

A. G. Sheikin

Saint Petersburg State University, St. Petersburg, e-mail: sheykin.art@gmail.com

APPROACHES TO ENSURING SUSTAINABILITY OF SUPPLY CHAINS

Keywords: design and engineering of supply chain networks, supply chain sustainability, methods to improve the resilience of supply chains, resilient supply chain networks design, simulation-optimization methods.

Supply chain networks (SCN) are a typical example of a complex and large-scale system, which is a network of suppliers, manufacturing plants, warehouses and distribution channels organized to acquire raw materials, convert these raw materials into finished products, and then distribute these products to customers. In such a complex system, the constant adoption of many effective and well-grounded management decisions is an integral part of high-performance business functioning. However, the more complex the system, the less complete and inaccurate is the information available for its classification, characteristics, and, consequently, the higher the level of uncertainty.

Дизайн и проектирование сети цепочки поставок (Supply chain network design, SCND) – это концепция, широко изучаемая в течение последних десятилетий, как с качественной, так и с количественной точки зрения. Авторы многочисленных работ по SCND ссылаются на данную категорию, используя такие термины, как «проектирование цепочки поставок», так и «проектирование сети цепочки поставок» [1], в которых утверждается, что проблема SCND «включает решения, касающиеся количества: расположения производственных мощностей на каждом предприятии цепи поставок; назначения каждого из них; локального или

глобального рынка сбыта в одном или нескольких местах; выбора поставщика узлов, компонентов и материалов».

Эти решения относятся к стратегическому уровню функционирования предприятий и должны быть оптимизированы с учетом долгосрочной (обычно несколько лет) эффективной работы цепочки поставок в целом [2].

Одна из наиболее сложных задач SCND – устранение неопределенности. Способность прогнозирования и «предвидения» будущего имеет решающее значение в процессах планирования и проектирования сети цепей поставок. Однако будущие условия деловой

среды, как правило, трудно предсказать. Так, ряд авторов [3] утверждает, что одной из причин сложности SCN является их динамический характер и неопределенность в таких переменных, как: спрос, производственные мощности; время транспортировки или время производства.

В последние годы в литературе появилась тенденция к рассмотрению устойчивости при проектировании и оценке SCN с целью преодоления неопределенности [4], где устойчивость определяется как «способность системы вернуться в исходное состояние или перейти к новому, более высокоэффективному и желаемому состоянию».

Подобные определения можно найти в областях, отличных от SCND, таких как экология, психология и экономика [7], снижение негативных последствий рисков стихийных бедствий и адаптации к ним городских систем.

Например, концепция исследований землетрясений Дана [5] утверждает, что «сейсмическая устойчивость – это способность физических и социальных систем противостоять воздействиям и последствиям, вызванным землетрясениями, посредством оценки ситуации, оперативного реагирования и эффективных стратегий восстановления».

Устойчивость с точки зрения гражданской инфраструктуры очень распространена в инженерном деле. Например, для проектирования и оценки систем такого типа [8] предлагается единая структура, объединяющая концепции устойчивости [9], представляющие вероятностный подход для оценки срока службы бетонных конструкций в рамках сейсмической устойчивости. Изучается совместное воздействие сейсмических и экологических опасностей, например, коррозии. Рассматриваются технологические сооружения, укрепляющие каркас бетонных зданий и мостов, оценивается влияние землетрясений, других независимых и взаимодействующих рисков, которые способны повлиять на устойчивость данного типа конструкций. Наиболее свежие исследования данной проблематики были сосредоточены на изучении гражданской инфраструктуры, как связанной системы, а не отдельных компонентов.

Уместно подчеркнуть, что, хотя гражданская инфраструктура является очень важной частью цепочки поставок, она далеко не единственная подвержена неопределенности и рискам. Например, после тех или

иных разрушительных событий, восстановление цепочки поставок занимает больше времени, чем восстановление инфраструктуры, учитывая наличие множества различных компонентов SCN.

Проектирование устойчивых сетей цепей поставок (устойчивый SCND) является темой, привлекающей внимание исследователей, особенно на фоне прослеживающейся тенденции стремления к экономичности и глобализации, увеличения рисков, с которыми все чаще сталкиваются или, вероятно, столкнутся цепочки поставок.

Что касается тенденции к экономии, то она делает сети цепей поставок (SCN) более уязвимыми из-за сокращения или даже устранения избыточности [11]. Глобализация обуславливается возрастающей сложностью SCN во все более открытом и взаимосвязанном мире, что еще более увеличивает проявления неопределенности [12] и уязвимость цепочки поставок [13].

Термины «риск» и «уязвимость» тесно связаны с проблематикой устойчивости [16]. Более точно [18] уязвимость цепочки поставок раскрывается в определении, «степень, в которой цепочка поставок подвержена определенному или не специфическому событию риска».

Здесь концепция уязвимости аналогична концепции риска, поскольку это первичный термин, предшествующий уязвимости [19], который определяется, как «все, что нарушает или препятствует потокам информации, материалов или продуктов от первоначальных поставщиков к доставке конечных продуктов конечному потребителю. Следовательно, чем более устойчива SCN, тем ниже уровень ее уязвимости для рисков [20].

Обзор использования количественных подходов в управлении рисками цепочки поставок проведен Oliveira et al. [21]. Авторами выполнен систематический обзор литературы для анализа и обобщения вклада методов моделирования и оптимизации в данной области. Более того, когда риски вызывают сбой в нескольких узлах, их последствия могут легко распространиться на другие части цепочки поставок. Данное явление известно, как волновой эффект [22]. По данным Dolgui et al. [23], волновой эффект приводит к снижению доходов, задержкам поставок, потере доли рынка и репутации, а также к снижению доходности запасов, что влияет на глобальные показатели цепочки поставок.

Эпидемические вспышки – это особый случай рисков SCN, характеризующийся долгосрочным, широким и массовым охватом распространения нарушений (т.е. волновым эффектом) и высокой неопределенностью из-за одновременных сбоях со стороны инфраструктуры, спроса, предложения и логистики [24].

В частности, в 2020 году глобальная пандемия, вызванная болезнью COVID-19, в значительной степени затронула все сферы экономики и общества в глобальном масштабе. В некоторых цепочках поставок наблюдается рост спроса, который они не могут удовлетворить (защитные маски, дезинфицирующие средства для рук, аппараты ИВЛ и т. д.), в то время, как другие страдают от длительных остановок производства, как в случае несущественных товаров. Эти компании находятся в опасности банкротства и нуждаются в помощи со стороны государства.

Очевидно, доступность предложения в глобальных цепочках поставок в значительной степени уменьшилась и разбалансировалась со спросом. Таким образом, нынешняя пандемия представляет собой беспрецедентную и экстраординарную ситуацию, которая ясно показывает необходимость продвижения исследований и практики устойчивости SCN. Кроме того, в литературе появляются новые концепции, связанные с устойчивостью, такие как жизнеспособность цепочки поставок (supply chain survivability).

В логистике и управлении цепочками поставок количественные подходы совершенствования и актуализации (а тем самым повышения устойчивости) в основном делятся на две группы: оптимизация и моделирование. Чаще всего они используются независимо, с целью устранения неопределенности для каждой группы соответственно.

Однако, учитывая рост вычислительной мощности, использование методов гибридного моделирования-оптимизации (sim-opt) в последние годы расширилось, что позволило объединить наиболее важные преимущества обеих областей, главным образом из-за их применимости в рамках устранения неопределенности.

Тем не менее, в более конкретной области SCND, применение гибридных методов sim-opt все еще довольно редко. Что касается существующих обзорных статей по этой теме, большинство из них по-прежнему относятся к концептуальным статьям, что еще

раз подчеркивает актуальность проведения обзора и анализа современных исследований, посвященных использованию количественного подхода.

Как показало проведенное нами исследование, опубликованные работы, практически не содержат в себе анализ сочетания методов sim-opt с устойчивостью SCN.

Целый ряд авторов подчеркивает использование фреймворков sim-opt, как растущую область исследований, в которой анализируются комплексные проблемы, такие как маршрутизация местоположения, маршрутизация инвентаризации и местоположения, а также изучаются современные программные решения на основе sim-opt.

Достаточно большая часть научных исследований сегодня посвящены вопросам устойчивости, а фреймворки sim-opt, согласно им, являются основным инструментом для проектирования и управления SCN. Однако, нужно отметить, что несмотря на всю важность необходимости формирования и поддержания устойчивости цепи поставок, в исследованиях не анализируются сторонние наработки с учетом взаимодействия аспекта сочетания методов sim-opt с устойчивостью SCN.

Большинство же проанализированных работ носят концептуальный характер, то есть обсуждают устойчивость и некоторые связанные с ней концепции. Эти концептуальные труды помогают прояснить и расширить терминологическую базу, что в свою очередь, позволяет более глубоко понять проблематику исследуемого вопроса.

Чтобы установить различия и сходства между концепциями гибкости и устойчивости нами были проанализированы ряд работ, относящихся к устойчивости SCN, показав, в результате чего можно с уверенностью констатировать что большинство исследований (43%) являются концептуальными или теоретическими, в которых выявлены связанные с устойчивостью концепции (гибкость, избыточность, совместное функционирование), а в 36% из них используются подходы моделирования.

Подобные и другие концепции, связанные с устойчивостью SCN идентифицированы Сойером и Харрисоном [25], которые называют их «формирующими элементами». Они сравниваются с организационными характеристиками, отражающими высокую надёжность функционирования цепи поставок. В качестве альтернативы Радха-

кришнан и др. [26] называют эти концепции «ключевыми возможностями». Они выделяют 4 из них: гибкость; скорость; видимость (прозрачность) и внутрисетевое сотрудничество, а также 13 атрибутов, связанных с устойчивостью SCN.

На наш взгляд наиболее актуальным на сегодняшний день является концептуальный синтез, который осуществляется с помощью целостной модели указывающей на важность анализа определений SCN, связанных с устойчивостью. В ходе анализа исследований, касающихся применения устойчивости к управлению цепочкой поставок, можно сделать вывод, что концепция устойчивости SCN становится более актуальной при рассмотрении целостных SCN, то есть когда набор SCN взаимозависим.

Обратим внимание, что как концептуальные, так и количественные обзоры появились сравнительно недавно. Это свидетельствует о растущем интересе к теме устойчивости SCN. Важным разделом исследований устойчивости являются показатели, используемые для оценки эффективности цепочки поставок. Измерение устойчивости становится актуальным не только для разработки новых цепочек поставок, но и для оценки уже действующей SCN.

В этом случае показатели устойчивости полезны для лиц, принимающих решения, для реализации стратегий, повышающих устойчивость цепей поставок при минимальных затратах. При этом, можно найти, как количественные, так и качественные показатели. Например, целесообразно использовать смешанную целочисленную модель линейного программирования для разработки устойчивой цепочки поставок.

Производительность сети оценивается с помощью 11 количественных показате-

лей, которые подразделяются на три типа: дизайн (проект) сети, централизация сети и операционные показатели. Функциональность этих сетей берётся за основу для определения двух типов показателей устойчивости: связанных с функциональностью и социально-экономических показателей.

С качественной точки зрения можно определить достаточно много факторов устойчивости для разработки уникального индекса устойчивости цепочки поставок с помощью модели теории графов. Для выявления факторов, способствующих развитию цепей поставок, используются, как и теоретические научные исследования, так и опросы функциональных руководителей фирм.

С нашей точки зрения также целесообразно выделить дизайн сети цепочки поставок, как важный фактор оценки ее устойчивости, то есть устойчивость не может быть изучена должным образом без рассмотрения дизайна и стратегических решений, принимаемых в рамках ее разработки.

Таким образом, можно сделать следующие выводы: устойчивости цепей поставок и методов ее совершенствования, как область исследований на сегодняшний день расширяется. Большинство исследований основаны на реальных корпоративных кейсах, как в отношении устойчивости SCND, так и в отношении тем Sim-opt SCND, что на наш взгляд значительно упрощает возможности адаптации предложенных подходов для различных ситуаций. Тем не менее, данная тема имеет значительный потенциал для развития и дальнейшие исследования в этой области могут расширить возможности принятия управленческих решений в сфере обеспечения устойчивости цепей поставок.

Библиографический список

1. Behzadi G., O'Sullivan M.J., Olsen T.L., Scrimgeour F., Zhang A. Robust and resilient strategies for managing supply disruptions in an agribusiness supply chain // Int. J. Prod. Econ. 2017. V. 191. P. 207–220.
2. Bidhandi H.M., Yusuff R.M., Ahmad M.M.H.M., Bakar M.R.A. Development of a new approach for deterministic supply chain network design // Eur. J. Oper. Res. 2009. V. 198. P. 121–128.
3. Biondini F., Camnasio E., Titi A. Seismic resilience of concrete structures under corrosion // Earthq. Eng. Struct. Dyn. 2015. V. 44. P. 2445–2466.
4. Blackhurst J., Wu T., O'grady P. Network-based approach to modelling uncertainty in a supply chain // Int. J. Prod. Res. 2004. V. 42. P. 1639–1658.
5. Bocchini P., Frangopol D.M., Ummerhofer T., Zinke T. Resilience and sustainability of civil infrastructure: toward a unified approach // J. Infrastruct. Syst. 2014. V. 20. 04014004.

6. Booker J., Ross T. An evolution of uncertainty assessment and quantification // *Scientia Iranica*. 2011. V. 18. P. 669–676.
7. Bruneau M., Chang S.E., Eguchi R.T., Lee G.C., O'Rourke T.D., Reinhorn A.M., Shinozuka M., Tierney K., Wallace W.A., Von Winterfeldt D. A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities // *Earthq. Spectra*. 2003. V. 19. P. 733–752.
8. Cardoso S.R., Barbosa-Póvoa A.P., Relvas S., Novais A.Q. Resilience metrics in the assessment of complex supply-chains performance operating under demand uncertainty // *Omega*. 2015. V. 56. P. 53–73.
9. Carvalho H., Barroso A.P., Machado V.H., Azevedo S., Cruz-Machado V. Supply chain redesign for resilience using simulation // *Comput. Ind. Eng.* 2012. V. 62. P. 329–341.
10. Chiadamrong N., Piyathanavong V. Optimal design of supply chain network under uncertainty environment using hybrid analytical and simulation modeling approach // *J. Indus. Eng. Int.* 2017. V. 13. P. 465–478.
11. Christopher M., Peck H. Building the resilient supply chain // *Int. J. Logist. Manag.* 2004. V. 15. P. 1–14.
12. Ivanov D., Dolgui A., Sokolov B., Ivanova M. Literature review on disruption recovery in the supply chain // *Int. J. Prod. Res.* 2017. V. 55. P. 6158–6174.
13. Datta P. Supply network resilience: a systematic literature review and future research // *Int. J. Logist. Manag.* 2017. V. 28. P. 1387–1424.
14. Dixit V., Seshadrinath N., Tiwari M. Performance measures based optimization of supply chain network resilience: a nsga-ii+ co-kriging approach // *Comput. Ind. Eng.* 2016. V. 93. P. 205–214.
15. Dolgui A., Ivanov D., Sokolov B. Ripple effect in the supply chain: an analysis and recent literature // *Int. J. Prod. Res.* 2018. V. 56. P. 414–430.
16. Elleuch H., Dafaoui E., Elmhamedi A., Chabchoub H. Resilience and vulnerability in supply chain: literature review // *IFAC-PapersOnLine*. 2016. V. 49. P. 1448–1453.
17. Ghavamifa A.R., Makui A., Taleizadeh A.A. Designing a resilient competitive supply chain network under disruption risks: a real-world application // *Transport. Res. Part E*. 2018. V. 115. P. 87–109.
18. Gligor D., Gligor N., Holcomb M., Bozkurt S. Distinguishing between the concepts of supply chain agility and resilience // *Int. J. Logist. Manag.* 2019. V. 30. P. 467–487.
19. Goldbeck N., Angeloudis P., Ochieng W. Optimal supply chain resilience with consideration of failure propagation and repair logistics // *Transport. Res. Part E*. 2020. V. 133. P. 101830.
20. Govindan K., Fattahi M., Keyvanshokoo E. Supply chain network design under uncertainty: acomprehensive review and future research directions // *Eur. J. Oper. Res.* 2017. V. 263. P. 108–141.
21. Harrison C.G., Williams P.R. A systems approach to natural disaster resilience // *Simul. Modell. Pract. Theory*. 2016. V. 65. P. 11–31.
22. Heckmann I., Comes T., Nickel S. A critical review on supply chain risk – definition, measure and modeling // *Omega*. 2015. V. 52. P. 119–132.
23. Hohenstein N.-O., Feisel E., Hartmann E., Giunipero L. Research on the phenomenon of supply chain resilience: a systematic review and paths for further investigation // *Int. J. Phys. Distrib. Logist. Manag.* 2015. V. 45. P. 90–117.
24. Hohenstein N.-O., Feisel E., Hartmann E., Giunipero L. Research on the phenomenon of supply chain resilience: a systematic review and paths for further investigation // *Int. J. Phys. Distrib. Logist. Manag.* 2015. V. 45. P. 90–117.
25. Rajagopal V., Venkatesan S.P., Goh M. Decision-making models for supply chain risk mitigation: a review. *Comput. Ind. Eng.* 2017. V. 113. P. 646–682.
26. Ramezankhani M., Torabi S.A., Vahidi F. Supply chain performance measurement and evaluation: a mixed sustainability and resilience approach // *Comput. Ind. Eng.* 2018. V. 126. P. 531–548.