

УДК 33

Проблема оптимизации сетевой структуры цепей поставок и методы ее решения

Бочкарев Андрей Александрович

Доктор экономических наук, доцент,
профессор кафедры логистики и управления цепями поставок,
Санкт-Петербургский государственный экономический университет,
191023, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
наб. канала Грибоедова, 30-32, А;
e-mail: andreibochkarev4@gmail.com

Соловьев Дмитрий Сергеевич

Аспирант,
Санкт-Петербургский государственный экономический университет,
191023, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
наб. канала Грибоедова, 30-32, А;
e-mail: m9679029@gmail.com

Аннотация

В статье представлен обзор литературы по применению математических моделей и методов для решения задачи оптимизации сетевой структуры цепей поставок, а также предложена укрупненная классификация методов, используемых для решения данной задачи, отражающая современный уровень развития теории и практики оптимизации цепей поставок. Проведенный анализ работ по проблеме по применению математических моделей и методов для решения задачи оптимизации сетевой структуры цепей поставок показал высокую актуальность данного направления исследований. Большинство рассмотренных моделей являются моделями смешанного целочисленного линейного программирования (MILP) и решаются они с помощью метода отсечений Гомори. Эвристические и мета-эвристические методы применяются достаточно часто, тогда как имитационное моделирование в рассмотренных работах используются реже. По нашему мнению, основными проблемами при построении математических моделей задач оптимизации сетевой структуры цепей поставок являются их многокритериальность и робастность, т.е. необходимость проектирование устойчивых цепочек поставок в условиях неопределенности. Предложена укрупненная классификация методов оптимизации сетевой структуры цепей поставок, которая позволяет актуализировать существующие методы, которые непрерывно развиваются, а также в дальнейшем она может послужить концептуальной основой для выбора метода (алгоритма) решения конкретной индивидуальной задачи проектирования оптимальной сетевой структуры цепи поставок.

Для цитирования в научных исследованиях

Бочкарев А.А., Соловьев Д.С. Проблема оптимизации сетевой структуры цепей поставок и методы ее решения // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2024. Том 14. № 5А. С. 502-511.

Ключевые слова

Цепь поставок, сетевая структура, математические модели, методы оптимизации, оптимизация.

Введение

В последние десятилетия внимание ученых во всем мире привлечено к созданию устойчивых цепочек поставок различных ресурсов, что в практическом плане связано с оптимизацией сетевой структуры цепей поставок. При проектировании логистических сетей следует учитывать такие факторы как число уровней, количество складов на каждом уровне и их месторасположение в логистической цепи. Все эти аспекты будут влиять на эксплуатационные и транспортные расходы, расходы на администрирование складской сети и содержание запасов, а также на капитальные вложения в строительство и оборудование складов в случае создания логистических объектов собственными силами.

Следует учитывать, что цепи поставок являются сложными объектами моделирования и оптимизации. Модели оптимизации цепей поставок, как правило, включают нескольких целей, например, минимизацию общих затрат и уменьшения воздействия на окружающую среду, включают в себя как прямые, так и обратные материальные потоки, требуют учета различных неопределенных параметров, например, неопределенность спроса, цены товаров и прочие. Все это приводит к построению множества различных математических моделей оптимизации сетевой структуры цепей поставок и соответствующих им методов их решения. Поскольку количество научных работ по проблеме применения моделей и методов для оптимизации сетевой структуры цепей поставок является довольно большим, то, по нашему мнению, целесообразно систематизировать данные работы именно по математическим свойствам предложенных их авторами моделей.

Обзор литературы по проблеме применения моделей и методов для оптимизации сетевой структуры цепей поставок

Проведенный анализ научных статей по проблеме применения моделей и методов для оптимизации сетевой структуры цепей поставок, представленный в табл. 1, показывает, что эти модели разрабатываются для разных сфер производства и распределения, в том числе для агропродовольственных цепочек поставок, цепочек поставок природного газа, свежих морепродуктов и многих других. В настоящее время основными направлениями научных исследований являются, во-первых, проектирование «зеленых» цепочек поставок, т.е. таких цепочек поставок, которые минимизируют расход топлива и выбросы CO₂ для транспортных средств, во-вторых – проектирование устойчивых цепочек поставок в условиях неопределенности. Решению этих проблем посвящены большинство научных работ в представленном обзоре. Следует отметить, что нами был осуществлен предварительный отбор научных статей. Анализировались только работы, в наиболее полном виде содержащие как

математическую постановку рассматриваемой задачи, так и метод ее решения.

Таблица 1 - Исследование научных публикаций, посвященных применению различных моделей и методов оптимизации сетевой структуры цепей поставок (Источник: разработано авторами)

Авторы и источник	Год	Структура модели			Потоки в сети		Интеграция модели с задачей маршрутизации, учет неопределенностей и метод решения задачи							Пример из практики
		Много-целевая	Много-уровневая	Много-периодная	Прямой	Возвратный	Проблема маршрутизации	Неопределенность	МЛР	Эвристика	Метаэвристика	Симуляция	Другое	
Ala, A. et al.	2024	x	x			x		x			x			x
Aliakbari, A. et al.	2022	x	x	x				x	x		x			x
Arya, A.K. et al.	2023		x		x					x	x			x
Asgharizad, E. et al.	2023	x	x		x			x			x			x
Belamkar, P. et al.	2023	x			x			x	x	x				x
Damtew, A.W.	2024	x			x								x	
Derakhti, A. et al.	2024	x			x				x					x
Dou, R. et al.	2023	x	x		x					x			x	
Fallah, P. et al.	2023	x	x		x			x	x	x	x		x	
Gao, Y. et al.	2024	x		x		x		x	x	x	x			x
Golmohammadi, A. et al.	2024	x	x		x			x			x		x	
Gupta, S. et al.	2023	x	x		x	x		x	x				x	
Li, M. et al.	2023	x		x	x			x	x					x
Li, W. et al.	2024	x			x			x	x		x	x	x	x
Maulana, A. et al.	2023		x					x					x	x
Momentabar, M, et al.	2023	x		x	x				x				x	x
Mosallanezhad, B. et al.	2023	x				x		x		x				x
Sahebi, I.G. et al.	2023	x						x			x		x	
Sharifi, E. et al.	2023	x	x		x			x	x				x	
Shirazaki, S. et al.	2024		x		x			x	x	x				x
Wang, X. et al.	2024	x			x			x		x			x	x
Wang, Z. et al.	2024	x		x	x			x		x	x		x	
Ye, W. et al.	2016	x	x		x			x				x	x	x
Yousefi, A. at al.	2024	x				x			x					
Yousefi-Babadi, A. et al.	2023	x	x		x			x	x				x	x
Zarrinpoor, N.	2023	x			x			x	x	x			x	x
Zhang, G. et al.	2024	x	x	x	x				x		x			x
Zhang, X. et al.	2024		x		x			x		x				x
Сумма		24	15	6	21	5	14	14	15	7	12	2	15	19
Относительная доля, %		85,71	53,57	21,43	75,0	17,8	50,00	50,00	53,5	25,0	42,8	7,14	53,7	67,6

Анализ работ, представленных в табл. 1., направлен на получение ответов на следующие вопросы.

1) Какова структура математической модели рассматриваемой задачи с точки зрения сложности модели, т.е. рассматриваются ли многокритериальность, многоуровневость и многопериодность?

2) Какие рассматриваются потоки в сети поставок (прямой, возвратный или оба потока)?

3) Имеется ли интеграция модели с задачей маршрутизации?

4) Имеются ли в модели параметры, имеющие вероятностный характер?

5) Каким методом решается задача, математическая постановка которой рассматривается в статье?

6) Представленная задача решается на реальных или на условных данных, т.е. имеется ли пример из практики?

Всего нами было проанализировано 28 работ. Анализ данных работ показывает, что с точки зрения структуры подавляющее большинство из представленных в них моделей являются многокритериальными или многоцелевыми (85,71%) и примерно половина из них являются многоуровневыми (53,57%), т.е. включают в себя производителей, потребителей, склады, депо и прочие узлы.

Большинство авторов в своих работах рассматривают только прямой материальный поток (75,00%), в то время как возвратный материальный поток рассмотрен в лишь в пяти работах (17,86%). Ровно в половине работ (50,00%) вместе с проблемой оптимизации сетевой структуры цепей поставок рассматривается проблема маршрутизации, т.е. рассматривается интегрированная модель цепи поставок.

Параметры, имеющие вероятностный характер, т.е. неопределенности в том или ином виде также включают в себя половина рассмотренных моделей (50,00%). Чаще всего рассматриваются неопределенный спрос или неопределенное предложение, но неопределенностями также могут выступать такие характеристики как, например, бэкординга (заказы, которые невозможно выполнить в данный период в связи с отсутствием необходимого товара) и другие.

Наиболее распространенные модели оптимизации сетевой структуры цепей поставок, доля которых составляет 53,57% были представлены моделями линейного, целочисленного или смешанного целочисленного линейного программирования (англ. *mixed-integer linear programming* – *MILP*). Решаются данные задачи, как правило, симплексным методом или с помощью метода отсечений Гомори для задач целочисленного или смешанного целочисленного линейного программирования. Эвристические методы решения задач используются в каждой четвертой изученной работе (25,00%), в то время как метаэвристические подходы в 42,86% случаев. В двух рассмотренных работах (7,14%) в качестве метода решения применяется имитационное моделирование (симуляция). Также следует отметить, что более чем в половине рассмотренных работ (53,57%), кроме названных выше методов для решения задач оптимизации сетевой структуры цепей поставок, используются и другие методы, среди которых отметим алгоритм лагранжевой релаксации для решения задачи целочисленного линейного программирования разновидностей алгоритмов, предназначенных для решения нелинейных задач, и алгоритмы для работы с графами.

Также обращает на себя внимание то обстоятельство, что в двух третях (67,86%) рассмотренных работ представлены примеры из практики, т.е. рассматривается пример численного решения задачи, в котором используются не условные данные, а реальные данные.

Таким образом, проведенное исследование подтверждает, что основными проблемами при

построении математических моделей задач оптимизации сетевой структуры цепей поставок являются, во-первых, многокритериальность моделей, связанная с необходимостью проектирования «зеленых» цепочек поставок, т.е. таких цепочек поставок, которые минимизируют расход топлива и выбросы CO₂ для транспортных средств, во-вторых, робастность, связанная с необходимостью проектирование устойчивых цепочек поставок в условиях неопределенности.

Классификация методов оптимизации сетевой структуры цепей поставок

Проанализированные работы по проблеме применения моделей и методов для оптимизации сетевой структуры цепей поставок, позволили нам разработать укрупненную классификацию соответствующих методов и алгоритмов оптимизации, представленную на рис. 1.

Анализ литературных источников показывает, что все методы оптимизации сетевой структуры цепей поставок могут быть разбиты на две обширные группы: первая из которых включает в себя детерминистические методы, а вторая – стохастические. К группе детерминистических методов относятся линейное программирование, включая смешанного целочисленного линейного программирования (MILP), нелинейное программирование, а также алгоритмы для работы с графами. Группа стохастических методов, в свою очередь, также делится на три большие группы: эвристические методы, мета-эвристические методы и имитационное моделирование.

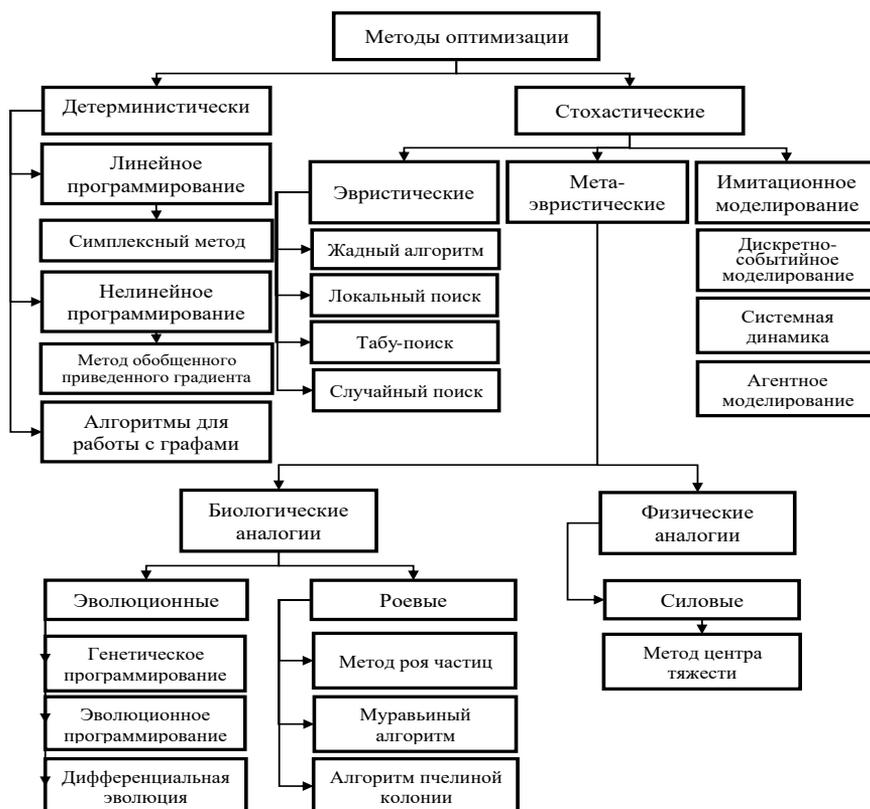


Рисунок 1 - Укрупненная классификация методов оптимизации сетевой структуры цепей поставок (Источник: разработано авторами)

Эвристические методы (алгоритмы) – это подходы к решению задач, чья корректность для всех возможных случаев не доказана, но известно, что они обеспечивают достаточно хорошее решение в большинстве ситуаций. Наиболее известными эвристическими алгоритмами являются жадный алгоритм, алгоритм локального поиска, поиск с запретами (табу-поиск) и случайный поиск. Необходимость использования эвристических методов для решения задачи оптимизации сетевой структуры цепей поставок связана с большой размерностью данной задачи, встречающейся на практике. В связи с чем точные детерминистические методы работают медленно, что делает затруднительным или невозможным получение точного решения задачи. Мета-эвристические методы являются наиболее разнообразными и включают в себя как методы, построенные на биологической аналогии, так и методы, построенные на физической аналогии. К последним относится метод центра тяжести, который широко используется для решения задачи определения места дислокации складов в цепи поставок.

Методы, построенные на биологической аналогии, подразделяются на эволюционные и роевые. Для моделирования процесса естественного отбора используют эволюционные алгоритмы или методы эволюционного моделирования, которые подразделяются на генетическое, эволюционное программирование и метод дифференциальной эволюции. Эти алгоритмы относятся к направлению в искусственном интеллекте. Они применяются для решения задач оптимизации и моделирования, используя случайный подбор, комбинирование и изменение параметров.

Роевые методы или методы роевого интеллекта описывают коллективное поведение децентрализованной самоорганизующейся системы. Роевой интеллект представляют собой многоагентную систему, которая обладает самоорганизующимся поведением отдельных агентов, что в свою очередь должно к возникновению интеллектуального группового поведения всей системы. Наиболее известными и востребованными роевыми методами являются метод роя частиц, муравьиный алгоритм и алгоритм пчелиной колонии. Следует отметить, что роевые методы не ограничиваются перечисленными выше, в частности, за последние 10 – 15 лет эти методы дополнили многокритериальный алгоритм оптимизации серых волков (Multi-Objective Gray Wolf Optimizer - MOGWO), многокритериальный алгоритм дифференциальной эволюции (Multi-Objective Differential Evolution Algorithm - MODEA) и ряд других методов, которые уже нашли применение при оптимизации сетевой структуры цепей поставок.

Авторы проанализированных нами работ, представленных в табл. 1, используют один из вышеперечисленных методов (см. рис. 1) или несколько методов одновременно. Применение сразу нескольких методов для решения задач оптимизации сетевой структуры цепей поставок связано, как правило, со сложностью данных задач, что требует использования так называемых гибридных или комбинированных алгоритмов, которые объединяют методы линейного программирования с эвристикой, мета-эвристикой или имитационным моделированием.

Заключение

Проведенный анализ работ по проблеме по применению математических моделей и методов для решения задачи оптимизации сетевой структуры цепей поставок показал высокую актуальность данного направления исследований. Большинство рассмотренных моделей являются моделями смешанного целочисленного линейного программирования (MILP) и решаются они с помощью метода отсечений Гомори. Эвристические и мета-эвристические методы применяются достаточно часто, тогда как имитационное моделирование в

рассмотренных работах используются реже. По нашему мнению, основными проблемами при построении математических моделей задач оптимизации сетевой структуры цепей поставок являются их многокритериальность и робастность, т.е. необходимость проектирование устойчивых цепочек поставок в условиях неопределенности.

Предложена укрупненная классификация методов оптимизации сетевой структуры цепей поставок, которая позволяет актуализировать существующие методы, которые непрерывно развиваются, а также в дальнейшем она может послужить концептуальной основой для выбора метода (алгоритма) решения конкретной индивидуальной задачи проектирования оптимальной сетевой структуры цепи поставок.

Библиография

1. Бочкарев А.А. Надежность и устойчивость цепей поставок: модели и алгоритмы. СПб.: Скифия-принт, 2022. 200 с.
2. Ala A. A fuzzy multi-objective optimization model for sustainable healthcare supply chain network design // *Applied Soft Computing*. 2024. V. 150. P. 111012.
3. Aliakbari A. A new robust optimization model for relief logistics planning under uncertainty: a real-case study // *Soft Computing*. 2022. V. 26. P. 3883-3901.
4. Arya A.K. Improving natural gas supply chain profitability: A multi-methods optimization study // *Energy*. 2023. V. 282. P. 128659.
5. Asgharizadeh E. Modeling the supply chain network in the fast-moving consumer goods industry during COVID-19 pandemic // *Operational Research*. 2023. V. 23. P. 14.
6. Belamkar P. Multi-objective optimization of agro-food supply chain networking problem integrating economic viability and environmental sustainability through type-2 fuzzy-based decision making // *Journal of Cleaner Production*. 2023. V. 421. P. 138294.
7. Damte A.W. Roles of digital twins on material performances and utilization on upstream industry (The case of automotive industry) // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2024. V.130. P. 3525-3536.
8. Derakhti A. A bi-objective optimization approach for carbon capture and storage supply chain network combining with pricing policies: Economic and social aspects // *Journal of Cleaner Production*. 2024. V. 434. P. 139672.
9. Dou R. Dual carbon-oriented optimization method for manufacturing industry chain based on BP neural network and clonal selection algorithm // *Applied Soft Computing Journal*. 2023. Vol. 148. P. 110887.
10. Fallah P. Designing an Agile, flexible and resilient disaster supply chain network using a hybrid group decision-making robust optimization framework // *Computers & Industrial Engineering*. 2023. V. 184. P. 109591.
11. Gao Y. Data-driven robust optimization of dual-channel closed-loop supply chain network design considering uncertain demand and carbon cap-and-trade policy // *Computers & Industrial Engineering*. 2024. V. 187. P. 109811.
12. Golmohammadi A. Multi-objective dragonfly algorithm for optimizing a sustainable supply chain under resource sharing conditions // *Computers & Industrial Engineering*. 2024. V. 187. P. 109837.
13. Gupta S. Compromising allocation for optimising agri-food supply chain distribution network: a fuzzy stochastic programming approach // *International Journal of System Assurance Engineering and Management*. 2024. 15 (4).
14. Li M. Optimizing design and performance assessment of a sustainability hydrogen supply chain network: A multi-period model for China // *Sustainable Cities and Society*. 2023. V. 92. P. 104444.
15. Li W. A product family-based supply chain hypernetwork resilience optimization strategy // *Computers & Industrial Engineering*. 2024. V. 187. P. 109781.
16. Maulana A. Rice supply chain network equilibrium optimization using the successive average method // *Asian Transport Studies*. 2023. V. 9. P. 100103.
17. Momenitabar M. An integrated machine learning and quantitative optimization method for designing sustainable bioethanol supply chain networks // *Decision Analytics Journal*. 2023. V. 7. P. 100236.
18. Mosallanezhad B. Metaheuristic optimizers to solve multi-echelon sustainable fresh seafood supply chain network design problem: A case of shrimp products // *Alexandria Engineering Journal*. 2023. V. 68. P. 491-515.
19. Sahebi I.G. Presenting an optimization model for multi cross-docking rescheduling location problem with metaheuristic algorithms // *OPSEARCH*. 2023. V. 61. P. 137-162.
20. Sharifi E. A novel two-stage multi-objective optimization model for sustainable soybean supply chain design under uncertainty // *Sustainable Production and Consumption*. 2023. V. 40. P. 297-317.
21. Shirazaki S. Integrated supply chain network design and superstructure optimization problem: A case study of microalgae biofuel supply chain // *Computers and Chemical Engineering*. 2024. V. 180. P. 108468.

22. Wang X. Environmental cold chain distribution center location model in the semiconductor supply chain: A hybrid arithmetic whale optimization algorithm // *Computers & Industrial Engineering*. 2024. V. 187. P. 109773.
23. Wang Z. Robust optimization of multi-objective multi-cycle remanufacturing supply chain network considering incentive compatibility theory under improved algorithm // *Computers & Industrial Engineering*. 2024. V. 187. P. 109777.
24. Ye W. A computationally efficient simulation-based optimization method with region-wise surrogate modeling for stochastic inventory management of supply chains with general network structures // *Computers and Chemical Engineering*. 2016. V. 87. P. 164-179.
25. Yousefi A. A hybrid machine learning-optimization framework for modeling supply chain competitive pricing problem under social network advertising // *Expert Systems With Applications*. 2024. V. 241. P. 122675.
26. Yousefi-Babadi A. Redesign of the sustainable wheat-flour-bread supply chain network under uncertainty: An improved robust optimization // *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2023. V. 176. P. 103215.
27. Zarrinpoor N. Bioenergy production from agro-livestock waste under uncertainty: a sustainable network design // *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2024. V. 14. P. 1149-1172.
28. Zhang G. Mathematical modeling and dragonfly algorithm for optimizing sustainable agritourism supply chains // *Journal of Engineering Research*. 2024. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2307187724000087>
29. Zhang X. Carbon emission-oriented life cycle assessment and optimization strategy for meat supply chain // *Journal of Cleaner Production*. 2024. 439. P. 140727.

Problem of optimization of network structure of supply chains and methods of its solution

Andrei A. Bochkarev

Doctor of Economics, Associate Professor,
Professor of the Department of Logistics and Supply Chain Management,
Saint Petersburg State University of Economics,
191023, A, 30-32, Kanala Griboedoba emb.,
Saint Petersburg, Russian Federation;
e-mail: andreibochkarev4@gmail.com

Dmitrii S. Solov'ev

Postgraduate,
Saint Petersburg State University of Economics,
191023, A, 30-32, Kanala Griboedoba emb.,
Saint Petersburg, Russian Federation;
e-mail: m9679029@gmail.com

Abstract

The article presents a review of the literature on the use of mathematical models and methods to solve the problem of optimizing the network structure of supply chains, and also proposes an enlarged classification of methods used to solve this problem, reflecting the current level of development of the theory and practice of supply chain optimization. The analysis of works on the problem of using mathematical models and methods to solve the problem of optimizing the network structure of supply chains showed the high relevance of this area of research. Most of the models discussed are mixed integer linear programming (MILP) models and are solved using the Gomori cut method. Heuristic and meta-heuristic methods are used quite often, while simulation modeling

is used less frequently in the reviewed works. In our opinion, the main problems in constructing mathematical models for optimization problems of the network structure of supply chains are their multicriteria and robustness, i.e. the need to design resilient supply chains in conditions of uncertainty. An enlarged classification of methods for optimizing the network structure of supply chains is proposed, which allows updating existing methods that are continuously being developed, and in the future, it can serve as a conceptual basis for choosing a method (algorithm) for solving a specific individual problem of designing an optimal network structure of a supply chain.

For citation

Bochkarev A.A., Solov'ev D.S. (2024) Problema optimizatsii setevoi struktury tsepei postavok i metody ee resheniya [Problem of optimization of network structure of supply chains and methods of its solution]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra* [Economics: Yesterday, Today and Tomorrow], 14 (5A), pp. 502-511.

Keywords

Supply chains, network structure, mathematical models, optimization methods, optimization.

References

- Ala A. (2024) A fuzzy multi-objective optimization model for sustainable healthcare supply chain network design. *Applied Soft Computing*, 150, 111012.
- Aliakbari A. (2022) A new robust optimization model for relief logistics planning under uncertainty: a real-case study. *Soft Computing*, 26, pp. 3883-3901.
- Arya A.K. (2023) Improving natural gas supply chain profitability: A multi-methods optimization study. *Energy*, 282, 128659.
- Asgharizadeh E. (2023) Modeling the supply chain network in the fast-moving consumer goods industry during COVID-19 pandemic. *Operational Research*, 23, p. 14.
- Belamkar P. (2023) Multi-objective optimization of agro-food supply chain networking problem integrating economic viability and environmental sustainability through type-2 fuzzy-based decision making. *Journal of Cleaner Production*, 421, 138294.
- Bochkarev A.A. (2022) *Nadezhnost' i ustoichivost' tsepei postavok: modeli i algoritmy* [Reliability and sustainability of supply chains: models and algorithms]. St. Petersburg: Skifiya-print Publ.
- Damtew A.W. (2024) Roles of digital twins on material performances and utilization on upstream industry (The case of automotive industry). *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 130, pp. 3525-3536.
- Derakhti A. (2024) A bi-objective optimization approach for carbon capture and storage supply chain network combining with pricing policies: Economic and social aspects. *Journal of Cleaner Production*, 434, 139672.
- Dou R. (2023) Dual carbon-oriented optimization method for manufacturing industry chain based on BP neural network and clonal selection algorithm. *Applied Soft Computing Journal*, 148, 110887.
- Fallah P. (2023) Designing an Agile, flexible and resilient disaster supply chain network using a hybrid group decision-making robust optimization framework. *Computers & Industrial Engineering*, 184, 109591.
- Gao Y. (2024) Data-driven robust optimization of dual-channel closed-loop supply chain network design considering uncertain demand and carbon cap-and-trade policy. *Computers & Industrial Engineering*, 187, 109811.
- Golmohammadi A. (2024) Multi-objective dragonfly algorithm for optimizing a sustainable supply chain under resource sharing conditions. *Computers & Industrial Engineering*, 187, 109837.
- Gupta S. (2024) Compromising allocation for optimising agri-food supply chain distribution network: a fuzzy stochastic programming approach. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 15 (4).
- Li M. (2023) Optimizing design and performance assessment of a sustainability hydrogen supply chain network: A multi-period model for China. *Sustainable Cities and Society*, 92, 104444.
- Li W. (2024) A product family-based supply chain hypernetwork resilience optimization strategy. *Computers & Industrial Engineering*, 187, 109781.
- Maulana A. (2023) Rice supply chain network equilibrium optimization using the successive average method. *Asian Transport Studies*, 9, 100103.
- Momenitabar M. (2023) An integrated machine learning and quantitative optimization method for designing sustainable bioethanol supply chain networks. *Decision Analytics Journal*, 7, 100236.

18. Mosallanezhad B. (2023) Metaheuristic optimizers to solve multi-echelon sustainable fresh seafood supply chain network design problem: A case of shrimp products. *Alexandria Engineering Journal*, 68, pp. 491-515.
19. Sahebi I.G. (2023) Presenting an optimization model for multi cross-docking rescheduling location problem with metaheuristic algorithms. *OPSEARCH*, 61, pp. 137-162.
20. Sharifi E. (2023) A novel two-stage multi-objective optimization model for sustainable soybean supply chain design under uncertainty. *Sustainable Production and Consumption*, 40, pp. 297-317.
21. Shirazaki S. (2024) Integrated supply chain network design and superstructure optimization problem: A case study of microalgae biofuel supply chain. *Computers and Chemical Engineering*, 180, 108468.
22. Wang X. (2024) Environmental cold chain distribution center location model in the semiconductor supply chain: A hybrid arithmetic whale optimization algorithm. *Computers & Industrial Engineering*, 187, 109773.
23. Wang Z. (2024) Robust optimization of multi-objective multi-cycle remanufacturing supply chain network considering incentive compatibility theory under improved algorithm. *Computers & Industrial Engineering*, 187, 109777.
24. Ye W. (2016) A computationally efficient simulation-based optimization method with region-wise surrogate modeling for stochastic inventory management of supply chains with general network structures. *Computers and Chemical Engineering*, 87, pp. 164-179.
25. Yousefi A. (2014) A hybrid machine learning-optimization framework for modeling supply chain competitive pricing problem under social network advertising. *Expert Systems With Applications*, 241, 122675.
26. Yousefi-Babadi A. (2013) Redesign of the sustainable wheat-flour-bread supply chain network under uncertainty: An improved robust optimization. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 176, pp. 103215.
27. Zarrinpoor N. (2024) Bioenergy production from agro-livestock waste under uncertainty: a sustainable network design. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14, pp. 1149-1172.
28. Zhang G. (2024) Mathematical modeling and dragonfly algorithm for optimizing sustainable agritourism supply chains. *Journal of Engineering Research*. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2307187724000087> [Accessed 04/04/2024]
29. Zhang X. (2024) Carbon emission-oriented life cycle assessment and optimization strategy for meat supply chain. *Journal of Cleaner Production*, 439, pp. 140727.