

Р.С. Рогулин, И.В. Лебединский

МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ЦЕПОЧЕК ПОСТАВОК В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Рогулин Родион Сергеевич, магистрант направления «Экономика» Владивостокского государственного университета экономики и сервиса, Владивосток, Россия; gafas-siaofusa@mail.ru

Лебединский Игорь Валерьевич, студент бакалавриата Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия; lebedinskiy.iv@students.dvfu.ru

Ключевые слова: нейронные сети, лесопромышленная отрасль, цепочки поставок, теория принятия решения, математическая оптимизация.

В данной статье описан предлагаемый авторский способ формирования цепочек поставок сырья в условиях неопределенности и рисков, вызванных внутренними процессами на товарно-сырьевой бирже и на путях и сообщениях железной дороги. Обоснована актуальность исследования и проведен краткий анализ существующих подходов к формированию цепочек поставок. Представлены общие предложения по построению оптимизационной модели, которая состоит из нейронной сети в формате обучения с подкреплением и задачи смешанно-целочисленного линейного программирования – для правильного выбора набора заявок с биржи в каждый отдельный день. Подкрепление – это среда, в которой каждый день предстоит нейронной сети принимать решения по объемам производства и выбору заявок с биржи.

В условиях экономически тяжелых геополитических потрясений страдают цепочки поставок. Одной из групп отраслей промышленности, которая пострадала – является лесопромышленная отрасль. Так, например, компания «Сегежа» – крупнейшая компания в области лесной промышленности в России, а до событий февраля 2022 г. еще и крупнейший экспортер лесопромышленных товаров и типов сырья из России в Европу, сейчас после введения санкций на Россию ей приходится в спешке перестраивать цепочки поставок, что влечет потерю прибыли и рентабельности производства.

Так как Россия является крупным мировым экспортером различных типов сырья, включая лес, то можно с уверенностью утверждать, что актуальной задачей для лесопромышленных предприятий в современных условиях является проблема формирования цепочек поставок лесного сырья.

Предприятия не всегда имеют арендованные деляны для лесопользования по целому множеству причин (Рогулин 2020; Рогулин 2021), поэтому актуальными источниками сырья для российских предприятий становятся товарно-сырьевые биржи и

заключение сделок напрямую в формате B2B в пределах РФ. В рамках данной работы сосредоточимся на взаимодействии предприятия и товарно-сырьевой биржи.

Существует большое количество работ, посвященное формированию цепочек поставок (Мазелис, 2022; Гаврилов, 2022; Rinaldi, 2022).

Обзор научной литературы (Rinaldi, 2022) показал, что в значительной мере от всех работ по формированию цепочек поставок сырья приходится на математические и имитационные модели.

Математические модели в основном используются для управления рисками и (или) устойчивостью, ориентируясь на различные показатели. Имитационные модели используются для анализа различных сценариев риска и изучения влияния разрушительных событий на цепочки поставок (Berle, 2013), а также проверки конкретных действий по уменьшению и смягчению последствий с акцентом на риск (Panova, 2018), устойчивость (Schmitt, 2012) или гибкость (Hong, 2015).

Многоцелевые модели и метаэвристические/эвристические модели менее распространены. Так? авторы исследования (Nosnavi, 2019) предложили модель с двумя направлениями оптимизации: риска и устойчивости, а (Paul, 2017) смоделировали эвристическую процедуру для определения надлежащего план восстановления в соответствии с типом нарушения.

Исходя из анализа работ, можно однозначно утверждать, что не существует единого и эффективного подхода к решению задач формирования цепочек поставок сырья с товарно-сырьевых бирж на предприятия.

Цель работы – разработать модель в первом приближении, позволяющую эффективно формировать цепочки поставок сырья и гипотетически отличающуюся тем, что должна находить решение близкое к оптимальному.

Рассмотрим схему работы предприятия и обозначения.

Предприятие каждый день принимает два главных решения: выбор заявок на бирже и расчет объемов производства x_{km} исходя из матрицы норм затрат сырья (m^3) A_{lk} на производство товаров типа k из сырья типа l , запаса сырья l на складе в день m – b_{lm} , и цен на реализацию товаров типа k в день m – p_{km} .

Заявки на бирже задаются картежом $(i, t, V_{ilrm}, c_{ilrm}, L_r)$, где i – номер заявки, t – номер дня, когда она появилась, V_{ilrm} – объем сырья типа l в заявке i из региона r , появившаяся в день t , c_{ilrm} – стоимость V_{ilrm} , L_r – расстояние от региона до склада. Транспортировка предполагается, что происходит по ЖД и затраты включены в p_{km} . $\lambda_{ilrm} = \{0; 1\}$ – факт покупки заявки. $T_{r\tilde{m}}$ – показатель времени, за которое заявка, вышедшая в день \tilde{m} из региона r должна дойти до склада. $\gamma_{\tilde{m}m}$ – коэффициент полезного

объема сырья, который остался после попадания на склад в день t после покупки его в день \tilde{t} .

В большинстве ситуаций можно однозначно утверждать, что невозможно для поставленной задачи получить идеальный прогноз ситуации на бирже. В противном случае можно построить задачу линейного смешанно-целочисленного программирования (далее, ЗЛСЦП), которая включает все рассматриваемые задачи. Ввиду невозможности получения идеального прогноза на весь горизонт планирования получаем динамическую задачу, которая будет решаться каждый день. Тогда можно разделить поиск решения на несколько последовательно выполняющихся этапов:

1. Подготовительный (номер итерации $iter = 0$).

- a) Зададим архитектуру для нейронной сети (далее, НС) и определим функции активации на слоях и начальные веса.
- b) Построим ЗЛСЦП F_1 для решения проблемы об объемах производства.
- c) Проведем расчет параметров $T_{r\tilde{m}}, \gamma_{r\tilde{m}}$, путем разыгрывания значений по одному из законов случайных величин.
- d) Будем зачислять на склад выбранные НС заявки в соответствии с пунктом c).
- e) Построим задачу F_2 ЗЛСЦП для решения комплексной проблемы – выбор заявок в портфель лотов и об определении объемов производства товаров. Перейти на шаг 2.

2. Поиск решения ($iter = iter + 1$).

- a) Каждый день будем давать на входной слой НС множество параметров, касающихся заявок на бирже и текущего положения предприятия (бюджет, запас сырья на складе и др.). На выходном слое будем пучать вероятности: с которыми необходимо брать заявки. Решим задачу F_1 .
- b) Зададим некоторое пороговое значение вероятности, превысив которое алгоритм будет покупать заявку.
- c) Как только все дни из M будут пройдены, то решаем задачу F_2 . Обучим НС, используя матрицу $\{\lambda_{ilrm}\}$. Перейти на шаг 3.

3. Критерии останова.

- a) Если НС достаточно аппроксимировала поставленную проблему в соответствии с одной из выбранных метрик, тогда остановить алгоритм на текущей итерации $iter$.
- b) Если НС недостаточно аппроксимировала поставленную проблему в соответствии с одной из выбранных метрик, тогда остановить алгоритм, если прошло заданное максимальное число итераций, иначе перейти на шаг 2.

На основании проведенного краткого обзора литературы была показана актуальность текущего исследования и отсутствие единых методов и подходов к решению задачи формирования цепочек поставок сырья с биржи в условиях неопределенностей. Таким образом, можно утверждать, что разработан алгоритм поиска решения задачи о формировании цепочек поставок сырья с товарно-сырьевой биржи на склад предприятия при наличии рисков. Отмечено, что в случае получения идеального прогноза на весь горизонт планирования, можно составить задачу линейного смешанно-целочисленного программирования, в противном случае – решать динамическую задачу предлагаемым алгоритмом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рогулин Р.С. Модель оптимизации плана закупок сырья из регионов России лесоперерабатывающим комплексом // Бизнес-информатика. 2020. Т. 14. № 4. С. 19–35.
2. Рогулин Р.С. Математическая модель формирования ценовой политики и плана производственно-транспортной системы лесопромышленного предприятия // Бизнес-информатика. 2021. Т. 15. № 3. С. 60–77.
3. Мазелис Л.С., Рогулин Н.С., Павлюк Р.С. Исследование оптимального расположения в регионах РФ лесопромышленного комплекса // Транспортное дело России. 2022. № 2. С. 27–29.
4. Гаврилов П. Сегежа. Как дела у компании. BSC Express. Сентябрь 2022 (Latest version modified on 16.09.2022) [Online]. URL: <https://bcs-express.ru/novosti-i-analitika/segezha-kak-dela-u-kompanii>
5. Rinaldi M, Murino T, Gebennini E, Morea D, Bottani E. A literature review on quantitative models for supply chain risk management: Can they be applied to pandemic disruptions? // Computers & Industrial Engineering. 2022. Vol. 170. Article ID 108329.
6. Berle Ø., Norstad I., Asbjørnslett B.E. Optimization, risk assessment and resilience in LNG transportation systems // Supply Chain Management: An International Journal. 2013. Vol. 18 (3). P. 253–264.
7. Panova Y., Hilletoft P. Managing supply chain risks and delays in construction project // Industrial Management & Data Systems. 2018. Vol. 118 (7). P. 1413–1431.
8. Schmitt A.J., Singh M. A quantitative analysis of disruption risk in a multi-echelon supply chain // International Journal of Production Economics. 2012. Vol. 139 (1). P. 22–32.
9. Hong G. The risk elasticity measure index exploration of supply chain and mechanism research // The Open Cybernetics & Systemics Journal. 2015. Vol. 9 (1). P. 2497–2502.
10. Hosnavi R., Nekooie M.A., Khalili S.M., Tavakoli A. A resilient supply portfolio considering political and disruption risks // International Journal of Industrial and Systems Engineering. 2019. Vol. 31 (2). P. 209–249.
11. Paul S.K., Sarker R., Essam D. A quantitative model for disruption mitigation in a supply chain // European Journal of Operational Research. 2017. Vol. 257 (3). P. 881–895.