

Я. Рахими, И. В. Шостак, Е. И. Феоктистова

Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина

НЕЧЕТКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПОЛНОЙ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПОСТАВОК СУХОФРУКТОВ В УКРАИНУ

Рассмотрена задача выбора рационального вида транспорта для организации перевозок сырья, материалов и готовой продукции в рамках организации полной логистической цепи поставок сухофруктов (ЦПС) на рынок Украины из различных регионов мира. Показано, что задача выбора транспорта при реализации различных участков ЦПС характеризуется высоким уровнем неопределенности, порождаемым, главным образом, нечеткостью информации об основных факторах, которые определяют эффективность функционирования ЦПС. Предложено для синтеза модели выбора вида транспорта в ЦПС использовать математический аппарат нечеткой логики. Описана нечеткая модель выбора оптимального вида транспорта на основе критерия минимума времени и стоимости доставки. Приведен иллюстративный пример выбора оптимального вида транспорта для обслуживания условного участка ЦПС. В соответствии с принципом многомодельности, было построено две альтернативных нечетких модели - на основе операций (max-min) – композиции и (max-prod)-композиции. Совпадение результатов применения этих моделей дало основание для выбора автомобильного вида транспорта как оптимального для перевозок сухофруктов от производителя к оптовому покупателю.

Ключевые слова: поддержка принятия решений, поставки сухофруктов, логистическая система, транспортная логистика, цепи поставок, нечеткое моделирование.

Введение

Взаимодействие участников цепи поставок сухофруктов в Украину (ЦПС) бизнес процессов в ЦПС отражается множеством материальных, финансовых и информационных потоков, а также потоков услуг от источников исходного сырья до конечного потребителя. Многообразие регионов мира, из которых осуществляются поставки в Украину сухофруктов, широкая номенклатура поставляемой продукции, урожайность, колебание курсов валют, сезонность являются причинами возникновения высокого уровня неопределенности в процессах формирования и принятия решений участниками ЦПС.

Одним из главных факторов, определяющих эффективность функционирования ЦПС, является рациональная организация перевозок внутри цепи. Ключевая роль транспортировки в логистике ЦПС объясняется не только большим удельным весом транспортных расходов в общем составе логистических издержек, но и тем, что без транспортировки невозможно само существование цепи поставок.

Значительная часть логистических операций в ЦПС от первичного источника сырья до конечного потребления осуществляется с применением различных транспортных средств. Затраты на выполнение этих операций составляют до 50% от суммы общих затрат на логистику.

На выбор транспортного средства при формировании ЦПС оказывает влияние: характер груза (вес, объем, консистенция); количество отправляемых партий (используемый контейнер); срочность доставки груза заказчику; местонахождение пункта назначения с учетом погодных, климатических, сезонных характеристик; расстояние, на которое перевозится груз; ценность груза (страхование); близость расположения точки доставки к транспортным коммуникациям; сохранность груза, невыполнение

поставок [1, 2]. Цель статьи состоит в описании процесса синтеза нечеткой модели выбора вида транспорта для обеспечения эффективных перевозок внутри логистической цепи поставок сухофруктов в Украину, по критериям минимума транспортных издержек и времени доставки грузов.

Применение такой модели для поддержки принятия решений менеджерами ЦПС даст возможность снизить вероятность принятия ими нерациональных решений.

Основная часть

Основой выбора вида транспорта, оптимального для конкретной перевозки, служит информация о характерных особенностях различных видов транспорта (автомобильного, железнодорожного, морского, воздушного).

Рассмотрим преимущества и недостатки использования транспортных средств, с точки зрения организации ЦПС (табл. 1) [1].

Для определения вида транспорта для перевозки сухофруктов необходим учет шести главных факторов, влияющих на принятие решений: время доставки; стоимость перевозки; надежность соблюдения графика доставки груза; частота отправок; способность перевозить разные грузы; способность доставить груз в любую точку.

В процессе осуществления закупок и доставки материальных ресурсов внутри ЦПС, а также дистрибуции готовой продукции потребителям фирма - производитель может использовать различные виды транспорта, различных логистических партнеров, а также различные варианты транспортировки [3-5].

Проведем выбор оптимального вида транспорта для формирования ЦПС, считая при этом критерием оптимальности время доставки и стоимость доставки. Выбор вида транспорта будем осуществлять с использованием методов искусственного интеллекта, а именно нечеткого моделирования.

Таблиця 1. Переваги та недоліки видів транспорту, застосовуваних в ЦПС

Вид транспорту	Переваги	Недоліки
Автомобільний	а) висока маневренність; б) доставка «от дверей до дверей» з необхідною ступенем срочности; в) регулярність поставок; г) можливість поставок малими партіями; д) найменше жорсткі вимоги до упаковки товару.	а) висока вартість перевезень; б) срочність розвантаження; в) можливість хищення вантажу та угона автотранспорту; г) порівняно мала вантажопідйомність і др.
Залізничний	а) перевезення великих партій вантажів при будь-яких погодних умовах; б) порівняно швидка доставка вантажу на велике відстань; в) регулярність перевезень; г) зручна організація погрузочно-розгрузочних робіт; д) порівняно невисока собівартість перевезень вантажів, наявність знижок.	а) мала швидкість переміщення; б) обмежене число перевізників; в) хищення та втрати; г) невелика можливість доставки до пунктів споживання.
Морської	а) низькі вантажні тарифи; б) висока провозна спроможність і др.	а) низька швидкість; б) обмежена можливість доставки до пунктів споживання; в) жорсткі вимоги до упаковки та кріпленню вантажів; г) мала частота відправок; д) залежність від погодних та навігаційних умов.
Воздушний	а) найбільш висока швидкість доставки; б) можливість доставки в віддалені райони; в) висока збереженість вантажів.	а) високі вантажні тарифи; б) обмеженість розміру партії; в) залежність від метеорологічних умов (приводить до непередбачуваності графіків поставок).

Як правило, апарат теорії нечітких відношень використовується при якісному аналізі взаємозв'язків між об'єктами досліджуваної системи, коли зв'язки несуть дихотомічний характер і можуть бути проінтерпретовані в термінах "зв'язок присутній", "зв'язок відсутній", або коли методи кількісного аналізу взаємозв'язків по яким-либо причинам неприменимі і взаємозв'язки штучно приводяться до дихотомічного виду. Наприклад, коли величина зв'язку між об'єктами приймає значення з рангової шкали, вибір порога на силу зв'язку дозволяє перетворити зв'язок до потрібного виду.

Оскільки кожне нечітке відношення представляє собою нечітке множинство, то застосовуючи до нечітких відношень операції, які застосовують для нечітких множинств. Над нечіткими відношеннями виконуються операції алгебраїчного множення (формула (1)) і алгебраїчна сума (формула (2)) [7].

$$\mu_{Q \cdot R}(x, y) = \mu_Q(x, y) \times \mu_R(x, y); \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \mu_{Q+R}(x, y) &= \\ &= \mu_Q(x, y) + \mu_R(x, y) - \mu_Q(x, y) \cdot \mu_R(x, y), \end{aligned} \quad (2)$$

де $\mu_Q(x, y)$ – функція належності відношення Q ; $\mu_R(x, y)$ – функція належності відношення R .

Нехай Q і R – кінцеві або нескінченні бінарні нечіткі відношення. При цьому нечітке відношення $Q = \{ \langle x_i, x_j \rangle, \mu_Q(\langle x_i, x_j \rangle) \}$ задано на декар-

товому множенні універсумів $X_1 \times X_2$, а нечітке відношення $R = \{ \langle x_j, x_k \rangle, \mu_R(\langle x_j, x_k \rangle) \}$ – на декартовому множенні універсумів $X_2 \times X_3$.

Нечітке бінарне відношення, задане на декартовому множенні $X_1 \times X_3$ і позначене через $Q \cdot R$, називається композицією бінарних нечітких відношень Q і R , а його функція належності визначається наступним виразом [7]:

$$\begin{aligned} \mu_{Q \cdot R}(\langle x_i, x_k \rangle) &= \\ &= \max_{x_j \in X_2} \left\{ \min \left\{ \mu_Q(\langle x_i, x_j \rangle), \mu_R(\langle x_j, x_k \rangle) \right\} \right\} \quad (3) \\ &(\forall \langle x_i, x_k \rangle \in X_1 \times X_3). \end{aligned}$$

Визначену таким чином композицію бінарних нечітких відношень називають (max-min) – композицією або сверткою нечітких відношень, її також можна записати в наступному вигляді [7]:

$$\begin{aligned} \mu_{Q \cdot R}(\langle x_i, x_k \rangle) &= \\ &= \bigvee_{x_j \in X_2} \left(\mu_Q(\langle x_i, x_j \rangle) \wedge \mu_R(\langle x_j, x_k \rangle) \right). \end{aligned} \quad (4)$$

Для (max-min) – композиції відношень Q і R операцію \wedge можна замінити будь-якою іншою, для якої виконуються ті ж обмеження, що і для \wedge : асоціативність і монотонність по кожному аргументу. Тоді:

$$\begin{aligned} \mu_{Q \cdot R}(\langle x_i, x_k \rangle) &= \\ &= \bigvee_{x_j \in X_2} \left(\mu_Q(\langle x_i, x_j \rangle) \times \mu_R(\langle x_j, x_k \rangle) \right). \end{aligned} \quad (5)$$

В частности, операция \wedge может быть заменена алгебраическим умножением, тогда говорят о (max-prod)-композиции.

Произведем выбор вида транспорта для поставки сырья и материалов от поставщиков до производителя сухофруктов. С этой целью построим нечеткую модель, основанную на двух бинарных нечетких отношениях S и T . Первое из этих нечетких отношений строится на двух базисных множествах X и Y , а второе – на двух базисных множествах Y и Z . Здесь X описывает множество видов транспорта, по которым может быть осуществлена перевозка, Y – множество вариантов транспортировок, а Z – множество факторов, которые характеризуют перевозки. Нечеткое отношение S содержательно описывает связь вида транспорта с вариантом транспортировки, а T описывает оценку различных вариантов транспортировки по каждому из факторов.

Для конкретности:

- а) $X = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6\}$;
- б) $Y = \{y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6\}$;
- в) $Z = \{z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, z_6\}$.

Элементы универсумов имеют следующий содержательный смысл:

- а) x_1 – «железнодорожный транспорт», x_2 – «автомобильный транспорт», x_3 – «водный транспорт», x_4 – «трубопроводный транспорт», x_5 – «воздушный транспорт», x_6 – «морской транспорт»;
- б) y_1 – «униmodalная», y_2 – «смешанная», y_3 – «комбинированная», y_4 – «интервокальная», y_5 – «терминальная», y_6 – «мультиmodalная»;
- в) z_1 – «время доставки», z_2 – «частота отправлений», z_3 – «надёжность соблюдения графиков», z_4 – «способность перевозить разные грузы», z_5 –

«способность перевозить грузы в любую географическую точку», z_6 – «стоимость перевозки».

Конкретные значения функций принадлежности $\mu_S(\langle x_i, y_j \rangle)$ и $\mu_T(\langle y_j, z_k \rangle)$ рассматриваемых нечетких отношений представлены табл. 2 и 3.

Матрицы этих нечетких отношений имеют вид:

$$M_S = \begin{bmatrix} 0,5 & 0,7 & 0,3 & 0,2 & 0,3 & 0,3 \\ 0,1 & 0,8 & 0,8 & 0,3 & 0,7 & 0,5 \\ 0,8 & 0,7 & 0,8 & 0,3 & 0,3 & 0,3 \\ 0,3 & 0,3 & 0,2 & 0,2 & 0,2 & 0,2 \\ 0,8 & 0,3 & 0,4 & 0,3 & 0,3 & 0,3 \\ 0,1 & 0,8 & 0,9 & 0,4 & 0,7 & 0,5 \end{bmatrix}; \quad (6)$$

$$M_T = \begin{bmatrix} 0,8 & 0,6 & 0,4 & 0,3 & 0,3 & 0,3 \\ 0,4 & 0,6 & 0,5 & 0,7 & 0,3 & 0,5 \\ 0,3 & 0,7 & 0,7 & 0,9 & 0,3 & 0,6 \\ 0,4 & 0,5 & 0,6 & 0,8 & 0,9 & 0,7 \\ 0,4 & 0,5 & 0,6 & 0,8 & 0,9 & 0,8 \\ 0,4 & 0,5 & 0,6 & 0,8 & 0,9 & 0,7 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Поскольку рассматриваемые нечеткие отношения удовлетворяют формальным требованиям, необходимым для выполнения их нечеткой композиции согласно формуле (4), результат операции нечеткой композиции этих отношений может быть представлен в виде матрицы результирующего нечеткого отношения:

$$M_{S \circ T} = \begin{bmatrix} 0,5 & 0,6 & 0,5 & 0,7 & 0,3 & 0,5 \\ 0,4 & 0,7 & 0,7 & 0,8 & 0,7 & 0,7 \\ 0,8 & 0,7 & 0,7 & 0,7 & 0,3 & 0,6 \\ 0,3 & 0,3 & 0,3 & 0,3 & 0,3 & 0,7 \\ 0,8 & 0,6 & 0,4 & 0,4 & 0,3 & 0,3 \\ 0,4 & 0,7 & 0,7 & 0,9 & 0,7 & 0,7 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Представим нечеткую композицию двух исходных отношений в виде табл. 4.

Таблица 2. Матрица нечетких отношений S

Тип транспорта	Варианты транспортировки					
	Униmodalная	Смешанная	Комбинированная	Интерmodalная	Терминальная	Мультиmodalная
Железнодорожный	0,5	0,7	0,3	0,2	0,3	0,3
Водный	0,1	0,8	0,8	0,3	0,7	0,5
Автомобильный	0,8	0,7	0,8	0,3	0,3	0,3
Воздушный	0,8	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3
Морской	0,1	0,8	0,9	0,4	0,7	0,5

Таблица 3. Матрица нечетких отношений T

Варианты транспортировки	Факторы, характеризующие перевозку					
	Время доставки	Частота отправлений	Надёжность соблюдения графиков	Способность перевозить разные грузы	Способность перевозить грузы в любую географическую точку	Стоимость перевозки
Униmodalная	0,8	0,6	0,4	0,3	0,3	0,3
Смешанная	0,4	0,6	0,5	0,7	0,3	0,5
Комбинированная	0,3	0,7	0,7	0,9	0,3	0,6
Интерmodalная	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	0,7
Терминальная	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	0,8
Мультиmodalная	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	0,7

Таблиця 4. Композиція нечетких відношень

Варианти транспортування	Фактори, характеризують перевезку					
	Время доставки	Частота отправок	Надійшовість дотримання графіків	Спосібність перевозити різні вантажі	Спосібність перевозити вантажі в будь-яку географічну точку	Вартість перевезки
Залізничний	0,5	0,6	0,5	0,7	0,3	0,5
Водний	0,4	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7
Автомобільний	0,8	0,7	0,7	0,7	0,3	0,6
Воздушний	0,8	0,6	0,4	0,4	0,3	0,3
Морський	0,4	0,7	0,7	0,9	0,7	0,7

Розглянемо, яким чином отримується одне з значень функції належності композиції, наприклад, значення $\mu_{S^*T}(\langle x_1, z_1 \rangle) = 0,5$. Впочатку знайдемо мінімальні значення функції належності всіх пар елементів першої строки табл. 2 і першого стовпця табл. 3:

$$\min\{0,5, 0,8\}=0,5; \min\{0,7, 0,4\}=0,4;$$

$$\min\{0,3, 0,3\}=0,3; \min\{0,2, 0,4\}=0,2;$$

$$\min\{0,3, 0,4\}=0,3; \min\{0,3, 0,4\}=0,3.$$

Після цього знайдемо максимальне з 6 отриманих значень, яке і буде являється іскомим значенням функції належності:

$$\mu_{S^*T}(\langle x_1, z_1 \rangle) = \max\{0,5, 0,4, 0,3, 0,2, 0,3, 0,3\} = 0,5.$$

Інші значення функції належності знаходяться аналогічно.

Табл. 4 показує оцінку видів транспорту по множині факторів. Проаналізувавши отриманий результат, можна вибрати транспорт для перевезки всередині ЦПС. Оскільки основними критеріями оптимальності були вибрані час доставки і вартість доставки, найбільш підходящим буде, в даному випадку, використання автомобільного транспорту, оскільки функції належності рівні відповідно:

$$\mu_{S^*T}(\langle x_3, z_1 \rangle) = 0,8, \mu_{S^*T}(\langle x_3, z_6 \rangle) = 0,6.$$

Для підтвердження отриманого результату, застосуємо альтернативну операцію композиції двох бінарних нечетких відношень - (max-prod)-композиції (формула (5)).

Результат операції нечеткої композиції представлений в вигляді табл. 5.

Таблиця 5. Нечеткая (max-prod)-композиція двох нечетких відношень

Варианти транспортування	Фактори, характеризують перевезку					
	Время доставки	Частота отправок	Надійшовість дотримання графіків	Спосібність перевозити різні вантажі	Спосібність перевозити вантажі в будь-яку географічну точку	Вартість перевезки
Залізничний	0,40	0,42	0,35	0,49	0,27	0,35
Водний	0,32	0,56	0,56	0,72	0,63	0,56
Автомобільний	0,64	0,56	0,56	0,72	0,27	0,48
Воздушний	0,64	0,48	0,32	0,36	0,27	0,24
Морський	0,32	0,63	0,63	0,81	0,63	0,56

Слідуючи загальним рекомендаціям прикладного системного аналізу стосовно принципу багатомодельності, можна зробити наступний висновок.

При використанні різних моделей отримані однакові результати; цей факт свідчить про наявність стійкої зв'язки або закономірності між окремими елементами моделей.

Застосовуючи до розглянутих нечетких моделей співпадіння результатів, отриманих на основі операцій (max-min) – композиції і (max-prod)-композиції, дає підставу для більш впевнених висновків стосовно вибору автомобільного виду транспорту для транспортування сухофруктів від виробника до оптового покупця.

Висновки

На основі викладеного вище матеріалу можна зробити наступні висновки:

1. Задача вибору раціонального виду транспорту для організації перевезки сировини, матеріалів і готової продукції в межах організації повної логістичної ланки поставок сухофруктів на ринок України, є одним з головних факторів, що визначають ефективність функціонування такої ланки.

2. Високий рівень невизначеності в прийнятті рішень по організації ЦПС, носить переважно нечеткий характер.

3. Модель вибору виду транспорту для здійснення перевезки в межах ЦПС, цілеспрямовано реалізувати на основі математичного апарату нечеткої логіки.

4. Описана нечетка модель вибору оптимального виду транспорту на основі критерію мінімуму часу і вартості доставки.

5. Приведено ілюстративний приклад вибору оптимального виду транспорту для обслуговування умовного участка ЦПС.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бродецкий Г. Л. Моделирование логистических систем. Оптимальные решения в условиях риска / Г. Л. Бродецкий. – М.: Вершина, 2006. – 376 с.
2. Рахими Я. Знаниеориентированный подход к организации поддержки принятия решений по формированию полной логистической цепи поставок сухофруктов в Украину [Текст] / Я. Рахими // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава : ПНТУ, 2017. – Вип. 6 (46). – С. 197-201.
3. Вагнер М. Штефан. Управление поставщиками / Вагнер М. Штефан. – М.: КИА центр, 2006. – 128 с.
4. Беспалов Р. С. Транспортная логистика. Новейшие технологии построения эффективной системы доставки / Р. С. Беспалов. – М.: Вершина, 2007. – 384 с.
5. Корпоративная логистика в вопросах и ответах / Под ред. проф. В.И. Сергеева. – М.: НИЦ ИНФРА-М, 2017. – 180 с.
6. Бауэрсокс Д. Дж. Логистика: интегрированная цепь поставок / Д. Дж. Бауэрсокс, Д. Дж. Клосс. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2008. – 640 с.
7. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление / А. Пегат. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – 798 с.

REFERENCES

1. Brodetsky, G.L. (2006), *Modeling of logistics systems. Optimal solutions under risk conditions*, Vershina, Moscow, 376 p.
2. Rahimi, Ya. (2017), "Knowledge of an oriented approach to the organization of decision-making support for the formation of a complete logistics chain of supplies of dried fruits to Ukraine", *Systems of control, navigation and communication*, PNTU, Poltava, No. 6 (46), pp. 197-201.
3. Wagner, M. Stefan. (2006), *Supplier management*, KIA Center, Moscow, 128 p.
4. Bespalov, R.S. (2007), *Transport logistics. The newest technologies for building an effective delivery system*, Vershina, Moscow, 384 p.
5. Sergeeva, V.I. (2017), *Corporate logistics in questions and answers*, SRC INFRA-M, Moscow, 180 p.
6. Bowersox, D.J. and Closs D.J. (2008), *Logistics: an integrated supply chain*, ZAO Olimp-Business, Moscow, 640 p.
7. Pegat, A. (2011), *Fuzzy modeling and control*, BINOM. Laboratory of Knowledge, Moscow, 798 p.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А. Г. Чухрай,
Національний аерокосмічний університет імені М. С. Жуковського «ХАІ», Київ
Received (Надійшла) 14.03.2018
Accepted for publication (Прийнята до друку) 15.05.2018

**Нечітке моделювання транспортної складової
повного логістичного ланцюга поставок сухофруктів в Україні**

Яшар Рахімі, І. В. Шостак, О. І. Феоктистова

Розглянуто задачу вибору раціонального виду транспорту для організації перевезень сировини, матеріалів і готової продукції в рамках організації повного логістичного ланцюга поставок сухофруктів (ЛПС) на ринок України з різних регіонів світу. Показано, що задача вибору транспорту при реалізації різних ділянок ЛПС характеризується високим рівнем невизначеності, що породжується, головним чином, нечіткістю інформації про основні чинники, які визначають ефективність функціонування ЛПС. Запропоновано для синтезу моделі вибору виду транспорту в ЛПС використовувати математичний апарат нечіткої логіки. Описана нечітка модель вибору оптимального виду транспорту на основі критерію мінімуму часу і вартості доставки. Наведено ілюстративний приклад вибору оптимального виду транспорту для обслуговування умовної ділянки ЛПС. Відповідно до принципу багатомодельності, було побудовано дві альтернативні нечіткі моделі - на основі операцій (max-min) - композиції і (max-prod) - композиції. Збіг результатів застосування цих моделей дав підставу для вибору автомобільного виду транспорту як оптимального для перевезень сухофруктів від виробника до оптового покупця.

Ключові слова: підтримка прийняття рішень, поставки сухофруктів, логістична система, транспортна логістика, ланцюги поставок, нечітке моделювання.

**Fuzzy transport component modelling
of the full logistic chain of the dried fruits supply to Ukraine**

Yashar Rahimi, I. Shostak, O. Feoktystova

The problem of choosing a rational mode of transport for organization of transportation of raw materials, materials and finished products within the framework of the organization of a complete logistic chain of deliveries of dried fruits (CDDF) to the Ukrainian market from various regions of the world is considered. It is shown that the task of selecting transport in the implementation of various sections of the CDDF is characterized by a high level of uncertainty, generated mainly by the vagueness of information on the main factors that determine the efficiency of the CDDF. It is proposed to use the mathematical apparatus of fuzzy logic to synthesize the model of the transport mode choice in the CDDF. A fuzzy model for choosing the optimal mode of transport is described on the basis of the criterion of minimum time and cost of delivery. An illustrative example of choosing the optimal mode of transport for servicing the conditional section of the CDDF is given. In accordance with the principle of multi-model, two alternative fuzzy models were constructed - based on operations (max-min) - compositions and (max-prod) - compositions. The coincidence of the results of application of these models provided the basis for choosing a car type of transport as optimal for transportation of dried fruits from the producer to the wholesale buyer.

Keywords: support of decision-making, delivery of dried fruit, logistics system, transport logistics, supply chains, fuzzy modeling.