УДК 656.073

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА НЕЧЕТКОМ МНОЖЕСТВЕ ДАННЫХ В СФЕРЕ ЛОГИСТИКИ

ЛЯШЕНКО Антон Николаевич, ведущий консультант; e-mail: LjashenkoAN@economy.gov.ru

Министерство экономического развития Российской Федерации, Москва

Недостаточно эффективное управление перевозочным процессом связано со случаями неритмичности и несогласованности работы различных видов транспорта между собой, незначительного развития перерабатывающих мощностей по перегрузке груза между видами транспорта, а также недостаточного количества терминалов, служащих для «сглаживания» несогласованности работы транспортных потоков во времени. В настоящей статье описывается математическая модель для выбора рационального варианта доставки груза с позиции заказчика перевозки. Основным преимуществом описанной математической модели является минимизация производственных и технологических издержек на платформе теории нечетких множеств с «оглядкой» на точные множества (топология на множестве параметров действительных чисел R_1). Принята достаточно гладкая функция $f(x)$, $x \in R_1$. Для нее в точке x_0 локально имеет место представление Тейлора. Представленный в работе комплексный подход позволяет оценить рациональность маршрутов и выбора лучшего из них, учитывающего широкий спектр критериев, ограничений параметров транспорта и требований владельца груза. Стоит отметить, что рациональность выбора складывается порой не только от лучшего результата, но и от возникающих альтернатив и факторов, влияющих на тот или иной выбор и процесс. Заказчик выбирает конкурентоспособный вариант маршрута согласно вариации заявленных им требований по логистическим проектам. Также в работе представлен анализ существующих методов по выявлению рационализации транспортной составляющей в сфере логистики.

Ключевые слова: мультимодальная перевозка; доставка груза; логистика; рациональный маршрут; теория нечетких множеств; ряд Тейлора.

DOI: 10.20295/2412-9186-2022-8-02-188-197

▼ Введение

Реализацию логистических проектов в соответствии с существующими в настоящее время методами в направлении повышения качества транспортного процесса стоит рассматривать в разрезе субъективного, объективного и системного подходов.

Субъективные методы базируются на систематичности определенного плана с целью получения результата. Метод экспертных оценок, матричный метод основаны на предложениях, мнениях группы экспертов, специалистов в рассматриваемой области применения. Так, решение по методу экспертных оценок готовится экспертами на основе анализа больших блоков информации. Нужно заметить, что мнения экспертов склонны к различному толкованию проблематики, тем самым возникают расхождения во мнениях и результатах. Субъективные методы широко распространены благодаря оперативности при анализе решения задачи с количественной оценкой факторов, влияющих на выбор и обработку результата. В рамках проведенного исследования, с учетом применения экспертных оценок, принятых на основе мнения нескольких экспертов, применяют среднее значение из представленных информационных данных и тем самым учитывают данное мнение при разработке алгоритмов решения логистических задач. Усредненный результат с учетом мнений нескольких экспертов сфере дает возможность большей рационализации и объективности при присвоении коэффициентов значимости критериям.

Объективные подходы строятся на обработке статистическо-аналитических показателей с применением математического инструментария, объективной оценке результатов. Существующие методы нацелены на выявление из различных сочетаний определенных условий достоверного, уточненного результата. Преимуществом объективных подходов является эффективность исследования по результатам полученных решений. При применении объективных подходов на качественную оценку результата влияет выбор вариации влияющих факторов. Так, корректный выбор факторов влияет на рационализацию управленческого решения. Зачастую объективные подходы, для оптимальности выбранного решения, дополняют субъективными методами.

Системный подход включает следующие методы — методы анализа и синтеза систем, метод сценариев, метод Дельфи, метод «дерева целей», матричный метод. Данная направленность базируется на упорядочивании логистической проблематики с выстраиванием сценария, основанного на предложениях экспертов. Однако перспективный вариант с применением данного подхода, в зависимости от рынка транспортных услуг и получения необходимой для анализа информации по конкурентным видам транспорта, увеличивает трудоемкость исследования. Системный подход привлекателен по причине упрощенных механизмов, что, в свою очередь, влияет на степень объективности полученных результатов. При принятии рационального управленческого решения необходимо учитывать полную и достоверную информацию: факторы, влияющие на процесс, реалии рынка транспортных услуг и т. д.

Прогностика состоит из таких методов, как интуитивные методы прогнозирования, формализованные методы прогнозирования, метод исторической аналогии, метод математической аналогии, морфологический анализ, регрессионные модели, нейронные сети, глубокие нейронные сети. Прогностика наиболее часто использует подход воздействия на управляемый объект с целью получения результативного решения логистических задач, направленного на успешное прогнозирование транспортных потоков. Она позволяет анализировать и прогнозировать динамику влияющих факторов на тенденции развития как транспортного бизнеса, так и управленческих решений.

Машинное обучение включает в себя: модель «черного ящика», методы математического программирования, метод сетевого планирования и управления, модель программно-целевого управления. Машинное обучение нужно рассматривать как индивидуальную направленность, отдельный класс, основанный на применении в решениях задач входной и выходной информации, направленный на выработку информации посредством цифровых устройств. Однако отметим, что в данной системе не рассматриваются такие риски, как гибкое переориентирование при динамичных изменениях в стратегии целей рассматриваемых задач, которые могли бы претендовать на рациональность с позиции заказчика.

Исследование операций классифицируется на методы экономико-математического моделирования, методы теории массового обслуживания, методы имитационного моделирования, теорию игр, функционально-стоимостный анализ. Исследование операций представляет собой ряд динамических методов для рационального выбора процессов обслуживания, потоковых операций, основанных на технико-экономических приемах обнаружения и сокращения затрат в силу поступления массовости потоков. Однако следует отметить тот факт, что увеличение рассматриваемых потоков влияет на качество и полноту объективного результата. Рисками настоящего подхода можно назвать ограниченные ресурсы для обеспечения организации бесперебойности. Требование «точно в срок» следует трактовать довольно широко, поскольку оно охватывает ряд ресурсов и согласованность комплексов работ транспортных операций. В мультимодальной логистике очевидно, что массовость транспортных заявок ведет к занятости системы — как пример к простоям в портах на погрузо-разгрузочных операциях, к большей вероятности появления несогласованности в работе системы, вероятное появление отказов.

Классические подходы к операциям с нечеткими числами основываются на принципе обобщения [1]. На платформе теории нечетких множеств разработано множество способов к реализации нечетких вычислений [2–8]. Логистика нефтяных маршрутов, совершенствование управления транспортными услугами с учетом рисков отражено в трудах зарубежных авторов [9–13]. Задачи принятия решений, в том числе транспортного характера, получили отражение в работах [14–19].

Согласно проведенному анализу существующих методов по выявлению рационализации транспортной составляющей, представляется полезным разработать математическую модель, которая бы сочетала в себе преимущества перечисленных методов с акцентом на улучшение качества перевозочного процесса за счет рационализации результата, учитывающего факторы, влияющие на ход и развитие процесса.

1. Цели механизма технологического решения при организации перевозок в рамках рассматриваемой математической модели

При рассмотрении из множества вариантов A посредством использования многокритериального подхода, в выборе путей S транспортировки различными видами транспорта определены цели механизма применения представленной в статье математической модели на гипотетических маршрутах, практических полигонах:

1. Определить возможные варианты доставки груза M_T по рассмотренным маршрутам.
2. Определить критерии в интересах грузовладельца.
3. Рассчитать величины соответствующих критериев.
4. Провести необходимые экспертные оценки.
5. Провести вычисления матрицы по полученной математической модели.
6. Определение единой меры (числовой характеристики в общей области) на множестве мер.
7. Ввод «лучшего варианта» (рационального маршрута в интересах заказчика).
8. Проверка «лучшего варианта».

Для оценки рациональности маршрутов и выбора лучшего из них уместно применение комплексного подхода, учитывающего широкий спектр критериев, характеризующих основные особенности данного вида перевозочного процесса, ограничения параметров транспорта и требований владельца груза. Обозначим А варианты доставки, которые могут содержать участки: $l_ж$ — железной дороги, $l_а$ — автомобильного транспорта, $l_в$ — водного. Возможны перевалки груза с одного вида транспорта на другой. Если вариант имеет терминалы, то его можно считать как два различных (с терминалом и без). Выделим из всех вариантов возможные $A^I \subset A$. Из них выделим допустимые $A^{II} \subset A^I \subset A$ (гарантированные к эксплуатации). Обозначим каждый отдельный вариант $A_i \in A^{II}$, $i \in N_1$, $N_1 = (1, 2, ..., n_1)$. Присвоим индекс i варианту (в дальнейшем это упростит ряд математических суждений).

2. Математическая модель принятия решений в сфере логистики

К выбору «лучшего» варианта доставки груза ставятся требования и ограничения различного характера: стоимость перевозки, варианты доставки груза M_T, параметры терминалов (резервуаров) для непрерывной работы, время перегрузок и т. д. Выполнение условий и их параметров назовем критериями k_j, $j \in N_2$, $N_2 = (1, 2, ..., n_2)$, где n_2 — число критериев. Для части критериев один элемент «лучше» другого, если его параметры больше другого (например, прибыль). Для других «лучше» — значит менее затратный (стоимость, сроки доставки и др.). Для третьих рост (убывание) безразлично, важно, чтобы критерий определенно определялся (параметры устойчивости), т. е. множество $k_{j\lambda}$ можно разделить на три группы, в которых можно определить свое понятие «лучше». Выделим из этого множества основные k_{j0} (для краткости индекс $\lambda = 0$ опускаем) и второстепенные $k_{j\lambda}$, $\lambda \in N_3$, $N_3 = (1, 2, ..., n_{3j})$. Если «лучших» несколько, то возникнет необходимость детализировать процесс доставки с учетом $k_{j\lambda}$. Заметим, что на практике в основном используются только k_j. Если $n_2 < n_1$, задача выбора существенно упрощается (как для экспертов, так и для математической модели). Имеет место право менять порядок присвоения индекса критериев и в их подгруппе (второстепенных критериев) $k_{j\lambda}$, $\lambda \in N_3$, для $\forall j \in N_2$. Условие транзитивности используется в математической модели.

Основными требованиями к созданию информационного обеспечения: компактность, наглядность, удобство в процессе выбора «лучшего» варианта. Предлагается представить информационное обеспечение в виде матриц вида, приведенного в таблице (для простоты изложения полагается $\lambda = 0$).

В таблице каждый вектор-столбец содержит информацию $Ц_{j\lambda i}$ о $k_{j\lambda}$. Каждая вектор-строка

Информационное обеспечение цифровых значений Ц$_n$ по вариантам маршрутов A_n

Критерии	A_1	A_2	…	An_1
k_1	Ц$_{11}$	Ц$_{12}$	…	Ц$_{1n_1}$
⋮	⋮			
k_{n_2}	Ц$_{n_2 1}$	Ц$_{n_2 2}$		Ц$_{n_2 n_1}$

k_j имеет компоненты о величине критерия в каждом варианте A_i. Для $\forall_j \in N_2$ данные имеют одинаковую физическую размерность. В вектор-столбцах A_i компоненты (Ц$_{ji}$) меют разные размерности. Это обстоятельство создает значительные трудности в выборе «лучшего», ибо нет единой меры в данных, значит, еще предстоит определить, чем же один вариант лучше другого. Матрица (Ц$_{j\lambda i}$) имеет n_1 вектор-столбцов n_2 вектор-строк данных основных k_j, $j \in N_2$, плюс для $\forall_j$ второстепенных n_{3j}.

Подтвержденный эффект вопросов строительства, обустройства, стоимости, окупаемости, прибыли и т. д. может отражаться в данных (Ц$_{j\lambda i}$). Вопросы уменьшения стоимости, времени технологических операций, затрат мощностей, энергии, повышение надежности и т. д. взаимосвязаны.

Характер нечеткости заложен в данных (Ц$_{j\lambda i}$), не всегда четких определений $k_{j\lambda}$, понятия «лучшего» из множества «близких» по параметрам вариантов. Матрица (Ц) часто имеет прямоугольный вид $n_2 > n_1$, что существенно усложняет экспертную задачу.

Формализованная экспертная постановка задачи. Дано: допустимые варианты A_i, $i \in N_1$, доставки груза M_T из пункта A^0 в пункт B^0, технические средства доставки, данные маршрутов (длина участков, время их прохождения видами транспорта и др.), время и стоимость перевалок груза с одного вида транспорта на другой. Вся информация содержится в (Ц$_{j\lambda i}$). При необходимости данные можно дополнить возможностями базы данных.

Возможно также введение матрицы $\left(k^3_{j\lambda i}\right)$ с коэффициентами ограничений (административный ресурс), который сводится к умножению $\bar{M}_{j\lambda i} = M_{j\lambda i} \cdot k^3_{j\lambda i}$ данных экспертных или рассчитанных по математической модели оценок (мест, баллов), что может привести к пересмотру решения задачи. Итак, дано: $A_i \in A^{II}$, (Ц$_{j\lambda i}$), $M_T k_{j\lambda}$, $\left(k^3_{j\lambda i}\right)$.

Требуется: найти «лучший» вариант доставки груза M_T с более полным удовлетворением требований $k_{j\lambda}$. Понятие «лучший» возлагается на экспертный совет, аналогично с понятием полного удовлетворения $k_{j\lambda}$.

Формализованная технологическая постановка задачи. При решении поставленной выше задачи эксперты интуитивно используют понятие транзитивности множества данных Ц$_{j\lambda i}$, перенеся их значения в разные варианты доставки груза. Для вектор-строк это приемлемо (одинаковая физическая размерность), но сложнее для вектор-столбцов ввиду различной размерности. Необходима мера оценок (количество мест, баллов, очков) перехода в данных для оценки больше > (меньше <). Если мера найдена, задача упрощается существенно. Остается только выбор из множества «лучших», если их несколько. Формально постановка задачи не меняется. Предлагается математическая модель, позволяющая существенно упростить экспертам решить поставленную задачу, а в некоторых случаях довести до полного ее решения.

Следует уточнить некоторые понятия применительно к поставленной задаче. Считаем, что мера критерия $\forall k_j$ во всех вариантах не меняется (например, стоимость перевозки 1 т/км, затраченное время на провоз 1 т/км и т. д., для всех вариантов). Это позволяет для $\forall j \in N_2$ использовать обычные математические операции над величинами параметров в каждой вектор-строке.

Предполагается построить математическую модель с «оглядкой» на точные множества (обычная топология на множестве параметров действительных чисел R_1), не забывая их нечеткую природу вариантов и нечеткие оценки экспертов.

Возьмем достаточно гладкую функцию $f(x)$, $x \in R_1$. Для нее в точке x_0 локально имеет место представление Тейлора.

$$f\left(x_0+\Delta x\right)=f\left(x_0\right)+\sum_{S=1}^{N}\frac{1}{S!}\frac{\lambda^S f\left(x\right)}{\lambda x^S}\Bigg|_{x=x_0}\left(\Delta x\right)^S+O\left((\Delta x)^N\right). \quad (1)$$

Зачастую свои оценки (места, баллы, очки) эксперты ставят в сравнении с известным образцом (эталоном). Учитывая это, по аналогии примем следующее. Пусть $М_{ji}$ — количество мест в критерии k_j, $j \in N_2$. Полагаем $Ц_{i+1} \neq Ц_i \neq Ц_{i-1} \neq 0$. Тогда $М_i^j$ вычисляется по формуле (для краткости индекс j опустим):

$$М_{i+1}=М_i+\frac{М_{i+1}-М_{i-1}}{Ц_{i+1}-Ц_{i-1}}\left(Ц_{j+1}-Ц_i\right)+\left(\frac{М_{i+1}-М_i}{Ц_{i+1}-Ц_i}-\frac{М_i-М_{i-1}}{Ц_j-Ц_{i-1}}\right)\frac{\left(Ц_{i+1}-Ц_i\right)^2}{Ц_{i+1}-Ц_{i-1}};\ i\in N_1\,/\,i=1,\,i=n_1. \quad (2)$$

В отношении (1) ограничение двумя членами ряда (локальное ограничение зависимости параметров вариантов A_i от значений соседних). Величины $Ц_i$ даны по условию задачи. Полагаем, что математические операции допускаются.

Введем коэффициенты:

$$a_i=\frac{Ц_{i+1}-Ц_i}{Ц_{i+1}-Ц_{i-1}},\ b_i=\frac{\left(Ц_{i+1}-Ц_i\right)^2}{\left(Ц_i-Ц_{i-1}\right)\left(Ц_{i+1}-Ц_{i-1}\right)},\ Ц_{i+1}\neq Ц_i\neq Ц_{i-1};\ i\in N_1\,/\,i=1,\,i=n_1. \quad (3)$$

Тогда (2) примет рекуррентный вид:

$$\left(b_i-a_i\right)М_{i-1}+\left(1-a_i-b_i\right)М_i+\left(2a_i-1\right)М_{i+1}=0,\ i=\left(2,3,\ldots,n_1-1\right). \quad (4)$$

Данные в $\forall j \in N_2$ транзитивны, этим свойством будут обладать и $М_i$, если $Ц_{i+1} \neq Ц_i \neq Ц_{i-1}$. В противном случае все варианты равнозначны.

В формуле (2) ограничимся двумя первыми членами. Три значения $М_{i-1}$, $М_i$, $М_{i-1}$ локально лежат на одной прямой. Любое из них вычисляется, если известны два других (трехточка). Неизвестное располагается на этой прямой, определяется значениями a_i, b_i.

Способ 1. В условиях предложения 1, принимая обозначения (3) и ограничиваясь локальной линейной зависимостью в (2), вычисления $М_i$ проведем с использованием рекуррентной формулы:

$$-a_iМ_{i-1}+М_i-\left(1-a_i\right)М_{i+1}=0,\ i\in\left(2,3,\ldots n_1-1\right). \quad (5)$$

Запишем систему уравнений (5) в матричном виде:

$$C_1X_1=F_1, \quad (6)$$

где

$$C_1=\begin{pmatrix} 1 & a_2-1 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 \\ -a_3 & 1 & a_3-1 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -a_4 & 1 & a_4-1 & & 0 & 0 & \vdots \\ \vdots & \cdots & \cdots & -a_{n_1-2} & & 1 & a_{n_1-2}-1 & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & & & -a_{n_1-1} & 1 & a_{n_1-1}-1 \end{pmatrix},\ X_1=\begin{pmatrix} М_2 \\ М_3 \\ \vdots \\ М_{n_1-1} \end{pmatrix},\ F_1=\begin{pmatrix} a_2М^I \\ 0 \\ \vdots \\ \left(П_i-1\right)П^j-М^I \end{pmatrix},\ М_1=М^I.$$

Система (6) не замкнута. Для замыкания необходимо еще одно соотношение.

Величины $М_i$, $М_{n_1}$ не определены. Здесь предполагается оценивать в «местах» (баллах, очках). Каждый критерий во всех вариантах имеет одинаковую размерность, поэтому экспертам удобнее проводить оценку в «местах» по отношению к выбранному варианту («эталону»). Порядок столбцов в Ц произволен, поэтому считаем $М_i$ заданным. Его величина должна быть удобна для экспертных сравнений (например, 10 мест).

Оценку $М_{n_1}$, определим из условия среднеарифметической.

$$\sum_{i=1}^{n_i}\left(М_i - П\right) = 0 \tag{7}$$

Теперь система уравнений (5), (7) замкнута, запишем ее как

$$CX = F, \tag{8}$$

где

$$C = \begin{pmatrix} 1 & a_2-1 & 0 & 0 & \cdots & \cdots & 0 & 0 \\ -a_3 & 1 & a_3-1 & 0 & & & & 0 \\ 0 & -a_4 & 1 & a_4-1 & & & & \vdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & & \cdots & & -a_{n_1-2} & 1 & a_{n_1-2}-1 & 0 \\ 0 & & & 0 & 0 & -a_{n_1-1} & 1 & a_{n_i-1}-1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & \cdots & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix},\ X = \begin{pmatrix} М_2 \\ М_3 \\ \vdots \\ \\ М_{n_1} \end{pmatrix},\ F = \begin{pmatrix} a_2 М^I \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ n_1 П^I - М^I \end{pmatrix}.$$

При этом все $М^I$ располагаются над (под) среднеарифметической $П^I = \text{const}$. Если уравнение (7) заменить при $i = n_1$ аналогичной трехточкой «эталоном» $Ц_{n_1+1} = Ц_1$, то нарушим условие (3) Способа 1. То же при других подобных заменах. Величины $М_{ji}$ зависят от значений $М^j$, $П^j$. Потребуем, чтобы

$$М_{ji} > 0 \text{ для } \forall_i \in N_1,\ П^j > 0_1,\ М^j > 0_1,\ \forall j \in N_2. \tag{9}$$

Вернем ранее опущенный для упрощения индекс j, отнесенный к множеству качеств k_j. Напомним, что индекс i относится к варианту доставки груза A_i.

Пусть (3) выполнено, тогда определитель $I\,C_j\,I \neq 0$, решение (8) по Крамеру, согласно структуре вектора F_j примет вид:

$$М_{ji} = \frac{(-1)^{i-1}}{I\,C_j\,I}\left[a_{j2}\Delta^1_{ji} - \Delta^2_{ji}\right]М^j + \frac{(-1)^{n_1+i}}{I\,C_j\,I}(n_1-1)\Delta^2_{ji}П^j,\quad i \in N_1 / i = 1. \tag{10}$$

для $\forall j \in N_2$, определитель Δ_{ji} имеет структуру, аналогичную $I\,C_j\,I$, но в нем i-й столбец заменен на столбец F^1_j, а определитель Δ^2_{ji} на F^2_j.

$$F^1_j = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ -1 \end{pmatrix},\ F^2_j = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 4П \end{pmatrix}. \tag{11}$$

Оценки $М_{ji}$ в $\forall j \in N_2$ зависят от двух параметров $М_j$, $П_j$, на которые накладываются требования (9). Для $\forall i \in N_I$ в пространстве пар ($М^j$, $П^j$) образуется множество G_i^j, удовлетворяющее (9). Их пересечение $\bigcap\limits_{i \in N_1} G_i^j \neq 0$ является решением (5), (7). Множество может быть пустым $G_0^j = \varnothing$ (противоречивые критерии) и лежать выше (ниже) прямых:

$$a^{ji} М_i^j + b^{ji} П^i = 0, \quad i \in N_i \,/\, i = 1, \tag{12}$$

или между ними $G_0^j \neq \varnothing$. Отметим, что характер множества значений $Ц_{ji}$ $(\inf\limits_{i \in N_1} Ц_{ji}, \operatorname{supp}\limits_{i \in N_1} Ц_{ji})$ совпадают в $\forall j \in N_2$ с характером значений множества $М_{ji}$, но последнее зависит только от двух параметров ($М^j$, $П^j$) для $\forall j \in N_2$. Поэтому понятие «лучший» переносится на множество оценок мест $М_{ji}$ (больше, меньше).

В пространстве пар ($М^j$, $П^j$) $\in$ G_0^j удовлетворяет требованию (9). Произвольно выбирая точку в $G_0^i = \varnothing$, определяются значения $М_{ji}$ для $\forall i \in N_1$. Заметим, что при $Ц_{ji-1} = Ц_{ji} = Ц_{ji+1}$ решение существует $М_{ji} = П_i = \mathrm{const}$ (равнозначные варианты A_i). В этом смысле необходимо привлекать второстепенные качества $k_{j\lambda}$. Коэффициенты a^{ji}, b^{ji} легко вычисляются через соответствующие миноры C, исходных данных $Ц_{ji}$.

Способ 2. Определяет вычисление $М_i$ с использованием формулы (4). Тоже трехточка, но с учетом локальной кривизны вычисляемых величин $Ц_i$, $М_i$. Вычисления $\bar{М}_{ji}$ (черта сверху для отличия от значений вычисленных по Способу 1) учитывают локальную кривизну данных $Ц_{ji}$. Матрица $\bar{C}$ тоже трехдиагональна (трехточка), имеет вид:

$$\bar{C}\bar{X} = \bar{F},$$

где

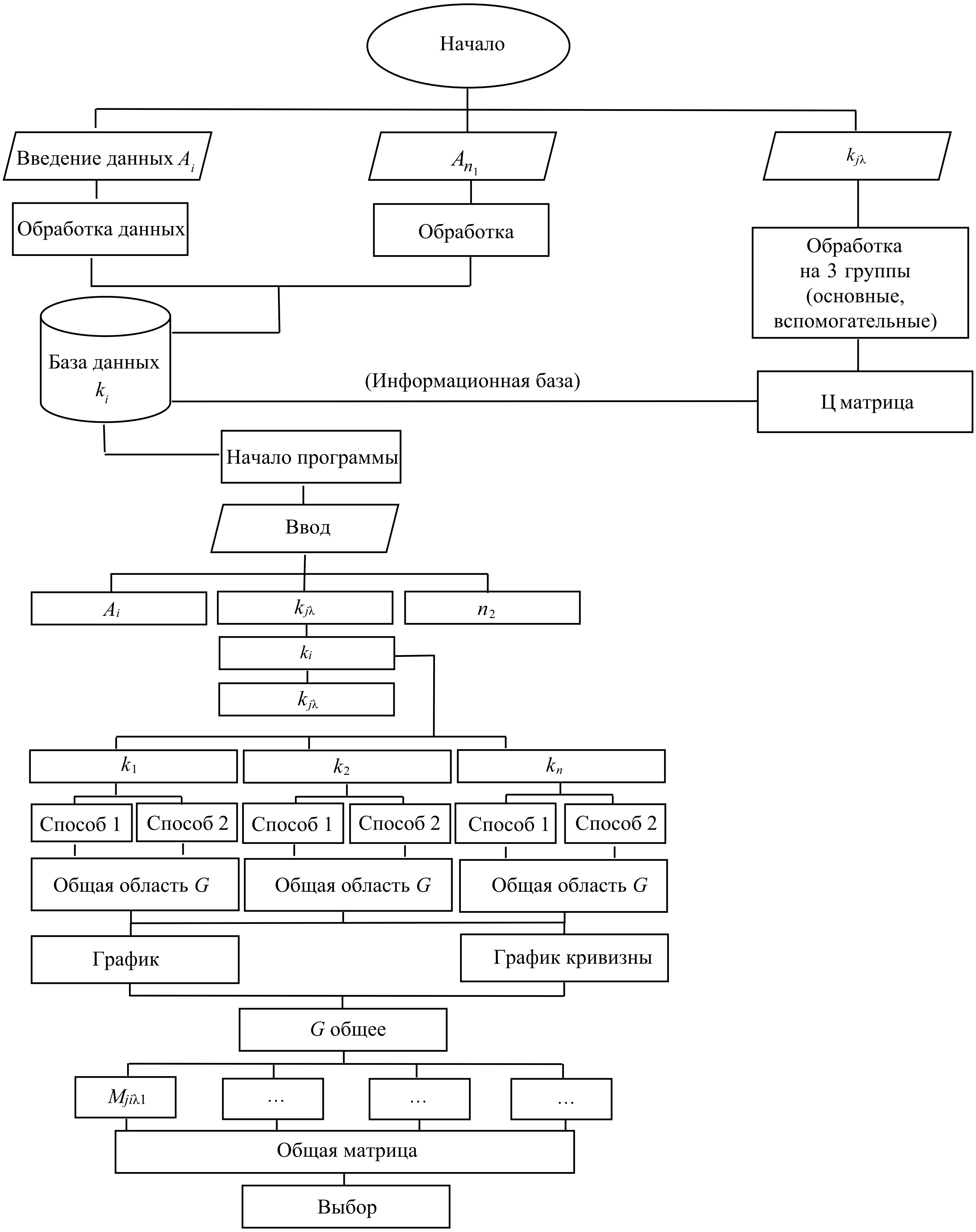
$$\bar{C} = \begin{pmatrix} \beta_2 & \Upsilon_2 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & \\ -\lambda_3 & \beta_3 & \Upsilon_3 & 0 & 0 & & & 0 & \\ 0 & -\lambda_4 & \beta_4 & \Upsilon_4 & 0 & & & \vdots & \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & 0 & 0 & \\ & & & & & \cdots & & & \\ & & & & & & \lambda_{n_{1-1}} & \beta_{n_{1-1}} & \Upsilon_{n_{1-1}} \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & \cdots & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}, \quad \bar{X} = \begin{pmatrix} \bar{М}_2 \\ \bar{М}_3 \\ \vdots \\ \bar{М}_{n_1} \end{pmatrix}, \quad \bar{F} = \begin{pmatrix} \lambda_2 \bar{М}^j \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ n_1 П^j - \bar{М}^j \end{pmatrix}, \bar{М}_1 = \bar{М}^1. \tag{13}$$

где $\lambda_i = b_i - a_i$, $\beta_i = 1 - a_i - b_i$, $Y_i = 2a_i - 1$, $i \in N_1 \,/\, i = 1$.

При $Ц_{ji-1} \neq Ц_{ji} \neq Ц_{ji+1}$ определитель $I\bar{C}I \neq 0$, значения $\bar{М}_{ji}$ вычисляются и зависят от $\bar{М}^j$, $\bar{П}^j$. Анализ данных аналогичен анализу, описанному в Способе 1. Заметим, что сумма элементов вектор-строк матриц C, $\bar{C}$ равна нулю (исключая первую и последнюю). Математическая модель предусматривает контроль исходных вычислительных данных a_i, b_i, вектор-строк k_{ji}, определенный анализ вычислений.

Уточним понятие «лучшего». Величина $М_i$ зависит от тройки $Ц_{i-1}$, $Ц_i$, $Ц_{i-1}$. Определим значение k_{ji}, $i \in N_1$ в варианте i_0.

Если на прямой N_1 отобразить порядок индексов i, $N_1 = 1_n j^2 \ldots$, по вертикали значение $Ц_i$ и там же (со своим масштабом) значения M_i, получим две кривые Ц и М. Кривая М повторит характер Ц, но сгладит ее в соседних точках (влияние $М_i$ на $М_{i+1}$, $М_{i-1}$). Однако рост и спад кривых обязан совпадать, ибо они зависят от величин тройки ($Ц_{i-1}$, $Ц_i$, $Ц_{i+1}$). Это важно, ибо на нечетных множествах $Ц_{ji}$, $М_{ji}$ важны только условия (9), если необходима минимизация k_{ji}, $i \in N_1$, или находить максимум (10). Если экстремумов несколько, то «лучший» экспертам отобрать не сложно.



Блок-схема алгоритма поиска наилучшего варианта доставки груза

Для окончательного решения задачи выбора лучшего варианта доставки груза из пункта А в пункт В экспертам дается информация $k_{j\lambda i}$, $Ц_{j\lambda i}$, $k^3_{j\lambda i}$, вычисленные по предложенной математической модели оценочные данные $М_{j\lambda i}$, $\bar{M}_{j\lambda i}$, данные гипотетического варианта (возможно, несуществующего) с компонентами $z_j = \sup\limits_{i \in N_1} \mathrm{M}ji$, или $z_j = \inf\limits_{i \in N_1} \mathrm{M}ji$ (экстремум определяется критериями k_{ji}). В сущности, эксперты должны найти общую меру на множестве мер $\left(\mathrm{M}^j\right)$, $\left(\bar{\mathrm{M}}^j\right)$, $j \in N_2$. Тогда лучший вариант A_{i_0} определяется как минимум (максимум) величин $\sum\limits_{i \in N_2} \mathrm{M}ji$.

3. Блок-схема математической модели принятия решений на множестве рассматриваемых маршрутов

Значимость представленной блок-схемы описанного алгоритма поиска наилучшего варианта доставки груза (рисунок) состоит в решении задач по организации перевозочного процесса и повышении эффективности при транспортировке груза по видам транспорта на регулярной математической основе.

Заключение

В статье представлена математическая модель принятия решений поставленной задачи в помощь экспертам на нечетком множестве данных в сфере логистики. Приведена формализованная постановка задачи: структура информационного обеспечения, математическая модель анализа данных и выбора лучшего варианта доставки груза по $\forall\, k_{j\lambda} \in N_2$. Предложены два способа (локально-линейный и с учетом локальной кривизны исходных и рассчитываемых данных) вычисления количества «мест» для $\forall\, k_{j\lambda} \in N_2$ во всех $A_i \in A^{II}$. Приводится формализованная задача экспертного совета по выбору лучшего варианта доставки груза $A_0 \in A^{II}$.

Актуальность приведенной в статье математической модели заключается в необходимости совершенствования методологии комплексного мультимодального транспортного планирования на глобальном, национальном и региональном уровнях, в особенности на полигонах конфликтных территорий с меняющейся геополитической обстановкой, и тем самым повышения востребованности транспортных услуг, управления цепочками поставок. Несмотря на фундаментальность существующих трудов по рассматриваемой проблеме, можно отметить отсутствие единого подхода при решении задач учета комплексной транспортировки в интересах заказчика (грузовладельца). Значимость состоит в решении технологических задач по организации перевозочного процесса при транспортировке и повышении эффективности перевозки по видам транспорта в мультимодальном сообщении на основе использования представленной математической модели. ▲

Библиографический список

1. *Zadeh L. A.* 1975. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning / L. A. Zadeh // Information Sciences. — Parts 1, 2, 3. 8. — Pp. 43–80, 199–249, 301–357.
2. *Dubois D.* Operations on fuzzy numbers / D. Dubois, H. Prade // International Journal of Systems Science. — 1978. — № 9(6). — Pp. 613–626.
3. *Klir G. J.* Fuzzy arithmetic with requisite constraints / G. J. Klir // Fuzzy Sets and Systems. — 1997. — № 91. — Pp. 165–175.
4. *Lodwick W. A.* Constrained interval arithmetic / W. A. Lodwick // CCM report. — 1999. — № 138. — Pp. 1–11.
5. *Piegat A.* Fuzzy Modeling and Control / A. Piegat // Springer-Verlag. — 2001. — 728 p.
6. *Nagoor Gani A.* A New Operation on Triangular Fuzzy Number for Solving Fuzzy Linear Programming Problem / A. Gani Nagoor, S. N. Mohamed Assarudeen // Applied Mathematical Sciences. — 2012. — № 11. — Pp. 525–532.
7. *Chalco-Cano Y.* Single level constraint interval arithmetic / Y. Chalco-Cano, W. A. Lodwick, B. Bede // Fuzzy Sets and Systems. — 2014. — № 257. — Pp. 146–168.
8. *Vorontsov Y. A.* Algebraicheskie operacii s nechetkimi LR-chislami s ispol'zovaniem preobrazovanija L [Ltransform Based Algebraic Operations on fuzzy LR-numbers] / Y. A. Vorontsov, M. G. Matveev // Programmnaja inzhenerija [Software Engineering]. — 2014. — № 8. — Pp. 23–29.
9. *Aven T.* Misconceptions of risk / T. Aven // John Wiley and sons Inc. — 2010. — 248 p.
10. *Aven T.* Risk analysis. Assessing uncertainties beyond expected values and probabilities / T. Aven // John Wiley and Sons Inc. — April 2008. — 204 p.
11. *Aven T.* Risk management: With application from the offshore petroleum industry / T. Aven, J. E. Vinnem // Springer. — 2007. — 211 p.
12. *Beaumont E. A.* Exploring for oil and gas trap / E. A. Beaumont, N. H. Forester // The American Association of Petroleum Geologists. — 1999. — Pp. 1–100.

13. *Shapiro J. F.* Modeling the Supply Chain. Thomson Learning. — 2001. — 586 p.
14. *Агапова Е. Г.* Задачи коммивояжера при оптимизации маршрутного пути / Е. Г. Агапова, Т. М. Попова // International Journal of Advancrd Studies. — 2019. — Т. 9. — № 4. — С. 7–10.
15. *Гольштейн Е. Г.* Задачи линейного программирования транспортного вида / Е. Г. Гольштейн, Д. Б. Юдин. — М.: Физматгиз, Наука, 1993. — 384 с.
16. *Зак Ю. А.* Fuzzy — регрессивные модели программирования затрат времени стоимости грузовых автомобильных перевозок / Ю. А. Зак // Логистика сегодня. — 2015. — № 3. — С. 162–172.
17. *Зак Ю. А.* Критерии и методы сравнений нечетких множеств / Ю. А. Зак // Системные исследования и информационные технологии. — 2013. — № 3. — С. 58–68.
18. *Зак Ю. А.* Принятие решений в условиях нечетких и размытых данных: Fuzzy-технологии / Ю. А. Зак. — М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013. — 352 с.
19. *Фараонов А. В.* Разработка алгоритма принятия оперативных решений при выборе нового маршрута доставки / А. В. Фараонов // Менеджмент в России и за рубежом. — 2012. — № 3. — С. 84–90.

TRANSPORT AUTOMATION RESEARCH, 2022, Vol. 8, No. 2, pp. 188–197
DOI: 10.20295/2412-9186-2022-8-02-188-197

Mathematical Model of Decision-Making on Data Fuzzy Set in Logistics Field

Information about author
Lyashenko A. N., Leading Consultant. E-mail: LjashenkoAN@economy.gov.ru

Ministry of Economic Development of the Russian Federation, Moscow

Abstract: Insufficiently effective management of transportation process is associated with the cases of irregularity and inconsistency of the work of transport various modes among themselves, insignificant development of processing capacities for cargo transshipment between transport modes as well as of insufficient number of terminals serving to «smooth» work inconsistency in time in transport flows. This article describes mathematical model for choosing a rational variant of cargo delivery from the position of a transportation client. The main advantage of the described mathematical model is the minimization of production and technological costs on the platform of fuzzy set theory with an "eye" on exact sets (topology on the set of parameters of real numbers R_1). Sufficiently smooth function $f(x)$, $x \in R_1$, is adopted. For it, the Taylor representation takes place locally at the point x_0. Presented in the paper integrated approach allows to evaluate the rationality of routes and the choice of the best among them which takes into account wide range of criteria, limitations of transport parameters and cargo owner requirements. It is worth to note that the rationality of choice is sometimes formed not only from the best result, but also from emerging alternatives and factors affecting this or that choice and process. A client chooses a competitive route option according to the variation of claimed by him demands on logistics projects. The paper also presents existing method analysis on reveal of the rationalization of transport constituent in logistics field.

Keywords: multimodal transportations; cargo delivery; logistics; rational route; fuzzy set theory; Taylor series.

References

1. Zadeh L. A. 1975. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning, Parts 1, 2, 3. Information Sciences. Parts 1, 2, 3. 8, pp. 43–80, 199–249, 301–357.
2. Dubois D, Prade H. 1978. Operations on fuzzy numbers. International Journal of Systems Science, no. 9(6), pp. 613–626.
3. Klir G. J. 1997. Fuzzy arithmetic with requisite constraints. Fuzzy Sets and Systems, no. 91, pp. 165–175.
4. Lodwick W. A. 1999. Constrained interval arithmetic. CCM report, no. 138, pp. 1–11.
5. Piegat A. 2001. Fuzzy Modeling and Control. Springer-Verlag. 728 p.
6. Nagoor Gani A., Mohamed Assarudeen S.N. 2012. A New Operation on Triangular Fuzzy Number for Solving Fuzzy Linear Programming Problem. Applied Mathematical Sciences, no. 11, pp. 525–532.
7. Chalco-Cano Y., Lodwick W.A., Bede B. 2014. Single level constraint interval arithmetic. Fuzzy Sets and Systems, no. 257, pp. 146–168.
8. Vorontsov Y. A., Matveev M. G. Algebraicheskie operacii s nechetkimi LR-chislami s ispol'zovaniem preobrazovanija L [Ltransform Based Algebraic Operations on fuzzy LR-numbers]. *Programmnaja inzhenerija* [Software Engineering]. 2014, I. 8, pp. 23–29. (In Russian)
9. Aven T. Misconceptions of risk. John Wiley and sons Inc., 2010. 248 p.
10. Aven T. Risk analysis. Assessing uncertainties beyond expected values and probabilities. John Wiley and Sons Inc., April 2008. 204 p.
11. Aven T., Vinnem J. E. Risk management: With application from the offshore petroleum industry. Springer, 2007. 211 p.
12. Beaumont E. A., Forester N. H. Exploring for oil and gas trap. The American Association of Petroleum Geologists, 1999, pp. 1–100.
13. Shapiro J. F. Modeling the Supply Chain. Thomson Learning, 2001. 586 p.
14. Agapova E. G., Popova T. M. *Zadachi kommivoyazhera pri optimizatsii marshrutnogo puti* [Traveling salesman problems in route optimization]. International Journal of Advancrd Studies. 2019, vol. 9, I. 4, pp. 7–10. (In Russian)
15. Gol'shteyn E. G. *Zadachi lineynogo programmirovaniya transportnogo vida* [Problems of linear programming of the transport type]. Moscow: Fizmatgiz Publ., Nauka Publ., 1993, 384 p. (In Russian)
16. Zak Yu. A. Fuzzy - regressivnye modeli programmirovaniya zatrat vremeni stoimosti gruzovykh avtomobil'nykh perevozok [Fuzzy - regressive models for programming the cost of time and the cost of road freight transportation]. *Logistika segodnya* [Logistics today]. 2015, I. 3, pp. 162–172. (In Russian)
17. Zak Yu. A. Kriterii i metody sravneniy nechetkikh mnozhestv [Criteria and methods for comparison of fuzzy sets]. *Sistemnye issledovaniya i informatsionnye tekhnologii* [System Research and Information Technologies]. 2013, I. 3, pp. 58–68. (In Russian)
18. Zak Yu. A. *Prinyatie resheniy v usloviyakh nechetkikh i razmytykh dannykh: Fuzzy – tekhnologii* [Decision making in conditions of fuzzy and fuzzy data: Fuzzy - technologies]. Moscow: «LIBROKOM» Publ., 2013. 352 p. (In Russian)
19. Faraonov A. V. Razrabotka algoritma prinyatiya operativnykh resheniy pri vybore novogo marshruta dostavki [Development of an algorithm for making operational decisions when choosing a new delivery route]. *Menedzhment v Rossii i za rubezhom* [Management in Russia and abroad]. 2012, I. 3, pp. 84–90. (In Russian)