

РАЗРАБОТКА СИТУАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЗАДАЧИ МАРШРУТИЗАЦИИ ПРИ НЕОБХОДИМОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ОПОРНОГО ПЛАНА НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ СИТУАЦИОННОЙ СЕТИ

А.В. Фараонов

Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации

Россия, 196210, Санкт-Петербург, ул. Пилотов, 38

E-mail: faraonov.a@mail.ru

Ключевые слова: транспортная логистика, ситуационная модель, имитационное моделирование, оперативное управление, нечеткий ситуационный подход, нечеткие ситуационные сети.

Аннотация: Рассматривается задача планирования и оперативного управления выбора маршрута доставки, основанная на представлении совокупности типовых состояний системы в виде узлов графа, переходы которого соответствуют управляющим решениям нечеткой ситуационной сети. Разрабатывается имитационная модель принятия оперативных решений при возникновении непредвиденной ситуации на маршруте, корректировке опорного плана и выборе нового маршрута доставки. Решается задача многокритериального выбора маршрутов доставки в условиях неопределенности, основанных на теории нечетких множеств.

1. Введение

Разработка и решение логистических задач маршрутизации [1, 2], нахождение оптимальных маршрутов возникают в различных областях транспортной логистики: доставка товаров от поставщика к клиенту, доставка сырья, запасных деталей и узлов на производство, курьерская и почтовая доставка, работа грузовых и экспедиторских операторов, рассматривались в ряде работ [3-14]. Сформулирован целый класс задач, с ограничениями по времени (DVRPTW – dynamic vehicle routing problems with time windows), постоянно пополняющийся новыми задачами, учитывающими реальные ограничения, возникающие с развитием логистических процессов [2]. «Имитационное моделирование – это методология исследования сложных систем для понимания их функционирования и для принятия обоснованных решений. Имитационное моделирование необходимо любому человеку, принимающему ответственные решения» [15, стр. 17]. Разработка и исследование транспортно-логистической системы с помощью имитационной модели позволяет оценить компетентность специалиста, при принятии решений без вмешательства в работу реальной системы, растянуть или сжать время функционирования логистической системы, понять сложное взаимодействие элементов внутри системы, оценить степень влияния факторов и выявить «узкие места» [7-16]. Ситуационный подход в принятии решений для транспортно-логистической системы предполагает, не только оценить возникшую ситуацию на маршруте, но и

определить управляющие решения. Разработка моделей доставки грузов основана на представлении ситуационной модели в виде узлов графа, переходы которого соответствуют управляющим решениям. Такое представление получило название нечеткой ситуационной сети (НСС) [17-20].

2. Ситуационное управление выбора маршрута на основе нечеткой ситуационной сети

2.1. Постановка задачи

2.1.1. Ситуационный выбор маршрута. Ситуационный шаг управления [17,18] представляется формулой:

$$S_{NET} : S_j \xrightarrow{U_k} S1_j,$$

где S_{NET} – выполнение опорного плана S_{NET} ; S_j – текущая ситуация (узел W_i); $S1_j$ – новая ситуация (узел W_j корректировка опорного плана); $\xrightarrow{U_k}$ – выбор маршрута в «непредвиденной ситуации»- выбор модели доставки) (рис. 1).

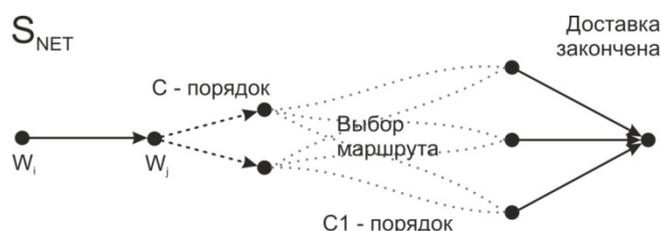


Рис. 1. Оперативное управление доставкой грузов.

Для «непредвиденной ситуации» требуется не просто идентифицировать ситуацию и соответствующее ей множество управляющих решений, но и определить рациональные пути достижения целей планирования и оперативного управления выбора маршрута доставки, для чего необходимо определить возможные последствия управляющих решений на несколько шагов вперед. Задачи оперативного управления выбора маршрута доставки требуют привлечения дополнительных методов, среди которых хорошо себя зарекомендовали методы, основанные на представлении совокупности типовых состояний системы в виде узлов графа, переходы которого соответствуют управляющим решениям. Ситуационная сеть S_{NET} представлена в виде ориентированного графа $S_{NET} = (W, A)$, где W – множество узлов – состояний, а A – множество дуг-переходов между состояниями.

$$\begin{aligned} S_{NET} &= (W, A); \\ W &= \{w_i | i = 1, \dots, N_w\}; \\ A &= \{a_{i,j} | i = 1, \dots, N_w; j = 1, \dots, N_w\}. \end{aligned}$$

Метод вывода по нечеткой ситуационной сети [18] основывается на определении связного подграфа, содержащего некоторое начальное состояние сети w' , относительно которого ведется поиск.

$$\begin{aligned} S'_{NET} &= (W', A'), \\ W' &\subset W, w' \in W'; \\ A' &= \{a_{i,j} | w_i, w_j \in W'\}. \end{aligned}$$

Разрабатывается имитационная модель принятия оперативных решений при возникновении «непредвиденной ситуации» на маршруте в узле W_j , корректировке опорного плана и выборе нового маршрута доставки (рис. 1).

2.1.2. Определение опорного плана (рис. 2). Решается задача оперативного управления рациональной доставкой грузов в логистической компании «Нева - Лайн» от контейнерной площадки морского порта(1) и грузового терминала Пулково(2) до склада(3), центрального офиса (4) и четырех магазинов(5-8) в среде «BusinessMap (Деловая карта)» [6]. Транспортная сеть доставки представлена в виде графа (рис. 2), где: 1 – контейнерная площадка морского порта; 2 – грузовой терминал Пулково; 3 – склад (ул. Политехническая, 9); 4 – офис (ул. Красуцкого, 5); 5 – магазин-склад (ул. Литовская, 4); 6 – магазин (Ленинский пр., 163); 7 – магазин (Гончарная ул., 14); 8 – магазин (ул. Ильюшина, дом 1, кор., 1). Определяется множество маршрутов доставки $\mu_j = S_{NET}$ например, с помощью пакета www.ingit.ru. Официальный сайт разработчика ООО «Фирма «ИНТИТ», «Деловая карта» [21].

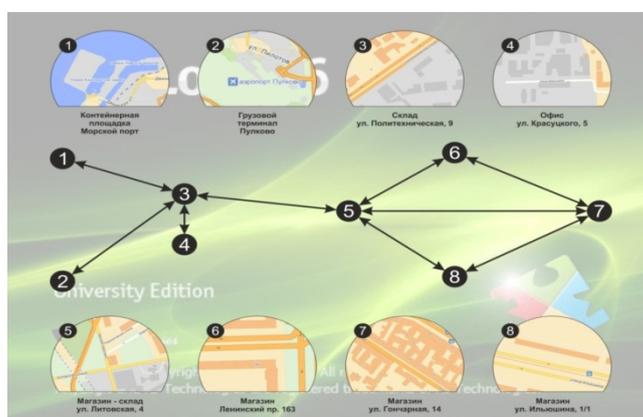


Рис. 2. Схема доставки – определение опорного плана.

При возникновении «непредвиденной ситуации» в узле W_j – дальнейший маршрут определяется следующим образом (рис. 3). Определяется множество альтернативных (возможных) маршрутов доставки $\mu(j)=S_{NET} = \{S_{NET1}, S_{NET2}, \dots, S_{NETn}, \dots, S_{NETm}\}$. Каждый маршрут характеризуется параметрами (критериями), $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_m\}$ (например пропускная способность, расстояние, время доставки).

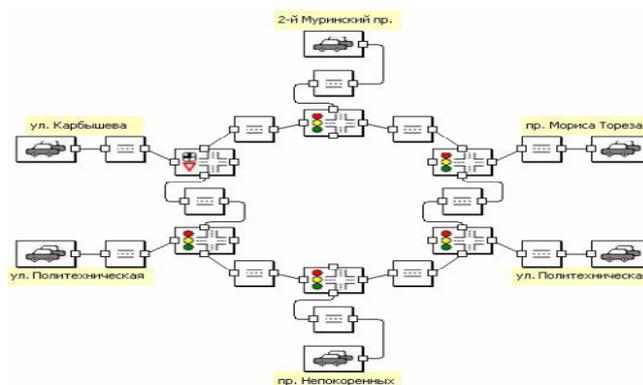


Рис. 3. Общая схема ситуационной модели транспортной сети у склада фирмы «Нева-Лайн» на ул. Политехническая, дом 9.

3. Многокритериальный выбор на основе метода анализа иерархий

Метод анализа иерархий предполагает математическую обработку экспертных оценок на основе матричных вычислений и аддитивной свертки критериев [22-24]. В методе анализа иерархий иерархия является основным способом представления структуры принятия решений. Основное назначение иерархии – структуризация сложной проблемы для количественной оценки вариантов. Например, для иерархии на Рис. 4 находятся приоритеты альтернатив нижнего уровня (вероятные новые маршруты) по каждому критерию второго уровня (частные критерии: длина, время в пути, марка автомобиля, состояние дороги, время суток), которые в свою очередь используются для синтеза приоритетов альтернатив по главному критерию (новый маршрут). Первым этапом в решении задач принятия решений является декомпозиция проблемы через определение ее компонент и отношений между ними, т. е. построение иерархии задачи принятия решений. Общие рекомендации могут быть следующими: основные цели устанавливаются в вершине иерархии, подцели – непосредственно ниже, силы, влияющие на подцели — еще ниже. На самом нижнем уровне иерархии следует располагать возможные исходы (альтернативы, сценарии и т. д.).

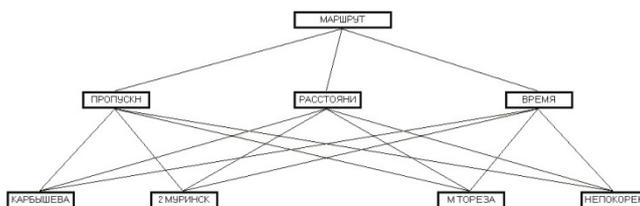


Рис. 4. Выбор нового маршрута методом анализа иерархий.

4. Определение функции принадлежности для выбора ситуационной модели доставки грузов на основе нечетких множеств в среде FuzzyTECH

Наиболее перспективными методами принятия решений в слабоструктурированных проблемных областях являются, методы, основанные на теории нечетких множеств. Одним из таких методов является метод анализа альтернатив (принятие решений в условиях неопределенности) [25, 26]. Программа FuzzyTECH [25] позволяет оперировать лингвистическими переменными и создавать для них продукционные правила вывода. В интерактивном режиме программы FuzzyTECH можно не только видеть значение конечного результата $\mu(j)$, но и следить за промежуточными операциями. Данная возможность необходима при внесении новых переменных и правил в процедуру определения альтернативного маршрута. Демонстрация промежуточных результатов контролирует перенос правил нечеткого вывода в программу. Например, для определения альтернативного маршрута от склада на ул. Политехническая, дом 9 запишем лингвистические переменные и создадим для них продукционные правила вывода (рис. 5). Определяем (Marshrut) с тремя терминами: «high», «middle» и «low» при трех входных переменных пропускная способность (Psposobnost), расстояние (Rastoynie) и время доставки (Time), получим набор правил. Логист для каждой переменной (Рис. 5) вводит вручную степень принадлежности к

соответствующим термам. Полученные значения обрабатываются в соответствии с правилами, и в таблице в правой части (рис. 5) отображается истинность правила в виде черного прямоугольника. Прямоугольник, закрашенный полностью, показывает на истинность, равную 1, прямоугольник не закрашенный — на истинность, равную 0. Промежуточным значениям соответствует прямоугольник, закрашенный частично. Отображение истинности правила позволяет следить за ошибками при переносе правил в программу, а также за влиянием каждого из правил на конечный результат.

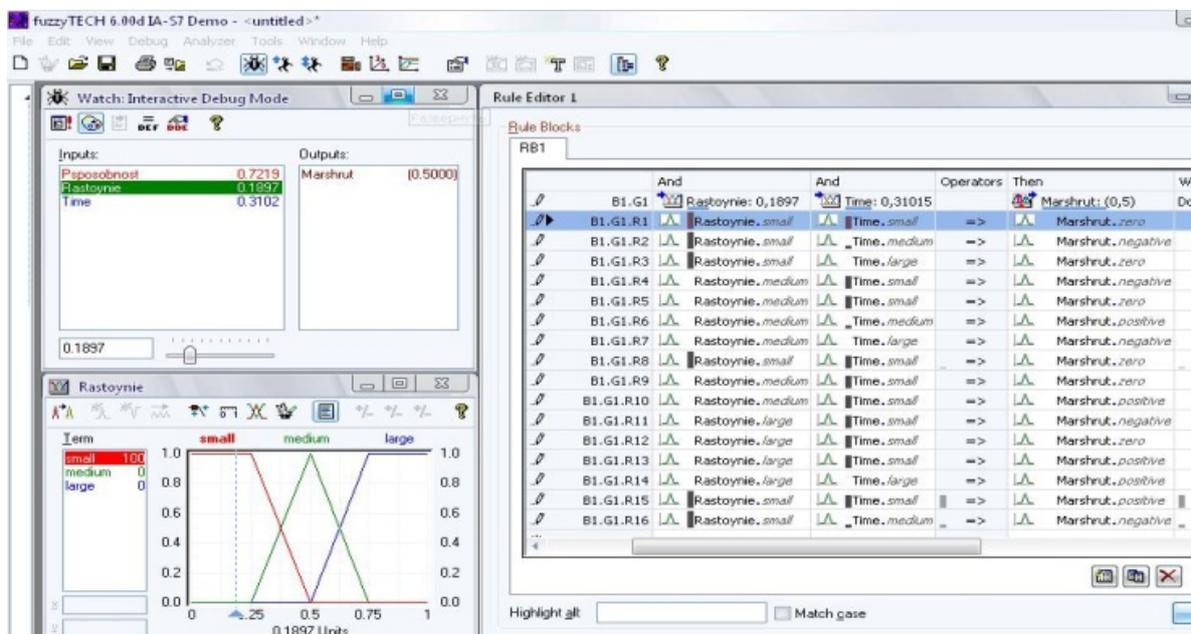


Рис. 5. Интерактивный режим программы FuzzyTech.

2.1.3. Выбор модели доставки грузов μ_{ij} отражает уровень соответствия i -го маршрута доставки требованиям по j -му параметру ($\mu_{ij} \in [0; 1]$; $i = 1, m$; $j = 1, n$) [9-14].

5. Методы формализации экспертной информации при выборе ситуационной модели доставки грузов

Обзор работ, посвященных исследованию способов формализации экспертной информации при принятии решений [3, 5, 7-14, 17-20], позволяет выделить в качестве удобного инструмента для представления знаний эксперта нечеткие множества. Можно выделить в качестве основных несколько представленных ниже математических постановок задач принятия решений на основе теории нечетких множеств [17-20].

5.1. Модель максиминной свертки (ММС)

Наилучшим считается маршрут при минимальных недостатках по всем параметрам. Маршрут 1 – ул. Карбышева, Маршрут 2 – 2-ой Муринский пр., Маршрут 3 – пр. Мориса Тореза, Маршрут 4 – пр. Непокоренных.

X-маршруты	Y-параметры (критерии)			$\mu_{ij} \min$ – минимальное значение по параметрам на каждом маршруте
	Пропускная способность	Расстояние	Время доставки	
1	0,1	0,6	0,5	0,1
2	0,7	0,2	0,8	0,2
3	0,3	0,5	0,4	0,3
4	0,9	0,4	0,6	0,4

Выбирается маршрут, где будет максимальное значение параметра из всех минимальных значений, т.е.:

Маршрут 4	0,9	0,4	0,6	0,4 – max из min
------------------	-----	-----	-----	------------------

Недостатки модели: маршрут, имеющий высокие оценки по некоторым параметрам и низкую оценку, хотя бы по одному, оценивается в конечном итоге, как вариант с низким уровнем качества.

Преимущества: 1) алгоритм решения очень прост; 2) при использовании модели требуется минимальный объем входной информации; 3) использование модели всегда дает решение.

5.2. Модель абсолютного решения (МАР)

Задается минимально допустимое значение $\mu_{ij} \min$ для каждого параметра Y $\mu_{ij} \min = \{0,7; 0,6; 0,8\}$. Выбирается маршрут, с параметрами не хуже заданных (**выделены подходящие**).

X- маршруты	Y- параметры (критерии)		
	Пропускная способность	Расстояние	Время доставки
1	0,1	0,6	0,5
2	0,7	0,2	0,8
3	0,3	0,5	0,4
4	0,9	0,4	0,6
$\mu_{ij} \min$	0,7	0,6	0,8

При этих условиях ни один маршрут не выбирается, т.к. не удовлетворяет требованиям. Тогда сначала смягчаем требования к параметрам $\mu_{ij} \min = \{0,5; 0,4; 0,6\}$ и разрабатываем новые варианты отбора. Смягчаем требования к $\mu_{ij} \min$ и получаем:

X-маршруты	Y- параметры (критерии)		
	Пропускная способность	Расстояние	Время доставки
1	0,1	0,6	0,5
2	0,7	0,2	0,8
3	0,3	0,5	0,4
*** 4	0,9	0,4	0,6
$\mu_{ij} \min$	0,5	0,4	0,6

В результате смягчения требования к $\mu_{ij} \min$ получаем решение, удовлетворяющее заявленным требованиям:

*** 4	0,9	0,4	0,6
--------------	-----	-----	-----

5.3. Модель основного параметра (МОП)

Решение производится по шагам. На каждом шаге выбирается основной параметр, и поиск наилучшего решения ведется только по нему. В данном решении предполагается рассмотрение параметров по важности, поэтому решение производится по столбцам.

X – маршруты	Y – параметры (критерии)		
	Пропускная способность (3)	Расстояние (2)	Время доставки (1)
1	0,1	0,6	0,5
2	0,7	0,2	0,8
3	0,3	0,5	0,4

X – маршруты	Y – параметры (критерии)		
	Пропускная способность (3)	Расстояние (2)	Время доставки (1)
4	0,9	0,4	0,6
$\mu_{ij} \min$	0,4	0,3	0,5

Первым по важности рассматриваем параметр «Время доставки», тогда:

Маршруты	Время доставки ¹
1	0,5
2	0,8
3	0,4
4	0,6
$\mu_{ij} \min$	0,5

Далее приступаем к рассмотрению еще менее важного критерия, например «Расстояние»:

Маршруты	Расстояние ²
1	0,6
2	0,2
3	0,5
4	0,4
$\mu_{ij} \min$	0,3

Далее приступаем к рассмотрению критерия «Пропускная способность», т.е. рассматриваем первый столбец:

Маршруты	Пропускная способность ³
1	0,1
2	0,7
3	0,3
4	0,9
$\mu_{ij} \min$	0,4

Получаем, что наиболее подходящим является 4 маршрут:

4	0,9	0,4	0,6
---	-----	-----	-----

Преимущества: 1) учитывается уровень важности параметров; 2) эксперт может корректировать ограничения на значения параметров непосредственно на каждом шаге, что ускоряет процесс решения.

Недостатки: при завышенных требованиях ни один из маршрутов не может быть выбран как наилучший.

5.4. Модель компромиссного параметра (МКП)

Эксперт выбирает параметры по уровню их важности и определяет влияние каждого параметра на выбор маршрута. В данной модели используется интегральный параметр, получаемый в результате свертывания частных параметров. Эксперт выставляет оценку уровня важности частных параметров в баллах от 10 до 100 – $W = \{w_1, w_2, \dots, w_j, \dots, w_m\}$. Затем проводится нормализация выставленных уровней важности и определяется степень влияния каждого параметра на общее решение – $\gamma_j = w_j / \sum w_j$ – проверяем, выполняется ли нормализующее условие: $\sum \gamma_j = 1$. Интегральный параметр наилучшего маршрута определяется как средневзвешенный уровень соответствия i -го варианта всем частным параметрам – $f_i = \sum (\mu_{ij} \times \gamma_{ij})$

X- маршруты	Y- параметры (критерии)		
	Пропускная способность	Расстояние	Время доставки
1	0,1	0,6	0,5
2	0,7	0,2	0,8
3	0,3	0,5	0,4
4	0,9	0,4	0,6
Баллы w_i	80	20	100
Доля влияния w_i	0,4	0,1	0,5

Определяем долю влияния каждого параметра на общее решение:

$$W_1 = 80 / (80+20+100) = 0,4$$

$$W_2 = 20 / (80+20+100) = 0,1$$

$$W_3 = 100 / (80+20+100) = 0,5$$

Рассчитаем интегральный параметр качества для предложенных вариантов доставки:

$$f_1 = 0,1*0,4+0,6*0,1+0,5*0,5 = 0,35$$

$$f_2 = 0,7*0,4+0,2*0,1+0,8*0,5 = 0,7$$

$$f_3 = 0,3*0,4+0,5*0,1+0,4*0,5 = 0,37$$

$$f_4 = 0,9*0,4+0,4*0,1+0,6*0,5 = 0,75$$

Оптимальное решение – это вариант с максимальным интегральным параметром f_{\max} .

Недостатки: высокое значение интегрального параметра не гарантирует того, что данный вариант маршрута полностью соответствует всем выдвинутым требованиям. Низкое значение одного из параметров может быть компенсировано высоким значением более значимого параметра.

5.5. Модель эталонного сравнения (МЭС)

Имеется оптимальное решение на основе компромиссной модели, при этом учитываются ограничения на значения параметров. Определяется эталонный вариант маршрута доставки груза X_0 . Параметры этого варианта принимаются как минимально допустимые значения параметров $\mu_{ij} \min$. Каждый вариант маршрута множества X сравнивается с эталонным X_0 . Если качества X_i -го варианта не хуже эталонного X_0 по всем параметрам, то для него рассчитывается интегральный параметр f_i . Определяются минимально допустимые значения параметров. Сравниваются предложенные варианты доставки с эталоном. Выбираются варианты не хуже эталонного (выделены жирным шрифтом).

X-маршруты	Y- параметры (критерии)		
	Пропускная способность	Расстояние	Время доставки
1	0,1	0,6	0,5
2	0,7	0,2	0,8
3	0,3	0,5	0,4
4	0,9	0,4	0,6
X_0 -эталон	0,3	0,4	0,4

Определим оценки уровня важности параметров w_j :

X-маршруты	Y- параметры (критерии)		
	Пропускная способность	Расстояние	Время доставки
1	0,1	0,6	0,5
2	0,7	0,2	0,8
3	0,3	0,5	0,4
4	0,9	0,4	0,6
X_0 -эталон	0,3	0,4	0,4
w_j	25	40	60

Рассчитаем долю влияния параметров на конечное решение:

X-маршруты	Y- параметры (критерии)		
	Пропускная способность	Расстояние	Время доставки
1	0,1	0,6	0,5
2	0,7	0,2	0,8
3	0,3	0,5	0,4
4	0,9	0,4	0,6
X_0 -эталон	0,3	0,4	0,4
w_j	25	40	60
ω_j	0,2	0,32	0,48

Проверяется выполнение нормировочного условия ($\sum \omega_j = 1$). Затем рассчитывается интегральный параметр для выбранных вариантов:

$$f_3 = 0,3 * 0,2 + 0,5 * 0,32 + 0,4 * 0,48 = 0,412$$

$$f_4 = 0,9 * 0,2 + 0,4 * 0,32 + 0,6 * 0,48 = 0,596 \text{ (этот вариант лучше).}$$

Недостаток модели: требуется большой объем входной информации.

6. Разработка ситуационной модели в среде AnyLogic

Разработка модели [27-29] выполняется в среде редактора AnyLogic, анализ модели происходит в среде исполнения (рис. 5). В каждой фазе существуют свои средства управления. Переход из одной фазы в другую производится очень легко. Можно многократно использовать переход между фазами редактирования и исполнения модели при разработке модели.

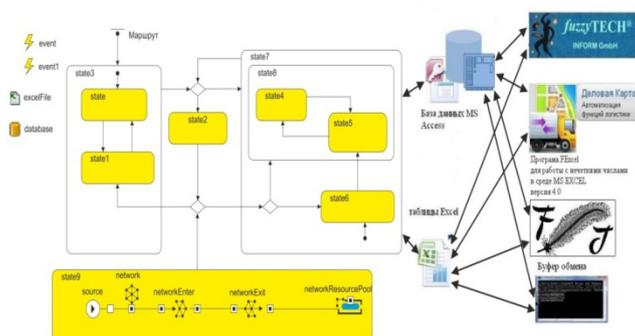


Рис. 5. Обмен данными между элементами имитационной модели.

Моделирование в AnyLogic представляет собой выполнение последовательности событийных и временных шагов. Чтобы связать модель с базой данных, нужно вначале создать объект **database** и **excelFile**— элемент модели AnyLogic, который будет соответствовать реальному опорному плану, и обеспечивать взаимодействие с ним. Программируются события исполняющего модуля AnyLogic – это события, происходящие во время работы модели. События (маршруты опорного плана), которые могут быть выполнены в данный момент. События исполняющего модуля AnyLogic хранятся в очереди сообщений.

6.1. Временной шаг

Если текущих событий нет, то AnyLogic выполнит временной шаг до ближайшего события (или событий) в очереди, т.е., увеличит значение модельного времени. Во время выполнения временного шага может произойти событие, вызванное тем, что выполнилось какое-то заданное условие. Дискретная часть исполняющего модуля AnyLogic не знает о том, когда выполнится условие срабатывания перехода: это зависит от системы уравнений, решаемой непрерывной частью исполняющего модуля. Как только это произойдет, значение времени будет увеличено до времени, выданного решателем уравнений, и будет выполнен событийный шаг.

6.2. Событийный шаг

На один момент времени могут быть запланированы сразу несколько событий (дальнейший маршрут). В этом случае AnyLogic выберет одно из этих событий и

выполнит его. Это будет повторяться до тех пор, пока не будут выполнены все текущие события. Поэтому сразу несколько событийных шагов могут быть выполнены последовательно, в то время как после временного шага обязательно должен выполняться событийный шаг. Одновременные события (дальнейший маршрут) могут, как зависеть друг от друга, так и быть истинно параллельными.

Выполнение события, по сути, является выполнением кода, заданного в *Действии* этого события. Выполнение события перехода является выполнением действия, связанного с этим переходом. В результате выполнения события может измениться дискретное состояние модели: могут начать ожидание другие переходы, планироваться другие события, измениться текущие состояния диаграмм состояний. Некоторые события могут быть удалены из очереди событий, а другие события могут быть добавлены в нее.

6.3. Обработка событий исполняющего модуля AnyLogic

Моделирование в AnyLogic представляет собой выполнение последовательности событийных и временных шагов. Во время временного шага: обновляется значение модельного времени, «дискретное» состояние модели (состояния диаграмм состояний, портов, событий, потоков) остается неизменным, численно решаются текущие активные уравнения (если они есть), и соответствующим образом изменяются значения переменных, проверяются ожидающие события. Во время событийного шага: значение модельного времени не изменяется, выполняются действия состояний, переходов, событий, портов и т.д., связанные с этим событием, может измениться состояние модели, в очереди событий исполняющего модуля AnyLogic могут быть как удалены некоторые запланированные события, так и добавлены некоторые новые. Результаты исследований для случая ситуационной модели транспортной сети у склада фирмы «Нева-Лайн» на ул. Политехническая, дом 9 (рис. 3) приведены на рис. 6-8.

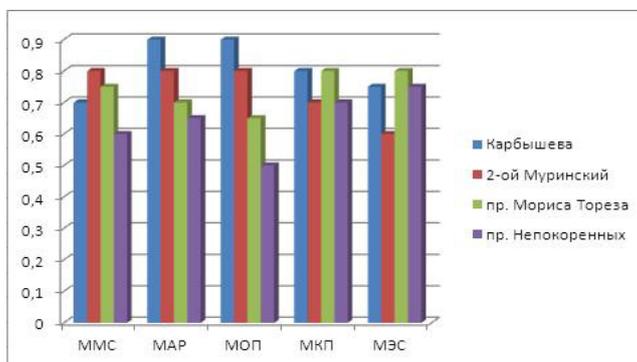


Рис. 6. Результаты сравнения по критерию «Время доставки».

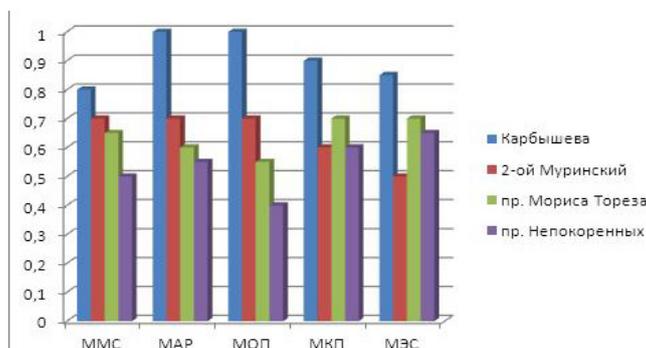


Рис. 7. Результаты сравнения по критерию «Расстояние».

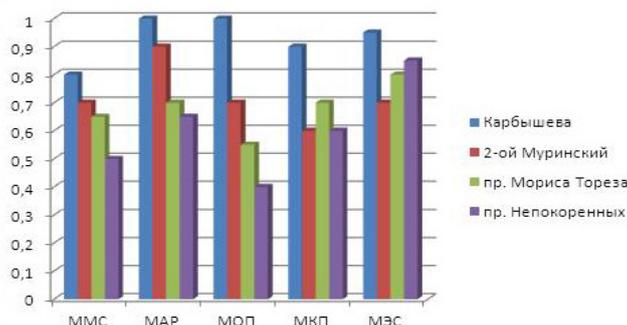


Рис. 8. Результаты сравнения по критерию «Пропускная способность».

7. Заключение

Анализ результатов позволяет сделать следующие выводы:

- 1) Методы принятия решений на нечетких моделях позволяют удобно и достаточно объективно производить оценку альтернатив по отдельным критериям. Добавление новых альтернатив не изменяет порядок ранее ранжированных наборов.
- 2) Методы, базирующиеся на разных подходах, дают различные результаты. Каждый подход имеет свои ограничения и особенности, и пользователь должен получить о них представление, прежде чем применять тот или иной метод принятия решений.
- 3) Большинство нечетких методов принятия решений показывает зависимость результатов от исходных данных (рис. 6-8).

Несовпадение результатов, полученных разными методами, объясняется, с одной стороны, различными способами представления экспертной информации, а с другой — различием подходов к принятию решений. Так, в основу метода анализа иерархий и модели компромиссного параметра заложен рационально-взвешенный подход, основанный на попарных сравнениях объектов и нормированных весовых коэффициентах. Максимальная свертка и модель основного параметра являются реализацией пессимистического подхода, игнорирующего хорошие стороны альтернатив, когда лучшей считается альтернатива, имеющая минимальные недостатки по всем критериям. К недостаткам модели эталонного сравнения относится требование большого объема входной информации.

В результате проделанной работы в фирме «Нева-Лайн», разработаны ситуационные модели принятия оперативных решений на основных направлениях доставки для минимального времени окончания оставшихся работ, корректировке опорного плана и выборе нового маршрута доставки. Преимуществами данного подхода к моделированию и исследованию транспортных сетей в пакете AnyLogic является простота и наглядность построения сети, возможность расширения и усовершенствования модели пользователем. Время создания модели транспортной сети зависит от ее объема. Построение транспортных сетей и проведение несложных экспериментов с ними может быть выполнено даже не имеющим специальной подготовки пользователем.

Список литературы

1. Dantzig G.B., Ramser J.H. The Truck Dispatching Problem // Management Science. 1959. Vol. 6, No. 1. P. 80-91.

2. The VRP Web [Электронный ресурс]. University of Malaga. Режим доступа: <http://neo.lcc.uma.es/radi-aeb/WebVRP/>, свободный.
3. Резер С.М., Ловецкий С.Е., Меламед И.И. Математические методы оптимального планирования в транспортных системах // Итоги науки и техники. 1990. Т. 9.
4. Палагин Ю.И. Логистика – планирование и управление материальными потоками. СПб.: ОАО «Издательство «Политехника»», 2009.
5. Палагин Ю.И. Оптимальное планирование задач завоза и вывоза грузов из нескольких распределительных центров // Транспорт: наука, техника, управление. 2010. № 2.
6. Палагин Ю.И., Мочалов А.И. Взаимодействие видов транспорта в смешанных перевозках. Часть II. Определение оптимального маршрута международной автомобильной перевозки с использованием ИС «Microsoft AutoRoute». СПб.: СПб ГУГА, 2006. 113 с.
7. Вилисов В. Я. Транспортная модель, аппроксимирующая предпочтения ЛПР // Прикладная информатика. 2010. № 6 (30).
8. Гимаров В. В., Глушко С. И., Дли М. И. Конфигурирование информационных и транспортных сетей в условиях неопределенности // Прикладная информатика. 2012. № 6 (42).
9. Фараонов А.В. Нечеткое ситуационное моделирование планирования и оперативного управления выбора маршрута доставки // Менеджмент в России и за рубежом. 2013. № 6. С. 84.-90.
10. Фараонов А.В. Имитационное моделирование планирования и оперативного управления выбора маршрута доставки на основе нечеткой ситуационной сети // Шестая всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» ИММОД-2013. Казань, 16-18 октября 2013 г.
11. Фараонов А.В. Оценка компетентности специалиста в логистических задачах выбора маршрута доставки «точно в срок» // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. ISSN 2075-9878. 2013. № 1 (5). С. 96-105.
12. Фараонов А.В. Ситуационная модель выбора маршрута доставки // Прикладная информатика. 2013. № 2 (44). С. 113-126.
13. Фараонов А.В. Разработка ситуационной модели выбора маршрута доставки при необходимости изменения опорного плана на основе нечетких множеств // «Логистика: современные тенденции развития». 12-я Международная научно-практическая конференция. Санкт-Петербург, 19 апреля 2013 г. С. 399-401.
14. Фараонов А.В. Ситуационная модель выбора маршрута доставки при необходимости изменения опорного плана на основе нечетких множеств // Транспорт: наука, техника, управление. 2012. № 12. С. 25-30.
15. Юсупов Р.М. Национальное общество имитационного моделирования России – начало пути // CAD/CAM/CAEObserver. 2012. № #2 (70).
16. Лукинский В.С., Романов А.В., Зеленцов В.А., Кириллов Н.П., Потрясаев С.А., Соколов Б.В. Междисциплинарный подход к созданию автоматизированных систем управления интермодальными транспортно-логистическими сетями // Имитационное и комплексное моделирование морской техники и морских транспортных систем. Сборник докладов второй международной научно-практической конференции ИКМ МТМТС 2013. ISSN 978-5-902241-22-5. С. 60-66.
17. Пospelов Д.А. Ситуационное управление. Теория и практика. М.: Наука, 1986.
18. Мелихов А.Н., Берштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. М.: Наука, 1990.
19. Борисов В.В., Зернов М.М. Реализация ситуационного подхода на основе нечеткой иерархической ситуационно-событийной сети // Искусственный интеллект и принятие решений. ISSN 2071-8594. 2009. № 1. С. 17-30.
20. Войнов В.В. Нечеткое ситуационное управление внутрисосудистым микророботом // V Международная научно-практическая конференция «Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте». Коломна, 28-30 мая 2009.
21. www.ingit.ru. Официальный сайт разработчика ООО «Фирма «ИНТИТ» «Деловая карта».
22. Абакаров А. Ш., Сушков Ю. А. Программная система для выделения наилучшей альтернативы из множества имеющихся альтернатив. (MPRIORITY). Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2005612330 от 08 сентября 2005. (23.03.11. Наука и образование. Двухэтапная процедура отбора перспективных альтернатив на базе табличного метода и метода анализа иерархий.)
23. Абакаров А. Ш., Иванов А. Ю., Сушков Ю. А. Об одном подходе к управлению персоналом фирмы // Приложение к научно-производственному журналу «Дизайн и производство мебели». 2005. № 3 (8).
24. Андрейчиков А. В., Андрейчикова О. Н. Анализ, синтез, планирование решений в экономике. М.: Финансы и статистика, 2000.

25. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и FuzzyTech. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 739 с.
26. Борисов А. Н., Крумберг О. А., Федоров И. П. Принятие решений на основе нечетких моделей: Примеры использования. Рига: Зинатне, 1990. 184 с.
27. <http://www.anylogic.ru>. Экс ДжейТекнолоджис» www.xjtek.ru.
28. Карпов Ю. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 400 с.
29. Андрей Борщев. Simulation Modeling with AnyLogic: Agent Based, Discrete Event and System Dynamics Methods. <http://www.anylogic.ru/the-big-book-of-anylogic>.