

# ЛОГИСТИКА ВЫБОРА МАРШРУТА ДОСТАВКИ ОТ КОНТЕЙНЕРНОЙ ПЛОЩАДКИ МОРСКОГО ПОРТА НА ОСНОВЕ НЕЧЁТКОЙ СИТУАЦИОННОЙ СЕТИ

## LOGISTICS CHOICE OF ROUTES OF DELIVERY FROM THE CONTAINER YARD SEAPORT FUZZY SITUATIONAL BASED NETWORK

А. В. Фараонов (Санкт-Петербург)

**Введение.** Принятие решений по управлению транспортно-логистическими системами происходит в условиях многокритериальности, многофакторности, наличия ограничений [1]. Процесс принятия управленческих решений во многом основан на интуиции, опыте, менталитете менеджеров и, безусловно, не может быть полностью формализован [2]. Задача поиска оптимальных путей в направленных графах является весьма актуальной в рамках проблематики управления сложными системами и поддержки принятия решений [3]. При этом специфика предметной области обуславливает дополнительные требования, а именно наличие нечеткости (неопределенности) исходной информации и многокритериальный характер оценки процессов управления и принятия решений. В статье [4] рассматриваются эвристические методы принятия решений в различных задачах дискретной оптимизации. Целью для каждой из этих задач является построение т. н. anytime-алгоритмов – т. е. алгоритмов реального времени, которые в каждый определённый момент работы имеют лучшее (на данный момент) решение, при этом пользователь может просматривать эти псевдо-оптимальные решения в режиме реального времени, а последовательность таких решений в пределе даёт оптимальное решение. Построение подобных алгоритмов является одной из задач, которые могут быть объединены общей тематикой с примерным названием «Обучение нечётких систем». Решение практических задач требует поиска новых, более эффективных моделей и алгоритмов поиска как точных, так и приближённых решений. Постановка и решение логистических задач маршрутизации, нахождение оптимального набора допустимых маршрутов происходят в различных областях транспортной логистики. Время – основное ограничение в логистических задачах доставки, привязанной к расписанию морских, авиационных и автомобильных маршрутов. Сформулирован целый класс задач с привязкой ко времени (*DVRPTW – dynamic vehicle routing problems with time windows*), постоянно пополняющийся новыми задачами, которые учитывают реальные ограничения, возникающие с развитием логистических процессов [5].

**Вывод на основе нечёткой ситуационной сети.** Для логистических задач маршрутизации требуется не просто идентифицировать текущую 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 вперёд. 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. Такое представление получило название нечёткой ситуационной сети (НСС) [6]. Ситуационная сеть  $S_{NET}$  может быть представлена в виде ориентированного графа  $S_{NET} = (W, A)$ ; где  $W$  – множество узлов – состояний, а  $A$  – множество дуг-переходов между состояниями.

$$S_{NET} = (W, A); W = \{w_i | i = 1, \dots, N_w\}; A = \{a_{i,j} | i = 1, \dots, N_w; j = 1, \dots, N_w\} \quad (1)$$

Рассмотренный в [6] метод вывода по нечёткой ситуационной сети основывается на трактовке указанных задач в виде задачи поиска некоторого связного подграфа, содержащего некоторое начальное состояние сети  $w'$ , относительно которого ведётся поиск.

$$S'_{NET} = (W', A'), W' \subset W, w' \in W'; A' \{a_{i,j} | w_i, w_j \in W'\} \quad (2)$$

Вид подграфа  $S'_{NET}$  определяется типом конкретной ситуационной сети: для сетей, в дугах переходов которых отсутствует случайная составляющая,  $S'_{NET}$  обычно принимает вид цепи (выполнение опорного плана); для сетей, учитывающих случайные факторы при переходах,  $S'_{NET}$  ищется в виде дерева, соответствующего поливариантному сценарию управления (определяются варианты моделей)

**Постановка задачи.** Рассматриваемая в статье задача относится к задачам о принятии оперативных решений при возникновении непредвиденной ситуации на маршруте доставки и необходимости изменения опорного плана [7, 8]. Решается задача планирования и оперативного управления 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 «Business Map (Деловая карта)» [9]. Транспортная сеть доставки представлена в виде графа (рис. 1), 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).

В статье разрабатывается имитационная модель принятия оперативных решений при возникновении непредвиденной ситуации на маршруте, корректировке опорного плана и выборе нового маршрута доставки (рис. 2). Разработка модели выполняется в среде редактора AnyLogic, анализ модели происходит в среде исполнения [5].

**Обработка событий исполняющего модуля AnyLogic.** Моделирование в AnyLogic представляет собой выполнение последовательности событийных и временных шагов [10]. Чтобы связать модель с базой данных MS Access «Деловая карта», 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 **event** (маршруты опорного плана), которые могут быть выполнены в данный момент. События исполняющего модуля AnyLogic хранятся в очереди сообщений. **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 выбора модели доставки грузов ( $\mu_{ij}$  отражает уровень соответствия  $i$ -го маршрута доставки требованиям по  $j$ -му параметру ( $\mu_{ij} \in [0;1]$ ;  $i=1,m$ ;  $j=1,n$ )), решаемой непрерывной частью исполняющего модуля. В интерактивном режиме программы **fuzzyTECH** [11] 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 нечёткого вывода в программу.

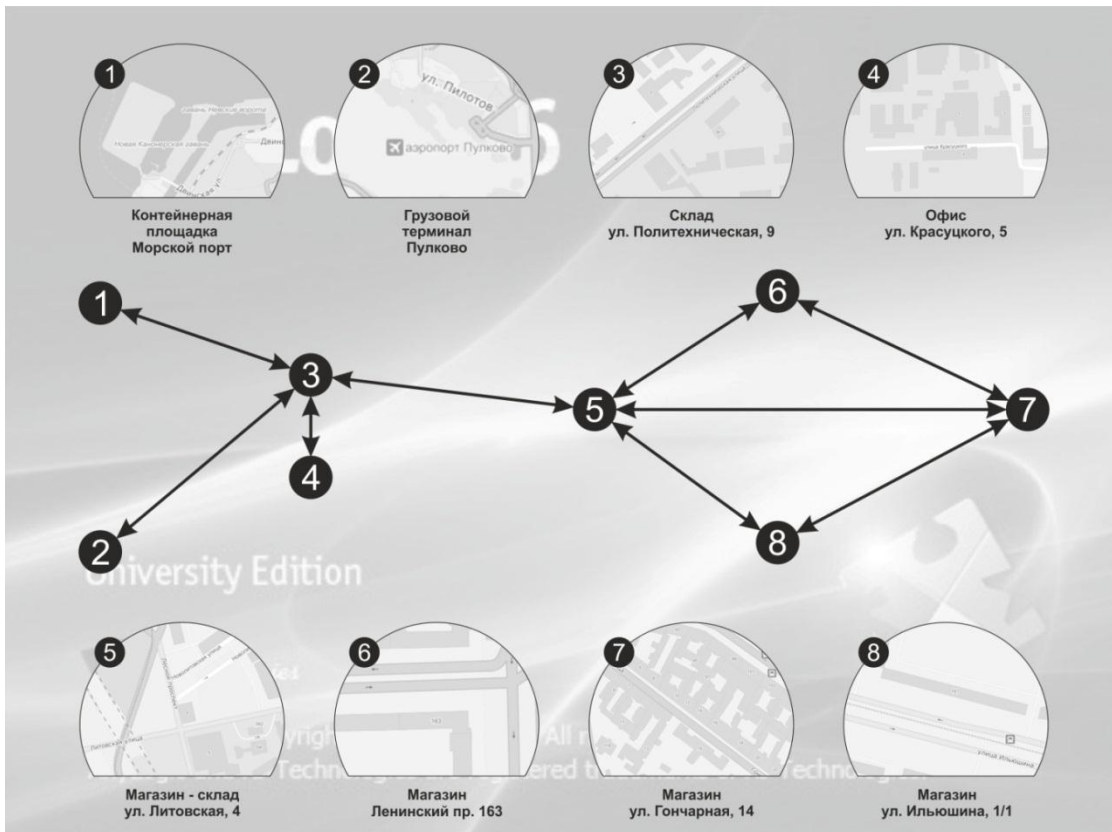


Рис. 1. Транспортная сеть

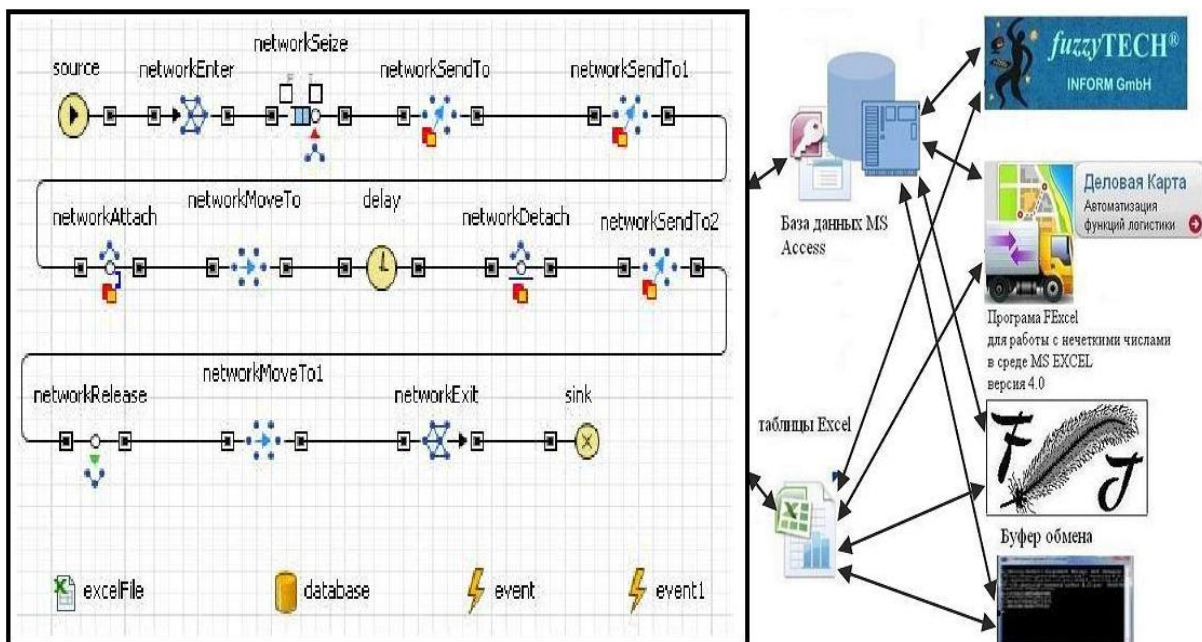


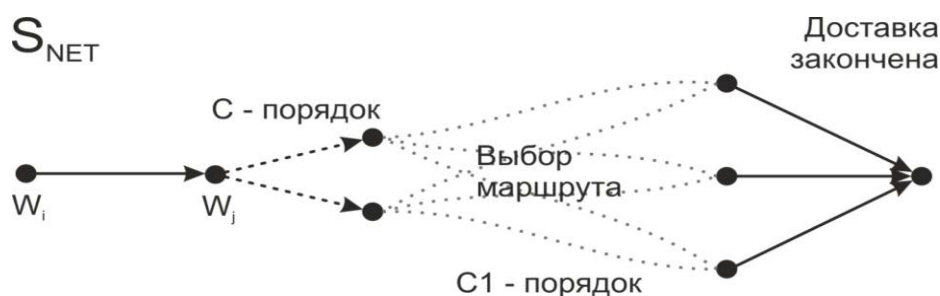
Рис. 2. Обмен данными между элементами имитационной модели

Как только это произойдет, значение времени будет увеличено до времени, выданного решателем уравнений, и будет выполнен событийный шаг.

**Событийный шаг.** На один момент времени могут быть запланированы сразу несколько событий **event1** (выбор дальнейшего маршрута).

Программа выберет одно из этих событий и выполнит его. Это будет повторяться до тех пор, пока не будут выполнены все текущие события.

**Шаг 1.** Определение опорного плана  $S'_{NET} = (W', A')$ , (рис. 3). Определяется множество маршрутов доставки  $S_{NET}$  ( $S_{NET} = \{1, \dots, n\}$ );  $C = \{(i, j) | i, r \in S_{NET}\}$ , например, с помощью пакета [www.ingit.ru](http://www.ingit.ru). Официальный сайт разработчика ООО «Фирма «ИНТИТ», «Деловая карта» [9].



**Рис. 3. Планирование и оперативное управление рациональной доставкой грузов**

**Шаг 2.** Выполнение маршрутов по опорному плану  $S'_{NET} = (W', A')$ .

**Шаг 3.** При возникновении непредвиденной ситуации дальнейший маршрут определяется следующим образом (порядок завершения  $C1$ ). Определено множество альтернативных (возможных) маршрутов доставки  $\mu(j) = S_{NET} = \{S_{NET1}, S_{NET2}, \dots, S_{NETi}, \dots, S_{NETn}\}$ . Каждый маршрут характеризуется параметрами (критериями)  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_m\}$ .

**Шаг 3а.** Выбор модели доставки грузов  $\mu_{ij}$  отражает уровень соответствия  $i$ -го маршрута доставки требованиям по  $j$ -му параметру ( $\mu_{ij} \in [0;1]$ ;  $i=1, m$ ;  $j=1, n$ ). **1. Модель максиминной свертки (ММС).** Наилучшим считается маршрут при минимальных недостатках по всем параметрам. **2. Модель абсолютного решения (МАР).** Задается минимально допустимое значение  $\mu_{ij} \min$  для каждого параметра  $Y$ . Выбирается маршрут, с параметрами не хуже заданных. **3. Модель основного параметра (МОП).** Решение производится по шагам. На каждом шаге выбирается основной параметр, и поиск наилучшего решения ведется только по нему. **4. Модель компромиссного параметра (МКП).** Логист выбирает параметры по уровню их важности и определяет влияние каждого параметра на выбор маршрута. **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  $X_0$ .

**Шаг 3б.** Определение значений функции принадлежности и принятие решений по выбору модели доставки грузов на основе нечетких множеств в среде FuzzyTECH наиболее перспективные методы принятия решений в слабоструктурированных проблемных областях [7,8,11].

Создание компьютерной модели логистической системы включает такие взаимосвязанные этапы, как содержательная постановка задачи; разработка концептуальной модели; разработка и программная реализация имитационной модели; оценка адекватности модели и точности результатов моделирования; планирование экспериментов; принятие решений. Эти показатели не имеют четко очерченных оптимальных границ.

Показатели дают возможность количественно зафиксировать тенденции в подготовке специалиста, определить тип поведения специалиста, и соответственно разработать как коллективную, так и индивидуальную методику подготовки специалистов.

### Литература

1. **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), стр. 60-66.
2. **Ерусалимский В. М., Иода Е. В.** Нечеткие соответствия как способ принятия решений в условиях неопределенности // Социально-экономические явления и процессы № 3 (015), 2009. С. 13-15.
3. **Голубев И. В.** Поиск оптимальных путей в направленных нечетких графах. СМПО НИЦ ВА ВПВО ВС РФ. 2006.
4. **Мельников Б.Ф.** Применение мультиэвристического подхода для случайной генерации графа с заданным вектором степеней / Б.Ф. Мельников, Е. Ф. Сайфуллина // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. – 2013. – № 3 (27). – С. 70–83.
5. The VRP Web [Электронный ресурс]. – University of Malaga. – Режим доступа: <http://neo.lcc.uma.es/radi-aeb/WebVRP/>, свободный.
6. **Борисов В. В., Зернов М. М.** Реализация ситуационного подхода на основе нечеткой иерархической ситуационно-событийной сети. // Искусственный интеллект и принятие решений, Институт системного анализа РАН, ISSN 2071-8594, 1/2009, стр. 17–30.
7. **Фараонов А. В.** Ситуационные центры – инструмент подготовки специалистов транспортной логистики // International Journal of Open Information Technologies ISSN: 2307-8162 Vol. 3, No. 4, 2015, стр. 1–7.
8. **Фараонов А. В.** Ситуационная модель выбора маршрута доставки. // Журнал «Прикладная информатика», №2(44), 2013. С. 113–126
9. [www.ingit.ru](http://www.ingit.ru). Официальный сайт разработчика ООО «Фирма «ИНТИТ», «Деловая карта».
10. <http://www.anylogic.ru>. Экс Джей Текнолоджис», [www.xjtek.ru](http://www.xjtek.ru).
11. <http://fuzzytech.com/>