

УДК [004.89:519.816]:656.13.072  
ББК 39.808.03:32.973

*Л. С. Кригер*

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ДВИЖЕНИЕМ ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА

*L. S. Kriger*

### INTELLIGENCE DECISION SUPPORT SYSTEM FOR MANAGING PUBLIC TRANSPORT

Предложена интеллектуальная система поддержки принятия решений при управлении движением общественного транспорта, построенная на основе метода нечеткого ситуационного управления. Описанный подход позволяет формализовать типовые дорожные ситуации, возникающие при движении городского пассажирского электротранспорта с помощью теории нечетких множеств и осуществлять выбор необходимого управляющего воздействия на основе нечеткого включения ситуаций с применением ранжирования возможных управляющих решений.

**Ключевые слова:** интеллектуальная система, электротранспорт, нечеткие ситуации, расписание, нечеткое включение, управляющее решение.

The intelligence decision support system for managing the movement of public transport, built on the basis of fuzzy situational control, is offered. The described approach allows us to formalize the typical traffic situations that arise during the motion of urban passenger electric transport using the theory of fuzzy sets and to choose the required control action based on the inclusion of fuzzy situations using the ranking of possible management decisions.

**Key words:** intelligence system, electric transport, fuzzy situation, schedule, fuzzy inclusion, control solution.

#### **Введение**

Диспетчеризация городского пассажирского электротранспорта является крайне сложной задачей. Это обусловлено необходимостью учета диспетчером, т. е. лицом, принимающим решение (ЛПР), большого количества факторов, которые влияют на движение транспортных средств в соответствии с имеющимся расписанием движения. Значительное число единиц транспорта, находящихся на маршруте, сложность дорожной обстановки в городских условиях, а также разнообразие ситуаций, которые возникают при движении общественного транспорта, требуют разработки и применения высокоэффективных средств поддержки принятия решений.

Известно, что при наличии большого объема исходной информации, используемой для принятия решений, качество принимаемых решений снижается с увеличением числа влияющих факторов. Управление движением общественного транспорта происходит в условиях быстро меняющейся внешней среды, неопределенности дорожной ситуации на маршруте, неполноты информации о сложившейся ситуации, а также невозможности построения достоверного прогноза развития ситуации на продолжительный интервал времени. Именно поэтому использование средств интеллектуализации поддержки принятия решений, которые основаны на опыте экспертов предметной области, использующих быстрые эвристические процедуры, позволяет существенным образом повысить эффективность функционирования городского пассажирского электротранспорта и, как следствие, снизить возможные экономические потери транспортной компании.

Наличие неполной, а зачастую и недостоверной информации о текущей дорожной ситуации, слабая формализуемость ситуаций, возникающих на маршруте, вариативность и неединственность возможных управляющих воздействий приводят к необходимости реализации интеллектуальной системы поддержки принятия решений (СППР), основанной на математическом аппарате оценки ситуаций и выбора на их основе требуемого управляющего воздействия [1]. Ввиду значительного числа факторов, описываемых вербально, которые могут быть формализованы с помощью теории нечетких множеств и наличия условного кортежа «ситуация – управление», становится возможной реализация такой системы на основе нечеткого ситуационного управления.

#### **Постановка задачи**

Принятие решений диспетчером городского пассажирского электротранспорта происходит в сложной обстановке, характеризующейся следующими ключевыми трудностями:

- невозможность получения достоверной, полной и точной информации о ситуации, сложившейся на маршруте, ввиду того, что решения принимаются на основе данных, которые сообщает водитель транспортного средства;
- быстротечность изменения дорожных ситуаций и стремительное устаревание информации, используемой для принятия решений;
- наличие большого числа факторов, комплексное рассмотрение которых существенным образом сказывается на времени принятия решения и снижает качество управляющего воздействия;
- наличие неединственного управляющего воздействия, получаемого после принятия решения и, как следствие этого, необходимость учета последствий выбранного управления;
- необходимость совместного учета экономической выгоды предприятия и удовлетворенности пассажиров качеством предоставляемой услуги при принятии решений;
- наличие большого числа неопределенностей на этапе получения исходной информации, принятия решения, а также оценки последствий выбранного управляющего воздействия;
- высокая ответственность диспетчера, сопряженная с существенным нервным напряжением, обусловленным тем, что решение принимается единолично;
- невозможность для диспетчера в ряде случаев объяснить причину принятия того или иного управленческого решения.

Именно поэтому для обеспечения высокой эффективности и стабильности принимаемых решений в процессе управления движением общественного транспорта требуется разработка программного инструментария поддержки принятия решений, инвариантного по отношению к указанным трудностям. Управление движением в рассматриваемой предметной области – это принятие решений по управлению на основе сложившейся дорожной ситуации на основе входной информации, представленной вербально – в виде суждений и оценок участников дорожного движения (водитель, кондуктор и диспетчер), в связи с чем целесообразно реализовать интеллектуальную СППР на основе нечеткого ситуационного управления.

#### Формализация типовых дорожных ситуаций

Нечеткие факторы, характеризующие ситуацию, неопределенность внешней среды (реакция участников движения на сложившуюся ситуацию, слабопрогнозируемые последствия применяемых воздействий), неполнота, неточность, недостаточная достоверность информации о ситуации, качественный характер описания ситуации и управляющих воздействий, необходимость учета последствий управляющих решений не позволяют строить систему управления рассматриваемого объекта на основе традиционного подхода с использованием математической модели. Поэтому возникает необходимость построения системы управления не на основе модели объекта, а на основе модели управления им.

Наиболее подходящим методом управления движением общественного электротранспорта является ситуационный подход на основе нечеткой логики (нечеткое ситуационное управление).

Представим ситуацию, сложившуюся в процессе функционирования городского электротранспорта в виде нечеткой ситуации [2]:

$$\tilde{s} = \left\{ \left\{ \mu_s(y_i) / y_i \right\} \right\}, y_i \in Y, \quad (1)$$

где  $\mu_s(y_i) = \left\{ \left\{ \mu_{\mu_s} \right\} \right\}$  – функция принадлежности лингвистической переменной (фактора)  $y_i$ , характеризующего ситуацию  $\tilde{s}$ .

Детализируем представление  $\mu_s(y_i)$ :

$$\mu_s(y_i) = \left\{ \left\{ \mu_{\mu_s(y_i)}(T_j^i) / T_j^i \right\} \right\}, j \in L, i \in J, \quad (2)$$

где  $T_j^i$  –  $j$ -й терм терм-множества  $i$ -й лингвистической переменной  $y_i$ ;  $\mu_{\mu_s(y_i)}(T_j^i)$  – функция принадлежности  $y_i$ .

Для определения состояния объекта управления необходимо сравнить входную нечеткую ситуацию  $\tilde{s}_0$  с каждой нечеткой ситуацией из некоторого набора типовых нечетких ситуаций  $S = \{\tilde{s}_1, \tilde{s}_2, \dots, \tilde{s}_N\}$ .

В качестве меры для определения степени близости нечеткой ситуации  $\tilde{s}_0$  нечеткой ситуации  $\tilde{s}_i \in S$  ( $i \in K = \{1, 2, \dots, N\}$ ) можно использовать:

- степень нечеткого включения нечеткой ситуации  $\tilde{s}_0$  в нечеткую ситуацию  $\tilde{s}_i$ ;
- степень нечеткого равенства  $\tilde{s}_0$  и  $\tilde{s}_i$ ;
- степень нечеткой общности  $\tilde{s}_0$  и  $\tilde{s}_i$ ;

Задаваясь некоторой мерой близости, задаем некоторые нечеткие отношения между ситуациями, в частности между ситуациями  $\tilde{s}_0$  и  $\tilde{s}_i$ , ( $i \in K$ ), а также между типовыми ситуациями из набора  $S$ .

Выберем в качестве базового способа сравнения ситуаций нечеткое включение ситуации.

Степень включения ситуации  $\tilde{s}_i$  в ситуацию  $\tilde{s}_j$  обозначается  $v(\tilde{s}_i, \tilde{s}_j)$  и определяется выражением  $v(\tilde{s}_i, \tilde{s}_j) = \&_{y \in Y} v(\mu_{S_i}(y), \mu_{S_j}(y))$ .

Ситуация  $\tilde{s}_i$  нечетко включается в ситуацию  $\tilde{s}_j$ ,  $\tilde{s}_i \subseteq \tilde{s}_j$ , если степень включения  $\tilde{s}_i$  и  $\tilde{s}_j$  не меньше некоторого порога включения  $t_{inc} \in [0,6; 1]$ , определяемого условиями управления, т. е.  $v(\tilde{s}_i, \tilde{s}_j) \geq t_{inc}$ . Иначе говоря, ситуация  $\tilde{s}_i$  нечетко включается в ситуацию  $\tilde{s}_j$ , если нечеткие значения признаков ситуации  $\tilde{s}_i$  нечетко включаются в нечеткие значения соответствующих признаков ситуации  $\tilde{s}_j$  [1].

### Оценка ситуаций и выбор управляющего воздействия

После этого необходимо задать с помощью терм-множеств управляющие решения по факторам  $R_i = \{R_1^i, R_2^i, R_3^i, R_4^i, R_5^i\}$ . На основании полученных выражений строятся матрицы отношений, описывающие воздействие управляющих решений на факторы  $y_i$ .

Целевая ситуация в данном случае определяется исходя из анализа степеней предпочтения управляющих решений. Для постановки целевой ситуации необходимо построить нечеткую ситуационную сеть (рис. 1), где  $\tilde{s}_i$  ( $i \in I = \{1, 2, \dots, n\}$ ) представляют собой эталонные нечеткие ситуации;  $R_j$  ( $j \in P = \{1, 2, \dots, f\}$ ) – управляющие решения;  $\alpha(\tilde{s}_i, R_j)$  представляет собой степень предпочтения применения управляющего решения  $R_j$  в ситуации  $\tilde{s}_i$  по сравнению с другими возможными решениями из множества  $R = \{R_1, R_2, \dots, R_f\}$ .

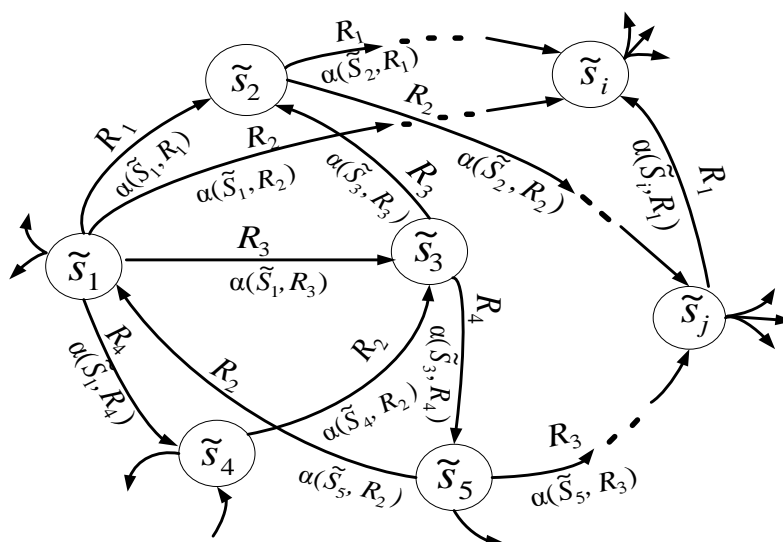


Рис. 1. Нечеткая ситуационная сеть

Степени предпочтения управляющих решений в каждой ситуации либо неизменны и определяются экспертным опросом, либо некоторым образом зависят от ситуации и определяются предпочтительным решением в данной ситуации. Управляющее решение, соответствующее текущей ситуации, представляет собой последовательность решений, необходимых для перехода от текущей ситуации к целевой по «оптимальному маршруту» в нечеткой ситуационной сети. Вывод решения разбивается на постановку цели (целевой ситуации) и построение стратегии управления, соответствующей оптимальному переводу объекта в целевое состояние.

Таким образом, данная нечеткая ситуационная сеть представляет собой нечеткий ориентированный взвешенный граф, вершины которого соответствуют эталонным нечетким ситуациям, дуги взвешены управляющими решениями, необходимыми для перехода по ситуациям, и степенями предпочтения этих решений.

Ранжирование возможных управляющих решений производится на основе степеней предпочтения решений. Чем выше степень предпочтения решения, тем выше оно будет находиться в списке возможных управляющих воздействий, предъявляемых ЛПР. Выбор конкретного управляющего воздействия предоставляется ЛПР, при этом на основе нечеткой ситуационной сети и формализованных с помощью нечетких множеств типовых ситуаций становится возможным объяснить процесс принятия того или иного решения.

### Структура интеллектуальной СППР

В общем виде структурная схема интеллектуальной СППР, реализующей описанный выше подход к управлению движением общественного транспорта, представлена на рис. 2.

Поясим основные блоки, которые входят в структуру интеллектуальной СППР. На схеме показан блок «Учитель», который используется совместно с модулем обучения базы знаний (БЗ):

- при первоначальном обучении СППР для пополнения продукционной БЗ, используемой для оценки удовлетворенности пассажиров качеством услуг;
- при заполнении базы типовых ситуаций, которые возникают на маршруте в процессе функционирования общественного транспорта.

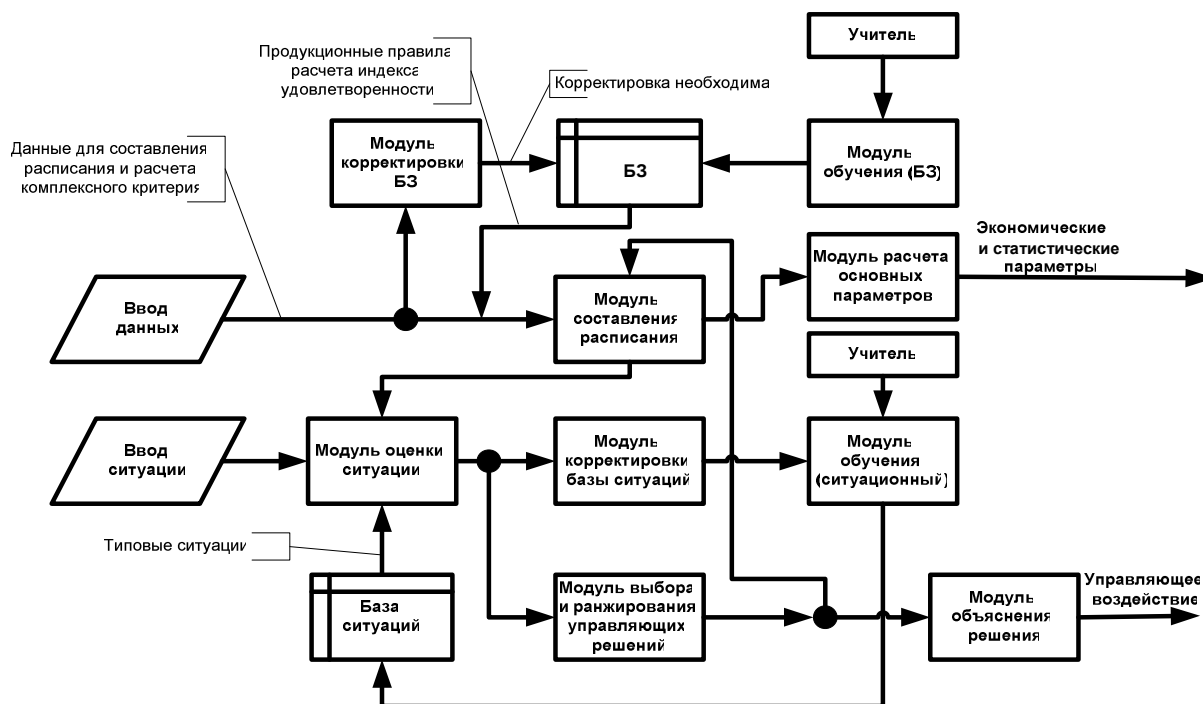


Рис. 2. Структурная схема интеллектуальной СППР

Блок «База знаний» представляет собой продукционную БЗ, состоящую из правил вида «ЕСЛИ..., ТО...», используемых для оценки удовлетворенности пассажиров качеством услуг,

предоставляемых транспортной компаний. Антецеденты и консеквенты продукционных правил формализованы с помощью лингвистических переменных, терм-множество которых состоит из семи значений. Коррекция правил в БЗ осуществляется с помощью блока «Модуль корректировки БЗ», в случае если правило устарело (оно удаляется из БЗ) или если требуется ввести новое правило, которое на этапе проектирования в БЗ заложено не было.

Блок «Модуль обучения (ситуационный)» предназначен для ввода, корректировки и проверки на этапе проектирования интеллектуальной СППР базы нечетких ситуаций. Нечеткая ситуация заносится в базу нечетких ситуаций в форме (1) и формализуется с помощью функций принадлежности нечетких множеств вида (2). Кроме того, в указанном блоке вводятся возможные управляющие воздействия, а также матрицы нечетких отношений, устанавливающие степень воздействия управляющих решений на факторы, характеризующие типовую нечеткую ситуацию.

Если в процессе функционирования интеллектуальной СППР возникает ситуация, степень нечеткого включения которой не принадлежит интервалу  $t_{inc} \in [0,6; 1]$  (порог нечеткого включения), то такая ситуация предъявляется ЛПР для выявления необходимости помещения ее в базу нечетких ситуаций и формирования матрицы управляющих решений с вариантами переходов ситуаций [3]. Эти операции осуществляются в блоке «Модуль корректировки базы ситуаций».

В блоке «Модуль оценки ситуации» на основании вышеописанного алгоритма производится оценка степени нечеткого включения текущей ситуации, сложившейся на маршруте, в ситуации, которые имеются в базе нечетких ситуаций интеллектуальной СППР.

В «Модуле выбора и ранжирования управляющих решений» применяется алгоритм, который позволяет на основе степеней перехода из одной ситуации в другую с применением управляющего решения предъявить ЛПР для выбора и реализации управления несколько типовых управляющих воздействий.

«Модуль составления расписания» функционирует в соответствии с алгоритмом, блок-схема которого представлена на рис. 3.

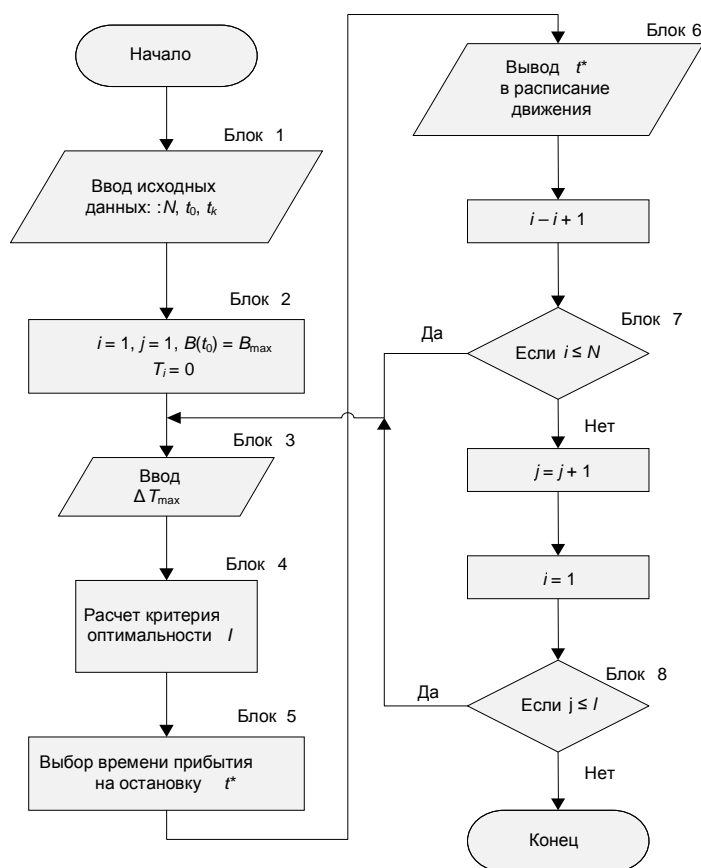


Рис. 3. Блок-схема алгоритма составления расписания

В блок 1 вводятся исходные данные о маршруте:  $N$  – число остановок на маршруте;  $t_0$  – время начала смены;  $t_k$  – время окончания смены. В блоке 2 в начальный момент времени количество свободных мест в транспортном средстве (ТС) равняется общему числу мест в ТС:  $B(t_0) = B_{\max}$ , где  $B_{\max}$  – вместимость пустого ТС. Счетчик ТС- $i$  и счетчик остановок  $j$  устанавливаются равными единице. В начальный момент времени  $T_i = 0$  – общее время на маршруте  $i$ -го транспортного средства. После этого вводится  $\Delta t_{\max}$  – максимально возможный интервал ожидания пассажиром ТС на  $k$ -й остановке (блок 3). Затем в блоке 4 производится расчет комплексного критерия оптимальности [2], используемого для составления расписания [3], а в блоке 5 осуществляется выбор времени прибытия на остановку:  $t^*$  – время, при котором критерий оптимальности  $I$  достигает экстремума. Выбранное  $t^*$  помещается в блок 6, где формируется расписание движения, после чего происходит увеличение  $i$ -счетчика ТС на единицу. Проверка заполнения расчета времени прибытия на остановку для всех ТС на маршруте происходит в блоке 7, затем происходит увеличение счетчика остановок  $j$  на единицу, а счетчик ТС- $i$  устанавливается равным единице. Проверка заполнения расчета времени прибытия на все остановки для всех ТС на маршруте производится в блоке 8 [1].

Для расчета основных статистических и экономических величин предназначен «Модуль расчета основных параметров». К таким величинам относятся: расписание движения; общая продолжительность работы; количество рейсов; суммарные затраты на перевозку пассажиров и т. д.

### Заключение

В работе предложена интеллектуальная СППР при управлении движением общественного транспорта, построенная на основе метода нечеткого ситуационного управления. Описанный подход позволяет формализовать типовые дорожные ситуации, возникающие при движении городского пассажирского электротранспорта, с помощью теории нечетких множеств и осуществлять выбор необходимого управляющего воздействия на основе нечеткого включения ситуаций с применением ранжирования возможных управляющих решений. Предложен алгоритм составления расписания движения, который необходим для составления оптимального расписания движения с учетом управляющих воздействий, сформированных на основе реализованной в работе нечеткой ситуационной сети. Предложена структура интеллектуальной СППР, в состав которой входят модули обучения и корректировки базы типовых дорожных ситуаций.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой / А. Н. Мелихов, Л. С. Бернштейн, С. Я. Коровин. – М.: Наука, 1990. – 272 с.
2. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / А. Н. Аверкин, И. З. Батыршин, А. Ф. Блишун и др. – М.: Наука, 1986. – 312 с.
3. Немчинов Д. В., Проталинский О. М. Система поддержки принятия управленческих решений по снижению влияния субъективного фактора как причины аварийной ситуации // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2011. – № 2. – С. 43–48.
4. Кригер Л. С. Комплексный показатель эффективности работы общественного транспорта // В мире научных открытий. Математика. Механика. Информатика. – Красноярск: Науч.-инновац. центр, 2012. – № 1 (25). – С. 80–90.

Статья поступила в редакцию 8.06.2012

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

**Кригер Лилия Сергеевна** – Астраханский государственный технический университет; аспирант кафедры «Прикладная информатика в экономике»; kriger\_l@mail.ru.

**Kriger Liliya Sergeevna** – Astrakhan State Technical University; Postgraduate Student of the Department "Applied Informatics in Economics", kriger\_l@mail.ru.