

УДК [004.89:519.816]:656.13.072

UDC [004.89:519.816]:656.13.072

**АРХИТЕКТУРА И АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ  
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ  
ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА**

**ARCHITECTURE AND ALGORITHMIC  
SUPPORT OF INTELLECTUAL CONTROL  
SYSTEM OF PUBLIC TRANSPORTATION**

Кригер Лилия Сергеевна  
аспирант  
*ФГБОУ ВПО «Астраханский Государственный  
Технический Университет», Астрахань, Россия*

Kruger Liliya Sergeevna  
postgraduate student  
*Astrakhan State Technical University  
Astrakhan, Russia*

Рассматриваются вопросы разработки и применения интеллектуальных систем для управления движением общественного транспорта. Описана архитектура интеллектуальной системы управления и ее алгоритмическое обеспечение

The questions of development and use of intellectual systems for traffic control of public transport are considered in the article. The architecture of intellectual management system and its algorithmic support is also described

Ключевые слова: ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА, УПРАВЛЕНИЕ, ОБЩЕСТВЕННЫЙ ТРАНСПОРТ, ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИЯ, СИТУАЦИИ, ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ, АЛГОРИТМЫ

Keywords: INTELLECTUAL SYSTEM, CONTROL, PUBLIC TRANSPORT, DISPATCHING, SITUATIONS, DECISION-MAKING, ALGORITHMS

**Введение**

Пассажирский транспорт является важнейшей отраслью жизнеобеспечения каждого города. Повышение эффективности управления движением транспорта относится к приоритетным задачам государственной деятельности Правительства РФ (федеральная целевая программа «Развитие транспортной системы России в 2010 – 2015 годах»). Интерес к проблеме организации движения общественного транспорта растет вместе с усложнением схемы транспортных потоков, возросшей конкуренцией в данной отрасли и динамикой изменения пассажиропотока. На сегодняшний день развитие и эффективное управление транспортом немислимо без разработки и применения интеллектуальных систем управления.

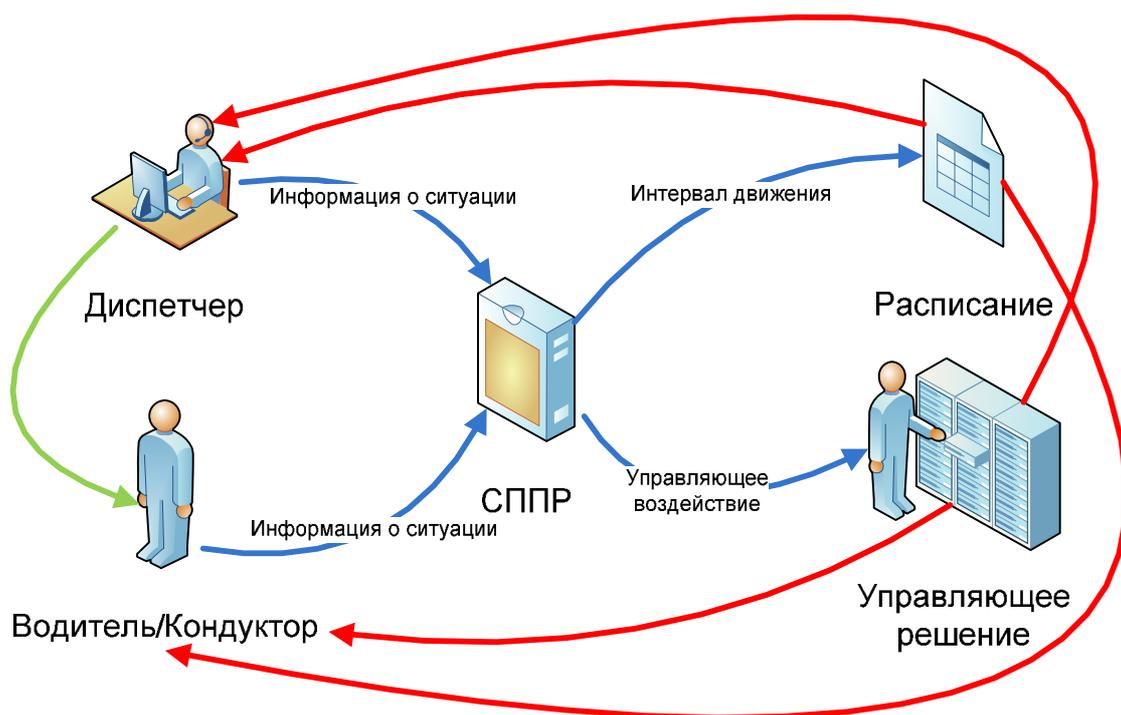
Процесс перевозки пассажиров городским пассажирским транспортом основывается на соблюдении графика движения транспортных средств по маршруту в соответствии с составленным заранее расписанием движения.

В большинстве автотранспортных предприятий нашей страны управление процессом перевозки пассажиров заключается в контроле со стороны диспетчера за соблюдением расписания движения.

### **Постановка и решение задачи**

В связи с быстротечностью изменения дорожных ситуаций, отсутствием полной информации о сложившейся ситуации на маршруте, наличием большого числа неопределенностей при ее получении, а также невозможности построения достоверного прогноза развития ситуации на продолжительный интервал времени, принятие решений диспетчером происходит в сложной обстановке и требует большой психофизиологической напряженности. Поэтому для обеспечения высокой эффективности и стабильности принимаемых решений в процессе управления движением общественного транспорта требуется разработка интеллектуальной системы управления движением, использующей быстрые эвристические процедуры. Предлагаемая система позволит существенным образом повысить эффективность функционирования городского пассажирского электротранспорта и, как следствие, снизить возможные экономические потери транспортной компании.

Управление движением общественного транспорта на основе интеллектуальной системы схематично изображено на Рисунке 1. От лица, принимающего решение (ЛПР), в качестве которого могут выступать диспетчер, кондуктор, водитель, поступает информация о текущей дорожной обстановке, преобразуемая на основании предложенных в работе алгоритмов в управляющее решение, которое в виде рекомендации поступает ЛПР. Кроме того, в случае необходимости производится пересчет интервалов движения транспортного средства, что приводит к корректировке расписания движения.



**Рисунок 1. Схема управления движением транспорта на основе интеллектуальной системы управления**

Управление движением представляет собой процесс принятия решений по управлению на основе сложившейся дорожной ситуации на основе входной информации, представленной вербально в виде суждений и оценок участников дорожного движения (водителя, кондуктора и диспетчера). Поэтому целесообразно реализовать интеллектуальную систему на основе нечеткого ситуационного управления.

**Функциональная структура интеллектуальной системы управления движением.**

Проблема функционирования интеллектуальной системы и принятие решений в условиях неопределенности является многоаспектной.

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 [1].

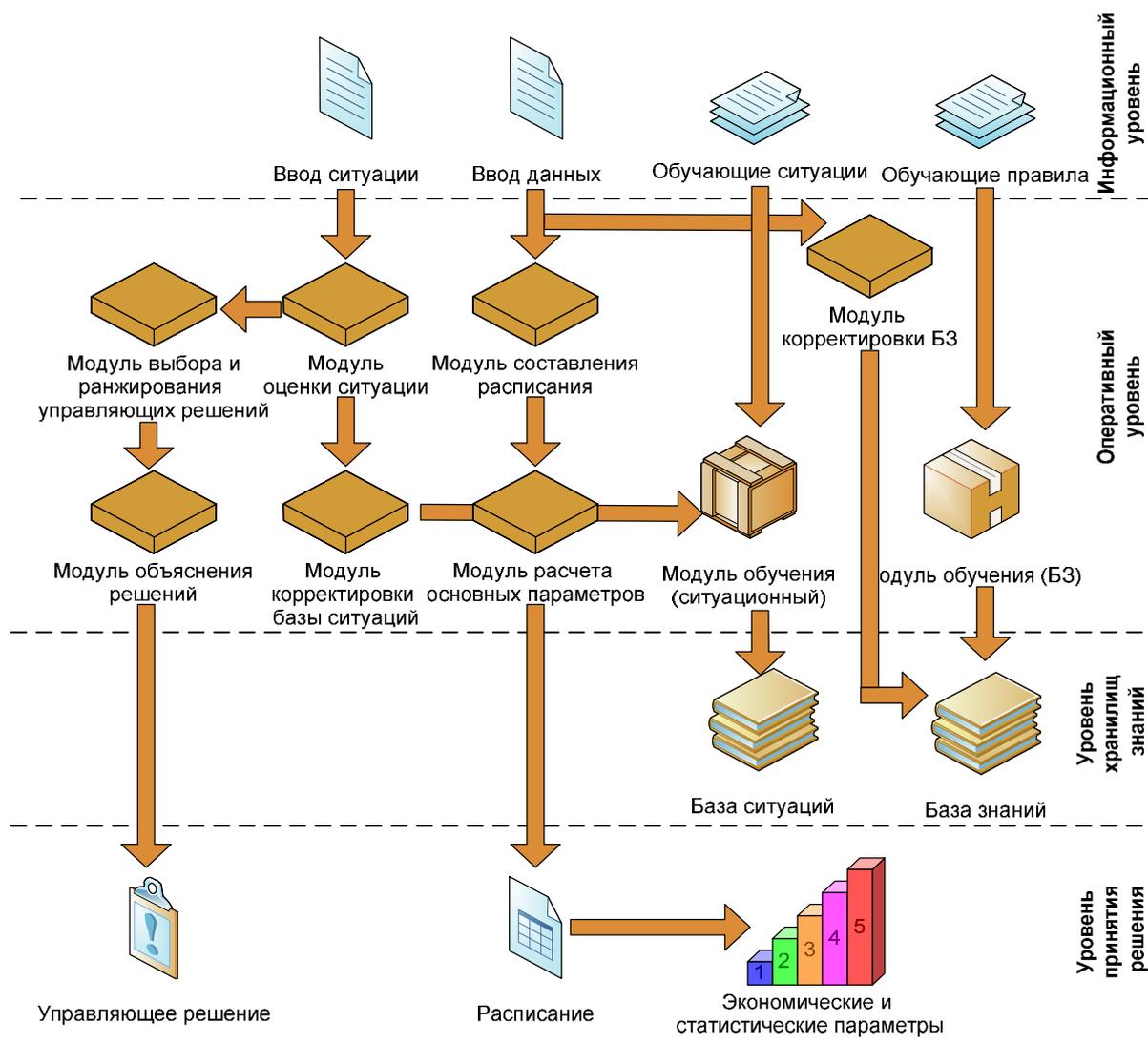
В общем виде структурная схема интеллектуальной системы, реализующей подход на основе нечеткого ситуационного управления представлена на Рисунке 2.

Основные блоки, которые входят в структуру интеллектуальной СППР, расположены на четырех уровнях:

- информационный уровень, на котором расположены блоки, участвующие в процессе обучения хранилищ знаний (базы знаний и базы ситуаций), а также блоки ввода данных необходимых для расчета комплексного критерия эффективности и ввода информации о сложившихся на маршруте дорожных ситуациях;
- оперативный уровень содержит в своем составе модули обеспечивающие функционирование СППР;
- уровень хранилищ знаний – база знаний и база типовых ситуаций, содержащие знания, используемые СППР для анализа ситуаций и генерации управляющих решений;
- уровень принятия решений содержит выходную информацию интеллектуальной СППР – управляющие решения, расписание движения, а также экономические и статистические параметры работы автотранспортного предприятия.

Рассмотрим подробнее каждый из блоков.

Блок «Обучающие правила» используется совместно с модулем обучения базы знаний (БЗ) при первоначальном обучении СППР для пополнения продукционной базы знаний, используемой для оценки удовлетворенности пассажиров качеством услуг.



**Рисунок 2. Структурная схема интеллектуальной системы**

Блок «Обучающие ситуации» используется совместно с модулем обучения (ситуационным) при заполнении базы типовых ситуаций, которые возникают на маршруте в процессе функционирования общественного транспорта.

Блок «База знаний» представляет собой продукционную базу знаний, 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, термножество которых состоит из семи значений, охватывающих весь

интервал изменения соответствующих качественных параметров на базовом множестве.

Коррекция правил в базе знаний 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. В качестве основы коррекции БЗ могут быть использованы различные алгоритмы, синтезированные для продукционных БЗ. Необходимо отметить, что устаревание правил или их видоизменение в процессе функционирования интеллектуальной СППР не требует существенных вычислительных затрат при внесении необходимых изменений в БЗ.

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 и формализуется с помощью функций принадлежности нечетких множеств [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. Фактически данный блок является одним из ключевых, т.к. успешное обучение интеллектуальной СППР в части реализации нечетких управляющих воздействий на основе типовых нечетких ситуаций – это существенное сокращение временных затрат на выбор и принятие правильного решения ЛПР в процессе эксплуатации интеллектуальной СППР.

В том случае 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. Эти операции осуществляются в блоке «Модуль корректировки базы ситуаций». Кроме того, данный блок содержит встроенные средства формализации типовых нечетких ситуаций, построения матриц управляющих решений и расстановки флагов необходимости пересчета расписания, если вновь создаваемая типовая нечеткая ситуация приводит к необходимости корректировки интервалов движения ТС, а значит и к корректировке расписания.

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 формирования расписания.

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.

### **Алгоритмическая структура системы управления движением общественного транспорта.**

Интеграцию работы всех модулей обеспечивает эффективное решение задачи нечеткого ситуационного управления с использованием следующих разработанных алгоритмов:

- задания пассажиропотока;
- оптимального составления расписания движения;

- расчета комплексного критерия оптимальности;
- коррекции базы типовых ситуаций;
- нечеткого ситуационного управления.

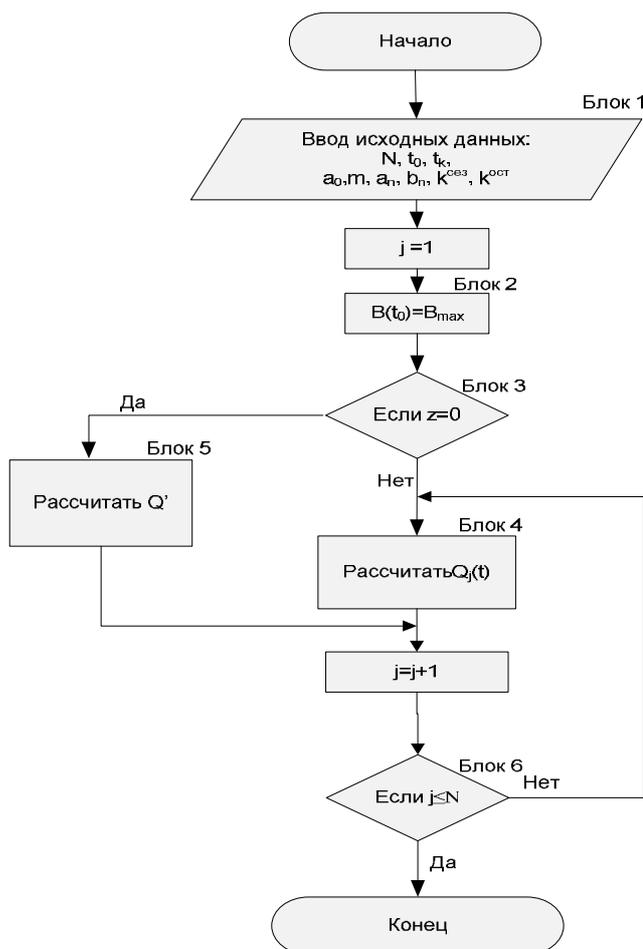
Взаимодействие этих алгоритмов определяется алгоритмической структурой интеллектуальной системы управления движением общественного транспорта (Рисунок 3).



**Рисунок 3. Алгоритмическая структура интеллектуальной системы управления движением**

Дадим некоторые пояснения к синтезированным и используемым в составе алгоритмической структуры интеллектуальной СППР алгоритмам для формирования полной и не противоречивой информационной среды.

Интеллектуальная система управления движением базируется на синтезированном алгоритме задания пассажиропотока (Рисунок 4), который задает прогнозные значения численности пассажиров на остановках маршрута на фиксированные интервалы времени, что позволяет производить эффективные расчеты комплексного критерия оптимальности, заданного алгоритмом своего вычисления.



**Рисунок 4. Блок-схема алгоритма задания пассажиропотока**

В блоке 1 вводятся исходные данные о маршруте:  $N$  – число остановок на маршруте,  $t_0$  – время начала смены;  $t_k$  – время окончания смены;  $a_0, m, a_n, b_n, k_{cesz}, k_{ост}$  – параметры временного ряда задающего пассажиропоток на остановке.

В начальный момент времени количество свободных мест в ТС равняется общему числу мест в ТС :  $V(t_0) = V_{max}$ , где  $V_{max}$  – вместимость пустого ТС (данная операция осуществляется в блоке 2).

В блоке 3 производится проверка наличия какого-либо массового мероприятия, которое повлечет за собой существенное увеличение пассажиропотока. 
$$z = \begin{cases} 1, & \text{наличие мероприятий} \\ 0, & \text{отсутствие мероприятий} \end{cases}$$

В случае если  $z=0$ , то осуществляется переход в блок 4, где рассчитывается пассажиропоток на  $j$ -й остановке.

В случае, если  $z=1$ , то осуществляется переход в блок 5, где рассчитывается пассажиропоток на  $j$ -й остановке в условиях прохождения массовых мероприятий.

Затем счетчик остановок  $j$  увеличивается на единицу и осуществляется переход к следующему блоку.

Проверка заполнения расчета пассажиропотока для всех остановок маршрута осуществляется в блоке 6.

На основе найденных оптимальных значений комплексного критерия эффективности составляется расписание движения для ТС некоторого маршрута.

В качестве основной управляющей переменной при составлении расписания движения выступает время прибытия транспортного средства на остановку. Алгоритм составления расписания движения приведен в работе [1].

Определение степени близости нечетких ситуаций необходимо для обеспечения требуемыми данными алгоритма выбора управляющего решений, функционирующего на основе матриц управляющих решений, хранящихся в базе типовых нечетких ситуаций.

Алгоритм нечеткого ситуационного управления реализует выдачу управляющих решений в соответствии с построенной нечеткой уровневой иерархической ситуационной сетью [3]. Предлагается следующий алгоритм нечеткого ситуационного управления движением, представленный на рисунке 5. Синтезируемый алгоритм решает задачу нечеткого ситуационного управления. На вход алгоритма поступают текущие нечеткие ситуации [2]. Рассмотрим подробнее каждый из блоков представленного на рисунке алгоритма.

В блоке 1 осуществляется ввод информации о текущей ситуации  $S'$ , которая характеризуется множеством факторов  $F = \{f_1, f_2, \dots, f_m\}$ . При этом часть факторов вводится в систему автоматически на основании показаний соответствующих средств измерений, а часть – диспетчером в соответствии с сообщениями водителей, ремонтных служб и прочее. В самом общем случае информация о текущей ситуации будет характеризоваться как количественными, так и качественными значениями факторов.

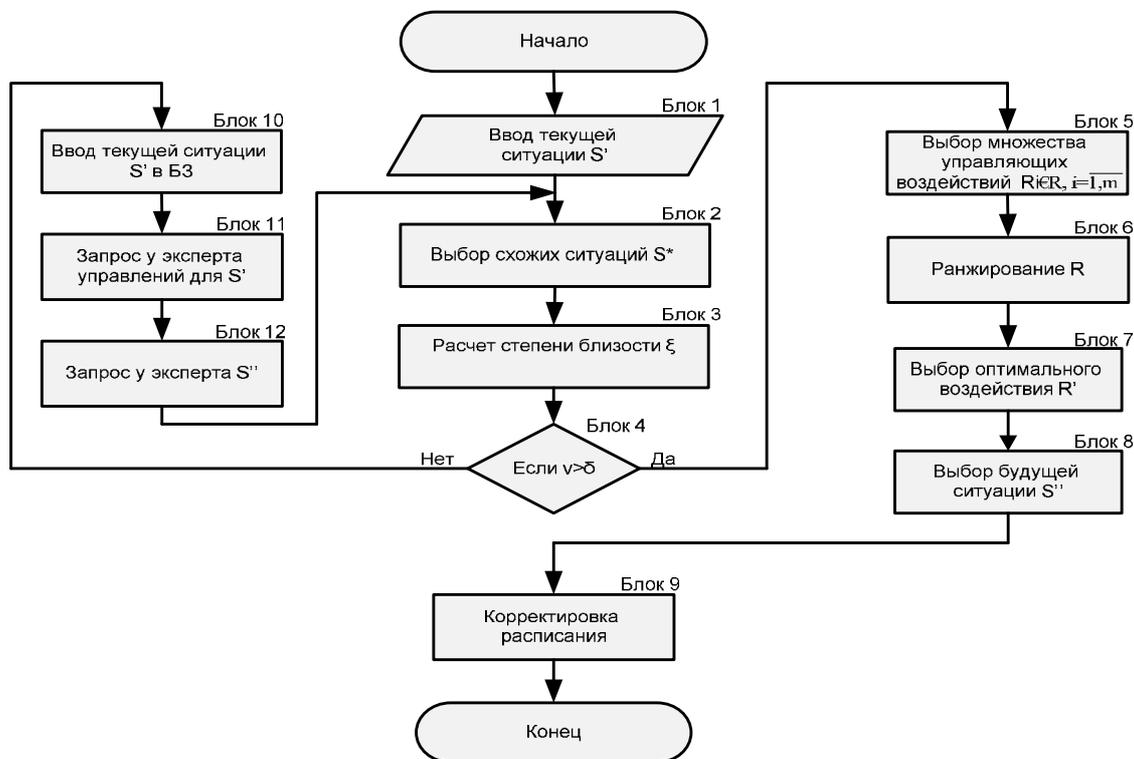
В блоке 2 производится сравнение ситуации  $s'$  с множеством эталонных ситуаций  $\{s\}$ , находящихся в базе знаний и характеризующихся тем же набором факторов, что и  $s'$ . Таким образом, данный блок позволяет ограничить множество возможных ситуаций  $\{s\}^*$ , для которых необходимо рассчитать степень близости с текущей ситуацией  $s'$ . Это позволит существенно сократить время работы алгоритма.

В блоке 3 осуществляется расчет степени близости  $\nu$  текущей ситуации  $S'$  и подмножества эталонных ситуаций  $\{s\}^*$ , отобранных в блоке 2. Результатом расчета блока является  $\nu_{\max}$  - максимальное из полученных значений  $\nu$ .

В блоке 4 выполняется сравнение рассчитанной степени близости  $\nu_{\max}$  с пороговым значением  $d$ , которое показывает, что текущая ситуация  $S'$  уже содержится в базе знаний. Таким образом, превышение  $d$  означает, что для текущей ситуации может быть выбрано наиболее подходящее для данной ситуации множество управляющих воздействий  $R_i \in R, i = \overline{1, m}$ , содержащееся в базе знаний (блок 5).

В блоке 6 происходит ранжирование по убыванию эффективности управляющих воздействий внутри подмножества  $R_i \in R, i = \overline{1, m}$ , сформированного в блоке 5. Ранжирование производится с учетом весовых коэффициентов, присвоенных управляющим воздействиям  $R_i \in R, i = \overline{1, m}$ .

Фактически данный блок является основным звеном, формирующим управляющую стратегию  $R^*$ . Выбор управления  $R'$ , расположенного на первом месте в списке ранжирования (автоматический режим) или указанного диспетчером (ЛПР) производится в блоке 7.



**Рисунок 5. Алгоритм нечеткого ситуационного управления**

В блоке 8 происходит выбор  $S''$ , где  $S''$ - ситуация, к которой приведет выбранное управляющее воздействие  $R'$ .

В блоке 9 осуществляется корректировка расписания с учетом сложившейся на дороге ситуации и рассчитанных критериев эффективности работы общественного транспорта.

В блоке 10 текущая ситуация  $S'$  помещается в базу знаний.

В блоке 11 у эксперта предметной области или ЛПР запрашиваются возможные управляющие воздействия, которые также помещаются в базу знаний.

В блоке 12 у эксперта предметной области или ЛПР запрашиваются возможные ситуации  $S''$ , к которым может привести выбор того или иного управляющего воздействия.

Алгоритм аккумулирует в себе все информационные потоки внутри интеллектуальной системы управления, в том числе информацию о рассчитанном количестве транспортных средств на маршруте, интервалов движения между ними, а также обязательных перерывах на обед и ремонт. В случае необходимости запускается алгоритм коррекции базы типовых нечетких ситуаций.

#### Заключение

В условиях быстротечности изменения дорожных ситуаций и неопределенности условий получения информации о сложившейся на маршруте ситуации управление движением общественного транспорта невозможно без применения интеллектуальных средств поддержки принятых решений. В связи огромным количеством неопределенностей и получением вербальной информации о ситуации целесообразно использовать подход на основе нечеткого ситуационного управления. Проведенный анализ позволил синтезировать архитектуру интеллектуальной системы управления движением. Разработана структурная схема интеллектуальной системы управления движением, состоящая из четырех основных уровней и реализующая нечеткий ситуационный подход. Для эффективной работы модулей всех уровней структурной схемы предлагается алгоритмическое обеспечение.

#### Список литературы

1. Кригер Л. С. Интеллектуальная система поддержка принятия при управлении движением общественного транспорта. Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика, 2012, №2. С.150-155
2. Кригер Л. С. Формализация типовых ситуаций в задачах управления движением общественного транспорта/ Л. С. Кригер, И. Ю. Квятковская / Научно-технические ведомости СПбГПУ №3(150). Санкт-Петербург: 2012, С. 106-110.
3. Мелихов А.Н. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой/ Мелихов А.Н., Бернштейн Л.С., Коровин С.Я.. –М.: Наука, 1990. – 272 с.

### References

1. Kriger L. S. Intellektual'naja sistema podderzhka prinjatija pri upravlenii dvizheniem obshhestvennogo transporta. Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika i informatika, 2012, №2. S.150-155
2. Kriger L. S. Formalizacija tipovyh situacij v zadachah upravlenija dvizheniem obshhestvennogo transporta/ L. S. Kriger, I. Ju. Kvjatkovskaja / Nauchno-tehnicheskie vedomosti SPbPTU №3(150). Sankt-Peterburg: 2012, S. 106-110.
3. Melihov A.N. Situacionnye sovetujushhie sistemy s nechetkoj logikoj/ Melihov A.N., Bernshtejn L.S., Korovin S.Ja.. –M.: Nauka, 1990. – 272 s.