

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВРЕМЕННОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ РАСШИРЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ МЕТОДОВ РАССУЖДЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПРЕЦЕДЕНТОВ\*

*Куриленко И.Е., к.т.н., доцент*  
*Московский энергетический институт (технический университет)*  
*e-mail: [ivan@appmat.ru](mailto:ivan@appmat.ru)*

## 1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время значительное внимание уделяется разработке высокоэффективных интеллектуальных (экспертных) систем типа интеллектуальных систем (ИС) поддержки принятия решений (ИСППР) и систем экспертной диагностики, использующих методы правдоподобных, человеческих рассуждений (рассуждений «здравого смысла») [1,2]. При этом для моделирования правдоподобных рассуждений наравне с аппаратом нетрадиционных логик активно используются методы на основе аналогий и прецедентов [3]. Особенно широко методы рассуждений на основе прецедентов (CBR – Case-Based Reasoning) и CBR-системы активно применяются в диагностических системах [4]. Они позволяют использовать накопленный системой опыт при решении новых задач. В данный момент ведутся широкие исследования таких методов и имеется широкий ряд программных продуктов, в том числе коммерческих, реализующих CBR-механизмы [3,4].

Как правило, CBR-методы включают четыре основных этапа, образующих CBR-цикл или *цикл обучения по прецедентам (примерам)* [4]. Информация о новой проблемной ситуации используется для извлечения из БП подходящего прецедента (или нескольких прецедентов, удовлетворяющих некоторому порогу подобия). Извлечённый прецедент используется повторно для получения решения задачи (определяемой проблемной ситуацией). Затем предложенное решение в случае необходимости может быть адаптировано к особенностям новой ситуации и применено на практике. В случае успешного применения, проверенное решение совместно с описанием проблемной ситуации образует новый

---

\*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект №09-01-00076

прецедент, который сохраняется в БП. В результате, системой накапливается опыт (прецеденты) и реализуется машинное обучение.

Для поддержки процесса рассуждения в CBR-цикле в дополнение к БП могут использоваться обобщённые знания о предметной области.

В ряде реализаций CBR-систем с учетом специфики конкретной предметной области и решаемых задач используется упрощенный CBR-цикл [4], в котором исключаются два последних этапа. Таким образом, основная цель использования аппарата прецедентов в ИСППР и особенно в системах реального времени заключается в выдаче готового решения оператору (ЛПР) для текущей ситуации на основе прецедентов, которые уже имели место в прошлом при управлении данным или подобным объектом [3].

В CBR-системах обычно предусматривается база решающих правил, база известных прецедентов (БП) и алгоритмы обобщения, которые используются для построения решающих правил, на основе которых распознаются новые проблемные ситуации. БП является важной составляющей БЗ ИС, но может использоваться как отдельный компонент.

Извлечение прецедентов напрямую связано со способом представления прецедентов и соответственно со способом организации БП.

Классические методы рассуждений на основе прецедентов позволяют строить прецеденты на основе значений параметров системы, полученных в текущий момент времени. Так, например, с помощью метода ближайшего соседа текущие значения параметров могут сравниваться с прецедентами, и на основе какого-либо из прецедентов может быть выбрана рекомендация. Как правило, существующие методы рассуждений на основе прецедентов не учитывают время (т.е. ситуации представляются в виде мгновенного снимка контрольных параметров наблюдаемого объекта или системы). С другой стороны, большинство физических процессов развивается в соответствии с некоторым временным законом и, учитывая историю изменения состояний наблюдаемого объекта или процесса, можно выдвигать более точные решения и рекомендации, чем на основании анализа текущего состояния.

Для получения такой возможности следует предложить как новый способ представления прецедентов, позволяющий учитывать историю изменения параметров, – в виде так называемых темпоральных прецедентов, так и адаптированные к учету фактора времени алгоритмы извлечения прецедентов. Именно этому и посвящена данная работа.

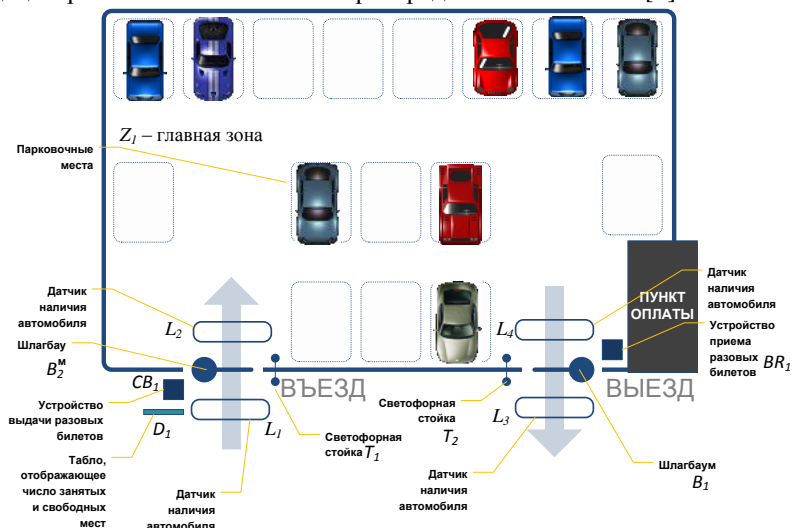
## 2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА

Предлагаемые далее методы рассчитаны на применение в составе СВР-системы, использующейся для контроля нештатных ситуаций в работе ИС, на примере ИС управления крупными парковочными комплексами (ИС УП) [5]. Системы этого типа призваны решить задачу эффективного управления доступом и движением автотранспорта на современных парковках, представляющих собой территории, оборудованные программно-аппаратными комплексами, в которых задействовано значительное число автоматических устройств, исполнительных устройств и датчиков (средства разграничения доступа, автоматизации оплаты, автоматические шлагбаумы, камеры видеонаблюдения и фотоидентификации, охранная и пожарная сигнализация и др.) [6, 7]. В задачи ИС УП входит:

- опрос датчиков и управление автоматическими устройствами комплекса в режиме реального времени;
- учет владельцев транспортных средств, управление доступом;
- учет интервалов пользования услугами парковки и тарификация;
- контроль операций въезда и выезда автотранспорта (при этом осуществляется не только управление устройствами ограничения доступа (шлагбаумами и воротами), но и запись видеороликов, различные формы идентификации (фото-идентификация, распознавание номеров и т.п.) и т.д.);
- учет количества свободных и занятых мест, распределение машин по парковочным местам;
- контроль движения транспортных средств по этажам на места стоянки, управление движением;
- предупреждение аварийных ситуаций (пресечение одновременного выезда нескольких автомобилей на пандус (рампу) или в узкий коридор);
- контроль нарушений правил поведения в парковочном комплексе со стороны водителей транспортных средств (например, попытка занять чужое место и т.п.), предотвращение угонов и актов вандализма;

В ИС УП в качестве объекта доступа выступает автомобиль, а исполнительными устройствами являются шлагбаумы и ворота, которые необходимо закрывать после въезда транспорта. ИС УП контролирует движение автомобиля по территории. При этом осуществляется контроль проезда через точки доступа, узкие места, коридоры, пандусы, что требует учета временных характеристик [6].

На рис. 1 приведен план типовой уличной парковки, состоящей из одной зоны, пункта оплаты и двух точек доступа – въездной и выездной. Расстояния между пунктами въезда, выезда и оплаты может быть значительным и зависеть от особенностей территории и доступного числа машиномест. С учетом этого, для снижения риска сбоев в работе из-за потерь связи ИС УП обычно организуются как децентрализованные системы с распределенной логикой [5].

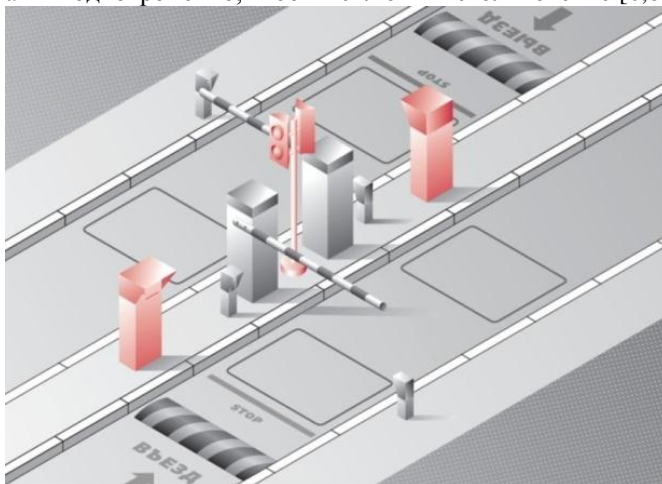


**Рис. 1. Типовая уличная парковка**

Парковки со значительным числом машиномест (больше 1000) обычно содержат большее число точек доступа и оплаты, а также могут разбиваться на зоны с различным уровнем доступа и тарификацией. Проезд между зонами может осуществляться только через въездные и выездные точки доступа. Следует отметить, что каждая такая точка является достаточно автономной, а ее исполнительные устройства зачастую находятся на существенном расстоянии от сервера системы.

Каждая точка доступа (рис. 2, 3) состоит из оборудования, обеспечивающего контроль проезда (которое обычно группируется в точку проезда – датчики наличия автомобиля, светофор, шлагбаум), и оборудования, обеспечивающего контроль доступа – устройств считывания постоянных карт, устройств выдачи разовых проездных документов, и т.п. В случае многоэтажного парковочного комплекса возможно существование точек проезда, на которых не возникает

необходимости в контроле доступа. Они используются для ограничения доступа в аварийно-опасные места. В этом случае для системы важно не допустить попадание в аварийно-опасное место двух машин одновременно, чтобы исключить столкновение [6,8].



**Рис. 2. Типовая организация точки доступа**



**Рис. 3. Пример точек доступа на территории Всероссийского Выставочного Центра (ВВЦ)**

На практике при эксплуатации ИС УП вынуждена реализовывать интеллектуальные функции для защиты от противоправных действий пользователей и махинаций «нечистоплотного» персонала,

заинтересованного в возможности присвоения денежных средств, поступающих в качестве оплаты за услуги парковки [6]. Как следствие, и обслуживающий персонал и посетители в некоторых случаях предпринимают попытки «обойти» контролирующие функции системы, имитировать сбой или информировать о ложных сбоях [6]. Кроме того, любые ошибочные действия персонала могут интерпретироваться как сбой. В такой ситуации возникает задача контроля действий как персонала и пользователей, так и автоматических устройств, с целью отслеживания и недопущения нетиповых ситуаций. А если такая ситуация возникает, следует ее классифицировать и объяснить реальную причину наблюдаемых событий.

Благодаря наличию большого числа датчиков на точках доступа возможна организация модуля, отслеживающего ход операций и расширяющего возможности ИС УП в реакции на нетиповые ситуации. При построении этого модуля может быть использовано то, что операции, протекающие на точках доступа в штатном режиме, формируют во времени достаточно стандартные последовательности событий (см. примеры типового хода событий при операциях проезда на рис. 4) [7,8].



**Рис. 4. Информация с датчиков, получаемая при проезде посетителя по разовому документу**

Таким образом, процесс работы точки въезда/выезда может быть представлен в виде последовательности однотипных операций, каждая из которых также есть совокупность наблюдаемых стандартных событий. Аномальные ситуации могут быть выделены за счет анализа этой последовательности путем проверки подобия наблюдаемых в процессе конкретной операции событий и эталонных моделей штатного или нештатного развития ситуации (прецедентов). При этом

следует анализировать ситуацию «в динамике», принимая решения с учетом истории развития процесса [9].

Далее в работе рассматривается метод организации рассуждений на основе прецедентов, учитывающий фактор времени.

### 3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕМПОРАЛЬНОЙ ЛОГИКИ ПРИ РАССУЖДЕНИИ НА ОСНОВЕ ПРЕЦЕДЕНТОВ

В качестве основы для реализации механизма вывода на основе прецедентов с учетом фактора времени могут быть применены качественная точечная временная логика и метрическая временная логика (МВЛ). Данный выбор обусловлен тем, что для обоих этих логик существуют алгоритмы вывода с полиномиальной оценкой сложности [10-17].

Определим метрическую точечную задачу согласования временных ограничений (МЗСВО) как  $Z=(V,D,C_1,C_2)$ , где  $V = \{V_1, V_2, \dots, V_m\}$  - конечное множество временных переменных, соответствующих моментам времени;  $D$  - область значений временных переменных (является либо множеством вещественных чисел, либо множеством целых чисел);  $C_1$  - конечное число бинарных временных ограничений вида  $C_{ij} = \{[a_i, b_j], \dots, [a_k, b_k]\}$ , где интервалы попарно не пересекаются;  $C_2$  - конечное число унарных временных ограничений вида  $C_i = \{[a_i, b_i], \dots, [a_i, b_i]\}$ , где интервалы попарно не пересекаются. Бинарные ограничения позволяют определить разрешенную дистанцию между моментами времени и интерпретируются как  $(a_i \leq V_j - V_i \leq b_j) \cup \dots \cup (a_k \leq V_j - V_i \leq b_k)$ . Унарные - интерпретируются как  $(a_i \leq V_i \leq b_i) \cup \dots \cup (a_i \leq V_i \leq b_i)$  и могут быть представлены с помощью бинарных (через введение нулевого момента времени  $V_0$  и преобразовании унарных ограничений  $C_i$  в  $C_{0i}$ ). Для решения задачи требуется скорректировать все ограничения так, чтобы они не противоречили друг другу. Если подобная корректировка возможна МЗСВО считается *согласованной* (иначе – *несогласованной*).

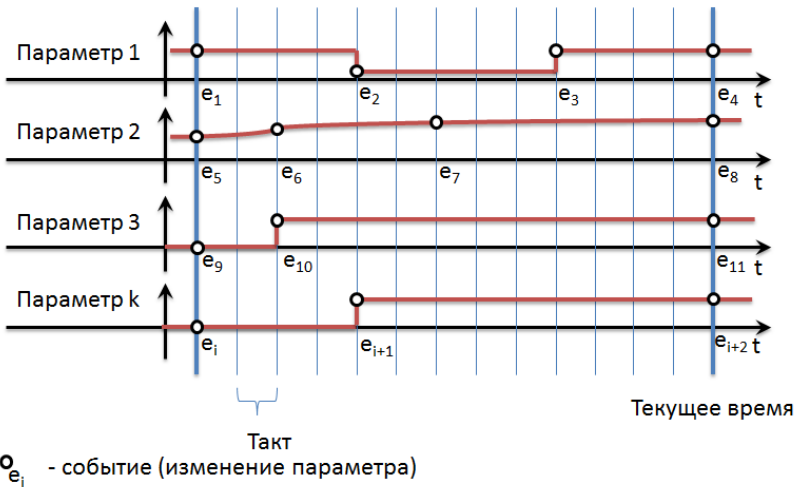
Рассмотрим основные операции над метрическими точечными ограничениями. Отрицание ограничения  $C_{ij} = \{[a_i, b_j], \dots, [a_k, b_k]\}$  определяется как  $\sim C_{ij} = \{[-b_j, -a_i], \dots, [-b_k, -a_k]\}$ . Пересечение  $T \cap S$  ограничений  $T$  и  $S$  содержит только такие значения, которые одновременно присутствуют в обоих ограничениях. Композиция  $T \bullet S$  ограничений  $T$  и  $S$  содержит только такие значения  $r$ , для которых существуют значения  $t \in T$  и  $s \in S$ , такие, что  $r = t + s$ .

Таким образом, для описания наблюдаемых ситуаций и прецедентов может быть использована МЗСВО. При этом фиксируется

как сам факт наступления тех или иных событий, их порядок, так и время их появления (метрика).

Далее будем предполагать, что эти МЗСВО согласованы и преобразованы в минимальный вид. Для вычисления соответствия наблюдаемой ситуации и прецедента могут быть предложены несколько методов – метод с жесткими ограничениями и метод с мягкими ограничениями.

Метод с жесткими ограничениями предполагает точное соответствие наблюдаемых событий и событий, имеющих в прецеденте, а также для каждого метрического ограничения  $C_{ij}$  в прецеденте и ограничения  $C_{ij}^*$  в наблюдаемой ситуации должны выполняться условия  $C_{ij} \cap C_{ij}^* = C_{ij}$ . При этом для того, чтобы события в прецеденте и анализируемой ситуации соответствовали друг другу предполагается использовать для их нумерации числа, получаемые в результате сортировки по имени параметра и времени (см. пример на рис. 5).



**Рис. 5. Пример нумерации событий**

Среди достоинств этого метода – высокая скорость вывода и высокая точность результата. Этот метод полезен для систем, в которых временные характеристики протекающих процессов (время наступления событий и их порядок) достаточно стабильны. Однако для рассматриваемой выше задачи он подходит лишь частично в виду достаточно сильной жесткости условий.



Мягкий метод может рассматриваться в трех вариантах. В первом снимается условие  $C_{ij} \cap C_{ij}^* = C_{ij}$  заменяется на  $C_{ij} \cap C_{ij}^* \neq \emptyset$  и  $C_{ij}^* \subseteq C_{ij}$ . Во втором условие  $C_{ij} \cap C_{ij}^* = C_{ij}$  заменяется на  $C_{ij} \cap C_{ij}^* \neq \emptyset$ . В третьем варианте условие  $C_{ij} \cap C_{ij}^* = C_{ij}$  заменяется на условие близости границ в ограничениях:  $|\text{lo}(C_{ij}) - \text{lo}(C_{ij}^*)| < \varepsilon \wedge |\text{hi}(C_{ij}) - \text{hi}(C_{ij}^*)| < \varepsilon$ .

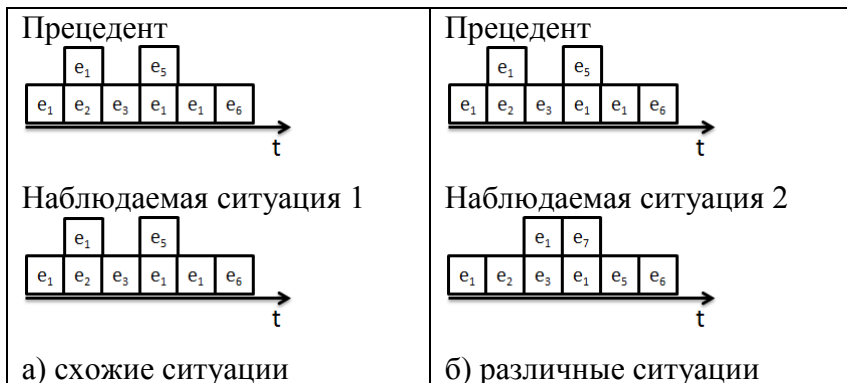
Дальнейшее смягчение условий возможно при анализе степени сходства с учетом изменения истории изменений каждого параметра по отдельности. Тут возможны разные стратегии (например, учитывающие ограничения между событиями изменения значений разных параметров с большим весом, чем ограничения, наложенные на события полученные из-за изменения одного параметра).

Вычисление прецедента на основе выборки похожих ситуаций (обучение) в данном случае может быть выполнено на основе смягчения ограничений  $C_{ij}$  в одном из вариантов так, чтобы выполнялись условия его подобия другим ситуациям.

Отметим, что оба метода могут быть адаптированы для работы с неточной информацией – в случае отсутствия значений какого-либо из параметров соответствующие события и ограничения, в которых они присутствуют, могут быть удалены из прецедента, после чего обычным методом может быть оценена степень подобия.

Таким образом, организация прецедентов на основе МЗСВО позволяет учитывать как последовательности событий, так и их длительности. В случае, если анализ длительностей не принципиален, а важен порядок событий можно воспользоваться качественной временной логикой – например, точечной временной логикой, для которой в работах [10-14] предлагаются быстросействующие алгоритмы вывода. В этом случае для представления прецедента может использоваться точечная ЗСВО, а определение степени сходства наблюдаемой ситуации и прецедента может основываться на решении задачи логической эквивалентности соответствующих минимальных ЗСВО. Однако в данном случае могут быть предложены более производительные методы, например метод сжатия событий, основывающийся на соотношении временных диаграмм. На первом этапе этого метода события об изменении параметров переносятся на одну линию времени в историческом порядке в форме комплексных событий, формируя последовательность  $S = \{s_i : s_i = \{e_i\}, e_i \in E\}$ . Далее для оценки подобия используется сравнение подобных последовательностей для прецедента ( $S$ ) и наблюдаемой ситуации ( $S^*$ ).

На рис. 6 приведен пример получаемых временных диаграмм.

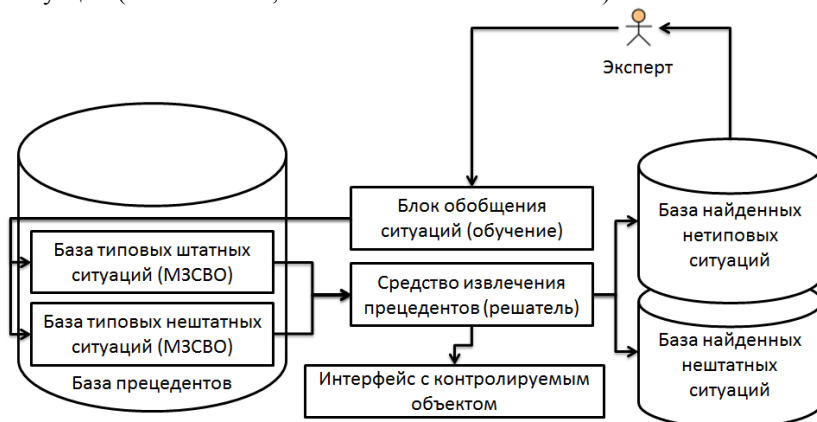


**Рис. 6. Пример временных диаграмм**

При этом может применяться как жесткое условие полного совпадения последовательностей  $S$  и  $S^*$ , так и более мягкие, допускающие некоторую степень различия в  $S$  и  $S^*$ .

#### 4. ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Рассмотренные выше методы реализованы в прототипе модуля анализа нетиповых (и аномальных) ситуаций для ИС УП [8]. Его архитектура приведена на рис. 7. В нем содержится база типовых ситуаций (как штатных, так и известных нештатных).



**Рис. 7. Архитектура модуля анализа нештатных ситуаций**

Решатель на основе прецедентов соотносит временные диаграммы в последовательностях операций за определенный период с моделями, хранящимися в этих базах. В случае, если выявляется

типовая нештатная ситуация, ее данные заносятся в базу нештатных ситуаций. Если же выделяется ситуация, которая не описана ни в базе штатных типовых ситуаций, ни в базе нештатных типовых ситуаций, то эта ситуация заносится в отдельную базу, содержимое которой анализируется разработчиками (экспертами) ИС УП.

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемые в работе методы организации темпоральных прецедентов и соответствующие алгоритмы могут применяться для расширения возможностей современных СВР-систем, позволяя реализовывать рассуждения, учитывающие ход процесса, способ его перехода к наблюдаемой ситуации. Подобные возможности являются полезными для широкого класса современных ИС.

Помимо предлагаемых решений темпоральное расширение методов рассуждений на основе прецедентов может быть построено путем перехода в классических методах от списка параметров к матрицам (описывающим историю изменений параметров во времени) или на основе применения нейросетевого подхода. При этом могут быть получены различные решатели с разными характеристиками.

### Литература

1. Вагин В.Н., Еремеев А.П. Конструирование интеллектуальных систем поддержки принятия решений реального времени // Интеллектуальное управление: новые интеллектуальные технологии в задачах управления (ИСУТ'99). Труды междунар. конф., Переславль-Залесский, 6-9 декабря 1999. – М.: Наука. Физматлит, 1999.
2. Вагин В.Н., Еремеев А.П. Некоторые базовые принципы построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений реального времени // Изв. РАН. Теория и системы управления. 2001. № 6. – С. 114-123.
3. Варшавский П.Р., Еремеев А.П. Методы правдоподобных рассуждений на основе аналогий и прецедентов для интеллектуальных систем поддержки принятия решений // Новости искусственного интеллекта. – 2006. – №3. – С.39-62.
4. Варшавский П.Р., Еремеев А.П. Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений. Искусственный интеллект и принятие решений, №2, 2009, с. 45-57.
5. Куриленко И.Е. Применение временной логики при построении интеллектуальной системы управления крупными парковочными комплексами // Сб. док. научно-практ. конф. ИММВИ 2009 в 2 т. – Т.2 – М.:ФизМатЛит, 2009. С. 171 -180.
6. Борисов А.В., Куриленко И.Е. О современных подходах к построению систем учета автотранспорта. Программные и аппаратные средства. // Информационные технологии моделирования и управления. 2005. №5. С.

786-794.

7. Еремеев А.П., Куриленко И.Е. Реализация механизма временных рассуждений в современных интеллектуальных системах // Изв. РАН. Теория и системы управления, 2007, № 2, с. 120–136.
8. Куриленко И.Е. Применение временной логики при построении интеллектуальной системы управления крупными парковочными комплексами // Сб. док. научно-практ. конф. ИММВИ 2009 в 2 т. – Т.2 – М.:ФизМатЛит, 2009. С. 171 -180.
9. Alexander Eremeev, Ivan Kurilenko, Pavel Varshavskiy. Application of Temporal Reasoning and Case-based Reasoning in Intelligent Decision Support Systems // International Book Series «Information science & computing», Number 10, Supplement to International Journal «Information technologies & knowledge» Volume 3/2009 – 2009. – Pp. 9–16.
10. Еремеев А.П., Куриленко И.Е. Реализация временных рассуждений для интеллектуальных систем поддержки принятия решений реального времени // Программные продукты и системы. – 2005. – №2. – С.8-16.
11. Еремеев А.П., Куриленко И.Е. Применение темпоральных моделей в интеллектуальных системах / Интеллектуальные системы. Коллективная монография. Выпуск четвертый. / Под. Ред. В.М. Курейчика. – М.: Физматлит, 2010, 300 с., 222-252.
12. Еремеев А.П., Куриленко И.Е. Применение темпоральных моделей в интеллектуальных системах / Интеллектуальные системы. Колл. монография. Выпуск третий. / Под. Ред. В.М. Курейчика. – М.: Физматлит, 2009, 195 с., 124-139.
13. Еремеев А.П., Куриленко И.Е. Применение временных рассуждений в интеллектуальных системах реального времени / Интеллектуальные системы. Колл. монография. Выпуск второй. / Под. Ред. В.М. Курейчика. – М.: Физматлит, 2007, 114-130.
14. Еремеев А.П., Куриленко И.Е. Компонента временных рассуждений для интеллектуальных систем поддержки принятия решений реального времени // Искусственный интеллект и принятие решений, 2009, № 1, с. 31–45.
15. Куриленко И.Е. Подход к решению метрических задач согласования временных ограничений в подклассе простых темпоральных задач (Simple Temporal Problems (STP)) // Труды XVII междунар. науч.–техн. конф. «Информационные средства и технологии».–М.: Издательство МЭИ, 2009.–Т.1.–С.142–149.
16. Еремеев А.П., Куриленко И.Е. «Моделирование временных рассуждений в интеллектуальных системах реального времени» // Вестник МЭИ, 2008. №1. С. 114-123.
17. Куриленко И.Е. Система временного вывода для интеллектуальных систем поддержки принятия решений реального времени // Сб. док. междунар. научно-практ. конф. Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте в 2 т. – Т.1. – М.:ФизМатЛит, 2009. С 241 – 252.