

УДК 519.21.681

**Стенин А.А.**

Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

**Пасько В.П.**

Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

**Шитикова И.Г.**

Институт телекоммуникаций и глобального информационного пространства  
Национальной академии наук Украины

**Лемешко В.А.**

Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

## ПОСТРОЕНИЕ ПРЕДМЕТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ СИТУАЦИОННОГО ТИПА

*В данной работе предлагается построить предметно-ориентированную интеллектуальную систему поддержки принятия решений на основе технологии мультиагентных систем и методологии ситуационного управления. Построенная таким образом интеллектуальная система поддержки принятия решений обеспечивает в диалоге с экспертом автоматизированную настройку на исследуемую предметную область путем ввода в систему основных понятий, атрибутов, их возможных значений, связей между ними, а также типов возможных ситуаций, характерных процессов, и интерактивное взаимодействие с пользователем в процессе ее функционирования. При этом модель процесса принятия решений задается в виде совокупности ситуаций.*

**Ключевые слова:** инновационный программный продукт, мультиагентная система, база знаний предметной области, нечеткая ситуационная сеть, интеллектуальная система поддержки принятия решений, индуктивный вывод семантических решений.

**Общая характеристика процесса принятия решений в интеллектуальной системе поддержки принятия решений.** Принятие решения в большинстве случаев заключается в генерации возможных альтернативных решений, их оценке и выборе лучшего варианта. В сложных и ответственных моментах лицо, принимающее решение (далее – ЛПР), обращается к опытным и знающим людям (экспертам).

В частности, при выборе варианта решения в процессе разработки инновационного программного продукта (далее – ИПП) приходится учитывать большое число неопределенных и противоречивых факторов. Неопределенность является неотъемлемой частью процессов принятия реше-

ний при разработке ИПП, и неопределенности в конкретной предметной области можно разделить на три класса [1; 2]:

– неопределенность, связанная с неполнотой знаний о проблеме, по которой должно быть принято решение;

– неопределенность, связанная с невозможностью полного учета реакции окружающей среды (рынок спроса, текущая ситуация в предметной области и т. д.);

– неопределенность, связанная с неправильным пониманием тактических и стратегической целей создания ЛПР конкретного ИПП.

Процесс принятия решений может протекать по двум основным схемам: интуитивно-эмпирической

(основанной на сравнении проблемной ситуации с ранее встречавшимися схожими ситуациями) и формально-эвристической (основанной на построении и исследовании модели проблемной для данной конкретной предметной области ситуации).

Противоречивость возникает из-за неоднозначности оценки ситуаций, ошибки в выборе приоритетов, что, в конечном итоге, сильно осложняет принятие решений. Исследования показывают, что ЛПР без дополнительной аналитической поддержки, как правило, используют упрощенные, а иногда и противоречивые правила выбора решения. В этом случае наиболее эффективным инструментом принятия потенциально лучшего решения являются интеллектуальные системы поддержки принятия решений (далее – ИСППР). Основными функциями таких систем являются [3; 4]: оказание помощи ЛПР при анализе исходной информации (оценке сложившейся обстановки и ограничений, накладываемых внешней средой); выявление и ранжирование приоритетов, учет неопределенности в оценках ЛПР и формирование его предпочтений; генерация возможных решений (формирование списка альтернатив); оценка возможных альтернатив, исходя из предпочтений ЛПР, и ограничение, накладываемое внешней средой; анализ возможных последствий принимаемых решений; выбор потенциально лучшего варианта решения на каждом этапе (в каждой ситуации).

Процедура принятия решений с помощью ИСППР представляет собой циклический процесс взаимодействия человека и компьютера (рис. 1) и включает фазы анализа и постановки задачи, фазы поиска и оптимизации альтернативных решений, реализуемых с помощью компьютера.

Современные ИСППР основаны на применении специализированных информационных хранилищ (Data Warehouse) и технологий OLAP (On-Line Analytical Processing) – оперативного анализа данных. Основное назначение OLAP-технологий – динамический многомерный анализ данных с использованием эффективного инструмента интеллектуального анализа данных (Data Mining), моделирование и прогнозирование [5].

**Анализ путей построения предметно-ориентированных ИСППР ситуационного типа.** Разработка предметно-ориентированных ИСППР идет по двум основным направлениям: ИСППР на основе распределенного искусственного интеллекта и ИСППР на основе сценариев.

ИСППР на основе распределенного искусственного интеллекта строятся на базе мульти-

агентных систем (далее – МАС), основанных на правилах и рассуждениях на основе прецедентов. В них каждый агент рассматривается как система (нераспределенная), основанная на знаниях с добавлением компонентов, обеспечивающих безопасность, мобильность, качество обслуживания, взаимодействие с другими агентами, сетевыми ресурсами и пользователями. Данные ИСППР характеризуются скоординированным интеллектуальным поведением в сообществе интеллектуальных агентов. ИСППР на основе распределенного искусственного интеллекта рассматриваются как наиболее многообещающие ИСППР. Исследования в этом направлении в настоящее время идут по пути интенсивных теоретических исследований и прикладных разработок. Например, в [6] дано описание основных принципов создания интегрированных интеллектуальных систем компьютеризации инженерной деятельности на базе концепции МАС распределенного искусственного интеллекта [7].

МАС на основе сценариев ориентированы на использование в больших компьютерных сетях с большим разнообразием представляемого сервиса. Агенты данного класса систем разрабатываются с помощью языков сценариев, таких как Tcl, JavaLanguage и др. Эти языки ориентированы на реализацию асинхронного процесса и удаленное исполнение приложений, инициируемых электронной почтой. Разрабатываемые здесь технологии должны поддерживать мобильность агента. Нужно отметить, что МАС на основе сценариев рассматриваются как основной подход для реализации мобильной телекоммуникации через компьютерные сети общего пользования с помощью переносных компьютеров.

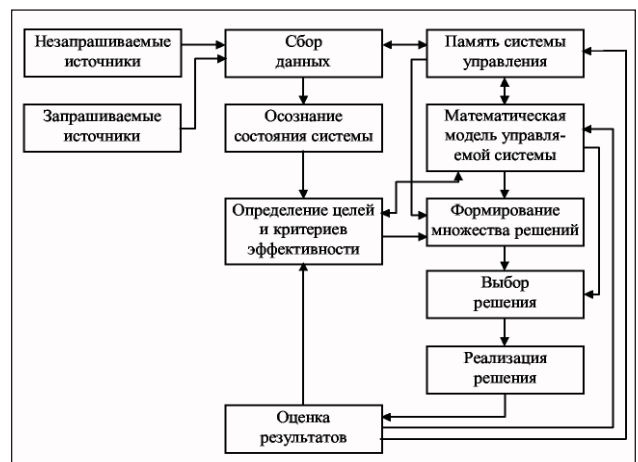


Рис. 1. Общая схема процедуры принятия решений в ИСППР

Таким образом, МАС можно рассматривать как совокупность взаимосвязанных программных модулей (агентов), являющихся фрагментами знаний, доступных другим агентам. Это, другими словами, некие «программные роботы», удовлетворяющие различные информационные и вычислительные потребности конечных пользователей. Они координируют свои знания, цели, умения и планы при решении проблем, т. е. являются некими программно-исполнительными устройствами. В данной работе предлагается строить предметно-ориентированную ИСППР на основе технологии МАС и методологии ситуационного управления [8].

**Постановка задачи.** Пусть текущая ситуация, сложившаяся в процессе разработки ИПП предметной области, описывается в виде нечёткой ситуации следующего вида:

$$S_{TEK} = \{M_{S_i}(x_i) / x_i\}, x_i \in X, \quad (1)$$

где:  $M_{S_i}(x_i)$  – функция принадлежности лингвистической переменной  $x_i$ , характеризующей текущую ситуацию  $S_{TEK}$ .

Поскольку каждой лингвистической переменной  $x_i$  соответствует  $j$ -й терм из множества термов базы знаний, то формулу (1) можно записать в виде:

$$S_i = \{M_{M_{S_i}(x_i)}(T_j^i) / T_j^i\}, j = \overline{1, M}; i = \overline{1, N}; x_i \in X, \quad (2)$$

где:  $T_j^i$  –  $j$ -й терм  $i$ -й лингвистической переменной.

Для определение текущего состояния процесса разработки ИПП необходимо сравнить данную нечёткую ситуацию с каждой нечёткой ситуацией из некоторого набора существующих в базе знаний данной предметной области ситуаций  $S = (S_1, \dots, S_K)$ .

В качестве меры для определения степени близости нечёткой ситуации  $S_{TEK}$  и  $S_k (k = \overline{1, K})$  из модели знаний можно использовать:

- степень нечёткого включения нечёткой ситуации STEK в нечёткую ситуацию  $S_k$ ;
- степень нечёткого равенства  $S_{TEK}$  и  $S_k$ ;
- степень нечёткой общности  $S_{TEK}$  и  $S_k$ .

Задаваясь одной из выбранных мер близости, можем задать некоторые нечёткие отношения между ситуациями, не только по отношению к текущей  $S_{TEK}$ , но и между существующими в базе знаний данной предметной области.

С точки зрения разработки ИПП в предметно-ориентированной области, наиболее удобной мерой близости можно считать степень нечёткого включения ситуации, которая характеризуется некоторым порогом включения, определяемым

разработчиком, исходя из условий, в которых протекает разработка ИПП. Порог включения определяется, как и функции принадлежности, в нормированном диапазоне  $[0, 1]$  следующим образом:

$$t_{вкл.} \in [\alpha_{\min}, 1], \quad (3)$$

где  $\alpha_{\min}$  – нижняя граница диапазона степени включения, обычно  $\alpha_{\min} = 0.6 \div 0.7$

В этом случае можем говорить о том, насколько нечёткие признаки текущей ситуации STEK нечётко включаются в нечёткие значения соответствующих признаков ситуации  $S_k (k = \overline{1, K})$  [2; 6].

Далее для существующей базы знаний данной предметной области и условий работы ИПП в различных режимах эксплуатации формируем типовые «штатные» ситуации, для которых на основе экспертных методов детально разработаны управляющие воздействия. При этом возможный переход от одной «штатной» ситуации к другой осуществляется с помощью некоторого решения. При этом каждому возможному решению определяется степень предпочтения данного решения  $\gamma_{ki} (S_k, R_{ki})$ . Таким образом можно построить нечёткую ситуационную сеть (рис. 2), на которой видны возможные переходы от одной «штатной» ситуации к другой и степень предпочтения этих переходов.

Как база знаний данной предметной области, так и ситуационная сеть носят эволюционный характер и периодически обновляются при появлении новой «штатной» ситуации (фактически это отработанный экспертами вариант возникшей «нештатной» ситуации) и с новыми требованиями к ИПП. Построенная на основе базы знаний данной предметной области нечёткая ситуационная сеть представляет собой нечёткий ориентированный граф, вершины которого соответствуют существующим «штатным» нечётким ситуациям, дуги взвешены возможными решениями, необходимыми для перехода по ситуациям, и степенями предпочтения этих решений.

Таким образом, задача построения предметно-ориентированных ИСППР ситуационного типа может быть решена на основе нечёткой ситуационной сети с использованием технологии мульти-агентных систем (МАС).

**Структура, состав модулей и работа предметно-ориентированных ИСППР ситуационного типа.** На рис. 3 представлена структура и состав модулей ИСППР на основе технологии МАС и методологии ситуационного управления. Методология ситуационного управления используется в двух контурах – контуре организации управления (адаптация структуры системы) и контуре функционирования [9].

При создании ИСППР ситуационного типа должны быть реализованы принципы целевой направленности системы, оценки (распознаваемости) ситуаций, обоснования решений, открытости системы, интегрального представления видов информации, адаптивности. ИСППР должна включать инструментальный и прикладной программные комплексы [6; 9].

С учетом специфики предметной области в ИСППР должны быть сформулированы требования к модели представления знаний по системе понятий, адекватности содержания и соответствия формулируемых знаний исследуемым процессам и пригодности для выполнения требуемых действий. Целостное описание ситуации экспертом обеспечивается при наличии полного набора характеризующих эту ситуацию показателей. Наиболее удобной и надежной формой для предоставления исходных экспертных знаний являются прецедентные пары «информационное описание ситуаций» – «вывод по ситуации», которые получаются в ходе заблаговременного анализа экспертом возможных ситуаций, либо в ходе практического анализа, по оценке конкретной ситуации. Для учета множества факторов исходный набор показателей разбивается на фрагменты, которые объединяют в своем составе показатели, образующие относительно самостоятельную смысловую группу. Задача оценки ситуации разбивается на ряд частных задач. Решения, формируемые частными задачами, составляют показатели более высокой степени обобщения, которые служат исходными данными для частных задач следующего уровня иерархии и т. д. Такой процесс декомпозиции общей задачи оценки приводит к образованию многоуровневой иерархии связанных по входу – выходу частных задач, а ее решение позволяет сформировать систему решений по отдельным аспектам и общее решение о степени соответствия сложившейся ситуации целям управления [9].

Каждая задача (подзадача) в принятой трактовке представляет из себя совокупность функциональных зависимостей, описывающих исходную ситуацию и решение по ситуации. С использованием подсистемы логического вывода обобщенной оценки ситуации и формирование объяснений строятся правила и пополняется база знаний. Решение прикладной задачи осуществляется путем применения правил из базы знаний к данным о текущей ситуации.

Решения о ситуации формируются путем логико-аналитической обработки данных о ситуации в целом и частных случаях ситуаций в данной предметной области. Причем полагается, что по ситуациям, характерным для данной предметной области («штатные ситуации»), эти данные предварительно формируются информационными источниками на основе добываемой ими первичной информации о состоянии и деятельности объектов наблюдения (показатели и массив подтверждающих их сведений).

Для выявления закономерностей процесса формирования выводов о ситуации используются методы индуктивного обобщения качественной информации. Индуктивный вывод является логическим процессом для синтеза рациональных семантических решений. Формальное представление процедуры принятия решения при оценке ситуации имеет вид: действующие признаки, множество наборов их значений – множество ситуаций – отображение этого множества в множество решений.

ИСППР обеспечивает в диалоге с экспертом автоматизированную настройку на исследуемую предметную область путем ввода в систему основных понятий, атрибутов, их возможных значений, связей между ними, а также типов возможных ситуаций, характерных процессов и интерактивное взаимодействие с пользователем в процессе ее функционирования. Модель процесса задается в виде совокупности ситуаций.

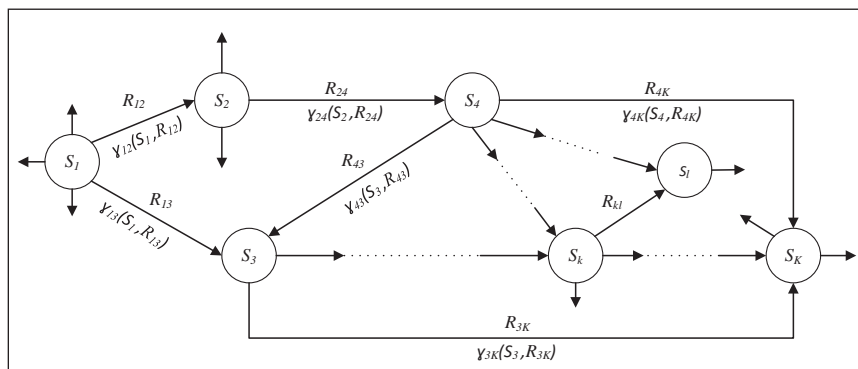


Рис. 2. Нечеткая ситуационная сеть



Ситуація представляється сукупністю подій. Подія означає встановлення певного значення або досягнення певної межі значення одного або декількох атрибутів об'єкта (об'єктів). Таким чином, подія характеризується зміною стану одного або декількох об'єктів. Можлива послідовність протікання процесів задається їх послідовністю і відношенням умови між ситуаціями. Відношення умови означає, що обов'язковою умовою виникнення ситуації є не тільки настання певних подій, але й настання однієї або декількох певних умов в відношенні умови ситуації. Формування інформаційних повідомлень імітує процес збору з зовнішніх джерел (операторів системи або автоматичних датчиків) повідомлень про зміни в досліджуваній проблемній області.

При моделюванні процесу прогнозування механізм логічного висновку запускається

автоматично через встановлені проміжки часу. Сопоставляючи задані моделі процесів з надходящими інформаційними повідомленнями, він виконує видачу рекомендацій в реальному часі користувачеві про реально протікаючі процеси. Отримана інформація дає об'єктивну оцінку протікаючих процесів і дозволяє виконувати прогнозування їх протікання і виконувати контроль виконання задаваних керуючих впливів [4; 9].

В системі прийняття рішень по ситуації використовуються два види технологій висновку – на логічних правилах і висновках по прецедентах.

**Висновки.** Наявна стаття присвячена питанню подальшого розвитку прикладної концепції ситуаційного управління. Як основу прийнята методологія мультиагентних систем, складаючих сучасну тенденцію в області нових інформаційних технологій. Використання предметно-орієнтованої технології побудови нечіткої ситуаційної мережі дозволяє різко розширити воз-

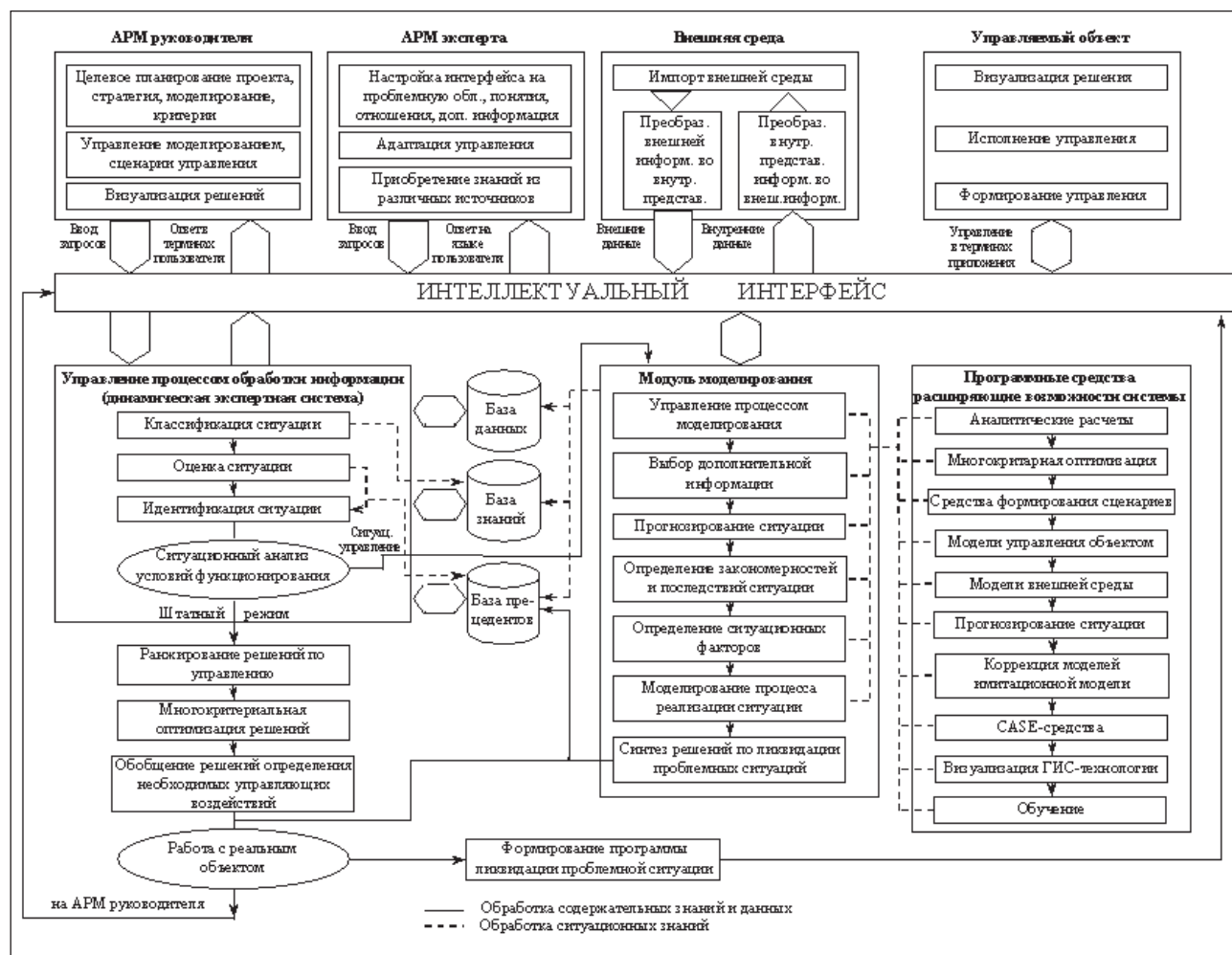


Рис. 3. Структура и состав модулей ИСПП

возможности выбора и принятия эффективных решений за счет разнообразия схем возможных оптимальных в смысле выбранных критериев переходов в нечеткой ситуационной сети и ее постоянной эволюции. В системе принятия решений по ситуации используется два вида технологий выводов – на логических правилах и суждениях по прецедентам. Алгоритм распознавания сравнивает описание рас-

познаваемой текущей ситуации с таблицей «штатных» ситуаций и принимает решение о степени ее новизны. Решение выносится на основе вычисления степени близости распознаваемой текущей ситуации к одной из существующих «штатных» ситуаций. При несовпадении текущая ситуация обрабатывается, переводится в разряд «штатных» и вводится в нечеткую ситуационную сеть.

#### Список литературы:

1. Борисов А.Н. Модели принятия решений на основе лингвистической переменной. Рига, 1982. 256 с.
2. Борисов А.Н. Принятие решений на основе нечетких моделей: Примеры использования. Рига, 1990. 184 с.
3. Коростелев Д.А. Система поддержки принятия решений «ИГЛА». Москва: ВНИИЦ, 2007. № 50200701348
4. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка решений. Серия «Информатизация России на пороге XXI века». Москва, 1988. 376 с.
5. Барсебян А.А., Куприянов М.С., Степаненко В.В., Холод И.И. Технология анализа данных. Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP: учеб. пособ. Санкт-Петербург, 2007. 384 с.
6. Геловани В.А., Башлыков А.А., Бритков В.Б., Вязилов Е.Д. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в нештатных ситуациях с использованием информации о состоянии природной среды. Москва: Едиториал УРСС, 2015. 304 с.
7. Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. Москва: Эдиториал УРСС, 2002. 352 с.
8. Поспелов Д.А. Ситуационное управление. Теория и практика. Москва: Наука, 1986. 284 с.
9. Чекинов Г.П., Чекинов С.Г. Применение технологии многоагентных систем для интеллектуальной поддержки принятия решений (ИППР). Сетевой электронный научный журнал «Системотехника». 2003. № 1.

#### ПОБУДОВА ПРЕДМЕТНО-ОРІЄНТОВАНИХ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ СИТУАЦІЙНОГО ТИПУ

У даній роботі пропонується будувати предметно-орієнтовану інтелектуальну систему підтримки прийняття рішень на основі технології багатоагентних системі методології ситуаційного управління. Побудована таким чином інтелектуальна система підтримки прийняття рішень забезпечує в діалозі із експертом автоматизоване налаштування на досліджувану предметну область шляхом введення в систему основних понять, атрибутів, їх можливих значень, зв'язків між ними, а також типів можливих ситуацій, характерних процесів, та інтерактивну взаємодію з користувачем у процесі її функціонування. Модель процесу прийняття рішень задається у вигляді сукупності ситуацій.

**Ключові слова:** інноваційний програмний продукт, мультиагентна система, база знань предметної області, нечітка ситуаційна мережа, інтелектуальна система підтримки прийняття рішень, індуктивний висновок семантичних рішень.

#### THE CONSTRUCTION OF SUBJECT-ORIENTED INTELLIGENT DECISION SUPPORT SYSTEMS OF A SITUATIONAL TYPE

This article is devoted to the further development of the applied concept of situational management. The methodology is based on multi-agent systems, which constitute the current trend in the field of new information technologies. The use of object-oriented technology for constructing a fuzzy situation network makes it possible to dramatically expand the possibilities for choosing and making effective decisions due to the diversity of schemes of possible transitions in the fuzzy situation network optimal in the sense of the selected criteria and its constant evolution. In the decision-making system on the situation, two types of output technologies are used – on logical rules and judgments based on precedents. The recognition algorithm compares the description of the recognized current situation with the table of “regular” situations and makes a decision about the degree of its novelty. The decision is made on the basis of calculating the degree of proximity of the recognized current situation to one of the existing “regular” situations. If there is a mismatch, the current situation is processed, transferred to the “regular” category and entered into an unclear situational network.

**Key words:** innovative software product, multi-agent system, knowledge base of the domain, fuzzy situation network, intelligent decision support system, inductive derivation of semantic solutions.