

УДК 681.324

ОБОБЩЕННАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ СИТУАЦИОННОГО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНО-АГЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

С. А. Яковлев,

доктор техн. наук, профессор

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

А. А. Суконщиков,

канд. техн. наук, доцент

Вологодский государственный технический университет

Рассмотрены вопросы построения ситуационных интеллектуально-агентных систем моделирования сложных объектов на примере корпоративных сетей с поддержкой качества обслуживания, приведена мультиагентная интеллектуальная система, дано теоретико-множественное описание агентов и их взаимодействий.

Ключевые слова — агент, интеллектуальная система, ситуационное интеллектуально-агентное моделирование.

Главным отличием современных интеллектуальных систем является их распределенность, обеспечение обработки и применение распределенных знаний. Главный смысл происходящих в настоящее время смен концепций (парадигмы) создания и использования средств искусственного интеллекта — переход от предположений, справедливых только для изолированных систем искусственного интеллекта, от индивидуальных систем к распределенной обработке информации и разработке мультиагентных интеллектуальных систем (МАИС) [1, 2].

При практической реализации распределенных систем возникли серьезные трудности с проектированием и описанием объединенных в единую сеть разнородных локальных компьютерных узлов. Только с применением теории МАИС можно преодолеть трудности моделирования гетерогенных сетей.

Технология мультиагентных систем — это новая парадигма информационной технологии, ориентированной на совместное использование научных и технических достижений и преимуществ, которые дают идеи и методы искусственного интеллекта, современные локальные и глобальные компьютерные сети, распределенные базы данных и распределенные вычисления, аппаратные и программные средства поддержки теории открытости.

Уровень интеллектуальности определенного агента можно оценить, как способность агента использовать старые знания в новых, может быть,

заранее неизвестных ему ситуациях и проблемных областях, где оцениваемый агент приемлем как активный решатель задач. Как правило, каждый агент работает с определенной метафорой, определяющей функции и особенности лица, принимающего решение (ЛПР). Идея каждой метафоры — это инструментальная система, отражающая схему взаимодействия между исполнителями в данной ситуации [2].

Методология ситуационного управления использована при создании модели интеллектуальной системы поддержки принятия решения (ИСППР), которая функционирует в двух контурах — контуре организации управления (адаптация структуры системы) и контуре функционирования [1, 2]. При создании ИСППР реализованы принципы целевой направленности системы, оцениваемости (распознаваемости) ситуаций, обоснования решений, открытости системы, интегрального представления видов информации, адаптивности. ИСППР включает инструментальный и прикладной программные комплексы.

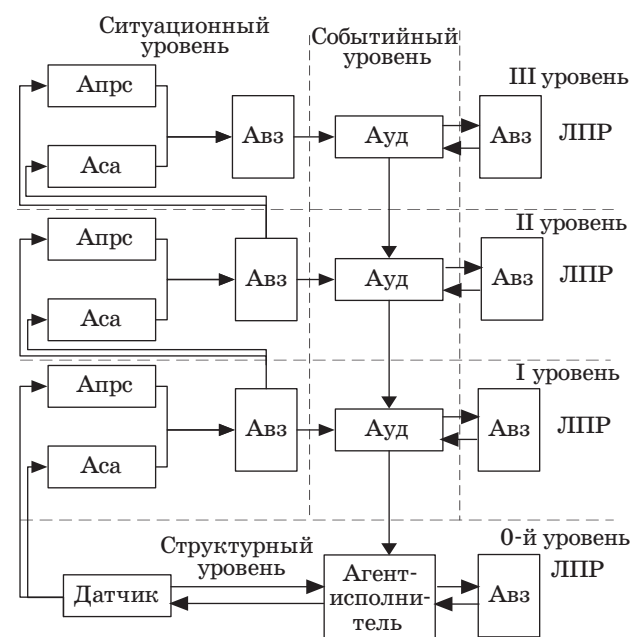
Исходя из многоуровневой структуры ситуационного моделирования (ССМ) авторы считают, что необходима МАИС, которая формирует взаимодействие интеллектуальных агентов (ИА) на всех этапах моделирования. Для ССМ налицо все признаки МАИС: распределенность, независимая параллельная работа экспертов, т. е. ЛПР, масштабируемость, когда при добавлении нового объекта или подсети система не перепрограммируется, а в нее только добавляются новые агенты,

и затем система включается в общее взаимодействие.

На основании приведенных выше соображений о характеристиках известных моделей ИА и изложенной формальной теории ситуационного моделирования авторы предлагают определить ИА как гибридную архитектуру. Интеллектуальный агент в системе будет представляться в виде МАИС, что позволит разрабатывать иерархию функций, процессов, моделей и взаимосвязей в виде отдельных взаимосвязанных агентов [3]. Такой подход позволяет разрабатывать модель каждого агента независимо, определять его роль в МАИС и взаимосвязи с другими агентами. Такой принцип хорошо встраивается в концепцию построения системы ситуационного интеллектуально-агентного моделирования (СИАМ).

Система СИАМ состоит из 4 уровней (рисунок): 0-й уровень — уровень имитационного моделирования (уровень структурной схемы корпоративной сети), I — уровень локальных систем управления (уровень объекта), II — уровень управления подсетью, III — уровень управления корпоративной сетью. I, II и III уровни состоят из ситуационного и событийного уровней. Ситуационный уровень служит для оценки текущей ситуации в системе, событийный — для выработки управляющего действия.

В разработанной МАИС (см. рисунок) выделены следующие роли агентов: Аса — ситуационный анализ (оценка текущей ситуации в системе), Апрс — прогнозирование развития ситуа-



■ Структура взаимодействия агентов в системе ситуационного моделирования

ции, Ауд — выработка управляющих действий, Авз — взаимосвязь между агентами.

Ситуационный уровень будет состоять из агентов, выполняющих две роли: ситуационный анализ и прогнозирование развития ситуации, что позволяет увеличить быстродействие системы за счет параллельной работы агентов, использование специализированных методов в каждом агенте и дает возможность независимого проектирования агентов.

Событийный уровень представлен агентом выработки управляющих действий (Ауд), который в качестве исходных данных использует сигналы от агентов ситуационного анализа и прогнозирования, от агента управляющих действий верхнего уровня, от ЛПП (через коммуникационного агента Авз).

Информационную связь между уровнями осуществляют агенты взаимосвязи (Авз), которые позволяют синхронизировать работу агентов. Горизонтальная синхронизация осуществляется между агентами одного уровня и вертикальная синхронизация — между агентами разных уровней.

Ситуация в системе определяется как совокупность ситуаций на каждом из уровней, что позволяет отразить ситуацию в контексте состояний внешней среды, целей и намерений агентов и его убеждений о других агентах. Каждый агент имеет свою базу знаний, которая определяет механизм логического вывода, и базу данных, которая содержит параметры настройки агентов. С учетом предложенной в [3] концепции построения модели интеллектуального агента, определим модель ИА с учетом множества ролей, которыми он может обладать.

Новая модель обобщенного ИА будет определяться следующим образом:

$$MAI = \langle NA, Actors, SA \rangle,$$

где NA — имя ИА; $Actors$ — роль агента в многоагентной системе; SA — структура атрибутов агента. Причем:

$$Actors = \langle MVI, MG, MSR \rangle,$$

где MVI — модель информационно-управляющего пространства; MG — модель целеполагания; MSR — модель поиска решений.

Модель поиска решения заключается в реализации конкретного плана действий (алгоритма) агента при активации цели. Исходя из функций, которые реализуются в распределенной ИСППР, можно выделить 6 ролей, которые распределим по мере увеличения сложности.

1. Агент взаимосвязи $Actors_1$ может быть двух типов в зависимости от MVI :

1-й тип — передача информационных сообщений $MVI_1 = (S(MAI), IS, SA)$;

2-й тип — передача управляющих сообщений $MVI_2 = (S(MAI), UD, SA)$,

где $S(MAI)$ — множество ИА, передающих информацию на вход данного агента и принимающих от него сообщения (информационные или управляющие); IS — множество информационных потоков ИА; SA — структура атрибутов в сообщениях; UD — множество управляющих сообщений.

$$MG = (SS, FSS, GS, G^{LPP}, SMA(t)),$$

где SS — множество стратегий, понимаемых как методы выбора целей; FSS — функция выбора стратегии; GS — множество статических целей; G^{LPP} — множество целей, получаемых данным ИА от ЛПП соответствующего уровня; $SMA(t)$ — состояние окружающего мультиагентного мира (МА-мира): $SMA(t) = R(t)$ — текущее состояние МА-мира.

$MSR = (F1)$ — при изменении состояния МА-мира (или события) на входе агента типа *Actors1* передает данное изменение на вход агентов, с которыми он взаимосвязан, без искажений.

2. Агент проведения ситуационного анализа *Actors2*:

$$MVI = (S(MAI), IS, SA);$$

$$MG = (SS, FSS, GS, G^{LPP}, SMA(t)),$$

$$SMA(t) = (P(t - 1), R(t)),$$

где $P(t - 1)$ — предыдущие значения состояния МА-мира.

$MSR = (F2)$ — на основании входных сигналов и установленных целей определяется, к какому множеству ситуаций относится текущая ситуация в МА-мире.

3. Агент прогнозирования развития ситуаций *Actors3*:

$$MVI = (S(MAI), IS, SA);$$

$$MG = (SS, FSS, GS, G^{LPP}, FG^D, FG^S, FAG, SMA(t)),$$

$$SMA(t) = (P(t - 1), R(t), F(t + 1)),$$

где $F(t + 1)$ — предполагаемое будущее состояние МА-мира.

$MSR = (F3)$ — на основании входных сигналов (изменения ситуации в прошлом) и установленных целей определяется, приведет ли изменение текущей ситуации в обозримом будущем к переходу к нештатной (штатной) ситуации, если да, то выдать соответствующее информационное сообщение.

4. Агент принятия решения *Actors4*:

$$MVI = (S(MAI), IS, UD, SA);$$

$$MG = (SS, FSS, GS, G^{LPP}, G^{TOP}, G^{DOWN}, FG^D, FG^S, FG^A, SMA(t)),$$

$$SMA(t) = R(t),$$

где G^{DOWN} — множество целей, которые могут быть переданы интеллектуальным агентам ни-

жележащих уровней; FG^D — функция формирования динамических целей; FG^S — функция выбора статических целей; FG^A — функция выбора активных целей, т. е. целей, принятых к реализации.

$MSR = (F4)$ — на основании комбинации входных сигналов и установленных целей вырабатывается управляющее действие для нижележащих агентов и для агентов исполнения решений.

5. Агент исполнения решения *Actors5*:

$$MVI = (S(MAI), UD, SA);$$

$$MG = (SS, FSS, GS, G^{LPP}, G^{TOP}, G^{DOWN}, FG^D, FG^S, FG^A, SMA(t)),$$

$$SMA(t) = R(t).$$

$MSR = (F5)$ — на основании входных управляющих команд и установленных целей выполняется управление устройством.

6. Агент распределения ресурсов *Actors6*:

$$MVI = (S(MAI), IS, UD, SA);$$

$$MG = (SS, FSS, GS, G^{LPP}, G^{TOP}, G^{DOWN}, FG^D, FG^S, FG^A, SMA(t)),$$

$$SMA(t) = (P(t - 1), R(t), F(t + 1)).$$

$MSR = (F6)$ — на основании входных управляющих команд, информационных сообщений и установленных целей происходит резервирование, занятие и освобождение ресурса.

Функция выбора стратегии определяет текущую стратегию в зависимости от предыдущей стратегии, состояния МА-мира, множества активных (реализуемых) на данный момент целей. Функция формирования динамических целей определяется функциональным преобразованием над состоянием МА-мира, текущей стратегией. Функция выбора статических целей определяется функциональным преобразованием над состоянием МА-мира, текущей стратегией, множеством сформированных статических целей на текущий момент, множеством активных целей, принятых к исполнению.

На основе предложенной модели обобщенного ИА и специфики систем ситуационного моделирования мультиагентная система может быть описана следующей четверкой:

$$M = \langle A, SSS, MS, U \rangle,$$

где A — множество агентов на всех стратах моделирования; SSS — множество соединений агентов на всех стратах моделирования: $SSS = (Ak \in \{AU_i\})(An \in \{AU_j\}) : \rightarrow \{0, 1\}$, где Ak, An — множество агентов, расположенных соответственно на стратах моделирования U_i и U_j , $k = 1, \dots, m$; $n = 1, \dots, l$; $i = 0, 1, 2, 3$; $j = 0, 1, 2, 3$; MS — множество информационных и управляющих потоков

между взаимосвязанными агентами; U — множество страт моделирования, при этом имеет место система:

— имитационного моделирования, если $(|U| = 0) \vee (|A| = 0)$;

— имитационного моделирования на базе агентов, если $(|U| = 0) \vee (|A| = N)$, N — количество агентов от одного до N ;

— СИАМ на уровне объекта корпоративной сети, если $(|U| = 1) \vee (|A| = N)$ (при $A1 > 1$ — децентрализованная система управления сетью, при $A2 = 1$ — система управления одним объектом);

— СИАМ на уровне отдельной сети, если $(|U| = 2) \vee (|A| = N)$ (при $A2 > 1$ — децентрализованная система управления корпоративной сетью, при $A2 = 1$ — централизованная система управления корпоративной сетью);

— СИАМ на уровне корпоративной сети, если $(|U| = 3) \vee (|A| = N)$ (при $A3 = 1$ — централизованная система управления).

Дадим определение МАИС принятия решения корпоративной сети:

$$MA = (MAks, MAps, MAo, MAstr, MSm),$$

где $MAks$ — МАИС принятия решения уровня корпоративной сети; $MAps$ — МАИС принятия решения уровня подсети корпоративной сети; MAo — МАИС принятия решения уровня объекта корпоративной сети; $MAstr$ — МАИС принятия решения на структурном уровне корпоративной сети; MSm — множество взаимодействий между многоагентными интеллектуальными системами: $MSm = (MSi, MSy)$, где MSi — множество информационных потоков; MSy — множество потоков управляющих команд.

Мультиагентные интеллектуальные системы принятия решения располагаются в порядке иерархического убывания влияния данной системы. Информационные потоки направляются от нижних иерархических уровней к верхним, а управляющие потоки — в обратном направлении. Каждая из приведенных здесь МАИС еще имеет внутреннюю иерархическую структуру, причем для уровней корпоративной сети и подсети иерархическая структура одинакова:

$$MAks = (Asu, Acu, Cmks),$$

где Asu — множество ИА ситуационного уровня корпоративной сети; Acu — множество ИА событийного уровня корпоративной сети; $Cmks$ — множество агентов для согласования взаимодействия между агентами разных уровней корпоративной страты управления сетью.

$$MAps = (Asup, Acup, Cmps),$$

где $Asup$ — множество ИА ситуационного уровня подсети корпоративной сети; $Acup$ — множество

ИА событийного уровня подсети корпоративной сети; $Cmps$ — множество агентов для согласования взаимодействия между агентами разных уровней страты управления подсетью.

Мультиагентная интеллектуальная система объектного уровня имеет трехуровневую структуру:

$$MAo = (Aso, Aco, Asto, Cmo),$$

где Aso — множество ИА ситуационного уровня объекта; Aco — множество ИА событийного уровня объекта; $Asto$ — множество ИА структурного уровня объекта; Cmo — множество агентов для согласования взаимодействия между агентами разных уровней страты объекта сети.

Формальное описание ИА начнем с агента структурного уровня объекта [4]. На основе определения механизмов качества обслуживания информационных потоков сформируем МАИС структурного уровня:

$$MAcmp = \{Astoi\}, i = 1, \dots, n,$$

где n — количество моделируемых устройств с поддержкой качества обслуживания (ПКО).

В общем виде многоагентная система на структурном уровне

$$Asto = (Aoo, Апт, Афт, Акт, Ас, Апп, Ам),$$

куда входят агенты, реализующие следующие функции: обслуживания очередей — Aoo ; профилирования трафика — $Апт$; формирования трафика — $Афт$; классификации трафика — $Акт$; сигнализации между агентами в одном устройстве и между различными устройствами структурного уровня — $Ас$; предварительного резервирования ресурсов — $Апп$; влияния параметров качества обслуживания на маршрутизацию — $Ам$. Агент $Ам$ зависит от

$$Ам = (Мт, Рм(Aoo), Рм(Апт), Рм(Афт), Рм(Акт), Рм(Ас)),$$

где $Мт$ — реализованный в сети алгоритм маршрутизации; $Рм(Aoo), Рм(Апт), Рм(Афт), Рм(Акт)$ — параметры от других агентов устройства, влияющие на вычисление маршрутизации; $Рм(Ас)$ — параметры маршрутизации от других маршрутизаторов.

Данная структура отображает МАИС устройств типа маршрутизатор.

При условии, что $(\forall Амi = 0) \rightarrow Asto = (Aoo, Апт, Афт, Акт, Ас, Апп)$, данная структура соответствует некоторым типам межсетевых экранов, маршрутизаторов и серверов доступа в интегральном режиме обслуживания, где агент резервирования ресурсов функционирует на основе параметров резервирования других агентов устройства:

$$App = (Pr(Aoo), Pr(Aпт), Pr(Aфт), Pr(Aкт), Pr(Aс)).$$

При условии, что $(\forall Ami = 0) \vee (\forall Appi = 0) \rightarrow Asto = (Aoo, Aпт, Aфт, Aкт, Aс)$, данная структура соответствует некоторым типам коммутаторов и маршрутизаторов с горизонтальной синхронизацией. $Aс = (\{Aсиi\}, \{Aсуj\})$, где $\{Aсиi\}, \{Aсуj\}$ — множество соответственно информационных и управляющих сигналов.

При условии, что $(\forall Ami = 0) \vee (\forall Appi = 0) \vee (\forall Aси = 0) \rightarrow Asto = (Aoo, Aпт, Aфт, Aкт)$, данная структура соответствует некоторым типам коммутаторов и маршрутизаторов, работающих в дифференциальном режиме, тогда механизмы связи между агентами внутри устройства реализуются Aoo .

При условии, что $(\forall Ami = 0) \vee (\forall Appi = 0) \vee (\forall Aси = 0) \vee (\forall Aкти = 0) \rightarrow Asto = (Aoo, Aпт, Aфт)$, данная структура соответствует некоторым типам коммутаторов и маршрутизаторов, работающих в дифференциальном режиме с вынесением функции классификации трафика на доверительные узлы сети с ПКО (например, рабочие станции). $Aфт = \{Aфти\}$, где $Aфти$ — множество реализуемых алгоритмов формирования трафика на устройстве (в принципе, для каждого потока можно использовать свой алгоритм — типа ведра токенов), на практике $|\{Aфти\}| = 1$.

При условии, что $(\forall Ami = 0) \vee (\forall Appi = 0) \vee (\forall Aси = 0) \vee (\forall Aкти = 0) \vee (\forall Aфти = 0) \rightarrow Asto = (Aoo, Aпт)$, данная структура соответствует некоторым типам коммутаторов и маршрутизаторов, работающих в дифференциальном режиме, где джиттер не имеет особого значения или не входит в состав контролируемых параметров (передача файлов, баз данных и т. д.). $Aпт$ может быть из двух множеств: $Aпт = (Aпт1, Aпт2)$, $Aпт1$ — агенты отбрасывания пакетов при превышении профиля трафика (режим полисинг); $Aпт2$ — агенты маркировки пакетов при превышении профиля трафика, сохранении и передаче с более низким качеством. Должно выполняться следующее условие для пакетов одного потока: $(\forall Aпти \in Aпт1) \vee (\forall Aпти \in Aпт2) \rightarrow (((Aпти = 0) \vee (Aпти = 1)) \& ((Aпти = 1) \vee (Aпти = 0))) \vee (i = j)$, т. е. для одного потока не должно быть двух агентов профилирования.

При условии, что $(\forall Ami = 0) \vee (\forall Appi = 0) \vee (\forall Aси = 0) \vee (\forall Aкти = 0) \vee (\forall Aфти = 0) \vee (\forall Aпти = 0) \rightarrow Asto = (Aoo)$, данная структура соответствует некоторым типам коммутаторов и маршрутизаторов, работающих в дифференциальном режиме, где нет сравнения с профилем трафика и хватает только одного агента обслуживания очередей (при достаточно низком трафике в сети).

Исходя из структуры построения устройства можно сделать вывод, что из всех перечисленных агентов для принятия решения ИА лучше всего совместить с агентом обслуживания очередей:

$$Aoo = (AM, Ao, Aст, As, A(БД(Ao))),$$

где AM — метаагент, ИА управления и работы с неточными данными ($Actors5$); Ao — агент соответствующего алгоритма обслуживания очереди; $Aст$ — агент стратегии по выбору Ao ; As — агент статистики функционирования устройства (статистика обслуживания разных потоков информации); $A(БД(Ao))$ — агент работы с базой данных алгоритмов обслуживания очередей.

Теперь перейдем к формированию мультиагентной системы событийного уровня объекта СИАМ:

$$Aco = (A(Ec), A(D), A(C), A(R)),$$

где $A(Ec)$ — агент по определению влияния элементарного события на объекте (на неточных исходных данных) ($Actors2$); $A(D)$ — агент по выработке управляющего действия (на неточных исходных данных) ($Actors4$); $A(C)$ — агент, обеспечивающий взаимосвязи между агентами ($Actors1$); $A(R)$ — агент распределения ресурсов ($Actors6$).

$$A(Ec) = (\Pi, \{Chari\}, Pari^1, Pari^2)$$

для оценки события учитывает: соблюдение требований на параметры характеристик Π ; типы контролируемых характеристик $QoS\{Chari\}$; параметры характеристик: $Pari^1$ — значение характеристики QoS до события, $Pari^2$ — значение характеристики QoS после события.

Агент выработки управляющего действия (принятия решения) на основе нечеткой логики будет определяться как

$$A(D) = (P(As(O)), P(As(P)), P(ЛПП), P(A(D)k), S(БПП), I(ЛПП), Fr),$$

где $P(As(O))$ — параметры для выбора управляющего действия от агента оценки ситуации; $P(As(P))$ — параметры для выбора управляющего действия от агента прогнозирования развития ситуации; $P(ЛПП)$ — управляющая команда от ЛПП; $P(A(D)k)$ — управляющая команда от агента принятия решения с верхнего k -уровня; $I(ЛПП)$ — информационное сообщение ЛПП; $S(БПП)$ — стратегия выбора нечеткого продукционного правила из базы знаний правил нечетких продукций; Fr — функция отслеживания результата действия примененного нечеткого продукционного правила.

Агент взаимосвязи может быть двух типов: передачи информационных $A1(Aси)$ и управляющих $A2(Aсуj)$ сообщений:

$$A1(Ac_i) = (I_i, I_o); A2(Ac_j) = (D_i, D_o),$$

где I_i, I_o — входные и выходные информационные сообщения; D_i, D_o — входные и выходные управляющие сообщения.

Рассмотрим теоретико-множественную модель многоагентной системы на ситуационном уровне объекта:

$$A_{so} = (As(O), As(P)),$$

где $As(O)$ — агент анализа оценки ситуации на объекте на нечетких данных ($Actors_2$); $As(P)$ — агент прогнозирования развития ситуации на объекте на основе нечетких исходных данных ($Actors_3$).

$$As(O) = (\Pi, SO),$$

где Π — множество правил для оценки параметров контролируемых характеристик; SO — применяемая методика (стратегия) оценивания возникшей ситуации.

$$As(P) = (Fu, Tr(\{Chari(t - n)\}), F(p), A(БД), A(O), A(T)),$$

где Fu — функция прогнозирования изменения на основе временной выборки; $Tr(\{Chari(t - n)\})$ — временная выборка текущих значений характеристик $QoS(\{Chari(t - n)\})$, где n — глубина выборки, т. е. количество предыдущих значений, применяемых в данной выборке, n должна соответствовать целям краткосрочного прогнозирования и поэтому находится в пределах 10–15 временных значений характеристик QoS ; $F(p)$ — функция, отслеживающая пакеты синхронизации на установлении соединений для новых потоков и пользователей; $A(БД)$ — агент для работы с базой данных обучающих выборок; $A(O)$ — агент

проведения обучения; $A(T)$ — агент проведения тестирования.

На основе предложенной интеллектуальной концепции ситуационного моделирования появляются новые возможности при моделировании сетей, а именно: оценка возникающих ситуаций в сети на основе нечеткой логики, прогнозирование развития ситуаций с использованием методов нейронных сетей, принятие решения на базе нейронечетких систем. Результатом функционирования системы СИАМ являются управляющие действия в зависимости от развития ситуаций. Изложенный подход представляет собой развитие идеологии ситуационного управления с выделением четырех уровней ситуационного моделирования на основе многоагентной системы, что позволяет существенно упростить моделирование корпоративных сетей с поддержкой качества обслуживания.

Литература

1. Поспелов Д. А. Ситуационное управление: теория и практика. — М.: Наука, 1986. — 234 с.
2. Бондаренко В. В., Литовка С. В., Чекинов Г. П. Подход к прогнозированию развития ситуации и определение управленческих воздействий в интеллектуальной системе поддержки принятия решений // Информационные технологии. 2003. № 8. С. 13–24.
3. Швецов А. Н., Яковлев С. А. Распределенные интеллектуальные информационные системы / СПбГЭТУ «ЛЭТИ». — СПб., 2003. — 318 с.
4. Суконщиков А. А., Давыдов Д. В. Методы и модели анализа сетей АСУ с поддержанием качества обслуживания / ВоГТУ. — Вологда, 2007. — 139 с.