
УДК 519.6 : 504.064

В.А. Артемчук, канд. техн. наук, **И.П. Каменева**, канд. техн. наук
Ин-т проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины
(Украина, 03164, Киев, ул. Генерала Наумова, 15,
тел. (044) 4249168, e-mail: ak24avo@gmail.com),

А.В. Яцишин, д-р техн. наук
Ин-т геохимии окружающей среды НАН Украины
(Украина, 03680, Киев, пр. Палладина, 34а)

Специфика применения когнитивного анализа информации в задачах обеспечения экологической безопасности

Рассмотрены различные подходы к когнитивному анализу информации и когнитивному моделированию. Приведена семантическая модель предметной области, формализующая постановку задачи когнитивного анализа экологической информации. Выделены основные этапы организации и расширения базы экологических знаний. Предложены специальные шкалы для анализа устойчивости урбанизированных территорий.

К л ю ч е в ы е с л о в а: когнитивный анализ, поле знаний, семантическое пространство, потенциальный риск, база знаний, семантические шкалы.

Розглянуто різні підходи до когнітивного аналізу інформації та когнітивного моделювання. Наведено семантичну модель предметної області, що формалізує постановку задачі когнітивного аналізу екологічної інформації. Виділено основні етапи організації і розширення бази екологічних знань. Запропоновано спеціальні шкали для аналізу стійкості урбанізованих територій.

К л ю ч о в і с л о в а: когнітивний аналіз, поле знань, семантичний простір, потенційний ризик, база знань, семантичні шкали.

Понятия когнитивного анализа и когнитивного моделирования достаточно часто встречаются в прикладных исследованиях [1—9 и др.], однако при этом предлагаются различные модели когнитивных исследований и достаточно свободно трактуется данный подход. Указанные работы опираются на достижения когнитивной психологии, и главная задача проведенных исследований состоит в разработке методов и средств обнаружения знаний об определенных объектах или явлениях для принятия обоснованных и эффективных решений.

© В.А. Артемчук, И.П. Каменева, А.В. Яцишин, 2017

Считается, что теоретические основы когнитивного подхода в задачах анализа и управления сложными системами заложены В.И. Максимовым [8, 9]. Когнитивный подход к анализу данных в сфере экологической безопасности помогает своевременно выявить тенденции развития опасных ситуаций, т.е. обеспечить информационную поддержку для принятия эффективных управленческих решений с учетом большого числа факторов влияния в условиях недостаточной или неточной численной информации.

Следует подчеркнуть, что специфика практического применения средств когнитивного моделирования, в первую очередь, заключается в том, что они ориентированы на конкретные условия развития ситуаций в определенной стране или регионе. Поэтому попытки адаптировать к особенностям нашей страны известные методы и технологии когнитивного моделирования, разработанные за рубежом, оказались недостаточно эффективными. Некоторые существенные аспекты когнитивного подхода к анализу экологической информации рассматриваются в работах [6, 10].

Основные понятия. Одним из центральных понятий на стадиях получения и структурирования знаний является поле знаний — условное описание основных понятий и взаимосвязей между понятиями предметной области, выявленных из системы знаний специалистов, представленное в виде текста, схемы, таблицы или диаграммы [2]. Поле знаний как начальный этап формализации представляет модель знаний о предметной области в том виде, как ее сумел выразить аналитик на своем языке описания. Этот язык занимает, как правило, промежуточное положение между естественным языком и языком математики.

В соответствии с иерархичностью понятийной структуры сознания поле знаний можно рассматривать на различных уровнях абстракции понятий. Так, в «пирамиде знаний» каждый следующий уровень служит для восхождения на новую ступень обобщения и углубления знаний о предметной области. Обычно предполагается наличие нескольких уровней понятийной структуры. Естественно, что и стратегии принятия решений на разных уровнях могут существенно отличаться.

При формировании поля знаний ключевым вопросом является процесс получения знаний, который в литературе об интеллектуальных системах получил несколько названий: приобретение, добыча, получение, извлечение, выявление, формирование знаний. В англоязычных изданиях последних лет преобладает два термина: acquisition (приобретение) и elicitation (извлечение).

Извлечение знаний (knowledge elicitation) обычно определяется как процедура взаимодействия эксперта с источником знаний, воссоздающая процесс рассуждений специалистов при принятии решений и структуру их

представлений о предметной области. Иными словами, это — достаточно подробное восстановление модели предметной области, которой пользуются эксперты для принятия решений.

Приобретение знаний (knowledge acquisition) — процесс наполнения базы знаний экспертом с использованием специализированных программных средств, т.е. использование в автоматизированных экспертных системах готовых фрагментов знаний, закладываемых туда в соответствии с разработанными структурами.

Формирование знаний (machine learning) — процесс анализа данных и выявление скрытых закономерностей с использованием специального математического аппарата и программных средств. Это направление включает разработку моделей, методов и алгоритмов обучения, позволяющих выявить различные эмпирические зависимости в базах данных (часто в условиях неполной информации). Наиболее современными среди методов обучения считаются методы распознавания образов. Однако, для того чтобы методы формирования знаний стали частью технологии интеллектуальной системы, необходимо решить ряд задач, в частности установить соответствие между базами данных, имеющими различные схемы, и базой знаний интеллектуальной системы.

В соответствии с [2] методологическую структуру процесса познания можно представить как последовательность этапов:

1. Описание и обобщение фактов с использованием системного анализа.
2. Установление связей и закономерностей посредством реконструкции системы знаний и рассуждений эксперта на уровне логического и ассоциативного мышления.
3. Построение модели предметной области, а именно создание категориального аппарата для описания исследуемой предметной области, где закономерности воспроизводятся в более лаконичном виде.
4. Объяснение и предвидение — основные критерии проверки пригодности модели для решения определенного класса задач.

В большинстве случаев базы знаний прикладных интеллектуальных систем остаются фрагментарными и модульными, так как отсутствуют некоторые связи между компонентами. Достаточно точно предсказывать новые закономерности и объяснять ситуации, не указанные в базе знаний в явном виде, пока могут только обучающие системы, ориентированные на генерацию новых знаний и предвидение.

Разделение этапов извлечения и структурирования знаний является весьма условным, поскольку опытный специалист начинает работать над структурированием и формированием поля знаний уже на этапе извлечения

знаний. Кроме того, в настоящее время наблюдается значительное опережение развития технологических средств для создания интеллектуальных систем относительно их теоретического обоснования.

Методы выявления знаний. Первые шаги на пути создания методологии интеллектуальных систем принятия решений (ИСПР), основанных на знаниях, были направлены на конкретные классы задач, моделируемых в рамках автономного программного инструментария. Более универсальный подход к проблеме создания баз знаний интеллектуальных систем предложен в работе [5], где структурирование знаний не зависит от последующей программной реализации и основано на общих принципах иерархической организации информации. Если на высших уровнях организации используются только наиболее общие особенности системы, то следующие уровни предполагают детальный анализ отдельных ее элементов. В результате задачи большой размерности можно разбить на множество отдельных блоков меньшей размерности.

Методы выявления знаний можно разделить на традиционные, основанные на математическом аппарате распознавания образов и классификации, и нетрадиционные, основанные на методологии инженерии знаний. При решении прикладных задач используются оба направления, поскольку универсальных методов пока нет, но зато есть множество методов, подходящих для тех или иных ситуаций и типов знаний.

Концепты, или понятия, не существуют независимо: они включаются в общую понятийную структуру с помощью отношений. В последних работах по теории ИСПР большое внимание уделяется взаимосвязанности структур знаний. Так, в работах Р. Шенка вводится понятие сценария (script) как достаточно общей структуры для представления знаний. Основу сценария составляет концептуальная организация памяти. Сценарии, в свою очередь, делятся на фрагменты, или сцены. Связи между фрагментами могут быть временными или пространственными. Например, в качестве сценария можно выделить ряд ситуаций, следующих через определенные промежутки времени [1].

После определения связей между понятиями все понятия следует разбить на несколько групп. Такие группы представляют собой метапонятия, которым необходимо присвоить имена на следующей стадии процесса структурирования. Процесс образования метапонятий (или интерпретации групп понятий) относится к операциям, которые до настоящего времени не были формализованы. На этом этапе, как правило, привлекаются опытные эксперты из соответствующей предметной области.

Выделив связи между понятиями, следует присвоить имена этим связям, т.е. превратить их в отношения. Д.А. Пospelов указывает на наличие

более 200 базовых видов различных отношений, которые существуют между понятиями [11]. Помимо универсальных отношений, таких как пространственные, временные или причинно-следственные, могут рассматриваться и специфические отношения для данной предметной области. Новые возможности для структурирования знаний содержат также геоинформационные системы и системы когнитивной графики.

В современные системы искусственного интеллекта закладываются преимущественно более доступные и формализуемые логико-дедуктивные алгоритмы рассуждений. Однако традиционная буквенно-цифровая форма представления информации рассчитана в основном на сбор, хранение и обработку уже известной информации. Многие специалисты утверждают, что процесс создания качественно новой информации происходит на невербальном уровне с участием интуитивного и образного мышления. Суть этого процесса пока не вполне понятна, но есть основания полагать, что визуальные образы могут быть средством прямого воздействия на интуицию и творческий потенциал человека [5, 12].

Направления когнитивного моделирования. В нашем понимании когнитивный подход к анализу многомерной информации совмещает методы интеллектуального анализа данных с широким спектром возможностей когнитивной компьютерной графики. Когнитивное моделирование отличается от когнитивной графики тем, что включает в себя не только методы визуализации данных, но и весь комплекс обработки, анализа и систематизации данных, который ему предшествует. Основная цель когнитивного моделирования — выявление наиболее ценной информации, которую содержат исследуемые данные, например ключевых параметров или факторов риска, по которым можно строить прогнозы и принимать решения.

Известно два подхода к определению информации. Первый из них лежит в основе теории информации и связан с именем К. Шеннона. Основы второго подхода разработаны Р. Фишером и относятся к области математической статистики. Р. Фишер использует понятие достаточных статистик, по которым можно восстановить начальное распределение данных. Так, для нормального распределения данных достаточными статистиками являются среднее арифметическое значение и выборочная дисперсия. В общем случае информативным следует считать такое описание данных, которое будет достаточно лаконичным, наглядным и полезным для решения определенного круга поставленных задач [1]. Критерии информативности, связанные с анализом данных мониторинга, подробно, рассмотрены в работе [10].

Существует два направления когнитивного моделирования, наиболее подходящие для анализа экологических и медицинских данных. К пер-

вому относятся методы, ориентированные на выявление структуры данных в пространстве начальных признаков, и визуальное представление полученных результатов анализа (методы классификации, кластерный анализ, распознавание образов). Второе направление — это поиск информативных характеристик для построения пространства признаков, т.е. выявление или построение наиболее информативных показателей (ключевых параметров), с помощью которых можно восстановить значения других признаков и определить зависимости, связывающие эти признаки. В частности, факторный анализ позволяет представить наиболее информативные показатели (факторы) в виде линейных комбинаций исходных показателей. Для визуализации пространства признаков используется ортогональное проектирование данных на плоскость главных компонент (главных факторов).

К традиционным методам визуального анализа данных относится целенаправленное проецирование и многомерное шкалирование. Кроме того, в последнее время получили известность такие методы визуализации, как метод карт Кохонена и метод упругих карт [12].

Методы целенаправленного проецирования (projecting pursuit) позволяют осуществлять поиск такого отображения многомерного пространства на плоскость, которое оптимизирует заданный критерий. Достаточно часто полагают, что отображение U является линейным оператором. При этом оптимизируемый функционал используют в качестве проекционного индекса $Q(U, X)$, где X — исходный набор многомерных данных. К наиболее известным методам проецирования относится метод главных компонент, успешно используемый в задачах экологического мониторинга для построения комплексных оценок экологического состояния — экологических индексов [13].

Методы многомерного шкалирования предназначены для обработки данных о попарных расстояниях между объектами, когда понятие расстояния в пространстве признаков рассматривается как аналогия сходства или различия. Дистанционные модели различия более предпочтительны при визуальном анализе семантических пространств в социологических или психологических исследованиях [2].

Следует заметить, что одним из основных результатов когнитивного моделирования является наглядное представление о внутренней структуре исходных данных. При наличии целостного представления (карты или графика) количественные характеристики, рассчитанные с помощью различных методов, играют второстепенную роль как средства дальнейшего анализа полученных визуальных образов.

Применение когнитивного моделирования в сфере экологической безопасности способствует выявлению наиболее опасных факторов природ-

ного или техногенного характера, оказывающих негативное влияние на экологию и здоровье человека (индикаторов загрязнения окружающей среды, факторов риска и др.)

Семантическое пространство риска. На формальном уровне семантическое пространство знаний представляет совокупность определенным образом организованных признаков (параметров), описывающих и дифференцирующих объекты (смыслы или значения) некоторой предметной области. При этом желательно знать определенное правило группировки этих признаков в более емкие категории, представляющие собой описания отдельных значений, оценки сходства или других отношений.

В случае двумерного пространства семантические шкалы можно изображать на плоскости, что позволяет перейти к визуальной интерпретации некоторого множества значений или событий. В большинстве случаев многомерное пространство знаний можно описать с помощью нескольких информативных проекций.

Во многих прикладных задачах семантическое значение сложной ситуации может быть связано с наличием или отсутствием опасности. Поэтому в качестве критерия для уточнения степени опасности рассмотрим вероятностное определение риска.

Для формального оценивания риска вводится вероятностная мера в пространстве случайных событий [14, 15]. Пусть Ω — непустое множество и B — борелевское поле (или σ -поле) подмножеств множества Ω . Это означает, что B представляет собой набор подмножеств, содержащий пустое множество \emptyset и замкнутый относительно взятия дополнения и объединения его членов не более, чем в счетном числе. Пусть P — неотрицательная функция, определенная на B , такая, что $P(\Omega) = 1$ и $P(\bigcup A_n) = \sum P(A_n)$, где $A_n \in B$ и $A_n \cap A_m = \emptyset$ для любых $n \neq m$. Тогда P определяет вероятностную меру, а тройка (Ω, B, P) представляет вероятностное пространство с заданной мерой.

Наиболее применяемый класс примеров получаем в случае, когда Ω — вещественная прямая, а B — поле всех борелевских множеств, т.е. наименьшее σ -поле, содержащее все открытые множества. Для заданной меры P на (Ω, B) определяем функцию распределения F для любых значений x : $F(x) = P(\{t \in R^1: -\infty < t \leq x\})$. Это и есть функция распределения меры P , указывающая вероятность появления различных значений случайной величины в процессе измерения. Легко видеть, что это неубывающая функция, все значения которой находятся в интервале от нуля до единицы.

Вероятностное пространство (Ω, B, P) будем рассматривать как достаточно общее формальное описание предметной области в задаче анализа рисков [15]. Если для множества Ω исходных данных (наблюдений, измерений) определена вероятностная мера, отображающая его в множество событий B , то каждый элемент множества данных получает определенную интерпретацию, связанную с его соотношением к одному из подмножеств множества B . В этом случае множество B является множеством возможных интерпретаций для исходных наблюдений, а мера P — способом интерпретации, определяющим разбиение исходного множества на подмножества (классы или категории).

В вероятностном пространстве риска мера P определяет уровень риска для каждого из выделенных подмножеств. В наиболее простом случае множество данных можно разбить на два подмножества, одно из которых образует множество событий с умеренным риском, а второе — множество событий с повышенным риском. Тогда мера P определяет вероятность попадания в каждое из этих подмножеств, т.е. описывает количественные соотношения между внешними проявлениями (признаками) сложной ситуации и целостной оценкой этой ситуации, необходимой для принятия решений.

Понятие риска обусловлено вероятностным представлением о воздействии факторов среды на состояние объекта. Величину риска нельзя непосредственно измерить, а можно лишь с некоторой степенью надежности оценить, используя количественные характеристики факторов риска и данные об их воздействии. Если в качестве событий рассматриваются различные последствия воздействия вредного фактора, то значения вероятностей этих событий и будут характеристиками риска, обусловленного данным фактором. Например, если в качестве возможных последствий принять степени тяжести конкретного заболевания, то для любой степени тяжести величина риска попадет в интервал от нуля до единицы, а риск для суммы всех возможных вариантов будет равен сумме соответствующих рисков.

Чтобы определить риск для здоровья, необходимо исследовать множество различных факторов, среди которых наиболее важные — наследственность (генетический риск), социально-экономические условия (социальный риск), образ жизни, медицинское обслуживание и качество окружающей среды. С каждым из этих факторов можно сопоставить более конкретные виды рисков, т.е. от общих представлений перейти к более конкретным показателям, которые можно оценить с помощью экспертов или непосредственных измерений. Так, генетический риск может включать риски для различных групп заболеваний (онкологические, заболевания сердца и сосудов, психические заболевания и др.). Риск, связанный с

образом жизни, будет возрастать за счет профессионального риска, неправильного питания, вредных привычек, увлечения экстремальными видами спорта.

Экологический риск — это риск, обусловленный загрязнением атмосферы, питьевой воды и продуктов питания. В свою очередь, каждый из основных факторов можно конкретизировать, рассматривая количественные оценки вредных примесей (концентрации в атмосферном воздухе, воде и др.).

В теоретических исследованиях семантическое пространство риска строится «сверху вниз», т.е. выбирают наиболее общие факторы риска, которые затем представляют в виде отдельных показателей и получают количественные оценки. При анализе экспериментальных данных моделирование происходит в обратном направлении: от конкретных данных, полученных в результате измерений или экспертных оценок, переходят к обобщенным показателям (индексам).

Если факторы риска известны заранее и являются параметрами пространства событий, то вероятностное распределение рисков можно построить для отдельных подпространств (размерности 2 или 3) вероятностного пространства (Ω, B, P) . В более сложных случаях размерность пространства событий предлагается понизить, выявляя латентные факторы риска с помощью методов многомерного анализа данных.

После снижения размерности вероятностное пространство приобретает визуальную интерпретацию (в виде двумерной или трехмерной конфигурации), удобную для дальнейшего анализа. Выделенные подмножества (события) отображаются в графическом виде как отдельные скопления точек или их произвольные конфигурации. При этом каждую группу наблюдений можно интерпретировать как отдельную категорию, которая соответствует определенному уровню экологического риска [10, 15].

Рассматривая задачи техногенной безопасности, необходимо учитывать, что штатные выбросы техногенных предприятий и аварийные ситуации вызывают множество последствий различного характера. Поэтому предлагается рассмотреть единую меру ущерба или единый критерий, позволяющий привести различные последствия техногенного воздействия к единому базису. Для этого следует ввести понятие интегрального риска, который определяется как интеграл или сумма всех последствий неблагоприятных событий [14, 16].

В качестве комплексной меры риска, характеризующей определенный регион, предлагается определить потенциальный территориальный риск, т.е. пространственное распределение вероятности реализации негативного воздействия определенного уровня [16, 17]. В частности, для оценки

риска, связанного с воздействием вредных веществ, потенциальный территориальный риск в точке (x, y) оценивается по формуле

$$R(x, y) = \sum_{ij} P(A_j) P_{ij}(x, y) P(L_i),$$

где $P(A_j)$ — вероятность развития ситуации по сценарию j ; $P_{ij}(x, y)$ — вероятность воздействия i в точке (x, y) для сценария j ; $P(L_i)$ — мера ущерба (вероятность заболевания) при воздействии i .

Потенциальный территориальный риск представляет по определению потенциал максимально возможного риска $R(x, y) = \max$ для зоны влияния техногенных объектов повышенной опасности. Для того чтобы провести ранжирование источников опасности, необходимо построить распределение потенциального риска для каждого из них (с учетом различных сценариев). В настоящее время вероятностное распределение риска (поле риска) часто строят для случая наиболее опасной из возможных аварий на основе уже имеющихся статистических данных.

Основные этапы организации базы знаний. В экологических исследованиях используется два основных способа визуального представления данных: визуализация данных мониторинга в виде экологических карт и визуализация графических образов (patterns), отображающих распределение исследуемых структур в пространстве информативных параметров. Для данных, характеризующих экологическое состояние отдельных территорий, более удобным считается представление информации в виде карт техногенных нагрузок на исследуемые территории или карт рисков. При сравнении нескольких ситуаций и прогнозировании используются серии тематических карт.

При большом числе различных ситуаций более эффективны технологии Data Mining [2, 3], ориентированные на построение шаблонов. При разработке шаблонов учитываются закономерности, или особенности, свойственные тем или иным выборкам данных. Для задач экологического мониторинга шаблоны можно представить как визуальные образы определенных экологических состояний, спроецированные в пространство информативных параметров. В современных системах анализа данных реализованы возможности визуального анализа ситуаций как на плоскости, так и в трехмерном пространстве.

Перечислим основные шаги алгоритма когнитивного анализа экологических данных для создания базы экологических знаний:

1. Организация базы данных для исследуемой предметной области (рис. 1) [10, 18]. Решение вопросов, связанных с предварительной обработкой результатов наблюдений и измерений. Данные представлены в



Рис. 1. Структура базы данных системы эколого-энергетического мониторинга: ПДК_{мр} — предельно допустимая концентрация максимальная разовая; ПДК_{сс} — предельно допустимая концентрация среднесуточная; ОБУВ — ориентировочные безопасные уровни воздействия; ПНЗ — пост наблюдения за загрязнением

компьютере в виде электронных таблиц, где каждая ситуация описывается численным набором параметров.

2. Структурирование имеющихся данных. Используются методы интеллектуального анализа данных (Data Mining), позволяющие организовать информацию в виде множества графических образов: кластеров, диаграмм рассеивания или других визуальных паттернов, упорядоченных в пространстве состояний.

3. Выделение эталонных ситуаций (шаблонов). Из множества описанных ситуаций выделяются наиболее типичные случаи (прототипы), каждому из которых ставится в соответствие одна из возможных интерпретаций. В дальнейшем эти прототипы могут быть использованы в качестве шаблонов для отображения на многомерной шкале. Обычно каждому шаблону сопоставляют один из возможных вариантов принятия решения.

4. Идентификация новых ситуаций. Для оценки новой ситуации проводится ее сравнение с эталонами. Если в памяти уже имеется шаблон,

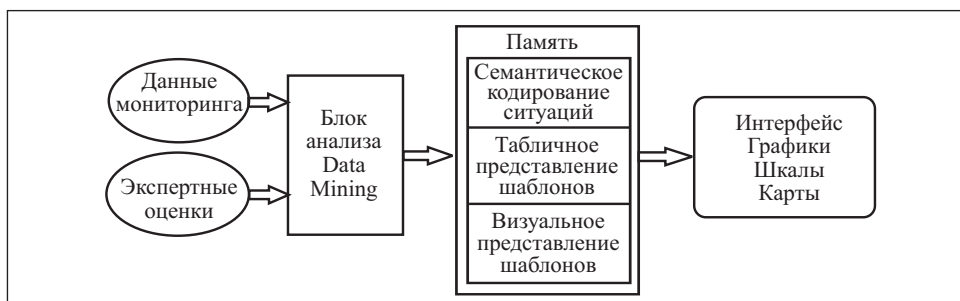


Рис. 2. Схема когнитивного анализа данных после получения знаний

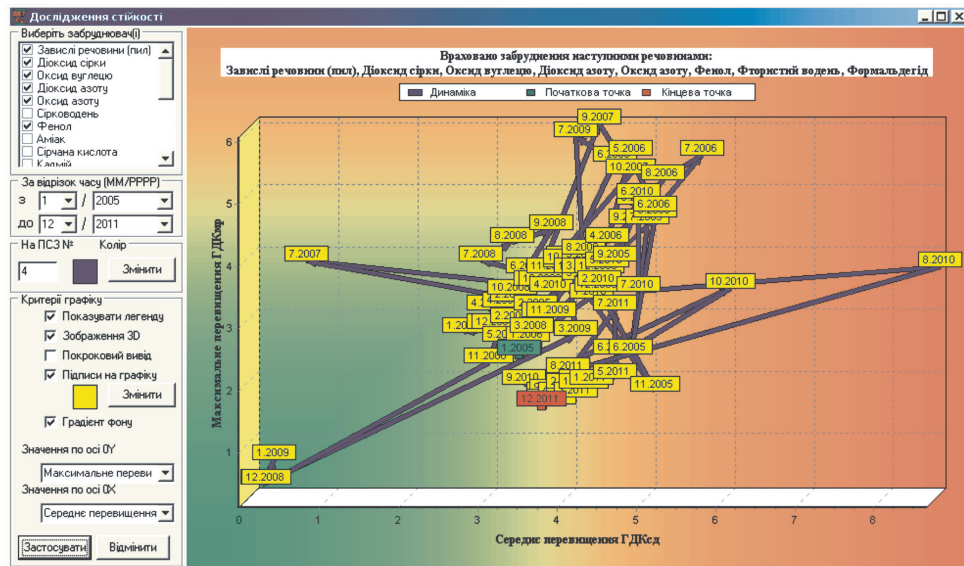
достаточно точно описывающий эту ситуацию, то к ней можно применить знания об этом шаблоне.

5. Расширение памяти за счет новых ситуаций. Если новая ситуация не имеет достаточного сходства ни с одним из шаблонов, но может представлять практический интерес, она обрабатывается в оперативной памяти, описывается как новый шаблон и добавляется к множеству шаблонов в базе знаний.

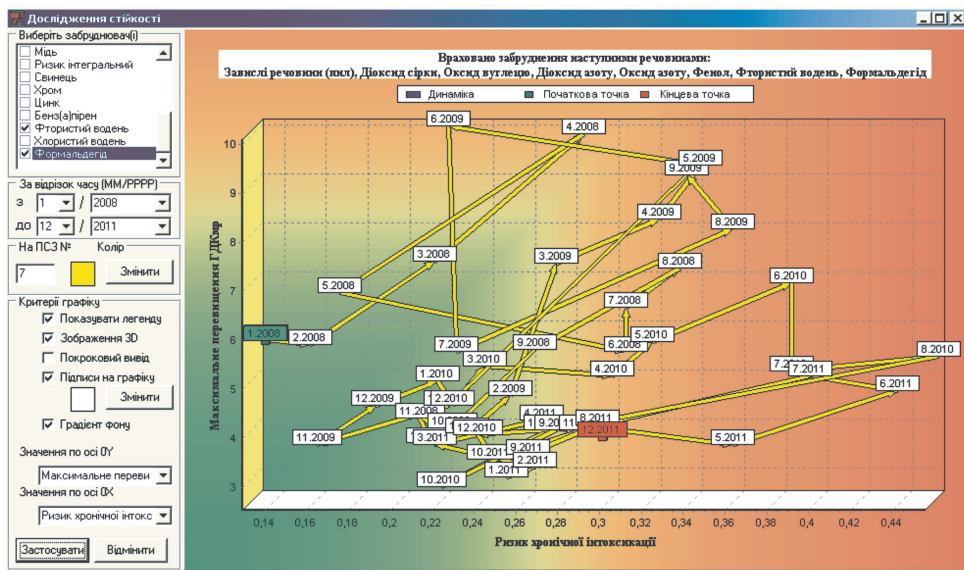
Общая схема когнитивного анализа данных мониторинга на основе Data Mining после получения знаний представлена на рис. 2. Такой анализ проводится как для содержательной интерпретации данных мониторинга, так и для построения базы знаний интеллектуальной системы. В результате анализа в базе знаний объединяются различные формы представления данных, которые могут быть использованы для принятия эффективных решений. Статистическая информация об уже изученных ситуациях фиксируется с указанием смысловых аспектов, определяющих выбор дальнейших действий.

При проектировании базы знаний разработано три вида репрезентации экологической информации: стандартное кодирование экологических состояний в виде таблиц (дата, место измерения, показатели состояния); визуальное представление многомерной информации с использованием многомерных шкал; картографическая интерпретация исследуемых ситуаций в виде карт техногенных нагрузок и карт рисков. На основе проведенных исследований предложена и обоснована общая структура гибридной экспертно-информационной системы принятия решений, ориентированная на широкий круг задач управления безопасностью урбанизированных территорий. Основные результаты, связанные с разработкой этой системы, представлены в работах [18, 19].

Анализ устойчивости территориальных систем. Как известно, одна из главных проблем в области экологической безопасности при растущих



а



б

Рис. 3. Пример шкалы, отображающей динамику ИЗА для ПНЗ № 4 (а) и ПНЗ № 7 (б)

техногенных нагрузках — определение допустимых границ воздействия на природу, так как условие динамического равновесия окружающей среды остается необходимым условием существования человека. В рамках этой глобальной проблемы когнитивный анализ экологической инфор-

мации может быть полезен при решении конкретных задач, связанных с исследованием устойчивости урбанизированных территорий.

Для исследования устойчивости территориальных систем при возрастании техногенных нагрузок предложен новый тип семантических шкал — шкалы устойчивости территориальных систем. Рассмотрим примеры таких шкал, построенных по данным мониторинга атмосферного воздуха, регистрируемым на ПНЗ в различных районах г. Киева [20].

Базовую многомерную модель территориальной системы будем строить по значениям показателей, измеряемых на ПНЗ через определенные промежутки времени. Совокупность значений показателей в некоторый момент времени назовем образом экологического состояния. Отдельную точку данной территории можно точно представить в пространстве фазовых координат. Для исследования устойчивости конкретных территориальных систем локального или регионального уровня удобно использовать точечные образы состояний этих систем, построенные по усредненным значениям измеряемых показателей для данной территории. В частности, в задачах мониторинга и контроля качества атмосферного воздуха принято использовать средние и максимальные значения индекса загрязнения атмосферы (ИЗА), рассчитанные на основе данных мониторинга по методике, приведенной в [20].

На рис. 3, а, представлена динамика состояния атмосферного воздуха для ПНЗ № 4 (Дарницкий р-н), построенная по данным наблюдений в течение семи лет. На горизонтальной оси указаны усредненные значения превышений ПДКсс (ГДКсд) вредных примесей (среднесуточные), а на вертикальной оси — максимальные значения превышений этих концентраций (максимальные разовые ПДК).

Отдельные наблюдения (среднемесячные данные о загрязнении) обозначены прямоугольниками, в которых указаны месяц и год наблюдения. Результаты измерений (среднемесячные значения) соединены между собой прямыми линиями в соответствии с последовательностью проведения измерений. Основные значения показателей сконцентрированы в центральной части рис. 3, а, которую можно определить как зону устойчивости для наблюдаемого уровня техногенных нагрузок (на рис. 3, а и б, эта зона выделена зеленым цветом).

Приближение траектории к началу координат отражает улучшение ситуации в данном районе, а отклонения в обратную сторону указывают на тенденции к нарушению устойчивого состояния (переход в зону неустойчивых состояний, где преобладают оттенки красного цвета). Наиболее опасная ситуация с превышением допустимых норм более чем в восемь раз наблюдалась здесь в июне 2010 г.

Построенная многомерная шкала включает основное множество наиболее важных показателей загрязнения воздуха (частицы пыли, диоксид серы, оксид углерода, диоксид азота, формальдегид) и в интегрированном виде отражает динамику превышения допустимых норм загрязнения в течение семи лет. Аналогичная шкала, отображающая динамику сезонных колебаний индекса ИЗА для ПНЗ № 7 (р-н Бессарабской площади) представлена на рис. 3, б. Здесь зона устойчивости ограничена пределами пятикратного превышения максимальных значений ПДК, а наиболее опасные ситуации описывают внешний контур, проходящий через точки (6.2009), (5.2009) и значения максимальных рисков в правой части графика.

В общем случае для определения границ устойчивости территориальных систем необходимо соотнести оценки, полученные в результате анализа данных мониторинга, с предельными нагрузками, которые соответствуют критериям, утвержденным международными и государственными законодательными актами.

Выводы

Специфика практического применения методов и средств когнитивного моделирования заключается в том, что они ориентированы на конкретные условия развития опасных ситуаций в определенной стране или регионе.

В предложенных моделях практического применения когнитивного анализа данных и когнитивного моделирования в задачах экологической безопасности учтены особенности структуры данных мониторинга для конкретных территориальных систем, а также указаны способы выявления информативных (ключевых) параметров для предсказания и предупреждения опасных ситуаций.

Разработанные на основе предложенных моделей когнитивного анализа компьютерные технологии построения базы знаний позволяют реконструировать, дополнять и расширять семантические структуры экспертных знаний с использованием ретроспективных данных мониторинга. Разработанные технологии использованы для исследования устойчивости территориальных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Витяев Е.Е.* Извлечение знаний из данных. Компьютерное познание. Модели когнитивных процессов. Новосибирск: Новосиб. гос. ун-т, 2006, 293 с.
2. *Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф.* Базы знаний интеллектуальных систем. СПб.: Питер, 2001, 384 с.
3. *Дюк В., Самойленко А.* Data Mining. Учебный курс, СПб.: Питер, 2001, 366 с.
4. *Загоруйко Н.Г.* Когнитивный анализ данных. Новосибирск: Акад. изд-во «ГЕО», 2012, 186 с.

5. Зенкин А.А. Когнитивная компьютерная графика. М.: Наука, 1991, 192 с.
6. Каменева И.П. Когнитивный подход к анализу многомерной медико-экологической информации // Моделирование та інформаційні технології, 2010, вип. 56, с. 3—10.
7. Когнитивные вычисления [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://habrahabr.ru/company/ibm/blog/276855/>. Дата доступа: 7.05.2017.
8. Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций // Конференции и семинары. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.ipu.ru/semin/arhiv/kogn2001>. Дата доступа: 7.05.2017.
9. Максимов В.И., Корноушенко Е.К., Качаев С.В. Когнитивные технологии для поддержки принятия управленческих решений [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.iis.ru/events/19981130/maximov.ru>. Дата доступа: 7.05.2017.
10. Артемчук В.А., Каменева И.П., Яцишин А.В. Модели представления и преобразования данных в задачах экологического мониторинга урбанизированных территорий // Электрон. моделирование, 2016, **38**, № 2, с. 49—66.
11. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: Теория и практика. М.: Наука, 1986, 284 с.
12. Зиновьев А.Ю. Визуализация многомерных данных. Красноярск: Изд-во КГТУ, 2000, 168 с.
13. Сердюцкая Л.Ф., Каменева И.П. Системный анализ и математическое моделирование медико-экологических последствий аварии на ЧАЭС и других техногенных воздействий. Киев: «Медэкол», 2000, 173 с.
14. Большаков А.М., Крутько В.Н., Пуцилло Е.В. Оценка и управление рисками влияния окружающей среды на здоровье населения. М.: Эдиториал УРСС, 1999, 256 с.
15. Каменева И.П. Вероятностные модели репрезентации знаний в интеллектуальных системах принятия решений // Искусственный интеллект, 2005, № 3, с. 399 — 409.
16. Алымов В.Т., Тарасова Н.П. Техногенный риск: Анализ и оценка: Учеб. пособие для вузов. М.: ИКЦ «Академкнига», 2004, 118 с.
17. Каменева И.П., Попов О.О., Яцишин А.В., Артемчук В.О. Методи визначення екологічного ризику за атмосферним фактором // Моделирование та інформаційні технології, 2009, вип. 53, с. 23—32.
18. Яцишин А.В. Комплексне оцінювання та управління екологічною безпекою при забрудненні атмосферного повітря. Дисертація ... докт. тех. наук. Київ, 2013, 402 с.
19. Каменева И.П., Артемчук В.О., Яцишин А.В. Алгоритмічні засоби побудови гібридної інтелектуальної системи в галузі екологічної безпеки // Моделирование та інформаційні технології, 2016, вип. 76, с. 60—69.
20. Щомісячний бюлетень забруднення атмосферного повітря в Києві та містах Київської області. Київ: Центральна геофізична обсерваторія, 2005—2012 р.
21. Сікора Л.С. Когнітивні моделі та логіка когнітивного управління в ієрархічних інтегрованих системах в умовах ризику. Львів: ЦСД «ЕБТЕС», 2009, 432 с.

Поступила 01.06.17

REFERENCES

1. Vityaev, E.E. (2006), *Izвлечение znaniy iz dannykh. Kompyuternoe poznanie. Modeli kognitivnykh protsessov* [Extracting knowledge from data. Computer cognition. Models of cognitive processes], Novosibirskiy gosudarstvenny universitet, Novosibirsk, Russia.
2. Gavrilova, T.A. and Horoshevskiy, V.F. (2001), *Bazy znaniy intellektualnykh sistem* [Knowledge bases of intelligent systems], Piter, St. Petersburg, Russia.
3. Dyuk, V. and Samoylenko, A. (2001), *Data Mining. Uchebnyi kurs* [Data Mining. Training course], Piter, St. Petersburg, Russia.

4. Zagoruyko, N.G. (2012), *Kognitivnyy analiz dannykh* [Cognitive analysis of data], GEO, Novosibirsk, Russia.
5. Zenkin, A.A. (1991), *Kognitivnaya kompyuternaya grafika* [Cognitive computer graphics], Nauka, Moscow, Russia.
6. Kameneva, I.P. (2010), "Cognitive approach to the analysis of multidimensional medical and environmental information", *Modelyuvannya ta informatsiyini tekhnologii*, G.E. Pukhov IPME NAS of Ukraine, Vol. 56, pp. 3-10.
7. "Cognitive computing is the work faster than thought", available at: <https://habrahabr.ru/company/ibm/blog/276855> (accessed May 7, 2017).
8. "Cognitive analysis and management of the development of situations", (2001), available at: <http://www.ipu.ru/semin/arhiv/kogn2001> (accessed May 7, 2017)
9. Maksimov, V.I., Kornoushenko, E.K. and Kachaev S.V. "Cognitive technologies to support the adoption of managerial decisions", available at: <http://www.iis.ru/events/19981130/maksimov.ru> (accessed May 7, 2017).
10. Artemchuk, V.O., Kameneva, I.P. and Yatsyshyn, A.V. (2016), "Models of representation and data transformation in the problems of environmental monitoring in urban areas", *Elektronnoye modelirovaniye*, Vol. 38, no. 2, pp. 49-66.
11. Pospelov, D.A. (1986), *Sytuatsyonnoye upravleniye: Teoriya i praktika* [Situational management: Theory and practice], Nauka, Moscow, USSR.
12. Zinoviyev, A.Yu. (2000), *Vizualizatsiya mnogomernykh dannykh* [Visualization of multidimensional data], KGTU, Krasnoyarsk, Russia.
13. Serdyutskaya, L.F. and Kameneva, I.P. (2000), *Sistemnyi analiz i matematicheskoye modelirovaniye mediko-ekologicheskikh posledstviy avarii na ChAES i drugikh tekhnogennykh vozdeystviy* [System analysis and mathematical modeling of medical and environmental consequences of the Chernobyl accident and other anthropogenic impacts], Medekol, Kiev, Ukraine.
14. Bolshakov, A.M., Krutko, V.N. and Putsillo, E.V. (1999), *Otsenka i upravleniye riskami vliyaniya okruzhayushey sredy na zdorove naseleniya* [Assessment and management of the effect of environmental risks on public health], Editorial URSS, Moscow, Russia.
15. Kameneva, I.P. (2005), "Probabilistic models of knowledge representation in intellectual decision making systems", *Iskusstvennyy intellekt*, Vol. 3, pp. 399-409.
16. Alymov, V.T. and Tarasova, N.P. (2004), *Tekhnogennyy risk: Analiz i otsenka: Uchebnoye posobie dlya vuzov* [Technogenic risk: Analysis and evaluation: A manual for higher education institutions], IKTs «Akademkniga», Moscow, Russia.
17. Kameneva, I.P., Popov, O.O., Yatsyshyn, A.V. and Artemchuk, V.O. (2009), "Methods for determining environmental risk factor for atmospheric air", *Modelyuvannya ta informatsiyini tekhnologii*: G.E. Pukhov IPME NAS of Ukraine, Vol. 53, pp. 23-32.
18. Yatsyshyn, A.V. (2013), "Comprehensive assessment and management of environmental safety in air pollution", Dr. Sci. (Tech.) thesis, SI «Institute of Environmental Geochemistry of NAS of Ukraine», Kyiv, Ukraine.
19. Kameneva, I.P., Artemchuk, V.O. and Yatsyshyn, A.V. (2016), "Algorithmic tools for building hybrid intelligent system in the field of environmental safety", *Modelyuvannya ta informatsiyini tekhnologii*: G.E. Pukhov IPME NAS of Ukraine, Vol. 76, pp. 60-69.
20. *Shchomisyachniy byuletyn zabrudnennya atmosferного povitrya v Kyivi ta mistakh Kyivskoyi oblasti* [Monthly bulletin of air pollution in the cities of Kyiv and Kyiv region], (2012-2015), Tsentralna geofizichna observatoriya, Kyiv, Ukraine.
21. Sikora, L.S. (2009), *Kognityvni modeli ta logika kognityvnogo upravlinnya v iyerarkhichnykh integrovanykh systemakh v umovakh ryzyku* [Cognitive models and cognitive control logic in hierarchical integrated systems in conditions of risk], TsSD «EBTES», Lviv, Ukraine.

Received 01.06.17

V.O. Artemchuk, I.P. Kameneva, A.V. Yatsyshyn

**SPECIFICITY OF APPLICATION OF COGNITIVE ANALYSIS
OF INFORMATION IN THE TASKS ON ENSURING ENVIRONMENTAL SAFETY**

Different approaches to cognitive analysis of information and cognitive modeling are analyzed. The semantic model of the domain is considered, which formalizes the formulation of the problem of cognitive analysis of environmental information. The main stages of organization and expansion of the environmental knowledge base are outlined. Special scales for the analysis of the stability of urbanized areas are proposed.

Key words: cognitive analysis, field of knowledge, semantic space, potential risk, knowledge base, semantic scales.

АРТЕМЧУК Владимир Александрович, канд. техн. наук, ст. науч. сотр. Ин-та проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины. В 2008 г. окончил Житомирский государственный технологический университет. Область научных исследований — математическое моделирование и численные методы, информационные технологии.

КАМЕНЕВА Ирина Петровна, канд. техн. наук, ст. науч. сотр. Ин-та проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины. В 1976 г. окончила Киевский госуниверситет им. Т.Г. Шевченко. Область научных исследований — анализ данных и математическое моделирование в экологии.

ЯЦИШИН Андрей Васильевич, д-р техн. наук, вед. науч. сотр. Ин-та геохимии окружающей среды НАН Украины. В 2002 г. окончил Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко. Область научных исследований — математическое моделирование экологических процессов, экологический мониторинг техногенных объектов, информационные технологии.