

КОГНИТИВНЫЕ СТРАТЕГИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ОЦЕНОК И КАРТ РИСКОВ

Abstract. The psychological bases of decision making are analyzed, which are used to develop cognitive strategies for data analysis and systematization of knowledge. The decision-making process includes several stages, for which different levels of knowledge representation are proposed. As criteria for decision-making, it is suggested to consider probabilistic estimates of adverse events and health risks.

Вступление. Когнитивный подход к принятию решений базируется на достижениях в области когнитивной психологии [1, 2] и предполагает использование методов и средств извлечения знаний об определенных объектах, ситуациях или событиях, которые могут быть полезны в процессе планирования и принятия решений в той или иной области.

Моделирование принятия решений включает наблюдение и описание эффективных механизмов, лежащих в основе поведения человека. В процессе моделирования сложные события или процессы разбиваются на более простые составляющие (паттерны), позволяющие тем или иным способом воспроизвести требуемую ситуацию. Сам процесс принятия решений можно исследовать на нескольких уровнях представления знаний о предметной области. При этом желательно проанализировать всю имеющуюся информацию о предметной области, но особое внимание уделить тем ключевым параметрам (или ключевым звеньям), которые оказывают решающее влияние на дальнейший ход событий.

Постановка задачи. Задача моделирования заключается в том, чтобы создать модель эффективного поведения компетентного лица, которую можно использовать для принятия решений в сложных ситуациях, воспроизводя определенные аспекты этого поведения. Следовательно, ставится цель установить наиболее значимые компоненты мышления и действий, необходимые для достижения конкретного результата.

В настоящей работе речь идет о принятии решений, основанных на знаниях. Поэтому основой для принятия решений является построенная в результате анализа коррелятивных или статистических данных модель предметной области (*пространство знаний*), в котором рассматриваются и сравниваются различные варианты достижения заданной цели. Таким образом, *когнитивные стратегии принятия решений* – это стратегии принятия решений в пространстве знаний, с учетом выявленных в процессе анализа когнитивных паттернов или тенденций.

Основные понятия. Рассматривая когнитивные стратегии принятия решений (КСПР), воспользуемся понятиями и терминами, заимствованными

из концепции моделирования поведения Р. Дилтса [2]. Автор использует понятие *инструментальной карты*, которая обеспечивает практическое применение моделируемых стратегий. Инструментальными картами будут те описания реальности, которые позволяют нам действовать эффективно, т.е. точность таких карт уступает по значимости их полезности.

Применение КСПР подразумевает их представление в виде формализованных структур, которые можно непосредственно использовать для решения многих практических задач.

Среди известных вариантов моделирования когнитивных стратегий наибольший интерес представляют следующие направления:

1. Достижение более глубокого понимания определенных явлений за счет анализа данных и структурирования знаний, лежащих в основе этих явлений (моделирование предметной области).

2. Обучение, направленное на повторение и улучшение результатов выполнения тех или иных действий за счет определения конкретных шагов, предпринимаемых компетентными специалистами или экспертами в данной предметной области (моделирование рабочего процесса).

3. Разработка технологий достижения конкретных результатов, где одним из примеров может служить моделирование достижения цели в пространстве состояний (выбор пути в дереве решений).

В данной работе рассматриваются главным образом возможности первого из перечисленных направлений, включающего структурирование данных и иерархическое представление знаний.

Напомним некоторые принципы и понятия, которые используются для создания моделей поведения и относятся к области трансформационной грамматики (Chomsky, 1968). Один из главных принципов утверждает, что доступные наблюдателю действия и реакции образуют *поверхностные структуры*, которые следует рассматривать как результаты проявления *глубинных структур*. В соответствии с концепцией Хомского, строение и организация любой кодирующей системы подразумевает наличие множества уровней, на которых расположены структуры различной глубины.

С позиции моделирования это означает, что для создания эффективной модели той или иной деятельности необходимо исследовать различные уровни глубинных структур, лежащих в ее основе. Иногда различные поверхностные структуры могут быть отражениями одних и тех же глубинных структур. Для более эффективного моделирования желательно изучить многие примеры поверхностных структур, чтобы более тонко разобраться в продуцирующих их глубинных структурах. Во многих случаях глубинные структуры содержат скрытый потенциал, который проявляется в поверхностных структурах в результате ряда преобразований.

Р. Дилтс показывает, что движение от глубинных знаний к более поверхностным структурам связано с воздействием процессов обобщения, опущения и искажения информации, т.е. в ходе преобразования какая-то часть информации неизбежно теряется или искажается. Примером такого

преобразования может быть факторный анализ, где исходные показатели рассматриваются как поверхностные информационные структуры, а факторы представляют более глубокий (латентный) слой знаний, обеспечивающий содержательную интерпретацию исходных данных. В зависимости от цели моделирования для достижения желаемого результата может понадобиться информация нескольких различных уровней.

Напомним также, что в классификации Люгера [3] методы, основанные на знаниях, определяются как *сильные методы* решения проблем. Применение этих методов ориентировано на самый широкий круг задач из разных областей человеческой деятельности.

Уровни принятия решений. Для моделирования процесса принятия решений предлагается выделить четыре уровня организации знаний.

На первом уровне выбор решения производят по величинам отдельных признаков или соотношений между ними. В качестве пространства знаний рассматривается пространство тех показателей, которые непосредственно наблюдаются или измеряются в процессе эксперимента. Первым уровнем можно ограничиться в тех случаях, когда среди исходных показателей можно выбрать два или три информативных признака, численные значения которых позволяют четко идентифицировать ситуацию.

Следующий уровень знаний представляют латентные показатели, выявленные в результате применения методов факторного анализа или многомерного шкалирования. Репрезентации знаний в пространстве факторов активно используются в психосемантических исследованиях для реконструкции субъективных семантических пространств [4].

Третий уровень представления знаний можно определить как уровень вероятностных рассуждений. В семантическом пространстве когнитивных паттернов вводятся вероятностные оценки, связанные с интерпретацией определенных событий. Каждой ситуации сопоставляется потенциальная оценка вероятности возникновения тех или иных негативных последствий этой ситуации. В самом простом случае ситуации разбиваются на классы таким образом, чтобы каждому классу соответствовал определенный выбор решения, основанный на вероятностных оценках.

Четвертый уровень представления знаний ориентирован на выбор когнитивных стратегий принятия решений, которые могут быть формализованы на основе инструментальных карт.

Далее рассматриваются методы принятия решений для разных уровней представления информации, полученной в результате статистической обработки и анализа данных мониторинга. Эти уровни формируются с учетом экспертных оценок и международных нормативных документов в соответствии с методикой, приведенной в работе [5].

Стохастические модели принятия решений. Под знаниями обычно понимается некоторые сведения о процессах и закономерностях, применение которых в рамках заданной предметной области порождает новую информацию. В общем случае различные виды знаний образуют

иерархическую структуру, соединенную семантическими связями. В данном разделе в качестве семантической единицы такой структуры используется описание отдельной ситуации.

Простая ситуация может быть представлена как многомерный объект, который характеризуется конечным числом параметров:

$$S = (p_1, p_2, p_3, \dots, p_m).$$

Сложная ситуация может включать конечное множество простых ситуаций типа S , которые можно рассматривать как совокупность разных состояний одного многомерного объекта или множество разных объектов, представленных одним и тем же набором параметров. Более сложные структуры знаний (сценарии, процессы, планы и т. п.) можно рассматривать как ситуации, связанные определенными отношениями. В частности, при стохастическом описании множества рассматриваемых ситуаций каждой ситуации ставится в соответствие вероятностное распределение тех или иных последствий, связанных с этой ситуацией.

Методы выбора и принятия решений в условиях неопределенности рассматриваются в соответствии с теорией Р. Кини [6], где выбор одной из альтернатив определяется двумя факторами:

1) представлениями лица, принимающего решение (ЛПР) о вероятностях различных исходов (последствий), которые могут иметь место при выборе того или иного варианта решения;

2) предпочтениями, которые отдаются различным возможным исходам.

Чтобы учесть оба указанных фактора, необходимо представить в количественной форме суждения о возможных последствиях (опираясь на понятие субъективной вероятности) и высказывания о предпочтениях, формализованные как ожидаемая полезность (по Фишберну).

В работе Р. Кини выделено четыре этапа принятия решений:

1. *Определение альтернативных способов действия.* Необходимо задать подходящий набор вариантов, где заданная цель может быть достигнута с помощью различных способов действия. Для каждого варианта возможные исходы описываются с помощью мер эффективности.

2. *Описание вероятностей возможных исходов.* Неопределенность, связанную с принятием альтернативных решений, следует записать через распределение вероятностей возможных исходов для каждого решения.

3. *Ранжирование предпочтений возможных исходов.* Для этого необходимо выбрать меру эффективности и с помощью этой меры представить в формальном виде как отношение ЛПР к возможным последствиям, так и вероятности возможных исходов.

4. *Синтез информации, полученной на первых трех этапах.* Следует проанализировать и эффективно использовать полученную информацию, чтобы решить, какую из альтернатив стоит предпочесть.

Типичные задачи принятия решений имеют ряд характерных особенностей, которые можно выявить и проанализировать с помощью

теории принятия решений. К основным особенностям следует отнести многоцелевой характер сложных задач, воздействие фактора времени, неопределенность последствий для каждой альтернативы, коллективный подход к принятию решений для определенного круга задач.

Далее рассматриваются наиболее простые стратегии принятия решений в сфере экологической безопасности, основанные на вероятностном описании предметной области, представленном в [7].

Принятие решений, основанное на оценках риска. В процессах принятия решений важную роль играют обобщенные модели классов ситуаций, соответствующих вариантам решений, действий или умозаключений [8]. По назначению и функциям модель класса ситуаций является понятием, объем которого образует множество ситуаций. В такой модели класса ситуаций должны быть отражены его наиболее существенные признаки, необходимые и достаточные для описания и распознавания всех ситуаций, принадлежащих к этому классу.

В общем случае ситуации определяются парами (V, R) , где V – множество объектов, R – множество свойств, состояний и связей для объектов из V . Простая ситуация описывается как отдельный объект и определяется конечным числом признаков m : $S = (p_1, p_2, p_3, \dots, p_m)$.

Иногда классы ситуаций могут быть описаны с помощью разделяющих правил, накладывающих ограничения на отношения между существенными признаками. Известно немало примеров, когда критические ситуации удается распознать не по значениям параметров этих ситуаций, а по изменению соотношений между ними. В частности, в работе [9] на примере из области сейсмологии показано, как можно прогнозировать катастрофические события в иерархической системе при условии, что развитие сценариев поведения этой системы зависит от соотношений между параметрами.

Если в качестве входных данных рассматривается множество ситуаций $\{S\}$, описанных m признаками, то в качестве выходной информации следует определить множество решений $\{D\}$, каждое из которых сопоставлено с одним из классов множества $\{C\}$, включающим данную ситуацию.

Критерии для разбиения множества ситуаций на классы чаще всего определяются в рамках конкретной предметной области. Однако можно выделить достаточно обширный спектр задач, где качество ситуации связано с оценкой тех негативных последствий, которые могут возникнуть на ее фоне. В частности, к таким задачам относится создание комплексных оценок и прогнозов, определяющих воздействие окружающей среды на здоровье населения. В последнее время наибольшее признание в этой области получила методология оценки и управления риском ЕРА, ставшая основой политики Агентства по охране окружающей среды США. Эта методология активно развивается ВОЗ и успешно апробирована в разных странах, в том числе – в России [9, 10]. При оценке риска учитывается вероятностный характер негативного воздействия, связанного с данной ситуацией, что может

стать основой для принятия решений.

Допустим, в базе знаний уже заданы некоторые правила, описывающие модели классов ситуаций и связанные с ними варианты решений. Тогда в ситуациях, относящихся к тем классам, которые представлены в базе знаний, выбираются действия или решения, соответствующие моделям этих классов. При этом для каждого класса указана оценка вероятности негативных последствий, объединяющая ситуации данного класса.

На рис. 1 представлен наиболее простой случай принятия решений, когда все ситуации из заданной предметной области можно однозначно разделить на три класса: ситуации умеренного риска, ситуации повышенного риска и критические ситуации.

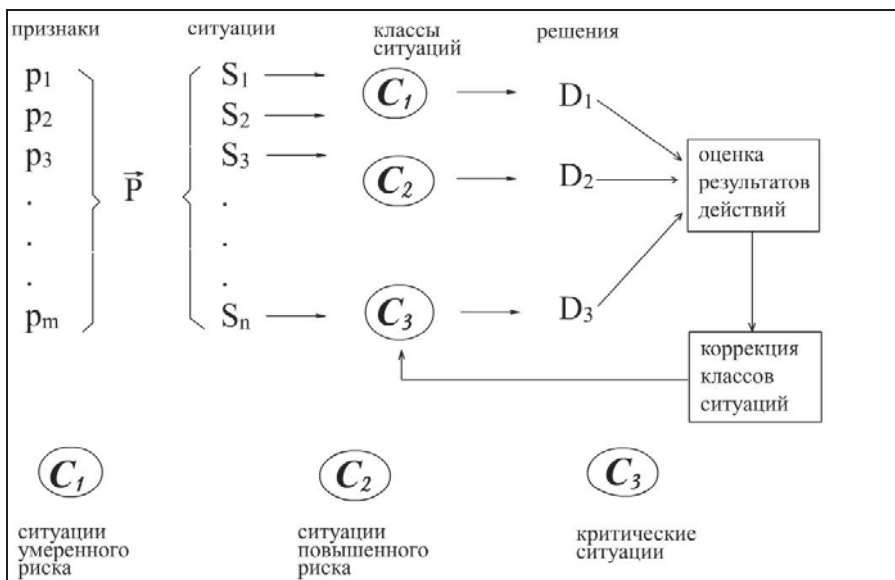


Рис. 1. Принятие решений в условиях риска

Таким образом, каждому из трех классов поставлено в соответствие одно из решений. После принятия решения предлагается оценить сделанный выбор и произвести коррекцию классов ситуаций.

Инструментальные карты рисков. В задачах экологической безопасности в качестве инструментальных карт для принятия решений предлагается использовать карты рисков. В частности, в [5] рассматривается два варианта экологических карт: карты, определяющие уровни техногенных нагрузок на исследуемые территориальные системы; карты рисков для здоровья населения, проживающего на прилегающих территориях.

Пример инструментальной карты рисков для выявления классов ситуаций и принятия решений показан на рис. 2.

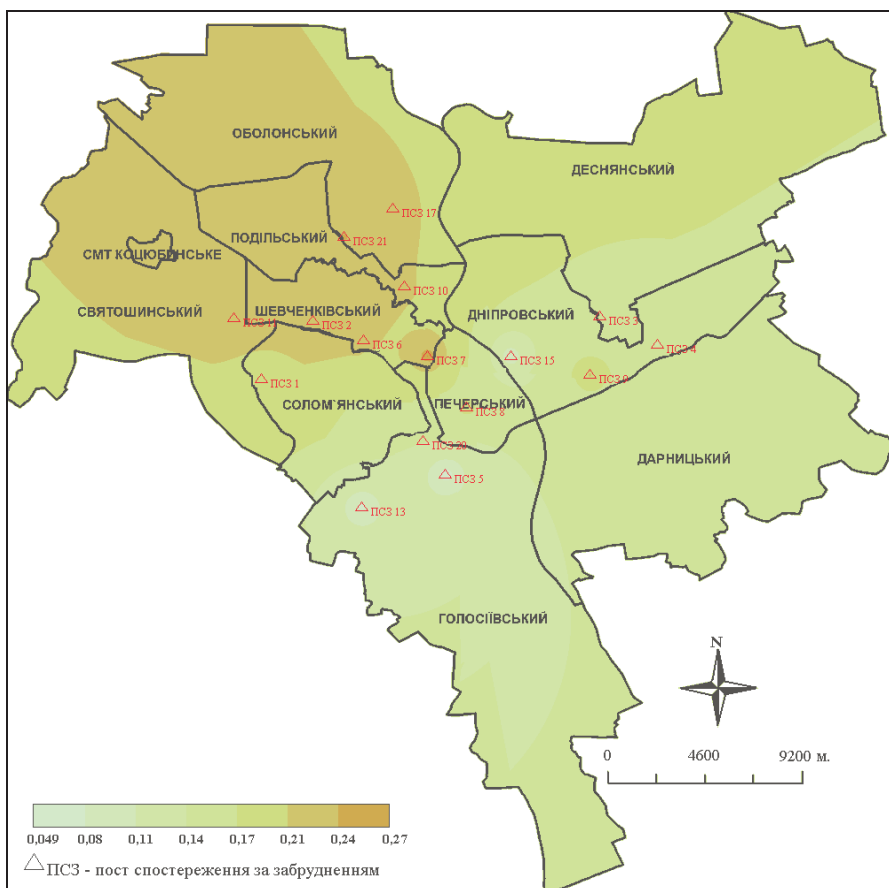


Рис. 2. Карта рисков хронической интоксикации населения г. Киева в условиях загрязнения воздуха зимой 2014 года

На этой карте представлена территория г. Киева, где показаны территории с разными уровнями рисков. Оказалось, что значения рисков хронических заболеваний для населения города в зимний период могут быть достаточно высокими (в сравнении с международными нормами).

Разные уровни рисков выделены на карте цветовыми оттенками (от более светлых к более темным). Юго-восточная часть города характеризуется умеренными значениями рисков. Особо следует выделить северо-западные районы, где риск заболеваний превышает 0,2, т.е. в таких условиях более 20 процентов населения страдают хроническими заболеваниями.

Выводы. Когнитивный подход к принятию решений включает использование нескольких уровней представления знаний, полученных на

основе анализа данных мониторинга с учетом экспертных оценок.

Если нижний уровень допускает выбор решения на основе значений отдельных параметров, то на более высоких уровнях представления знаний рассматриваются стратегии и алгоритмы, основанные на вероятностном описании предметной области. В качестве критериев для принятия решений предлагается рассматривать разные уровни рисков, и в первую очередь риски, связанные со здоровьем населения.

1. *Андерсон Дж.* Когнитивная психология. – СПб.: Питер, 2002. – 496 с.
2. *Дилтс Р.* Моделирование с помощью НЛП. – СПб: Питер, 2001. – 288 с.
3. *Люгер Дж.*, Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем. – М.: «Вильямс», 2003. – 864 с.
4. *Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф.* Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб. Питер, 2001. – 384 с.
5. *Каменева И.П., Яцишин А.В., Артемчук В.А.* Компьютерные средства оценивания экологических рисков с использованием структурного анализа данных мониторинга // Электронное моделирование. – 2013. Т.35, № 6. – С.99-113.
6. *Кини Р.* Теория принятия решений // Исследование операций: в 2-х томах, Т1, М.: Мир, 1981. – С.481-512.
7. *Каменева И.П.* Вероятностные модели репрезентации знаний в интеллектуальных системах принятия решений // Искусственный интеллект. – Донецк, ИПИИ НАН Украины, 2005. – № 3. – С.399-409.
8. *Гладун В.П.* Процессы формирования новых знаний. – София, 1994. – 192 с.
9. Управление риском: Риск. Устойчивое развитие. Синергетика. – М: Наука, 2000. – 432 с.
10. *Большаков А.М., Крутько В.Н., Пуццлло Е.В.* Оценка и управление рисками влияния окружающей среды на здоровье населения. – М.:Эдиториал УРСС, 1999. – 256 с.

Поступила 25.09.2017р.

УДК 004.056.5

С.Ф. Гончар, Київ

ОСОБЛИВОСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КІБЕРБЕЗПЕКИ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Abstract. The features of industrial control systems that distinguish them from automated systems of traditional information technologies are presented. These features should be taken into account when developing and implementing measures to ensure the cybersecurity of industrial control systems that operate on critical infrastructure objects.