

УДК 519. 81

И. Б. Сироджа¹, А. Я. Куземин², М. В. Штукин²

¹Национальная Академия природоохранного и курортного строительства
ул. Киевская, 181, 95493 Симферополь, Украина

²Харьковский национальный университет радиоэлектроники
проспект Ленина, 14, 61166 Харьков, Украина

Многокритериальная оптимизация в интеллектуальных системах поддержки принятия решений

Развита методология комплексного решения проблемы принятия решений в условиях многокритериальности, неопределенности и риска на основе использования математических моделей и методов инженерии квантов знаний.

Ключевые слова: многокритериальная оптимизация, функция полезности, интервальная стохастическая неопределенность, принятие решений, инженерия квантов знаний.

Введение

Для решения проблем, связанных с принятием решений в условиях опасности возникновения или в результате возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера необходимо представление и формирование знаний, вывод (поиск решения) на основе знаний, выявляемых из прецедентных, качественных данных, моделирование на их основе рассуждений и т.д. В связи с этим, актуальным является создание интеллектуальных (экспертных) систем. При этом необходимо уделить особое внимание созданию интеллектуальных систем поддержки принятия решений, в том числе системам реального времени, предназначенным для мониторинга и управления в сложных условиях возникновения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

Принятие решений сводится к решению четырех основных задач: 1) *задание и анализ цели*; 2) *формирование множества допустимых решений*; 3) *выбор и обоснование системы оценивания допустимых решений (задача оценивания)*; 4) *определение наилучшего решения (задача оптимизации)*. Субъект, принимающий решения (СПР), всегда заинтересован в принятии эффективных решений, так как неэффективные решения в штатных, чрезвычайных и производственных ситуациях приводят к значительным потерям возможностей и ресурсов. Общеизвестно, что необходимыми требованиями к *эффективности* решений являются их *полнота*,

© И. Б. Сироджа, А. Я. Куземин, М. В. Штукин

своевременность и *оптимальность*, которые противоречивы по сути выделенных понятий. Стремление удовлетворить указанные требования приводит к серьезным методологическим и вычислительным трудностям. В частности, обеспечение *комплексности (полноты)* решений ведет к необходимости более полного учета внутренних и внешних факторов, что увеличивает размерность задачи принятия решений и требует признать ее *многокритериальной*. При этом возрастает *неопределенность*, обусловленная неполнотой знаний о взаимовлиянии факторов, неточностью их измерения, случайными внешними и внутренними воздействиями. Попытка устранить исходную *неопределенность* путем научного исследования требует высокой квалификации СПР, больших затрат времени и, как следствие, приводит к *несвоевременности* принятия решений.

Традиционный подход сегодня не удовлетворяет требованиям практики, как по *точности*, так и по *эффективности* в силу неоправданной декомпозиции проблемы на две условно независимые задачи. Первая — детерминированная задача многокритериальной оптимизации решается без учета *неопределенности*, а вторая — принятие решений в условиях *неопределенности* целевой функции — без учета *многокритериальности*. Это обусловлено принципиальной *некорректностью* по Адамару задачи многокритериальной оптимизации в силу не *единственности* ее решения. Решить задачу можно только с точностью до области *компромиссных* решений либо путем *регуляризации* [1, 2]. С одной стороны, *регуляризация* задачи для определения *единственного* решения путем вычисления обобщенной *многофакторной* скалярной оценки эффективности базируется на субъективных экспертных оценках, детерминизация которых приводит к значительным ошибкам. С другой стороны, модели и методы принятия решений в условиях *неопределенности* скалярной оценки оказываются не адекватными без учета ее *многокритериальности*. Следовательно, стремление к повышению *эффективности* принимаемых решений требует развивать методологию *комплексного* разрешения проблемы принятия решений с неотрывным учетом *многокритериальности* и *неопределенности* исходных данных.

Состояние проблемы

Обзор и анализ публикаций [1–20] указывают на актуальность проблемы разработки *формальных* моделей и методов принятия решений в условиях *многокритериальности*, *неопределенности* и *риска*. Перспективы формализации *комплексных* процедур принятия решений с *одновременным* учетом указанных условий открываются при использовании *теории полезности* [7, 8], *интервального анализа* [2, 17] и *теории нечетких множеств* [13, 14, 20]. Однако полученные результаты в настоящее время далеко не исчерпывают проблему. Из [2] известно, что *допустимое* множество решений $Z = Z^S \cup Z^C$ содержит в общем случае подмножества *согласованных* Z^S и *противоречивых (компромиссных)* Z^C решений. Ни один локальный (частный) критерий эффективности $k_j(z) \in \langle k_j(z) \rangle \subseteq Z^C$ из области *компромиссов* Z^C невозможно улучшить без ухудшения качества хотя бы одного локального критерия из заданного кортежа критериев $\langle k_j(z) \rangle$, $j = \overline{1, n}$. По определению искомое *оптимальное* решение $z^* \in Z^C$. Поэтому *многокритери-*

риальную задачу принятия решений (МЗПР) формально можно представить соотношением

$$z^* = \arg \operatorname{extr}_{z \in Z^C} \Theta[\langle k_j(z) \rangle], \quad \forall j = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где Θ — некоторая **регуляризирующая** процедура, позволяющая выбрать **единственное** решение из области **компромиссов** Z^C согласно определенному **принципу оптимальности**.

Известны [1, 2] **формальные** подходы к **регуляризации**, основанные на некоторых схемах компромисса (субоптимизации, лексикографической оптимизации и др.). Часто используются **эвристические** принципы **регуляризации**, когда выбор решения в МЗПР (1) осуществляет **лицо, принимающее решение (ЛПР)** на основе своего опыта [2, 3]. Каждый из предложенных **принципов оптимальности** имеет свою область корректного применения на практике и существенные недостатки [1–3].

Более **универсальным** является **принцип оптимальности**, состоящий в формировании на множестве частных критериев $\{k_i(z)\}$, $i = \overline{1, n}$ **обобщенного скалярного критерия**. Его называют **функцией полезности** $\Pi(z)$ [7–9]:

$$\Pi(z) = Q[\lambda_i, k_i(z)], \quad i = \overline{1, n}, \quad (2)$$

где λ_i — коэффициенты **изоморфизма**, приводящие разнородные частные критерии $k_i(z)$ к изоморфному виду; Q — оператор, реализующий процедуру вычисления **функции полезности** $\Pi(z)$ для всех $z \in Z^C$. Теоретической основой формирования **многокритериальных скалярных оценок** (2) является **теория полезности** [8], которая предполагает существование **количественной оценки предпочтительности** « \succ » решений. Это означает, что если решения

$$z_1, z_2 \in Z^C \text{ и } z_1 \succ z_2, \text{ то } \Pi(z_1) > \Pi(z_2). \quad (3)$$

Следовательно, **«полезность»** решений является **количественной мерой их «эффективности»**, а МЗПР (1) состоит в выборе **наилучшего** решения z^* :

$$z^* = \arg \max_{z \in Z^C} \Pi(z). \quad (4)$$

Согласно (4) требуется **обоснование способа** формирования **функции полезности** как **метрики** в пространстве частных критериев $k_i(z)$. Характерно, что **объективной метрики** не существует, а принцип **ранжирования** решений отражает **субъективные предпочтения ЛПР**.

Таким образом, **теория полезности** и выбор конкретной **функции полезности** в виде оператора Q в (2) носят **аксиоматический характер**, где **аксиоматика** отражает **предпочтения конкретного СПР** либо ЛПР. Поэтому, в основу **теории**

полезности положена основная гипотеза о существовании «рационального» поведения, которая допускает **воспроизводимость и похожесть** решений различных ЛПР в одинаковых условиях. В рамках этой гипотезы формализация процесса ранжирования решений помогает ЛПР идентифицировать свои предпочтения и оценивать все решения $z \in Z^C$ количественно посредством метрики. Именно на этой основе процедуру оценивания в дальнейшем можно реализовать с помощью ЭВМ без участия ЛПР. Тем самым достигается возможность создания ИСППР различного назначения [1, 2, 10–12, 14–16, 18–22]. Анализ этих публикаций свидетельствует, что эффективная формализация нахождения **наилучшего** в определенном смысле многокритериального решения возможна лишь для хорошо структурированных задач [1, 2]. Но на практике чаще встречаются слабо структурированные задачи, для решения которых не разработаны полностью формализованные методы. Поэтому, современная тенденция создания ИСППР базируется на сочетании человеческой способности решать сложные задачи с возможностями формальных методов и компьютерного моделирования интеллектуальной деятельности. К таким системам относятся нейронные сети [14], экспертные системы инженерии знаний [15] и другие системы искусственного интеллекта [10–16, 18–21]. Общим требованием для всех этих систем является формализация интеллектуальной деятельности человека в процессах принятия решений. Исследования в этом направлении актуальны всегда, как с научной, так и с практической целью автоматизации творческого труда людей.

Цель работы заключается в развитии методологии решения проблемы **знаниеориентированного** принятия решений с комплексным учетом **многокритериальности, неопределенности** и **риска** на основе создания интеллектуальных информационных технологий средствами инженерии квантов знаний (ИКЗ) [10–12, 22].

Методология принятия решений средствами инженерии квантов знаний

Поставленная цель достигается решением МЗПР (1) путем применения функции полезности вида (2) с оператором Q , реализуемым средствами ИКЗ. Используем системный подход к проблеме целенаправленного принятия решений на **знаниях**, суть которого изложим в теоретико-множественном представлении. Назовем **целенаправленной системой принятия решений** S множество E однородных или разнородных элементов, на котором задано множество причинно-следственных отношений R , упорядочивающих элементы $e \in E$ в структуру C :

$$C = \{E \times R\}. \quad (5)$$

Для достижения заданной **цели** система S должна обладать множеством свойств $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$. Отобразим **цель** на множество X и выделим некоторое подмножество $G \subset X$ свойств системы, которые позволяют достичь цели путем выбора или синтеза ее структуры C (5) с необходимыми свойствами G . Тогда **целенаправленная система принятия решений** S определяется упорядоченным мно-

жеством в виде декартова произведения:

$$S = \{ \{E \times R\} \times G \}. \quad (6)$$

Очевидно, область существования $Z(S)$ системы S со свойствами G определяется множеством структур C (5), которые можно находить *индуктивно* в условиях *неопределенности* и *риска* путем обучения системы на знаниях-прецедентах. По экономическим, экологическим, социальным и техническим соображениям на область $Z(S)$ накладываются ограничения в виде запретов на использование некоторых элементов $e \in E$ и отношений $r \in R$. В результате выделяется множество *допустимых* структур, т.е. *допустимых* решений $Z^C \subset Z(S)$. Тогда решение МЗПР вида (1) средствами ИКЗ осуществимо в 4 этапа: 1) определение *цели* с выделением свойств X системы S для ее достижения; 2) индуктивный синтез по обучающим прецедентам допустимого множества структур C (5) как *баз знаний*, обеспечивающих механизм логического вывода решений; 3) определение метрики для сравнения допустимых решений (задача *оценивания*); 4) выбор *наилучшего* варианта решения $z^* \in Z \subset Z(S)$ (задача *оптимизации*).

Особенность методологии ИКЗ для решения МЗПР (1) состоит в синтезе системы S (6) посредством *индуктивно* создаваемой при обучении на прецедентах *базы δ -квантов знаний (Б δ кЗ)* как системы имплицативных и функциональных закономерностей в пространстве *свойств* X^n [22]. Б δ кЗ имеет сетевую структуру C (5) причинно-следственных связей между *исходными δ -квантами* (*посылочными событиями*), *промежуточными* и *выходными δ -квантами* (т.е. *целевыми следствиями-решениями*) со встроенными механизмами *дедуктивного* вывода принимаемых решений на δ -квантах. Параметр $\delta \in \{t, \pi, v, \varphi, \dots\}$ характеризует конкретные условия *δ -неопределенности* и соответствующий *тип* используемых δ -квантов знаний: *точные* ($\delta = t$, *tk-знания*), *приближенные* ($\delta = \pi$, *π к-знания*), *вероятностные* ($\delta = v$, *vk-знания*), *нечеткие* ($\delta = \varphi$, *φ к-знания*). Например, в условиях *v-неопределенности* и *риска* используются *vk-знания*, поскольку выбор альтернативных решений осуществляется на основе оценок *вероятности* наступления тех или иных *последствий* выбора. Именно *v-квант* знаний в своей процедурной составляющей содержит встроенные алгоритмы вычисления вероятностей *квантовых событий* с учетом логики их причинно-следственных связей. По аналогии с *vk-знаниями* в условиях *φ -неопределенности* (при *нечетких* данных) применяются *φ к-знания* со встроенными алгоритмами *фазификации* и *дефазификации нечетких множеств* по заданным функциям принадлежности.

Прецеденты для *обучения Б δ кЗ* описываются *таблицами эмпирических данных (ТЭД)* и *сценарными примерами обучающих знаний (СПОЗ)* с указанием имен e_i — *посылочных*, s_j — *промежуточных*, C_k — *целевых δ -квантовых событий* с логическими связками «И», «ИЛИ», «НЕ» между событиями. Процесс *обучения* первоначально состоит в алгоритмическом преобразовании ТЭД и СПОЗ в *логическую сеть возможных рассуждений (ЛСВР)*. Затем, путем автоматического *квантования* ЛСВР преобразуется в *δ -квантовую сеть вывода решений (δ КСВР)*. На выходе δ КСВР содержится *δ -квантовых* вершин $\{C_k\} = \{z_k\} = \hat{z}$, ($k = 1, 2, \dots, s$), которые отвечают *единому комплексу $\hat{z} \in Z^C$ целевых решений-следствий* в МЗПР,

зависящих от заданных *посылочных* e_i и промежуточных c_j δ -квантовых вершин-событий. Следовательно, в МЗПР (1) процесс **вывода** комплекса *многокритериальных* решений $\{z_k\} = \hat{z}$ реализуется автоматически посредством **Б δ кЗ \equiv δ КСВР** после подачи на вход *посылок* e_i , ($i = 1, 2, \dots, n$), описывающих наблюдаемые ситуации относительно системного *объекта принятия решений* (ОПР). **Активизация** комплекса $\hat{z} \in Z^C$ δ -квантовых вершин C_k , ($k = 1, 2, \dots, s$) на выходе δ КСВР определяет результат **вывода** целевых решений по данному системному ОПР.

Эффективность *знаниеориентированных* многокритериальных решений в ИКЗ оценивается внешним критерием $K_j(\hat{z})$, который характеризует *полезность* в смысле *минимального риска негативных последствий* от всего комплекса $\hat{z} \in Z^C$ принятых *целевых* решений, сгенерированных δ КСВР для системного ОПР. Оценка $K_j(\hat{z})$ может определяться величиной *вероятности (риска) принятия ошибочного решения* после испытаний данной δ КСВР на *контрольных ситуациях*. Это позволяет ранжировать по качеству в указанном смысле *альтернативные* δ КСВР из общей области существования $Z(S)$. **Наилучшим** считается *рациональный* комплекс решений $\hat{z}_{\text{рац}} \in Z^C$, сгенерированный δ КСВР с *наименьшей* величиной оценки $K_j(\hat{z})$. Суть поэтапного решения МЗПР (1) заключается в следующем.

На **1-м этапе** определяется *цель* системы S (6) как некоторое *желаемое* состояние *системного ОПР*, достижение которого требует выполнения целенаправленных действий. В нашем случае *цель* состоит в *индуктивном синтезе* с обучением **Б δ кЗ \equiv δ КСВР**, которая обеспечивает вывод комплекса $\{z_k\} = \hat{z} \in Z^C$ *целевых решений* C_k для всего *системного ОПР*. Экспертами выделяются требуемые для достижения *цели частные функциональные свойства* $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, которые измеряются в *разнотипных* шкалах и определяют потенциальную *эффективность* системы S . Следовательно, *свойства* X являются *локальными критериями* оценивания *эффективности* принимаемых решений, а рассматриваемая *задача* (1) является *многокритериальной*, так как *цель* характеризуется множеством *частных критериев* X . На **2-м этапе** экспертами вместе с ЛПР *содержательно* формируются ТЭД и СПОЗ, необходимые для синтеза *целевой* ЛСВР в режиме обучения. Посредством *автоматического квантования* ЛСВР преобразуется в δ КСВР, с помощью которой определяется множества *допустимых* решений $\hat{z} \in Z^C$ задачи МЗПР (1). Возможно формирование нескольких вариантов ТЭД и СПОЗ для синтеза и обучения *совокупности* различных δ КСВР на *разнородных прецедентах* с целью последующего выбора *рационального* варианта δ КСВР.

На **3-м этапе** решается задача *оценивания*, т.е. определяется некоторая *мера*, позволяющая объективно сравнивать *эффективность* комплексов решений $\hat{z} \in Z^C$ между собой и, следовательно, оценить *качество* δ КСВР, генерирующих \hat{z} в условиях *многокритериальности*, *риска* и *δ -неопределенности* ($\delta \in \{t, \pi, \nu, \varphi, \dots\}$). Такая *мера* должна учитывать как *положительный эффект*, т.е. степень достижения *цели*, так и *затраты* на достижение этого эффекта. Конкретные затраты на создание системы S (6) требуют и синтез любого варианта структуры C (5), который реализуется сетевым δ -квантовым графом

$G_{\delta k} \equiv \delta \text{КСВР}$. На *выходе* $G_{\delta k}$ получают комплекс искоемых решений $\{C_k\} = \hat{z} \in Z^C$ после активизации *посылочных* δk -знаний e_i на *входе* графа. Это позволяет применить существующую в **ИКЗ модель** $\Phi(\hat{z})$ *неформального многокритериального оценивания эффективности решений* величиной *вероятности неблагоприятных последствий* от принятых решений с использованием внешнего критерия $K_j(\hat{z})$:

$$\Phi(\hat{z}) = Q[K_j(\hat{z}), \delta \text{КСВР}, B_j], \quad (j=1, 2, \dots, s). \quad (7)$$

Модель (7) представлена *операторным отображением* $\Phi(\hat{z})$ для определения *полезности* комплекса *целевых* решений $\hat{z} = \{C_1, \dots, C_s\} \in Z^C$ по заданной методике алгоритмического вычисления оценки *эффективности* $K_j(\hat{z})$ [12]. Это *отображение* реализуется *оператором* Q , который характеризует структуру модели $\Phi(\hat{z})$ с учетом *кортежа параметров* B_j , вид зависимости между *входом* и *выходом* $\mathbf{B} \delta \mathbf{k} \mathbf{z} \equiv \delta \text{КСВР}$ и обеспечивает генерацию $\hat{z} \in Z^C$ с вычислением величины *риска* $K_j(\hat{z})$ принять *ошибочное* решение на *контрольных* ситуациях.

Понятие *неформального многокритериального оценивания принимаемых решений* в **ИКЗ** базируется на *общепринятом*, проверенном на практике *доверии* к *профессиональным знаниям* и *опыту* специалистов проблемной области при выборе альтернатив без *явной многокритериальной формализации* выбора. Так как *опыт* и *профессиональные знания* экспертов допускают формализацию δk -знаниями в виде специальной $\mathbf{B} \delta \mathbf{k} \mathbf{z} \equiv \delta \text{КСВР}$ [10, 22], то удастся избежать известных трудностей *явного формализованного синтеза обобщенного критерия* для агрегирования локальных критериев при оценивании *эффективности* решений. Для этого достаточно оценить *полезность* найденной конечной совокупности $\mathbf{B} \delta \mathbf{k} \mathbf{z} \equiv \delta \text{КСВР}$ в конкретных условиях δ -*неопределенности* и *риска* с помощью минимизации значения *внешнего критерия* $K_j(\hat{z})$, достигая *минимального риска* принятия *ошибочного* решения на *контрольных* ситуациях. При этом модель $\Phi(\hat{z})$ (7) удовлетворяет аксиомам теории выбора в условиях *риска* Фон Неймана и Моргенштерна [7, 8] и правомерна для оценивания *эффективности знаниеориентированных решений* одновременно в *комплексных* условиях *многокритериальности*, δ -*неопределенности* и *риска*. В отличие от известной в [1, 2] *полиномиальной аппроксимации* зависимости (7) в **ИКЗ** используется δ -*квантовый* граф $G_{\delta k} \equiv \delta \text{КСВР}$, описываемый *обобщенным s -значным предикатом* $P(G_{\delta k})$ в виде *дизъюнкции s булевых функций* $F_i(\varphi_i(\tilde{x}_j), \tilde{B}_i)$, ($i = 1, 2, \dots, s$). Число s *целевых решений* $(C_1, \dots, C_s) \in \hat{z}$ определяет *s -значность обобщенного предиката* $P(G_{\delta k})$. Функции $F_i(\varphi_i(\tilde{x}_j), \tilde{B}_i)$ отвечают δ -*квантовым путям* графа $G_{\delta k}$ и описывают логические *причинно-следственные рассуждения* в $\delta \text{КСВР}$ относительно s *целевых решений-следствий* C_1, \dots, C_s в комплексе \hat{z} . При этом параметры $b_i \in B_j$ модели $\Phi(\hat{z})$ определяются с точностью до *интервальной неопределенности*, что обусловлено разнообразием суждений экспертов при формировании СПОЗ. *Интервальная неопределенность* означает, что известны только границы

интервала $[b_i^{\min}, b_i^{\max}]$ возможных значений параметров b_i . Значения α_k^j признаков $x_j = (\alpha_1^j, \alpha_2^j, \dots, \alpha_{\rho_j}^j)$, ($j = 1, 2, \dots, n$) **ОПР** также могут быть заданы границами интервалов из-за так называемых **НЕ-факторов** (неполнота знаний, неточность измерений и т.п.). В связи с этим все **интервальные** величины, используемые при δ -неопределенности, обозначены символами с волной «~».

Таким образом, отдельный **комплекс** решений $\hat{z} \in Z^C$ в **МЗПР** (1) представляет собой **сетевую систему** логического вывода с **целевых следствий** в виде δ **КСВР**, которая описывается **дизъюнкцией** булевых функций $F_i(\varphi_i(\tilde{x}_j), \tilde{B}_i)$, зависящих от двухзначных предикатов $\varphi_i(\tilde{x}_j)$ и кортежа параметров \tilde{B}_i , характеризующих соответственно **смысл** и **количество** δ -квантовых вершин-событий с логическими связками между ними. Предикаты $\varphi_i(\tilde{x}_j)$ описывают **логику причинно-следственных** связей между **локальными критериями-свойствами** $k_j \equiv \tilde{x}_j$, ($j = 1, 2, \dots, n$) **ОПР**. Следовательно, **модель** $\Phi(\hat{z})$ (7) для оценки знаниеориентированных решений в условиях **многокритериальности**, **риска** и δ -**неопределенности** можно записать в виде:

$$\Phi(\hat{z}) = Q[K_s(\hat{z}), \bigvee_{i=1}^S F_i((\varphi_i(\tilde{x}_j), \tilde{B}_i))]. \quad (8)$$

На **4-м этапе** осуществляется выбор из допустимого множества Z^C единственного **рационального** решения $\hat{z}_{\text{рац}} \in Z^C$ на основе использования результатов **2-го этапа** и модели (8). Тогда в соответствии с формулами (4) и (8) сформулированная задача (1), т.е. **МЗПР**, обретает следующий формальный вид в терминах инженерии квантов знаний:

$$z^* = \hat{z}_{\text{рац}} = \arg \min_{\hat{z} \in Z^C} \Phi(\hat{z}) = \arg \min_{\hat{z} \in Z^C} [Q(K_s(\hat{z}), \bigvee_{i=1}^S F_i((\varphi_i(\tilde{x}_j), \tilde{B}_i)))]]. \quad (9)$$

Понятие «**рациональное**» решение здесь более правдоподобно, нежели «**оптимальное**» в силу **неформально-многокритериальной** мотивации предложенной метрики (8) для оценивания принимаемых решений в **комплексных** условиях **многокритериальности**, δ -**неопределенности** и **риска**.

Выводы

1. Впервые разработаны модели и методы для анализа и контроля чрезвычайных природных ситуаций, которые обеспечивают **причинно-следственный вывод** эффективных **многокритериальных** решений в различных условиях δ -**неопределенности** и **риска**, что позволило за счет использования δ **к-знаний** в модели **неформально-многокритериального** оценивания альтернатив посредством **внешнего** критерия их **полезности** учесть любые предпочтения **ЛПР**, при этом в отли-

чие от существующих подходов в данном исследовании не применяется *обобщенный* критерий с взвешиванием *локальных* критериев.

2. Приобрел дальнейшее развитие метод решения проблемы *знаниеориентированного* принятия решений с *комплексным* учетом *многокритериальности*, различных видов *δ -неопределенности*, и *риска* на основе использования средств *инженерии квантов знаний* и *интеллектуальных* информационных технологий, который в отличие от существующих позволяет повысить качество прогноза с минимальными затратами времени и средств.

1. Овезгельдыев А.О. Синтез и идентификация моделей многофакторного оценивания и оптимизации / А.О. Овезгельдыев, Э.Г. Петров, К.Э. Петров. — К.: Наук. думка, 2002. — 164 с.

2. Петров Е.Г. Методи і засоби прийняття рішень в соціально-економічних системах / Е.Г. Петров, М.В. Новожилова, І.В. Гребеннік. — К.: Техніка, 2004. — 256 с.

3. Подиновский В.В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач / В.В. Подиновский, В.Д. Ногин. — М.: Наука, 1982. — 254 с.

4. Петров Э.Г. Методы оценивания вектора предпочтений индивидуума / Э.Г. Петров, Н.И. Калита // Проблемы бионики. — 2003. — Вып. 58. — С. 27–35.

5. Петров Э.Г. Структурная идентификация функции многофакторного оценивания / Э.Г. Петров, А.О. Овезгельдыев, К.Э. Петров // Вестник Херсонского государственного технического университета. — 2002. — № 1(14). — С. 21–28.

6. Катуплев А.Н. Современный синтез критериев в задачах принятия решений / А.Н. Катуплев, Л.С. Виленчук, В.Н. Михно. — М.: Радио и связь, 1992. — 119 с.

7. Фишберн П. Теория полезности для принятия решений / П. Фишберн. — М.: Наука, 1978. — 352 с.

8. Нейман Дж. Теория игр и экономическое поведение; пер. с англ. Н.Н. Воробьева / Дж. Нейман, О. Моргенштерн. — М.: Наука, 1970. — 124 с.

9. Ивахненко А.Г. Самоорганизация прогнозирующих моделей / А.Г. Ивахненко, Й.А. Мюллер. — К.: Техніка, 1985. — 223 с.

10. Сироджа И.Б. Квантовые модели и методы искусственного интеллекта для принятия решений и управления / И.Б. Сироджа. — К.: Наук. думка, 2002. — 428 с.

11. Сироджа И.Б. Многокритериальное принятие решений при разработке межцеховых технологических маршрутов средствами инженерии квантов знаний. Часть I. Постановка и метод решения многокритериальной задачи о назначениях «расцеховка» и Часть II. Производственная реализация многокритериальной задачи о назначениях «расцеховка» / И.Б. Сироджа, Г.А. Фролова // Авиационно-космическая техника и технология. — Х.: «ХАИ», 2009. — № 3(60). — С. 83–94; № 4(61). — С. 71–78.

12. Сироджа И.Б. Оценивание качества идентификационных и прогнозных решений в инженерии квантов знаний / И.Б. Сироджа // Бионика интеллекта. — 2008. — № 2(69). — С. 77–83.

13. Раскин Л.Г. Нечеткая математика. Основы теории. Приложения / Л.Г. Раскин, О.В. Серая. — Х.: Парус, 2008. — 352 с.

14. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети / А.П. Ротштейн. — Винница: УНИВЕРСУМ. — 1999. — 320 с.

15. Джексон П. Введение в экспертные системы / П. Джексон; пер. с англ. В.Г. Тертышного. — М.: Вильямс, 2001. — 622 с.

16. Валькман Ю.Р. Интеллектуальные технологии исследовательского проектирования: формальные системы и семиотические модели / Ю.Р. Валькман. — К.: Port Rojal, 1998. — 250 с.
17. Алефельд Г. Введение в интервальные вычисления: пер. с англ. / Г. Алефельд, Ю. Херцбергер. — М.: Мир, 1987. — 360 с., ил.
18. Берштейн Л.С. Нечеткие модели принятия решений: дедукция, индукция, аналогия / Л.С. Берштейн, А.В. Боженюк. — Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2001. — 110 с.
19. Дюбуа Д. Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике / Д. Дюбуа, А. Прад. — М.: Радио и связь. 1990. — 288 с.
20. Бочарников В.П. Fuzzy-Технология: математические основы практика моделирования в экономике / В.П. Бочарников. — Санкт-Петербург, 2001. — 328 с.
21. Рассел С. Искусственный интеллект: современный подход (AI: A Modern Appr.) / С. Рассел, П. Норвиг. — М.: Изд. дом «Вильямс», 2006. — 1408 с.
22. Сироджа И.Б. Модели и методы инженерии квантов знаний для принятия решений в системах искусственного интеллекта / И.Б. Сироджа, И.А. Верещак // Системи обробки інформації. — 2006. — Вип. 8(57). — С. 63–81.

Поступила в редакцию 12.06.2012