

## ЗНАНИЕОРИЕНТИРОВАННОЕ ПРИНЯТИЕ РАСПОЗНАЮЩИХ И ПРОГНОЗНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОСОБЫХ СЛУЧАЕВ ПОЛЕТА В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

В статье сформулирована и решена задача знаниеориентированного принятия распознающих и прогнозных решений руководителем полетов и летчиком в особых случаях управления полетами методом разноразмерных алгоритмических квантов знаний

**неопределенность, летательный аппарат, знание, решение, квант знаний, система поддержки принятия решений**

### Введение

В человеко-машинных системах военного назначения, обеспечивающих управление полетами летательных аппаратов (ЛА), существует трудная задача принятия распознающих и прогнозных решений в особых случаях полета, как правило, в условиях неопределенности [1]. Подобные задачи способны решать, опираясь на интуицию, опытные летчики-эксперты, но не всегда успешно, поскольку не существует пока общих или стандартных методов распознавания разнотипных параметров при недостатке данных. Решение этой проблемы авторы [2,3] видят в создании интеллектуальных систем поддержки принятия решений, обеспечивающих заданный уровень безопасности полетов (БП).

### 1. Постановка задачи

В отличие от известного моделирования функций человеческого мозга посредством обучаемых нейронных сетей для принятия решений [4] в работе предлагается квантовый подход [5-7] к моделированию генерации человеческих причинно-следственных суждений от посылок к следствиям при поиске распознающих и прогнозных решений в условиях неопределенности. Моделирование осуществляется с помощью обучаемых на типичных примерах  $\pi$ -квантовых сетей вывода решений ( $\pi$ -КСВР).

Обученная и оптимизированная по избыточности  $\pi$ -КСВР одновременно служит базой квантов знаний (БкЗ) и механизмом вывода решений с вычислением показателей их достоверности (ПД).

Для построения эффективных знаниеориентированных систем поддержки принятия решений (ЗСППР) в работах [5-9] разработана теория моделей представления нечетких  $\pi$ -квантов знаний, а также информационная технология манипулирования ими при решении практических задач вывода решений в условиях неопределенности, синтезированы алгоритмы вычисления заключений в разноразмерных  $\pi$ -квантах знаний. Опираясь на эти результаты, в данной работе решена задача узнавания ситуаций, описанных  $k$ -знаниями ( $V_\pi$ -задача) и прогнозирование ситуаций ( $C_\pi$ -задача) [1] для принятия решений руководителем полетов (РП) и летчиком по выходу из особого случая в полете.

Пусть заданы количество и содержание искомых заключений в решаемой  $V_\pi$  или  $C_\pi$ -задаче, а также разнотипные характеристики объекта принятия решений (ОПР) в причинно-следственных высказываниях экспертов относительно вывода искомых решений с некоторыми оценками ПД этих характеристик и суждений. Требуется разработать методику решения задачи принятия распознающих и прогнозных решений РП и летчиком по выходу из особого случая в полете либо спасения экипажа.

## 2. Разработка методики решения $V_\pi$ , $C_\pi$ -задач на основе применения $\pi$ -квантовых сетей вывода решений

Конструктивно содержание этой методики наполняют теоретические и алгоритмические результаты, изложенные в [5], действия разработанной в [8] общей методики синтеза  $\pi$ -КСВР знаниеориентированных решений, дополняемых действиями алгоритмов синтеза (СИНКСВ) и управления функционированием  $\pi$ -КСВР (АУПКСВ).

**Определение 1.**  $\pi$ -квант знаний  $\pi k_1 B$  логически следует из  $\pi$ -кванта  $\pi k_1 A$ , то есть

(посылка)  $\pi k_1 A \rightarrow \pi k_1 B$  (заключение),

если выполнено отношение  $E(\tilde{B}) \subseteq E(\tilde{A})$ .

Аналогично:

$\pi k_2 \| S \| \rightarrow \pi k_1 C$ , если  $E(\tilde{C}) \subseteq E(\| \tilde{S} \|)$ ,

$\pi k_2 \| S \| \rightarrow \pi k_2 P$ , если  $E(\tilde{P}) \subseteq E(\| \tilde{S} \|)$ .

В этом определении  $E(\tilde{A})$ ,  $E(\tilde{C})$ ,  $E(\| \tilde{P} \|)$ ,  $E(\| \tilde{S} \|)$  – характеристические множества соответствующих конечно-предикатных дизъюнктивно нормальных форм (ДНФ), т.е. множества корней предикатных уравнений, выраженных в ДНФ.

**Определение 2.** Индуктивным выводом  $\pi k$ -знаний называется алгоритмический процесс построения базы  $\pi k$ -знаний на основе использования объективных примеров обучающих знаний  $\pi k_2 \Sigma_0$  из заданной предметной области, отвечающий принципу «от частного к общему» и определению 1.

Формальная модель индуктивного вывода  $\pi k$ -знаний посредством специального алгоритма  $A1$  имеет вид:

$$IND(\pi k_2 \Sigma_0; A1; Bk3) = \pi k_2 \Sigma_0 \xrightarrow[A1]{IND} Bk3 \quad (1)$$

где в качестве БкЗ может быть система имплекативных закономерностей в форме  $\pi k_2 \bar{\Sigma}_B$  либо система функциональных закономерностей в форме  $\pi$ -КСВР, выполняющей роль оперативной БкЗ.

**Определение 3.** Дедуктивным выводом  $\pi k$ -

знаний называется алгоритмический процесс нахождения отвечающих определению 1 логических  $\pi$ -квантовых следствий из базы  $\pi k$ -знаний с помощью алгоритмов  $\alpha_i, (i = 1, 2, 3, \dots)$ :

$$\begin{aligned} B\pi k3 \frac{DED}{\alpha_1} &\rightarrow \pi k_0 \beta_i^{jk}; & B\pi k3 \frac{DED}{\alpha_2} &\rightarrow \pi k_1 Y_e; \\ B\pi k3 \frac{DED}{\alpha_3} &\rightarrow \pi k_1 Y; & B\pi k3 \frac{DED}{\alpha_4} &\rightarrow \pi k_2 \| P \| \end{aligned}$$

по принципу от «общего к частному».

Формальная модель оператора дедуктивного вывода  $\pi k$ -знаний имеет вид:

$$DED(B\pi k3, \pi k_1 Y_\omega; \alpha_i; \pi k_s R) = B\pi k3 \frac{DED}{\pi k_1 Y_\omega; \alpha_i} \rightarrow \pi k_s R, \quad (2)$$

где  $\pi k_1 Y_\omega$  –  $\pi$ -квант наблюдаемых знаний об ОПР  $\omega$ , относительно которых выводится с помощью алгоритма  $\alpha_i, (i \in \{1, 2, 3, \dots\})$  искомое решение в форме  $\pi k$ -знаний  $s$ -го уровня ( $s \in \{0, 1, 2\}$ ).

Заметим, что обе задачи разрешимы лишь при наличии синтезированной по индуктивному принципу  $\pi$ -КСВР в роли оперативной базы функциональных закономерностей БкЗ, которая обеспечивает вывод идентификационных и прогнозных решений по дедуктивному принципу. Другими словами, для извлечения из нечеткого текста-сценария (НТ-С) необходимых так называемых базисных функциональных знаний БкЗ в образе  $\pi$ -КСВР необходимо использовать IND-оператор вида (1) с применением алгоритмов обучения логической сети нечетких рассуждений (ОБАЛ) [10] и автоматического квантования знаний (АЛКВАЗН). Затем для непосредственного решения  $V_\pi, C_\pi$ -задач достаточно применить DED оператор вида (2) с использованием алгоритма АУПКСВ при заданных посыльных наблюдениях  $\pi k_1 Y_\omega$  за ОПР  $\omega \in \Omega$  и БкЗ  $\equiv \pi k$ -КСВР из конкретной предметной области  $\Omega$ . При этом формирование исходного НТ-С для обучения  $\pi$ -КСВР с целью решения  $V_\pi$ -задачи разработчики обязаны производить на основе анализа примеров идентификационных или классификационных сценариев данной предметной области, а формирование НТ-С с целью

решения  $C_\pi$ -задачи – на основе использования примеров прогнозных сценариев принятия решений.

Остается лишь отметить, что обе базовые  $V_\pi$ ,  $C_\pi$ -задачи решаются, по существу, одной синтезируемой  $\pi$ -КСВР, только с различными целями. При решении  $V_\pi$ -задачи цель заключается в нахождении (выводе) приближенных заключений с вычисляемыми ПД о неизвестных значениях целевых, т.е. классификационных признаков ОНР, исходя из наблюдаемых нечетких значений посылочных разнотипных признаков. Поэтому входные  $\pi$ -кванты яруса  $N_0$   $\pi$ -КСВР несут информацию о посылочных признаках распознаваемых ситуаций (особых случаях в полете), а выходные  $\pi$ -кванты последнего яруса  $N_S$  сети – о принадлежности распознаваемой ситуации к тому или иному классу (образу, категории) с вычисляемым ПД. При решении  $C_\pi$ -задачи цель состоит в нахождении (выводе) приближенных заключений о неизвестных значениях прогнозируемых характеристик ОНР, исходя из нечетких посылочных данных о наблюдаемых характеристиках (фактах). Поэтому входные  $\pi$ -кванты яруса  $N_0$   $\pi$ -КСВР описывают посылочные нечеткие знания, а выходные  $\pi$ -кванты последнего яруса  $N_S$  сети отвечают искомым целевым прогнозным заключениям с вычисляемыми ПД. В случаях решения обеих задач РП и летчику рекомендуется принимать решение, которому отвечает  $\pi$ -квантовое заключение с максимальным ПД.

### 3. Пример тестовой базовой задачи принятия решений РП по выходу из особого случая в полете РАКЗ-методом

Проиллюстрируем на примере тестовой базовой задачи принятия решений РП по выходу из особого случая в полете правомерность и работоспособность изложенной методики и алгоритмов.

Необходимо найти правило принятия решения, позволяющее путем анализа некоторых вычисляемых показателей отдавать предпочтение ситуации с

характеристикой  $C4$  (команды РП по выходу из особого случая «Отказ системы управления воздухозаборником») или  $C5$  (команды РП по выходу из особого случая «Отказ или произвольное срабатывание системы ликвидации помпажа») в зависимости от наблюдаемых значений нецелевых признаков ОНР:  $E1$  («бубнение» в канале воздухозаборника),  $E2$  (хлопки (удары) в канале воздухозаборника),  $E3$  (изменение температуры газов),  $E4$  (зуд воздухозаборника),  $E5$  (изменение оборотов (тяги) двигателя),  $E6$  (останов двигателя с звуковыми явлениями),  $E7$  (изменение оборотов при даче рычага управления двигателем) с гипотетическими значениями их ПД:

$$\begin{aligned} d[e1] = 0.2, d[e2] = 0.3, d[e3] = 0.3, d[e4] = 0.4, \\ d[e5] = 0.2, d[e6] = 0.7, d[e7] = 0.8 \end{aligned}$$

а также импликаций:

$$\begin{aligned} d[(E1 \vee E2) \rightarrow C1] = 0.1(rev), d[E3 \rightarrow C2] = 0.2(nrev), \\ d[C1 \rightarrow C2] = 0.6(nrev), d[(C2 \vee E4) \rightarrow C3] = 0.1(rev), \\ d[(C3 \wedge E5) \rightarrow C4] = 0.2(nrev), d[E6 \rightarrow C5] = 0.5(nrev), \\ d[E7 \rightarrow C5] = 0.6(nrev). \end{aligned}$$

Очевидно, что  $C1$  («бубнение» или хлопки в канале воздухозаборника),  $C2$  (помпаж воздухозаборника),  $C3$  (помпаж или сильный зуд воздухозаборника) являются промежуточными следствиями, возникающими в процессе динамического обучения.

В терминах РАКЗ-метода задача состоит в построении по указанной исходной информации, анализе Руководства по летной эксплуатации самолета Су-17М4 и знаниям экспертов  $\pi$ -КСВР, являющейся БкЗ в области обеспечения БП и одновременно, обобщенным правилом принятия решений.

Решение.

Для простоты изложения и доступности к пониманию идейной сути методики ограничимся кратким представлением основных этапов и шагов решения поставленной задачи.

**Неформальный этап. Шаг 1.** Когнитолог с помощью экспертов формирует НТ-С из области обеспечения заданного уровня БП в виде естественно-языковой совокупности нечетких высказываний о характеристиках (признаках) ОНР.

**Шаг 2.** На основании НТ-С составим продукционные строки сценарной матрицы (СМ). Пусть в нашем примере фрагмент НТ-С представлен продукционными строками:

1. Если  $(E1|0.2 \text{ ИЛИ } E2|0.3)$ , ТО  $C1|0.0; d[(E1 \text{ ИЛИ } E2) \rightarrow C1] = 0.1(rev)$ ,
2. Если  $E3|0.3$ , ТО  $C2|0.0; d[E3 \rightarrow C2] = 0.2(nrev)$ ,
3. Если  $C1|0.0$ , ТО  $C2|0.0; d[C1 \rightarrow C2] = 0.6(nrev)$ ,
4. Если  $(C2|0.0 \text{ ИЛИ } E4|0.4)$ , ТО  $C3|0.0; d[(C2 \text{ ИЛИ } E4) \rightarrow C3] = 0.1(rev)$ ,
5. Если  $(C3|0.0 \text{ ИЛИ } E5|0.2)$ , ТО  $C4|0.0; d[(C3 \text{ ИЛИ } E5) \rightarrow C4] = 0.2(nrev)$ ,
6. Если  $E6|0.7$ , ТО  $C5|0.0; d[E6 \rightarrow C5] = 0.5(nrev)$ ,
7. Если  $E7|0.8$ , ТО  $C5|0.0; d[E7 \rightarrow C5] = 0.6(nrev)$ ,
8. Конец.

**Формальный этап. Шаг 1.** С помощью алгоритма ОБАЛ получаем логическую сеть нечетких рассуждений (ЛСНР), представленную на рис.1. ЛСНР соответствует СМ показанная на рис.2.

Клетку матрицы на пересечении  $i$ -й строки и  $j$ -го столбца заполняют в соответствии со схемой рассмотренной в [5] с указанием количества появлений посылок, номера домена и кванта. Образовавшиеся уровни порядковой функции ЛСНР отмечены на рис.1 пунктиром и символами  $N_0 \div N_4$ .

**Шаг 2.** Используя алгоритм АЛКВАЗН, на основании ЛСНР получаем избыточную  $\pi$ -КСВР  $G_{\pi k}=(E_{\pi k}, \Gamma_{\pi k})$ , показанную на рис. 3.

$\pi$ -кванты сети имеют следующую запись в СМ:

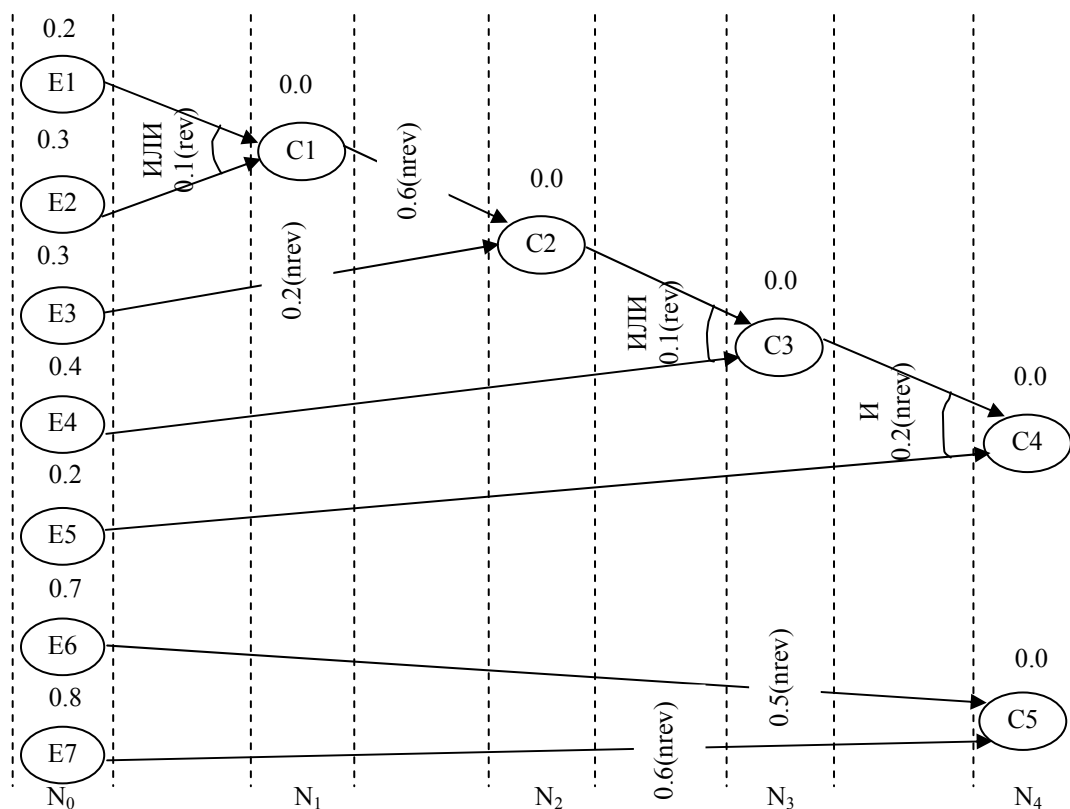


Рис. 1. ЛСНР  $G_{\pi k}=(E_{\pi k}, \Gamma_{\pi k})$ , соответствующая НТ-С (3)

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	C1	C2	C3	C4	C5
E1	0.2							<u>0.2ИЛИ</u> 0rev →0.1 1, 1, 1				
E2		0.3						<u>0.3ИЛИ</u> 0rev →0.1 1, 1, 1				
E3			0.3						<u>0.3</u> 0nrev →0.2 1, 1, 2			
E4				0.4						<u>0.4ИЛИ</u> 0rev →0.1 1, 1, 4		
E5					0.2						<u>0.2И</u> 0nrev →0.2 1, 2, 5	
E6						0.7						<u>0.7</u> 0nrev →0.5 1, 1, 6
E7							0.8					<u>0.8</u> 0nrev →0.6 1, 1, 7
C1								∅	<u>0.0</u> 0nrev →0.6 1, 1, 3			
C2									∅	<u>0.0ИЛИ</u> 0rev →0.1 1, 1, 4		
C3										∅	<u>0.0И</u> 0nrev →0.2 1, 1, 5	
C4											∅	
C5												∅

Рис. 2. Сценарная матрица НТ-С (3)

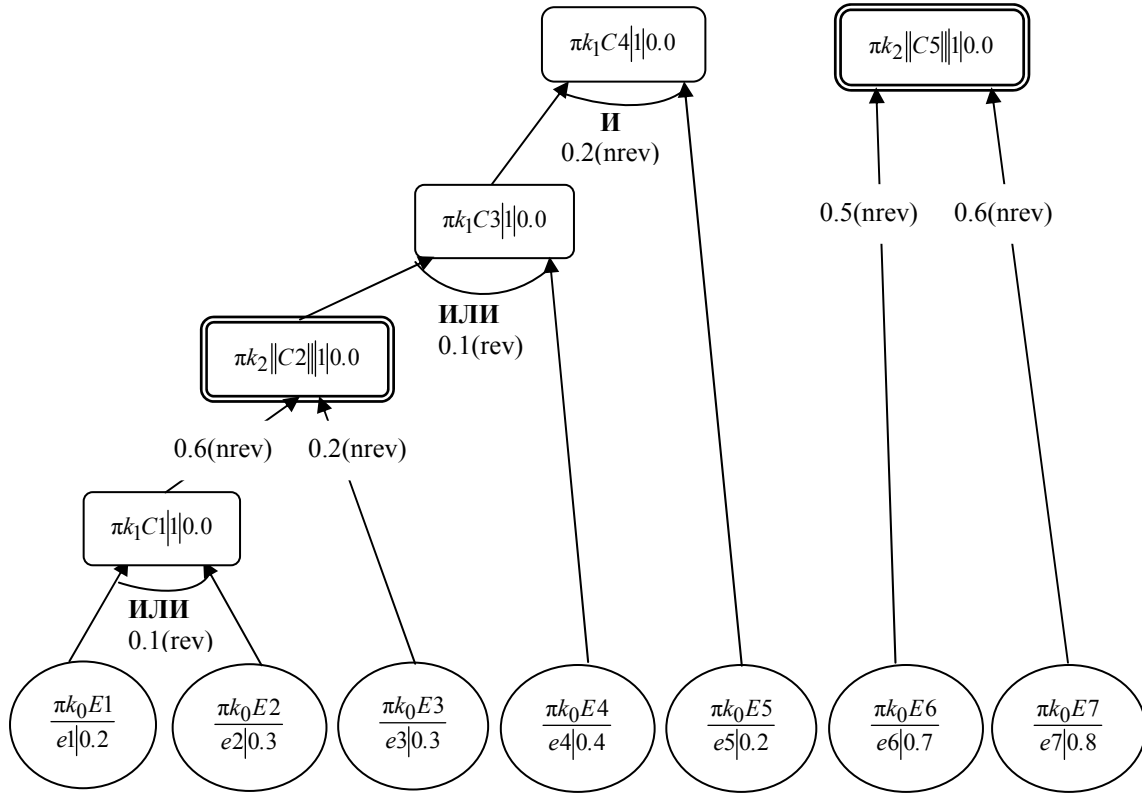


Рис. 3. Избыточная  $\pi$ -КСВР

$$\begin{aligned} \pi k_0 E1 &= [e1|0.2; 0; \emptyset; O] \pi k_0 E2 = [e2|0.3; 0; \emptyset; O] \\ \pi k_0 E3 &= [e3|0.3; 0; \emptyset; O] \pi k_0 E4 = [e4|0.4; 0; \emptyset; O] \\ \pi k_0 E5 &= [e5|0.2; 0; \emptyset; O] \pi k_0 E6 = [e6|0.7; 0; \emptyset; O] \\ \pi k_0 E7 &= [e7|0.8; 0; \emptyset; O] \end{aligned}$$

$$\pi k_1 C1 = \begin{bmatrix} e1|0.2; O, e2|0.3; O, \emptyset, \mathbf{O} : \emptyset|\emptyset : \\ : c1|0.1; O : 1|0.0(rev) \end{bmatrix},$$

$$\pi k_1 C3 = \begin{bmatrix} e2|0.0; O, e4|0.4; O, \emptyset, \mathbf{O} : \emptyset|\emptyset : \\ : c3|0.1; O : 1|0.0(rev) \end{bmatrix},$$

$$\pi k_1 C4 = \begin{bmatrix} c3|0.0; O, \emptyset, \mathbf{O} : e5|0.2; O, \emptyset, \mathbf{O} : \emptyset|\emptyset : \\ : c4|0.2; O : 1|0.0(nrev) \end{bmatrix},$$

$$\pi k_2 \|C2\| = \begin{bmatrix} \pi k_1^1 C2_2 = \begin{bmatrix} e3|0.3; O, \emptyset, \mathbf{O} : \emptyset|\emptyset : \\ : c2|0.2; O : 1|0.0(nrev) \end{bmatrix} \\ \pi k_1^2 C2_3 = \begin{bmatrix} c1|0.0; O, \emptyset, \mathbf{O} : \emptyset|\emptyset : \\ : c2|0.6; O : 1|0.0(nrev) \end{bmatrix} \end{bmatrix} 1|0.0(nrev),$$

$$\pi k_2 \|C5\| = \begin{bmatrix} \pi k_1^1 C5_6 = \begin{bmatrix} e6|0.7; O, \emptyset, \mathbf{O} : \emptyset|\emptyset : \\ : c5|0.5; O : 1|0.0(nrev) \end{bmatrix} \\ \pi k_1^2 C5_7 = \begin{bmatrix} e7|0.8; O, \emptyset, \mathbf{O} : \emptyset|\emptyset : \\ : c5|0.6; O : 1|0.0(nrev) \end{bmatrix} \end{bmatrix} 1|0.0(nrev).$$

(4)

В указанных выражениях символами « $\emptyset$ » обозначены резервные компоненты доменов, разделенные «:»; комбинация символов «: $\emptyset|\emptyset$ :» между двоеточиями служит признаком расширения  $\pi$ -кванта; символы « $\mathbf{O}$ », « $O$ », « $0$ » в домене и его компонентах используются как резервные ячейки для задания отрицания посылок и следствий.

**Шаг 3.** По информации СМ с помощью алгоритма АУПКСВ граф  $G_{\pi k} = (E_{\pi k}, \Gamma_{\pi k})$  оптимизируем относительно критерия

$$W_0(|E_{\text{онм}}| = \min|E|, |\Gamma_{\text{онм}}| = \min|\Gamma|)$$

оптимизации по свертке и по следствию. Получаем безыбыточный квантовый граф  $G_{\text{опт}} = (E_{\text{опт}}, \Gamma_{\text{опт}})$  задаваемый безыз-

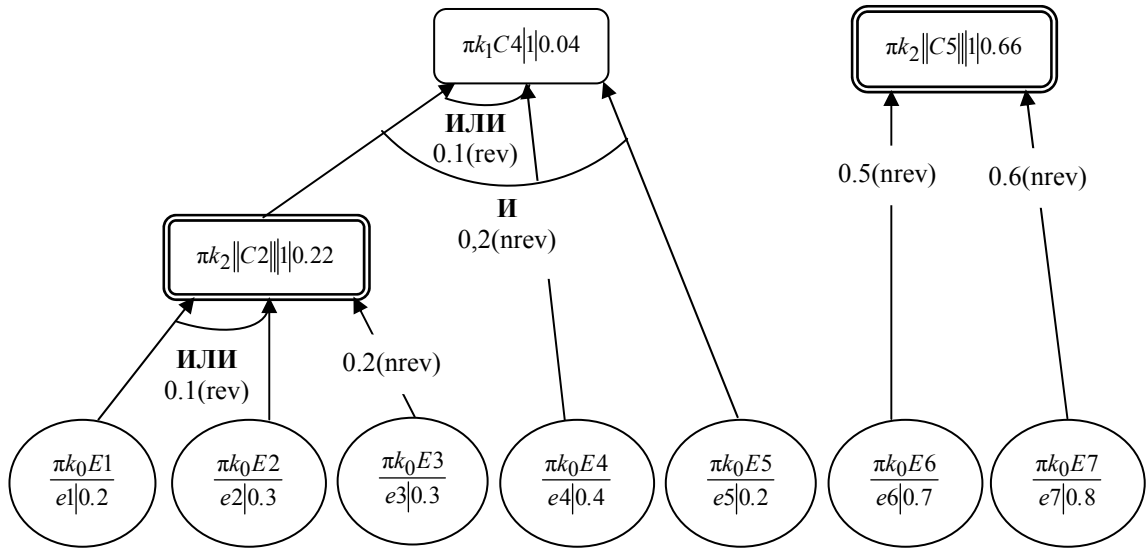


Рис. 4. Оптимальная  $\pi$ -КСВР

быточной матрицей бСМ, и отвечающий оптимальной по  $W_0$   $\pi$ -КСВР.

Полученная  $\pi$ -КСВР одновременно является оперативной базой знаний БкЗ и искомым обобщенным правилом принятия решений. По целевым заключениям-событиям С4 и С5 с вычисляемыми ПД РП классифицирует особые случаи в полете и выдаст команды летчику по выходу из данного особого случая.

Найденное решающее правило  $\pi$ -КСВР сохраняется в форме бСМ (ее вид не приводим из-за громоздкости), описывающей доменную и логическую структуру всех  $\pi$ -квантов сети.

В силу правил и действий АУПКСВ  $\pi_k1C1$  и  $\pi_k1C3$  оказались избыточным по свертке, в связи с чем в оптимальной  $\pi$ -КСВР на рис. 4  $\pi$ -кванты имеют вид:

$$\pi_k2||C2|| = \left[ \begin{array}{l} \pi_k1^1C2_8 = \left[ \begin{array}{l} e1|0.2; O, e2|0.3; O, \\ \cdot, \emptyset, \mathbf{O} :^1 \emptyset | \emptyset : \\ : c2|0.1; O : 1|0.0(rev) \end{array} \right] \\ \pi_k1^2C2_2 = \left[ \begin{array}{l} e3|0.3; O, \emptyset, \mathbf{O} :^2 \emptyset | \emptyset : \\ : c2|0.2; O : 1|0.0(nrev) \end{array} \right] \end{array} \right] 1|0.0(nrev),$$

$$\pi_k1C4_9 = \left[ \begin{array}{l} c2|0.0; O, e4|0.4; O, \emptyset, \mathbf{O} : e5|0.2; O, \emptyset, \mathbf{O} : \\ : \emptyset | \emptyset : c4|0.2; O : 1|0.0(nrev) \end{array} \right],$$

а целевой квант  $\pi_k2||C5||$  сохраняет прежнюю форму как в (4).

**Шаг 4.** Реализуем процесс вычисления ПД целевых заключений С4 и С5 в  $\pi$ -квантах  $\pi_k1C4$  и  $\pi_k2||C5||$ . Для этого используем исходные данные, алгоритмы АВЗИК и АВЗМАК [9].

$$d[C2] = d[e1ИЛИe2] + d[e3] - d[e1ИЛИe2] \cdot d[e3] =$$

$$= 0.3 \times 0.6 + 0.3 \times 0.2 - ((0.3 \times 0.6) \times (0.3 \times 0.2)) = 0.22.$$

$$d[C4] = \min(d[c2]ИЛИd[e4])Ид[e5] = 0.04.$$

$$d[C5] = d[e6] + d[e7] - d[e6] \cdot d[e7] = 0.7 \times 0.5 + 0.8 \times$$

$$\times 0.6 + (0.7 \times 0.5) \times (0.8 \times 0.6) = 0.35 + 0.48 + 0.35 \times 0.48 =$$

$$= 0.66.$$

Вычисленные значения ПД целевых заключений могут выдаваться РП как в мажоритарном виде, так и в виде одного заключения с наибольшим ПД.

Как видно из примера,  $d[C5] > d[C4]$ , следовательно, РП рекомендуется принять решение о выдаче команд летчику по парированию особого случая в полете «Отказ или произвольное срабатывание системы ликвидации помпажа» (перечень установленных команд РП выдается в текстовом режиме).

Заметим, что РП имеет возможность по своему усмотрению варьировать исходными данными при одной и той же  $\pi$ -КСВР в интерактивном режиме.

В случае неудовлетворительной  $B_{\kappa 3} = \pi$ -КСВР необходимо пересмотреть НТ-С и повторить цикл «дообучения» или «переобучения», используя АУПКСВ.

## 5. Экспериментальное исследование эффективности $\pi$ РАКЗ-моделей принятия решений

Важнейшим требованием к математической модели является ее эффективность. Наша задача состоит в экспериментальном оценивании эффективности  $\pi$ РАКЗ-моделей принятия решений как процесса логического вывода квантов следствий из квантов посылок в классе  $\pi$ -знаний  $M_{\pi}$  [6]. Этот процесс реализуется с помощью предварительно построенной системы импликативных и (или) функциональных закономерностей  $B_{\kappa 3}$  посредством алгоритмических операторов дедуктивного вывода, а также  $\pi$ -КСВР при решении базовых  $B_{\pi}$ ,  $C_{\pi}$ -задач.

Эффективность  $\pi$ РАКЗ-моделей принятия решений будем характеризовать величиной риска (ошибки) как отношения числа правильно принятых правил решений к общему количеству предъявляемых ситуаций. Задача экспериментального ис-

следования предложенных  $\pi$ РАКЗ-моделей свелась к опытному оцениванию их эффективности в процессе компьютерного решения реальных задач в исследуемой предметной области.

Как свидетельствуют результаты сравнения, показанные на графиках рис. 5, предложенные  $\pi$ РАКЗ-модели принятия решений по своей эффективности оказались лучшими по отношению к МАКЗ-методу [11] и продукционным моделям известной интеллектуальной системы Interexpert [12].

Из рис. 5 следует, что чем больше объем  $m$  обучающих  $\pi$ -знаний, тем меньше  $R_{\text{ср}}$ , т.е., тем выше эффективность  $\pi$ РАКЗ-моделей принятия решений. Действительно, уровень среднего риска  $\pi$ РАКЗ-моделей не превышает 8% (см. рис. 5) по всем экспериментально решаемым задачам ( $B_3$  – объем базы знаний).

Приведенные зависимости наглядно свидетельствуют о достаточно высокой эффективности исследованных  $\pi$ РАКЗ-моделей принятия решений, а также об их видимом преимуществе по отношению к наиболее известным моделям.

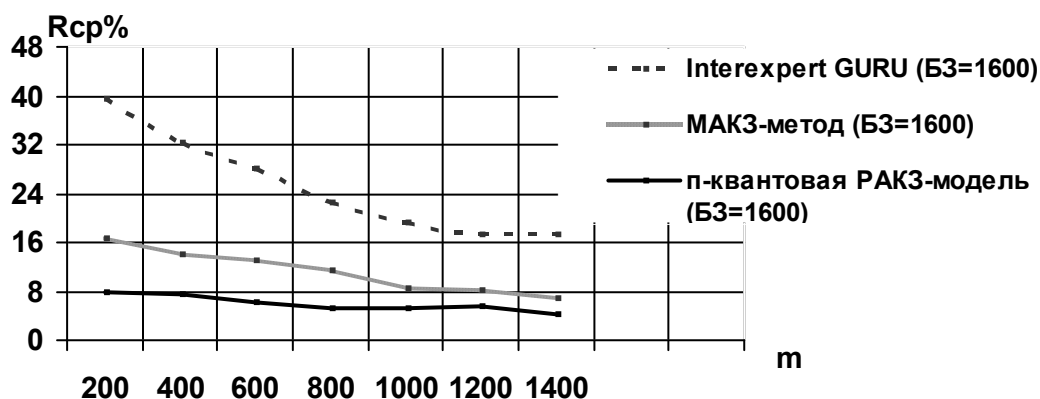


Рис. 5. Результаты сравнения по эффективности (средний риск ( $R_{\text{ср}}\%$ ) по совокупности 3-х задач)  $\pi$ РАКЗ-метода принятия решений с известными: МАКЗ-методом и системой Interexpert GURU



## Выводы

1) Таким образом, разработана инженерная методика решения  $V_{\pi}$ ,  $C_{\pi}$ -задач средствами  $\pi$ -КСВР, которая обеспечивает дальнейшее построение ЗСППР, пригодной для эксплуатации в реальных условиях, что повысит вероятность парирования последствий отказа технического устройства. Разработанная методика проиллюстрирована на примере решения базовых задач РП и летчиком.

2) Проведено экспериментальное исследование эффективности  $\pi$ РАКЗ-моделей принятия распознающих и прогнозных решений в исследуемой предметной области.

## Литература

1. Куренко А.Б. Поддержка принятия решений в системе «руководитель полетов-летчик-летательный аппарат» при условиях неопределенности методом разноуровневых алгоритмических квантов знаний // Труды 6-го Международного молодежного форума «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке». - Харьков: ХНУРЭ. - 2002. - Ч.2. - С.370-371.

2. Лернер И.И., Петров А.Б. Интеллектуальные системы и обеспечение безопасности полета // Проблемы безопасности полетов. - Москва: ВИНТИ. - 1998. - №11. С.61-65.

3. Федун Б.Е. Бортовые оперативно-советующие экспертные системы и семантический облик их базы знаний // Искусственный интеллект. - 2001. - №3. С.133-140.

4. Уоссерман Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика. - Москва: Мир. - 1992. - 240с.

5. Сироджа И.Б. Квантовые модели и методы искусственного интеллекта для принятия решений и управления. - Киев: Наукова думка. - 2002. - 420с.

6. Куренко А.Б., Сироджа И.Б. Синтез квантовых моделей представления нечетких знаний для приня-

тия приближенных решений в особых случаях управления полетами // Радиоэлектроника и информатика. - 2003. - №1. - С.61-66.

7. Сироджа И.Б., Петренко Т.Ю. Метод разноуровневых алгоритмических квантов знаний для принятия производственных решений при недостатке и нечеткости данных. - Киев: Наукова думка. - 2000. - 247с.

8. И.Б. Сироджа, А.Н. Колесников, А.Б. Куренко, А.Н. Богданов Методика синтеза и управления функционированием  $\pi$ -квантовой сети вывода решений в компьютерных системах специального назначения // Матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції «АВІА-2003». - Київ: НАУ. - 2003. - Том 1. - С.14.73-14.76.

9. Сироджа И.Б., Куренко А.Б. Синтез алгоритмов формирования заключений для принятия решений в особых случаях управления полетами на основе использования  $\pi$ -квантов знаний Радиоэлектроника. Информатика. Управление. - 2002. - №2. - С.112-117.

10. Куренко А.Б. Синтез алгоритма обучения логической сети нечетких рассуждений в системе «руководитель полетов – летчик - летательный аппарат» // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. - Харьков: ХАИ. - 2003. - Вып. 17. - С.110-114.

11. Сироджа И.Б. Математическое и программное обеспечение интеллектуальных компьютерных систем. - Харьков: ХАИ. - 1992. - Ч.1.-101с.

12. В.І. Московець, О.Ю. Соколов Експертні системи. - Харьков: ХАИ. - 1993. - Ч.1. - 67с.

*Поступила в редакцию 04.10.03*

**Рецензент:** д-р техн. наук, профессор Сироджа И.Б., Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков