

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 004.832

DOI: 10.22213/2410-9304-2022-4-48-55

### Модель управления режимами работы системы на основе матрицы решений

Г. А. Благодатский, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

М. М. Горохов, доктор физико-математических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Д. Е. Докучаев, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Е. В. Карачев, магистрант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

*В статье приводятся результаты применения модели управления режимами работы системы когнитивного радио. Основным подходом к реализации модели управления является стратегия достижения максимального результата в каждом сценарии применения системы (недостаток времени, ограничения на вычислительные мощности, экономия энергии). В качестве методов реализации модели управления выбраны иерархическая декомпозиция системы и ее анализ методом парных сравнений Саати с последующим формированием матриц расхода ресурсов по результатам оптимизации параметров функционирования системы в различных сценариях применения. Рассматривается иерархическая многоуровневая структура элементов системы, состоящая из четырех уровней, вводится функция эффективности передачи сигналов на заданной иерархии элементов системы. Приводится алгоритм управления системой на основе функции эффективности по матрице решений для четырех сценариев применения системы: полный объем необходимых ресурсов, доступна половина энергетического ресурса, энергетический ресурс почти исчерпан, временной ресурс подходит к концу.*

*В работе рассматриваются четыре режима цифровой передачи данных, три режима цифровой передачи речевых сообщений и шесть аналоговых режимов передачи сообщений в системе когнитивного радио. Приводится оценка максимальной эффективности передачи сигналов в каждом из рассмотренных режимов в соответствии с предложенной иерархией элементов системы. Проводится анализ результатов работы системы когнитивного радио по предложенной модели управления. В работе показано, что в цифровых режимах при управлении по предложенной модели снижение эффективности происходит значительно медленнее, чем при использовании аналоговых режимов, кроме того, в цифровых режимах значительно снижается скорость расхода ресурсов, в то время как в аналоговых режимах она резко возрастает для поддержания максимальной эффективности.*

**Ключевые слова:** матрица решений, база знаний, иерархия параметров, алгоритм управления, радиосистема.

#### Введение

На сегодняшний день при разработке технической системы необходимо обеспечить снижение трудоемкости работы пользователя, повышение удобства использования, возможность работы пользователя без наличия у него специальных технических знаний [1]. Для этого в системах вводят механизмы адаптации к окружающей среде и элементы искусственного интеллекта [2] (базы знаний, матрицы решений).

Структура системы должна включать устройства анализа состояния как самой системы, так и внешней географической, ситуационной и помеховой обстановки, динамической и автономной корректировки эксплуатационных параметров и протоколов согласно полученным знаниям (базы знаний) для достижения заранее

поставленных целей [3]. В системе должен быть и механизм обучения на основе полученных результатов работы системы (матрицы решений).

Целью работы является обеспечение максимума достоверности передачи сигнала путем применения модели управления режимами работы в системе когнитивного радио по матрице решений.

Рассмотрим введение подобного механизма на примере когнитивной радиосистемы [4].

#### Методы исследования

Рассмотрим иерархическую систему [5] передачи радиосигналов, вершину системы  $I_0$  [6], работу системы когнитивной радиосвязи.

Первый уровень системы  $I_1$  составляют силы:

$$W_{I_1} = \{W_{I_1,j}\}, j = \overline{1, n_{I_1}}, \quad (1)$$

оказывающие влияние на качественный прием-передачу сигналов. Это будут силы, формируемые процессами, происходящими в работающей электрической части сети приемо-передатчиков  $W_{I_1,1}$ , противником, создающим помеховую обстановку  $W_{I_1,2}$  и природно-географические факторы  $W_{I_1,3}$ .

Уровень  $I_2$  – активные элементы:

$$W_{I_2} = \{W_{I_2,j}\}, j = \overline{1, n_{I_2}}, \quad (2)$$

где  $W_{I_2,1}$  – внутреннее состояние системы;  $W_{I_2,2}$  – устройство наблюдателя;  $W_{I_2,3}$  – регулятор, вырабатывающий управляющие воздействия;  $W_{I_2,4}$  – управляемый процесс передачи сигналов.

Уровень  $I_3$  – цели:

$$W_{I_3} = \{W_{I_3,j}\}, j = \overline{1, n_{I_3}}, \quad (3)$$

где  $W_{I_3,1}$  – максимизация скорости передачи данных;  $W_{I_3,2}$  – максимизация достоверности передачи;  $W_{I_3,3}$  – минимизация расхода энергии;  $W_{I_3,4}$  – минимизация расхода вычислительных ресурсов.

Уровень  $I_4$  – действия акторов:

$$W_{I_4} = \{W_{I_4,j}\}, j = \overline{1, n_{I_4}}, \quad (4)$$

где  $W_{I_4,1}$  – управление мощностью передатчика;  $W_{I_4,2}$  – управление скоростью передачи;  $W_{I_4,3}$  – управление несущей частотой;  $W_{I_4,4}$  – управление регламентом связи;  $W_{I_4,5}$  – управление типом принимаемых СКК;  $W_{I_4,6}$  – управление алгоритмом обработки сигналов.

Возможные комбинации значений управляемых параметров формируют уровень сценариев

$$I_5 \quad W_{I_5} = \{W_{I_5,j}\}, j = \overline{1, n_{I_5}}.$$

Требуется оценить различные сценарии применения системы по уровню достижения цели и выбрать лучший режим работы в каждом сценарии.

Пусть цель системы – обеспечение максимума достоверности передачи сигнала:

$$F(\vec{c}, \vec{x}) = \sum_{j=1}^n c_j x_j \rightarrow \max, \quad (5)$$

где коэффициенты вектора  $\vec{c} = \{c_j\} = \{w_{I_4,j}\}$ ,  $j = \overline{1, n}$  – это глобальные веса уровня управляющих параметров системы (4),  $\vec{x} = \{x_j\}$ ,  $j = \overline{1, n}$ .

На задачу наложены ограничения по ресурсам ( $b_1$  – энергетические затраты на передачу;  $b_2$  – вычислительная нагрузка на приемо-передатчик;  $b_3$  – длительность сеанса связи), которые формируют вектор ограничений:

$$\vec{b} = \{b_i\}, i = \overline{1, m}. \quad (6)$$

Расход ресурсов [7] задается матрицей  $A = \{a_{ij}\}$ ,  $i = \overline{1, m}$ ,  $j = \overline{1, n}$ .

Представим ограничения на задачу в виде (4):

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + a_{14}x_4 + a_{15}x_5 \leq b_1, \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + a_{24}x_4 + a_{25}x_5 \leq b_2, \\ a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 + a_{34}x_4 + a_{35}x_5 \leq b_3. \end{cases} \quad (7)$$

Проведем нормирование переменных и ограничений в диапазон  $[0, 1]$ :

$$\vec{x} = \{x_j \in [0, 1]\}, j = \overline{1, n}, \quad (8)$$

$$\vec{b} = \{b_i \in [0, 1]\}, i = \overline{1, m}. \quad (9)$$

Строки матрицы расхода ресурсов также составляют нормированные значения расхода ресурсов по сумме элементов:

$$A = \{a_{ij} : \sum_{j=1}^n a_{ij} = 1\}, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}, \quad (10)$$

где коэффициенты  $a_{ij}$  матрицы  $A$  (по  $i$  строкам) показывают ресурсоемкость управляющих воздействий  $b_i$ . Оптимизационная задача (5)–(7) решается симплекс-методом [8].

Пусть  $E_i$ ,  $i = \overline{1, m}$  – режим работы системы.  $E_i$  выбирается с учетом внешних условий  $F_j$ ,  $j = \overline{1, m}$ , где  $n$  – рассматриваемые комбинации объемов ресурсов  $b$  (7). Функция (5) – безразмерный коэффициент эффективности  $e_{ij}$  (элемент матрицы решений) для соответствующего режима работы ( $E_i$ ) и условий применения ( $F_j$ ). Каждому режиму работы системы  $E_i$  соответствует  $e_{ir}$  (в соответствии с критериями принятия решений в условиях неопределенности [9–15]). Выбор режима:

$$E_0 = \{E_i : e_{ir} = Z_k, i = \overline{1, m}\}. \quad (11)$$

$$Z_{MM} = \max_i e_{ir}, e_{ir} = \max_j e_{ir}. \quad (13)$$

Например, матрица решений для  $l$  вариантов  $Z_k$ :

$F_j$	$F_1$	$F_1$	...	$F_1$	$Z_{k_1} \dots Z_{k_l}$
$E_i$	$q_1$	$q_1$	...	$q_1$	
$E_1$	$e_{11}$	$e_{11}$	...	$e_{1n}$	$e_{1r1} \dots e_{1rl}$
$E_2$	$e_{21}$	...		$e_{2n}$	$e_{2r1} \dots$
...	...				...
$E_m$	$e_{m1}$	...		$e_{mn}$	$e_{mr1} \dots e_{mrl}$

$Z_{BL}$  – критерий Байеса – Лапласа (14).

$$Z_{BL} = \max_i e_{ir}, e_{ir} = \sum_{j=1}^n e_{ir} q_j, \quad (14)$$

где  $\sum_{j=1}^n q_j = 1$ .

**Управление режимами работы системы**

Режимам системы когнитивного радио из множества  $E_0$  соответствуют максимумы функции (5) для каждого  $F_j$  при определенном уровне воздействия на параметры режима  $x_i$  (8). Введем модель управления параметрами режимов системы по матрице решений (рис. 1).

где  $e_{ij}$  – это значения функции (5) (безразмерный коэффициент эффективности) для соответствующего режима работы ( $E_i$ ) и условий применения ( $F_j$ ). Возьмем  $Z_k = \{Z_{MM}, Z_{BL}\}$ , как наиболее применимые на практике.

$Z_{MM}$  – минимаксный критерий (13).

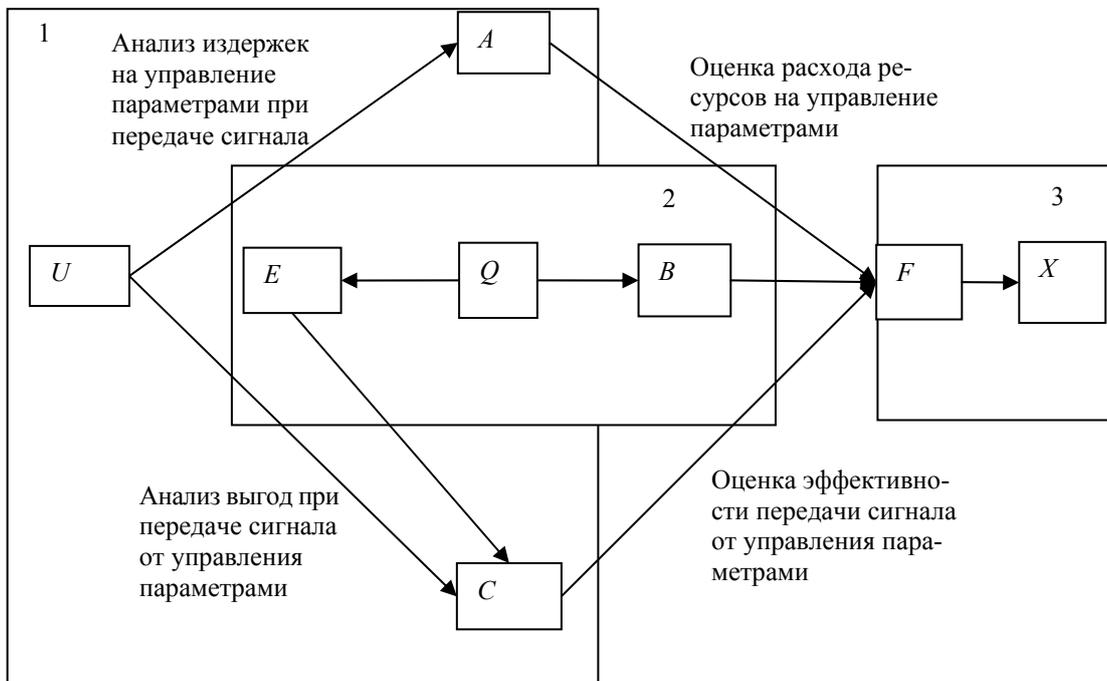


Рис. 1. Схема модели управления режимами работы когнитивной радиосистемы

Fig. 1. Cognitive radio system operation modes controlling model

На рис. 1: 1 – подсистема анализа иерархий; 2 – подсистема формирования сценариев; 3 – подсистема оптимизации;  $U$  – иерархия воздействия управляющих параметров на достижение цели передачи сигнала, в соответствии с вариантом исполнения устройства (режима работы устройства связи);  $E$  – параметры окружающей среды (состояние атмосферы, рельеф местности, время суток, преднамеренные и случайные помехи);  $Q$  – множество рассматриваемых сценариев работы системы;  $B$  – уро-

вень запасов ресурсов на управление параметрами и ограничения на их использование;  $A$  – матрица расхода ресурсов;  $C$  – вектор целевой функции достижения максимальной эффективности (определяется методом анализа иерархий по варианту  $U$ );  $F$  – оптимизационная модель;  $X$  – решение об уровне активации управляющих параметров.

Алгоритм управления режимами работы когнитивной радиосистемы [16] приведен на рис. 2.

На рис. 2:  $C(U)$  – коэффициенты целевой функции по выбранной иерархии;  $A(b)$  – матрица расхода ресурсов;  $E$  – матрица решений;  $Z_k$  –

критерии принятия решений;  $E_0$  – множество оптимальных решений для  $F_j$ .

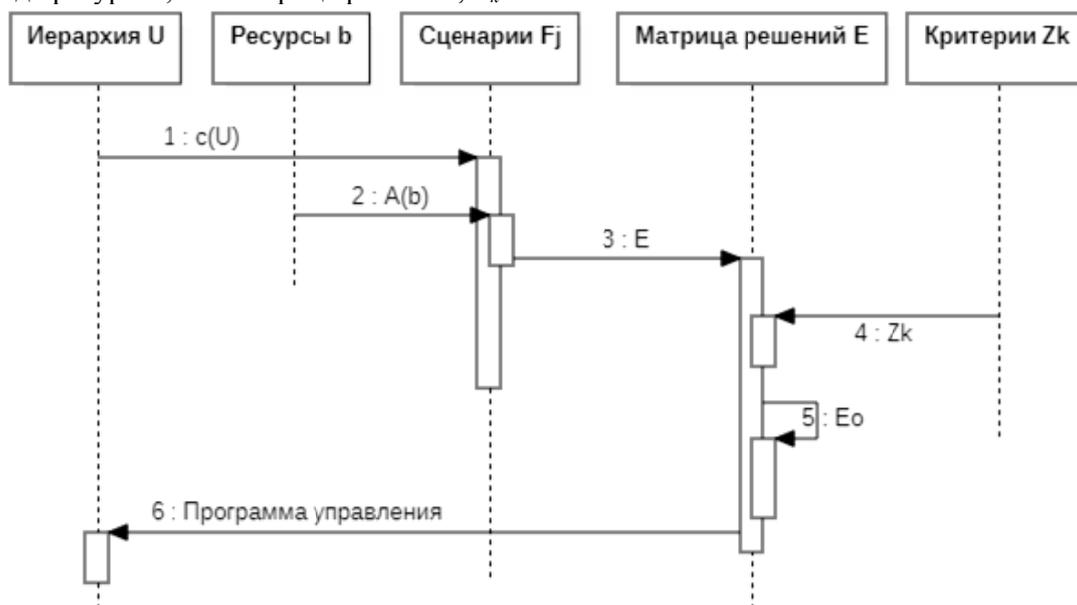


Рис. 2. Алгоритм управления режимами работы системы

Fig. 2. System operating modes controlling algorithm

При изменении  $U$  алгоритм запускается с пункта 1. При изменении распределения внешних событий – с пункта 3. При повторном принятии решения – с пункта 5.

Проведем анализ применения режимов системы при различных сценариях ( $F_j$ ): все ресурсы в наличии ( $F_1$ ), энергетический ресурс доступен

на половину ( $F_2$ ), запас энергии мал (20 % от полного) ( $F_3$ ) и временной ресурс сильно ограничен (менее 10 % отпущенного времени на сеанс) ( $F_4$ ).

#### Результаты

Для аналоговых режимов СКР матрица решений приведена в табл. 1.

Таблица 1. Матрица решений в аналоговых режимах

Table 1. Decision matrix for analog modes data transmission

$E_i$	Мощность	Регламент	Тип СКК (вид модуляции)	Частота	Полоса	$F$			
						$q$			
						$F_1$ 0,4	$F_2$ 0,3	$F_3$ 0,2	$F_4$ 0,1
1	1 Вт 10Вт 100Вт	Временной симплекс	A1A – амплитудный телеграф	3...30 МГц ВЧ (HF)	1кГц	1,161	0,724	0,334	0,605
2	1 Вт 10Вт 100Вт	Временной симплекс	J3E – Однополосная амплитудная телефония с подавленной несущей (до -40 дБ)	3...30 МГц ВЧ (HF)	3,1 кГц	1,204	0,734	0,451	0,406
3	1Вт 3Вт 10Вт	Временной симплекс	F3E – Частотная телефония	30...300 МГц ОВЧ (VHF)	12,5 кГц	1,592	1,317	0,526	0,324
4	1Вт 3Вт 10Вт	Временной симплекс	F3E – Частотная телефония	300...3000 МГц УВЧ (UHF)	12,5 кГц	1,136	0,934	0,616	0,349
5	1Вт 3Вт 10Вт	Временной симплекс	A3E – двухполосная амплитудная телефония	30...300 МГц ОВЧ (VHF)	12,5 кГц	1,194	0,706	0,383	0,426
6	1Вт	Временной	A3E – двухпо-	300...3000	12,5 кГц	1,211	0,781	0,468	0,390

	3Вт 10Вт	симплекс	полосная амплитудная телефония	МГц УВЧ (UHF)					
Мах						1,592	1,317	0,616	0,605

В ситуации  $F_2$  система начинает работать в режиме  $E_3$ , все усилия направлены на обеспечение максимально мощного сигнала и управление правильным формированием СКК. При наступлении события  $F_2$  система может оставаться в режиме  $E_3$  при формировании помехо-

устойчивых СКК. В условиях  $F_3$  необходимо перейти в режим работы  $E_4$  (управление СКК). При  $F_4$  – перейти в режим работы  $E_1$  и управлять энергетикой радиолинии.

Для цифровых режимов работы матрицы решений приведены в табл. 2 и 3.

Таблица 2. Матрица решений при передаче цифровых данных

Table 2. Decision matrix for digital data transmission

F									
$E_i$	Мощность	Скорость	Тип СКК (вид модуляции)	Частота	Полоса	q			
						$F_1$ 0,4	$F_2$ 0,3	$F_3$ 0,2	$F_4$ 0,1
1	1 Вт 10Вт 100Вт	75	SSB ЧВС	3...30 МГц ВЧ (HF)	3,1кГц, 20 кГц	1,18	0,786	0,355	0,283
2	1 Вт 10Вт 100Вт	200 400 800 1200 2400	OFDM ЧВС SSB ЧТ	3...30 МГц ВЧ (HF)	3,1кГц 20 кГц 3,1кГц 3,1кГц	1,209	0,884	0,408	0,567
3	1Вт 3Вт 10Вт	2,4 кбит/с 9,6 кбит/с	4FSK QPSK QPSK	30...300 МГц ОВЧ (VHF)	6,25/12,5 кГц 6,25/12,5 кГц 25/50/100/150 кГц	1,256	0,863	0,383	0,762
4	1Вт 3Вт 10Вт	2,4 кбит/с 9,6 кбит/с	4FSK QPSK QPSK	300...3000 МГц УВЧ (UHF)	6,25/12,5 кГц 6,25/12,5 кГц 25/50/100/150 кГц 12,5кГц	1,359	0,818	0,327	0,794

Система начинает работать при  $F_1$  в режиме  $E_4$ , управляя мощностью передающего устройства. При наступлении  $F_2$  переход в  $E_2$ , управ-

ление СКК и несущей частотой. При  $F_3$  – режим  $E_2$ , управление СКК. В сценарии  $F_4$  задействуется  $E_4$ , управляя энергетикой радиолинии.

Таблица 3. Матрица решений при передаче цифровой речи

Table 3. Decision matrix for digital speech transmission

F									
$E_i$	Мощность	Скорость	Тип СКК (вид модуляции)	Частота	Полоса	q			
						$F_1$ 0,4	$F_2$ 0,3	$F_3$ 0,2	$F_4$ 0,1
1	1 Вт 10Вт 100Вт	2400 1200 800	OFDM (SSB) QPSK	3...30 МГц ВЧ (HF)	3,1 кГц 3,1 кГц	1,087	0,695	0,334	0,303
2	1Вт 3Вт 10Вт	2400 1200 800	4FSK QPSK QPSK	30...300 МГц ОВЧ (VHF)	6,25/12,5 кГц 6,25/12,5 кГц 25/50/100/150 кГц	1,09	0,622	0,279	0,492
3	1Вт 3Вт 10Вт	2400 1200 800	4FSK QPSK QPSK	300...3000 МГц УВЧ (UHF)	6,25/12,5 кГц 6,25/12,5 кГц 25/50/100/150 кГц 12,5кГц	1,248	0,728	0,292	0,522

Система начинает работать при  $F_1$  в режиме  $E_3$ , управляя мощностью передачи и СКК. При  $F_2$  система остается в том же режиме, усилия направлены на формирование СКК. При  $F_3$  – включается  $E_1$ , управление скоростью формирования и СКК. При  $F_4$  –  $E_3$ , где все усилия на-

правлены на повышение энергетикой радиолинии.

#### Обсуждение

При передаче информации в аналоговых режимах (табл. 1) нужно начинать работать в ре-

жиме  $E_3$  и применять более помехоустойчивые СКК.

При передаче информации в цифровых режимах (табл. 2) при  $F_3$  – режим  $E_2$ , управление СКК. При  $F_4$  – режим работы  $E_4$ , управление мощностью передачи.

При передаче речи в цифровых режимах (табл. 3) при  $F_3$  – режим  $E_1$ , управляя СКК. При  $F_1$ – $E_3$  попытаться осуществить передачу с уровнем сигнала больше уровня шума. В цифровых режимах при наступлении энергетических и временных ограничений уменьшается ресурсоемкость системы, но и снижается эффективность работы.

#### Заключение

В статье приведены результаты применения модели управления режимами работы системы на основе матрицы решений для когнитивной радиосистемы.

При наступлении временных ограничений эффективно увеличение энергетики радиолинии. При работе в цифровых режимах снижение эффективности происходит не так быстро, как в аналоговых режимах. Анализ работы радиосистемы при энергетических ограничениях также показывает более медленное снижение эффективности в цифровых режимах, кроме того, в цифровых режимах значительно снижается скорость расхода ресурсов при выборе режима  $E_0$ , в то время как в аналоговых режимах этот эффект не наблюдается.

#### Библиографические ссылки

1. Смирнов В. А., Подоплекин Ю. Ф. Оценка качества интеллектуальной системы для контроля технических объектов // Стандарты и качество. 2021. № 8. С. 98–103. DOI 10.35400/0038-9692-2021-8-98-103.
2. Тагирова К. Ф., Шалунов И. С., Вульфин А. М. Современные интеллектуальные информационные технологии в нефтяной промышленности // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2022. Т. 26, № 3 (97). С. 78–89. DOI 10.54708/19926502\_2022\_2639778.
3. Механизмы самообучения в мультиагентных робототехнических группировках на основе эволюционного леса деревьев классификации / В. М. Лохин, С. В. Манько, С. А. К. Диане [и др.] // Мехатроника, автоматизация, управление. 2017. Т. 18, № 3. С. 159–165. DOI 10.17587/mau.18.159-165.
4. Анализ иерархической модели автоматизированной системы управления параметрами радиолиний когнитивной радиосистемы / Г.А. Благодатский, А. Н. Копысов, В. В. Хворенков, И. С. Батуринов // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2018. № 6 (10). С. 51–67.

5. Саати Т. Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети. М. : Изд-во ЛКИ, 2008. – 360 с.

6. Saaty, Thomas L. Relative Measurement and its Generalization in Decision Making: Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors - The Analytic Hierarchy/Network Process // RACSAM (Review of the Royal Spanish Academy of Sciences, Series A, Mathematics) : journal. 2008. June (vol. 102, no. 2). P. 251–318.

7. К вопросу применения метода парных сравнений при разработке когнитивных систем связи / А. Н. Копысов, Г. А. Благодатский, В. В. Хворенков [и др.] // Технологии разработки и отладки сложных технических систем : сборник материалов VI Всероссийской научно-практической конференции, Москва, 27–28 марта 2019 года / Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Центр инженерных технологий и моделирования «Экспонента». М. : Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет), 2019. С. 106–115.

8. Канторович Л. В. Математические методы организации планирования производства. Л. : Издание Ленинградского государственного университета, 1939.

9. Ларичев О. И., Кожухаров А. Н. Многокритериальная задача о назначениях // Автоматика и телемеханика. 1977. № 7. С. 71–87.

10. Lootsma F. Scale sensitivity in the multiplicative AHP and SMART // J. Multi-Criteria Decision Analysis.: 1993. Pp.87-110.

11. Lootsma F. The multiplicative AHP, SMART and ELECTRE in a common context / F. Lootsma, H. Schuijt // Journal of Multi-Criteria Decision Analysis.: 1997. Pp. 185-196.

12. Миркин Б. Г. Методы кластер-анализа для поддержки принятия решений: обзор. М. : ВШЭ, 2011. 88 с.

13. Черноруцкий И. Г. Методы принятия решений. СПб. : СПбГПУ, 2012. 318 с.

14. Холодов П. Н. Выбор оптимального решения в проектировании железных дорог на основе многокритериальной оценки : дис. ... канд. техн. наук. Иркутск, 2012. 168 с.

15. Bernasconi M. The Analytic Hierarchy Process and the Theory of Measurement / M. Bernasconi, C. Choirat, R. Seri // Management Science. 2010. Pp.699-711.

16. Кравченко К. А., Благодатский Г. А., Копысов А. Н. Автоматизация процесса консолидации результатов экспертиз по МАИ // Системы компьютерной математики и их приложения. 2021. № 22. С. 56–62.

#### References

1. Smirnov V.A., Podoplekin Ju.F. [Assessment of the quality of an intelligent system for the control of technical

objects]. *Standarty i kachestvo*. 2021 no. 8, pp. 98-103 (in Russ.), DOI 10.35400/0038-9692-2021-8-98-103.

2. Tagirova K.F., Shalupov I.S., Vul'fin A.M. [Modern intelligent information technologies in the oil industry]. *Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviacionnogo tehnikeskogo universiteta*. 2022. Vol. 26, no. 3, pp. 78-89 (in Russ.), DOI 10.54708/19926502\_2022\_2639778.

3. Lohin V.M., Man'ko S.V., Diane S.A.K. [Self-Learning Mechanisms in Multi-Agent Robotic Groups Based on the Evolutionary Forest of Classification Trees]. *Mehatronika, avtomatizacija, upravlenie*. 2017. Vol. 18, no. 3, pp. 159-165 (in Russ.), DOI 10.17587/mau.18.159-165.

4. Blagodatsky G.A., Kopysov A.N., Khvorenkov V.V., Baturin I.S. [Analysis of the hierarchical model of the automatic control system for the parameters of the radio links of the cognitive radio system]. *Science-intensive technologies in space research of the Earth*. 2018. No. 6. Pp. 51-67 (in Russ.).

5. Saati T.L. *Decision making under dependencies and feedback: Analytical networks*. Moscow : Publishing house LKI, 2008. 360 p. (in Russ.).

6. Saaty, Thomas L. *Relative Measurement and its Generalization in Decision Making: Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors - The Analytic Hierarchy/Network Process*. In *RACSAM (Review of the Royal Spanish Academy of Sciences, Series A, Mathematics)* : journal. 2008. June (vol. 102, no. 2). P. 251-318.

7. Kopysov A. N., Blagodatsky G.A., Khvorenkov V.V. [and others]. [On the issue of applying the method of paired comparisons in the development of cognitive communication systems] *Technologies for the development and debugging of complex technical systems: a collection Proceedings of the VI All-Russian Scientific and Practical Conference, Moscow, March 27–28, 2019 / Moscow State Technical University named after N.E.*

Bauman (National Research University), Center for Engineering Technologies and Modeling "Exponent". – Moscow: Moscow State Technical University named after N.E. Bauman (National Research University), 2019. Pp. 106-115 (in Russ.).

8. Kantorovich L.V. [Mathematical methods of organization of production planning]. Leningrad, Edition of the Leningrad State University, 1939 (in Russ.).

9. Larichev O. I., Kozhukharov A. N. [Multicriteria assignment problem]. *Automation and Telemekhanics*. 1977. No. 7. Pp. 71-87 (in Russ.).

10. Lootsma F. Scale sensitivity in the multiplicative AHP and SMART. In *J. Multi-Criteria Decision Analysis*.: 1993. Pp.87-110.

11. Lootsma F. The multiplicative AHP, SMART and ELECTRE in a common context / F. Lootsma, H. Schuijt. In *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*.: 1997. Pp.185-196.

12. Mirkin B. G. [Cluster analysis methods for decision support: a review]. Moscow: VSHE, 2011. 88 p. (in Russ.).

13. Chernorutsky I. G. [Decision making methods]. St. Petersburg: SPbGPU, 2012. 318 p. (in Russ.).

14. Kholodov P. N. *Vybor optimal'nogo resheniya v proektirovanii zheleznykh dorog na osnove mnogokriterial'noi otsenki* [Choice of the optimal solution in the design of railways based on multi-criteria assessment]. PhD thesis. Irkutsk, 2012. 168 p. (in Russ.).

15. Bernasconi M. *The Analytic Hierarchy Process and the Theory of Measurement / M. Bernasconi, C. Choirat, R. Seri*. In *Management Science*. 2010. Pp.699-711.

16. Kravchenko K. A., Blagodatsky G. A., Kopysov A. N. [Automation of the process of consolidating the results of examinations in MAI]. *Computer mathematics systems and their applications*. 2021. No. 22. Pp. 56-62 (in Russ.).

\*\*\*

### Mode Control Model Based on Decision Matrix

G. A. Blagodatsky, PhD in Engineering, Assoc. Prof. Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

M. M. Gorokhov, Dr Sc in Physics and Mathematics, Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

D. E. Dokuchaev, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

E. V. Karachev, Master Degree Student, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

*The article presents the application results of cognitive radio system model for mode control. The main approach to control model is the strategy of maximum result achievement for each scenario of system application (lack of time, limitations on computing power, energy savings). The system hierarchical decomposition and its analysis by the Saaty pair comparison method were chosen as methods control model implementation, followed by the resource consumption matrices based on the results of optimizing the parameters of the system functioning in various application scenarios. A hierarchical multilevel structure of system elements, consisting of four levels, is considered, and a function of signal transmission efficiency via a given hierarchy of system elements is introduced. Algorithm system control based on the efficiency function according to the decision matrix for four scenarios of system application is given: the full amount of necessary resources, half of the energy resource is available, the energy resource is almost exhausted, the lack of time situation. The paper considers four modes of digital data transmission, and three modes of voice message digital transmission and six analog modes of message transmission in a cognitive radio system. Evaluation of signal transmission maximum efficiency for each of the considered modes is given in accordance with the proposed hierarchy of system elements. The analysis of the results of cognitive ra-*

dio system operation according to the proposed control model is carried out. The paper shows that in digital modes, when controlled according to the proposed model, the decrease in efficiency occurs much more slowly than when using analog modes, in addition, in digital modes, the resource consumption rate is significantly reduced, while in analog modes it increases sharply to maintain maximum efficiency.

**Keywords:** decision matrix, knowledge base, hierarchy of parameters, control algorithm, radio system.

Получено: 02.11.22

#### Образец цитирования

Благодатский Г. А., Горохов М. М., Докучаев Д. Е., Карачев Е. В. Модель управления режимами работы системы на основе матрицы решений // Интеллектуальные системы в производстве. 2022. Том 20, № 4. С. 48-55. DOI: 10.22213/2410-9304-2022-4-48-55.

#### For Citation

Blagodatskii G.A., Gorokhov M.M., Dokuchaev D.E., Karachev E.V. [A model for controlling system operation modes based on a decision matrix]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. 2022, vol. 20, no. 4, pp. 48-55 (in Russ.). DOI: 10.22213/2410-9304-2022-4-48-55.