

УДК 004.81

## МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЦЕНКИ ПРОФПРИГОДНОСТИ ОПЕРАТОРА ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**Петухов И. В.**

*ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Йошкар-Ола, Россия (424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3), e-mail: PetuhovIV@volgatech.net*

---

Разработана обобщенная многоэтапная методология построения системы поддержки принятия решений при оценке профпригодности оператора эргатических объектов на основе приобретения, обработки и представления знаний об операторской деятельности. Методология базируется на триадной системной концепции и объединяет подходы к оценке профпригодности на основе профессиограмм и посредством оценки успешности операторской деятельности на отдельных ее этапах и на сенсорном, когнитивном и моторном уровне операторских действий. Разработана модель цикла оценки профпригодности, реализованная в виде пространственной структуры системных знаний. Представлен алгоритм действий, описывающих процедуру оценки операторской профпригодности. Практическая реализация системы оценки профпригодности может быть осуществлена с использованием методов интеллектуального анализа данных и систем поддержки принятия решений для широкой номенклатуры операторских профессий и должностей.

---

Ключевые слова: система поддержки принятия решений, оператор, эргатические системы, профпригодность.

## METHODOLOGICAL FRAMEWORK FOR HUMAN-OPERATOR APTITUDE RESEARCH IN THE ERGATIC SYSTEMS

**Petukhov I. V.**

*Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russia (424000, Yoshkar-Ola, sq. Lenina, 3), e-mail: PetuhovIV@volgatech.net*

---

The generalized multi-stage methodology for the decision support system in the evaluation of the operator proficiency ergatic objects based on the acquisition, processing and representation of knowledge of operator activity. The methodology is based on the triad of the system concept and combines approaches to assessing proficiency based profессиogram and by assessing the success of operator activity in certain stages and sensory, motor and cognitive levels of operator actions. The model of the evaluation cycle proficiency, realized as the spatial structure of the system of knowledge. The algorithm of actions describing the procedure for evaluating the operator's proficiency. Practical implementation of the evaluation system skills assessment can be carried out using the methods of data mining and decision support systems for a wide range of operator occupations and positions.

---

Key words: decision support system, the operator ergatic systems, capabilities.

### **Введение**

Большинство типичных техногенных объектов на сегодня представляют собой эргатические системы, под которыми понимают сложные системы управления, составным элементом которой является человек-оператор. При этом человек-оператор является главным источником возникновения внештатных и аварийных ситуаций в эргатических системах, провоцируя до 70 % их из общего количества инцидентов [7].

Анализ деятельности оператора свидетельствует, что ошибки оператора проявляются в трех функциональных частях: мотивационной, ориентировочной и исполнительной. При этом наиболее действенными мерами по снижению аварийных ситуаций и несчастных случаев на производстве является профилактика нарушений исполнительной части, а именно – профессиональный отбор кандидатов на операторские должности [4].

В связи с этим возникает задача определения профпригодности операторов, решение которой является важным и актуальным для повышения надежности человека-оператора в структуре эргатической системы.

Целью работы является разработка методологии оценки профпригодности оператора эргатических систем, обеспечивающей требуемую точность и достоверность оценки.

### **Методы исследования**

Для успешного обучения и эффективной профессиональной деятельности оператор должен обладать соответствующими профессионально-важными качествами (ПВК), которые определяются как физические, анатомо-физиологические, психические и личностные свойства человека, необходимые для решения его профессиональных задач [1].

В связи с этим разработаны многочисленные подходы к оценке ПВК, основанные на методах тестирования и лабораторного эксперимента и направленные на моделирование операторской деятельности.

В настоящее время наиболее известны подходы к оценке профпригодности на основе профессиограмм [3, 2] и посредством оценки успешности операторской деятельности на отдельных ее этапах [6].

В то же время следует отметить, что задача оценки профпригодности оператора не тривиальна в силу сложных перекрестных связей между ПВК, сложности интерпретации результатов тестирования и формализации процессов операторской деятельности. До сих пор недостаточно изучены вопросы выбора отдельных ПВК, их взаимосвязь с успешностью операторской деятельности, отсутствует единый методический подход к проведению исследований, наблюдается неполнота решения проблемы профотбора оперативного персонала эргатических систем на основе достижений современных интеллектуальных технологий.

Для представления и анализа знаний о профессиональной деятельности человека-оператора в структуре эргатической системы управления представим процесс взаимодействия человека-оператора, технической системы и среду в виде семантической сети, как показано на рис. 1.

Введем понятие акта операторской деятельности: под актом операторской деятельности понимаем законченную последовательность отдельных неповторяющихся операторских действий, реализующих единичный цикл управления.

Согласно этому в дальнейшем будем рассматривать операторскую деятельность в виде циклического выполнения актов операторской деятельности.

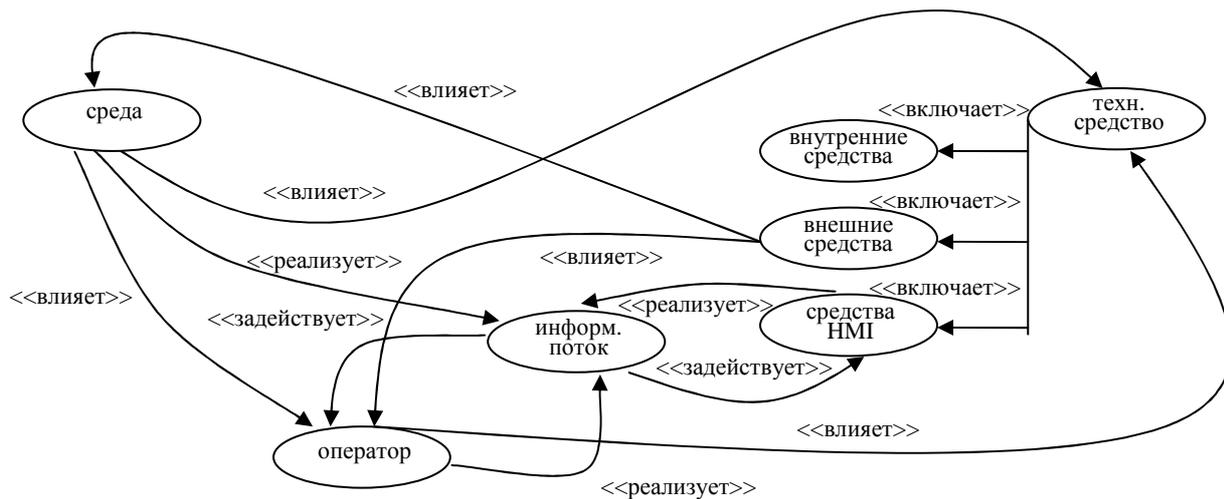


Рис. 1. Модель анализа процесса взаимодействия в эргатической системе

Учитывая известное разделение операторской деятельности на некоторые типичные этапы, примем правомочность разделения акта операторской деятельности на отдельные этапы:

$$C = \{C_i\}, i = 1, N$$

где  $C_i$  – элемент системы, представляющий отдельный этап операторской деятельности (под элементом системы понимается простейшая неделимая операция),  $i$  – количество этапов операторской деятельности.

Каждый из этапов операторской деятельности, в свою очередь, характеризуется набором элементарных операторских действий:  $C_i = \{K_j\}, j = 1, N$ ,

где  $C_i$  – элемент системы, представляющий этап операторской деятельности,  $i$  – количество этапов,  $K_j$  – операторское действие,  $j$  – количество действий.

В качестве условия декомпозиции выбрано условие пересечения множество элементарных действий: если для любых  $j$  и  $l$  множество элементов системы не пересекается  $\forall (i, l): C_i \cap C_l = \emptyset, i = 1, N, l = 1, M$ , то дальнейшей декомпозиции не требуется.

На основе анализа графа операторских действий на предмет выявления контура неповторяющихся операторских действий  $C_1 \rightarrow C_i \rightarrow C_{i+1} \rightarrow C_N$ , предложено выделять четыре этапа операторской деятельности:  $C = \{C_1, C_2, C_3, C_4\}$ , где  $C_1$  – этап приема и восприятия поступающей информации,  $C_2$  – этап оценки и переработки информации,  $C_3$  – этап принятия решений,  $C_4$  – этап реализации принятого решения, отображающие последовательное изменение модели оперативного управления, как показано на рис. 2.

В соответствии с известной моделью очередности операторских действий Y. Liu и C. Wu [8] на схеме последовательности этапов операторских действий выделим сенсорный, когнитивный и моторный уровни.

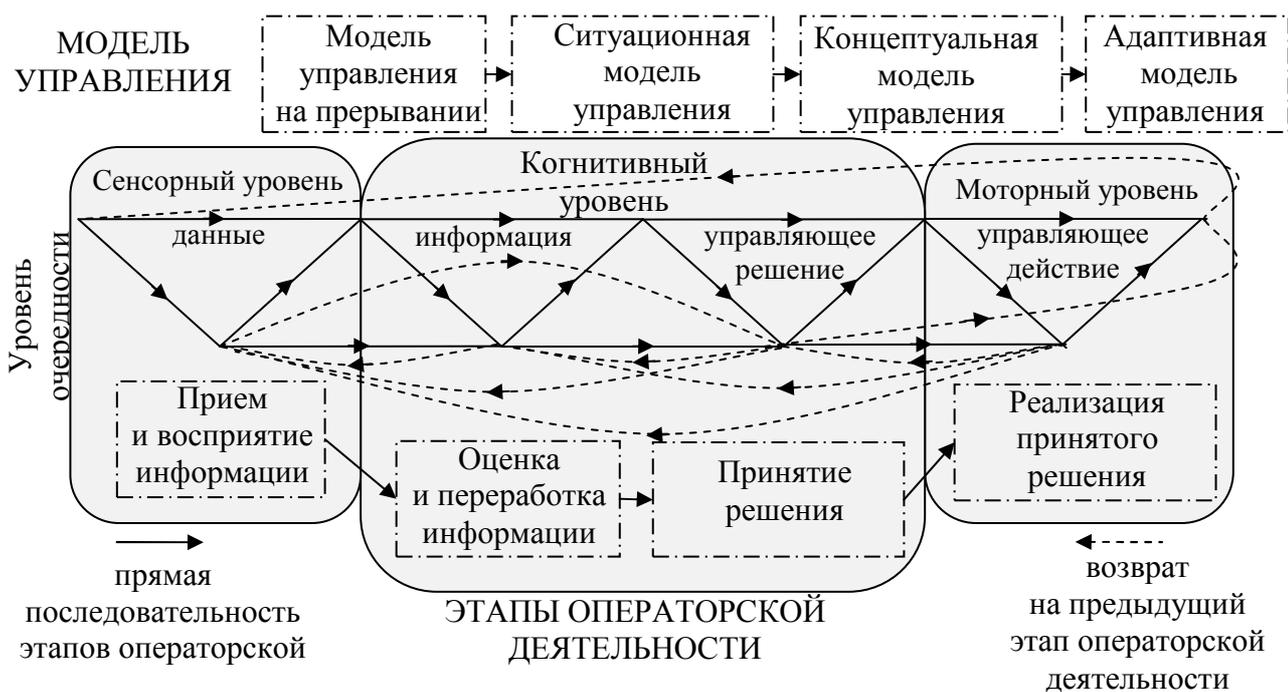


Рис. 2. Системная модель операторских функций

Концепция оценки профпригодности базируется на основе анализа эффективности действий на каждом из выделенных этапов операторской деятельности и уровней очередности операторских действий с учетом известных требований к содержанию ПВК, определенных в профессиограммах.

Согласно триадной системной концепции, предложенной в работе [5], описание эргатической системы может быть представлено в виде

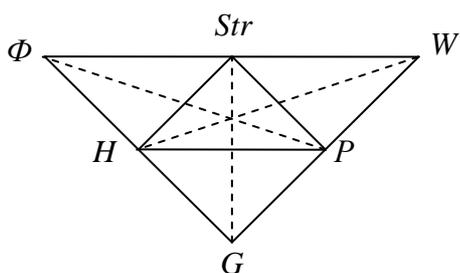


Рис. 3. Модель эргатической системы

множества триад, образованных множествами системообразующих факторов:  $S_{эс} = \langle \Phi, H, Str, P, W, G \rangle$ , где  $\Phi$  – множество первичных элементов ЭСУ (человек-оператор, машина, среда),  $H$  – множество отношений между базовыми элементами ЭСУ,  $Str$  – множество структур,  $P$  – множество параметров базовых элементов (параметры ЭСУ),  $W$  – интегративные свойства системы (свойства ЭСУ),  $G$  – цели функционирования системы, как показано на рис. 3.

На основе данной триады выделим контур человека-оператора в структуре эргатической системы:  $\phi \in \Phi, w \in W, p \in P$ , где  $\phi$  – человек-оператор,  $w$  – интегративные свойства контура управления человеком,  $p$  – параметры человека-оператора.

Тогда триада системообразующих факторов человека-оператора примет следующий вид:  $S_{ч_о} = \langle U, H_{ч_о}, Str_{ч_о}, R, T, G \rangle$ , где  $U$  – множество базовых элементов человека-оператора

(сенсорный, когнитивный, моторный уровни очередности действий оператора),  $H_{чo}$  – множество отношений между элементами системы,  $Str_{чo}$  – множество структур, обеспечивающих организованность системы,  $R$  – множество параметров сенсорного, когнитивного и моторного уровней,  $T$  – интегративные свойства системы (свойства человека-оператора),  $G$  – цели функционирования системы.

В свою очередь система параметров человека-оператора, характеризующая профпригодность, также может быть раскрыта в виде соответствующей триады  $S_{nn} = \langle A, H_{чo}, Str_{чo}, B_{нк}, Z, G \rangle$ . При этом  $A$  представляет множество базовых элементов профпригодности (характеристики профессиограммы),  $H_{нк}$  – множество отношений между элементами системы,  $Str_{нк}$  – множество структур, обеспечивающих организованность системы,  $B_{нк}$  – множество параметров базовых элементов (параметры характеристик профессиограммы),  $Z$  – интегративные свойства системы (профпригодность),  $G$  – цели функционирования системы.

Затем, раскроем систему профпригодности в виде характеристик профессиограммы и параметров, характеризующих успешность реализации производственных функций на отдельных этапах операторской деятельности, а также сенсорном, когнитивном и моторном уровнях операторской деятельности.

Тогда, модель успешности операторской деятельности может быть представлена в виде многопараметрической структуры системных знаний:  $S = \{T, Z, A, U, Y, G\}$ , где  $T$  – множество свойств человека оператора;  $Z$  – множество показателей профпригодности;  $A$  – множество

характеристик профессиограммы;  $U$  – множество этапов операторской деятельности;  $Y_U$  – множество ПВК, определенных через  $U$ ,  $Y_A$  – множество ПВК, определенных через  $A$ ,  $Y$  – множество оцениваемых ПВК;  $Z$  – цель управления.

В этом случае модель цикла оценки профпригодности может быть представлена в виде пространственной структуры системных знаний  $S$ , рис. 4, где могут быть выделены следующие уровни анализа и обработки информации:

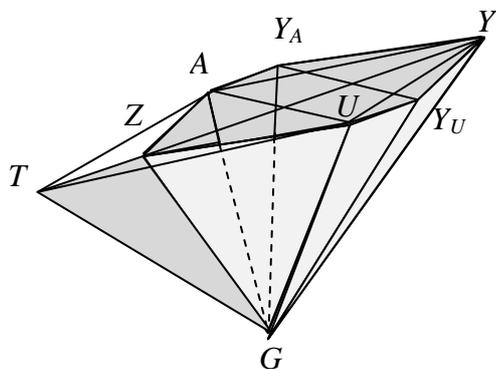


Рис. 4. Модель успешности операторской деятельности

1.  $T \rightarrow Z$ : Анализ операторской деятельности, представление знаний о профессиональной деятельности оператора ЭСУ.
2.  $Z \rightarrow A$ : Выявление характеристик профессиограммы, характеризующих профессиональную пригодность оператора.
3.  $Z \rightarrow U$ : Выявление параметров, характеризующих успешность операторских действий на отдельных этапах операторской деятельности и уровнях очередности.

4.  $A \rightarrow Y_A$ : Выявление ПВК, соответствующих профилю профессии.

5.  $U \rightarrow Y_U$ : Выявление ПВК, характеризующих успешность операторских действий на отдельных этапах операторской деятельности и уровнях очередности операторских действий.

6.  $Y_A \cap Y_U := \{y \mid y \in Y_A \wedge y \in Y_U\}$ : Выявление ПВК, используемых для оценки профпригодности.

Выбор ПВК  $Y_A$  осуществляется в четыре этапа:

1. Выявление характеристик профессиограммы  $P = \{A_1, \dots, A_n\}$ , покрывающих все этапы операторской деятельности:  $C_i = \bigcup_j A_{ij}, j = \overline{1, N}$ .

2. Обеспечение инвариантности характеристик профессиограммы посредством анализа матрицы коэффициентов взаимосвязей характеристик профессиограммы и внешних и внутренних параметров системы:

$$W = \begin{bmatrix} W_{A1,e1} & W_{A1,e2} & W_{A1,e3} & W_{A1,e4} & W_{A1,o1} & W_{A1,o2} & W_{A1,o3} \\ \vdots & & & \ddots & & & \vdots \\ W_{An,e1} & W_{An,e2} & W_{An,e3} & W_{An,e4} & W_{An,o1} & W_{An,o2} & W_{An,o3} \end{bmatrix},$$

где  $E = \{e_1, e_2, e_3, e_4\}$  – совокупность внешних факторов ( $e_1$  – факторы трудовой среды,  $e_2$  – алгоритмизации действий,  $e_3$  – автоматизации,  $e_4$  – организации трудового процесса),  $O = \{o_1, o_2, o_3\}$  – совокупность внутренних факторов ( $o_1$  – информационные,  $o_2$  – организационные,  $o_3$  – психофункционального состояния).

Затем осуществляется операция ранжирования  $rank_{C1}(P)$  по критерию минимума:  $\min(\sum_{i=1}^4 W_{An,ei} + \sum_{k=1}^3 W_{An,ok})$ , обеспечивающего свойство инвариантности  $C_1$  характеристик профессиограммы.

3. Обеспечение значимости отдельных характеристик профессиограммы для эффективного выполнения операторской деятельности на определенных этапах посредством ранжирования множества характеристик профессиограммы  $P = \{A_1, \dots, A_n\}$  по критерию мощности  $(1-\beta)$ :  $rank_{C2}(P)$ , где  $\beta$  – ошибка второго рода с использованием методов экспертной оценки.

4. Двухкритериальный выбор ПВК  $Y_A$  по критериям инвариантности  $C_1$  и мощности  $C_2$  с использованием диаграмм Парето посредством поиска парето-оптимальных решений  $A^* \in P$ , образующих множество Парето  $Pa_C(P)$ , и отсева слабо эффективных решений – альтернатив характеристик профессиограммы  $A'$ , которые не могут быть улучшены сразу по всем критериям  $C_1$  и  $C_2$ . Отсев слабо эффективных решений сопровождается проверкой на условие покрытия совокупности альтернатив всех этапов операторской деятельности  $C_i = \bigcup_j A_{ij}, j = \overline{1, N}$ . В случае, если условие не выполняется, то отсев слабо эффективного решения не производится.

Выбор ПВК  $Y_A$  осуществляется на основе известных профиограмм в соответствии с сформулированными условиями выбора альтернатив. Так как характеристики профиограмм и ПВК являются терминами различных предметных областей, воспользуемся методами отображения онтологий.

Согласно этому, представим онтологию характеристик профиограммы  $O_1$  и онтологию ПВК и психофизиологических параметров  $O_2$  и найдем отображение онтологии  $O_1$  на онтологию  $O_2$  посредством поиска для каждого из концептов онтологии  $O_1$  подобных ему концептов в онтологии  $O_2$ .

С использованием одного из известных критериев подобия онтологий определим  $map(O_1) = O_2$  таким образом, чтобы выполнялось условие подобия сущностей  $A_i$  и  $Y_{Ai}$ :  $sim(A_i, Y_{Ai}) \geq t$ , где  $t$  – уровень подобия,  $A_i \in O_1$ ,  $Y_{Ai} \in O_2$ . В результате отображения онтологий получаем множество  $Y_A = \{Y_{A,1}, \dots, Y_{A,n}\}$ , где  $n$  – количество ПВК.

Аналогичным образом осуществим процедуру выявления ПВК  $Y_U$ , характеризующих успешность операторских действий на отдельных этапах операторской деятельности и успешность действий на сенсорном, когнитивном и моторном уровнях.

Для этого осуществим отображение  $U$  онтологии  $O_3$  в понятие ПВК  $Y_U$  онтологии  $O_4$ , где  $U_i \in O_3$ ,  $Y_{Ui} \in O_4$ .

В качестве меры близости двух понятий онтологии используем оценку длины кратчайшего пути между двумя соответствующими вершинами таксономии, соответствующих этим понятиям в таксономической иерархии (IS-A):

$$S(U_i, Y_{U,j}) = \log \frac{2N}{d(U_i, Y_{U,j})},$$

где  $N$  – глубина дерева,  $d(U_i, Y_{U,j})$  – длина кратчайшего пути между вершинами.

Затем, осуществляем процедуру выявления ПВК, используемых для оценки профпригодности:  $Y = Y_A \cap Y_U := \{y \mid y \in Y_A \wedge y \in Y_U\}$ ,  $Y = \{y_1, \dots, y_n\}$

Общий алгоритм действий, описывающих процедуру оценки операторской профпригодности, представим в виде алгоритма-силуэта в соответствии с правилами визуального языка для построения блок-схем алгоритмов ДРАКОН, как показано на рис. 5.

Функционалом качества профпригодности является:  $I = f\{(y_1, E, O), \dots, (y_n, E, O)\}$ .

где  $y_1, \dots, y_n$  – отдельные ПВК,  $E$  – совокупность внешних факторов,  $O$  – совокупность внутренних факторов.

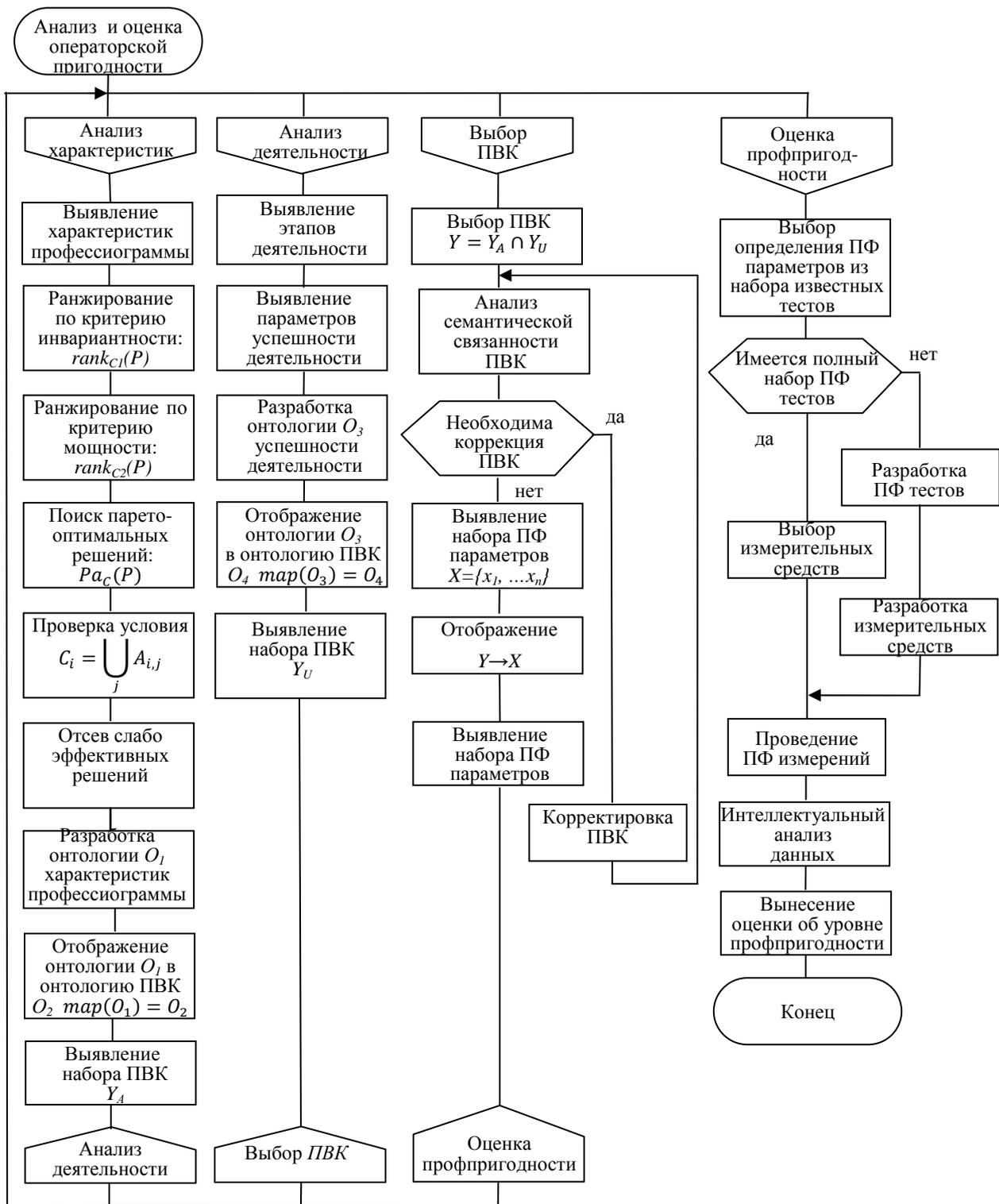


Рис. 5. Алгоритм действий, описывающих процедуру оценки операторской профпригодности

Так как ПВК, в общем случае, не поддаются измерению, предложено осуществлять их оценку посредством измерения психофизиологических (ПФ) параметров, характеризующих ПВК. Для этого требуется найти отображение множества ПВК  $Y = \{y_1, \dots, y_{12}\}$  на множество ПФ тестов  $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ , характеризующих ПВК  $Y \rightarrow X$ , при котором одному элементу  $y$

множества  $Y$  соответствует один или несколько элементов  $x$  множества  $X$ . Условием отображения является его сюръективность.

Выбор ПФ тестов осуществляется с использованием методов экспертной оценки, для чего изначально определяется множество ПФ параметров  $\{x_i\}$ , а затем строится матрица образов, в которой принадлежность  $x_i$  ПВК  $y_i$  отображается единицей, а отсутствие – нулем.

Так как одни и те же ПФ параметры могут входить в состав различных ПВК, то интегральный показатель профпригодности определится в виде:

$$P_k = \bigcup_{i=1}^n y_i = \bigcup_{j=1}^N x_j, \forall x_j \exists c : x_j \in y_c, \text{ где } c \in \{1, \dots, n\}.$$

Разработанный алгоритм реализует представленную методологию приобретения, обработки и представления знаний об операторских функциях и профпригодности оператора эргатических систем и описывает процедуру оценки профпригодности, включающую этапы выявления характеристик профессиограммы и параметров, характеризующих успешность операторской деятельности, выбора ПВК и определения набора ПФ тестов.

### **Заключение**

Таким образом, с использованием системного подхода разработана обобщенная многоэтапная методология построения системы поддержки принятия решений при оценке профпригодности оператора эргатических систем на основе приобретения, обработки и представления знаний об операторской деятельности.

Данная методология объединяет подходы к оценке профпригодности на основе профессиограмм, посредством оценки успешности операторской деятельности на отдельных ее этапах, оценки успешности операторской деятельности на сенсорных, когнитивных и моторных уровнях очередности действий.

Практическая реализация системы оценки профпригодности может быть осуществлена с использованием методов интеллектуального анализа данных и систем поддержки принятия решений для широкой номенклатуры операторских профессий и должностей.

Приведенные в статье результаты получены в рамках выполнения государственного задания на НИР в 2013 году при поддержке гранта № 2.1.2/11610 «Методическое, алгоритмическое и программно-техническое обеспечение исследования временных аспектов сенсорного восприятия человека-оператора».

### **Список литературы**

1. Беспалов Б. И. Психодиагностика профессионально важных качеств и профотбор диспетчеров пожарной службы «01» / Б. И. Беспалов // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 14. Психология. – 1998. – № 3. – С. 79-94.

2. Власов В. А. Компьютерная психодиагностическая система для оценки профпригодности персонала разделительных производств / В. А. Власов, А. А. Орлов, О. Г. Берестнева, С. Н. Тимченко // Известия Томского политехнического университета. Сер. Технические науки. – 2003. – Т. 306, № 4. – С. 119-123.
3. Гаврилов В. Е. Использование модульного подхода для психологической классификации профессий в целях профориентации / В. Е. Гаврилов // Вопросы психологии. – 1987. – № 1. – С. 111-117.
4. Глебова Е.В. Снижение риска аварийности и травматизма в нефтегазовой промышленности на основе модели профессиональной пригодности операторов: Дисс... д-ра техн. наук / Е. В. Глебова. – Уфа, 2009. – 325 с.
5. Гузаиров М. Б. Системный подход к анализу сложных систем и процессов на основе триад / М. Б. Гузаиров, Б. Г. Ильясов, И. Б. Герасимова // Проблемы управления. – 2007. – № 5. – С. 32-38.
6. Петухов И. В. К вопросу обеспечения надежности эргатических систем управления / И. В. Петухов // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2011. – № 1 (118). – С. 25-30.
7. Петухов И. В. Эргатические системы: техногенная безопасность / И. В. Петухов, Л. А. Стешина. – Воронеж: Научная книга, 2012. – 280 с.
8. Liu Y. Queuing Network-Model Human Processor (QN-MHP): A Computational Architecture for Multitask Performance in Human-Machine Systems / Y. Liu, R. Feyen, O. Tsimhoni // ACM Transactionson Computer-Human Interaction. Vol. 13, No.1, March 2006. – pp. 37–70.

#### **Рецензенты:**

Роженцов Алексей Аркадьевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой радиотехнических и медико-биологических систем, ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола.

Попов Иван Иванович, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры конструирования и производства радиоаппаратуры ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола.