

## ТЕХНОЛОГИЯ КОГНИТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ

А.Н. Ветров, ассистент кафедры «Автоматики и процессов управления»  
«Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета "ЛЭТИ"»

*Для решения комплексной научной проблемы создания, системного анализа и повышения эффективности функционирования среды автоматизированного обучения со свойствами адаптации на основе когнитивных моделей предлагается новая технология когнитивного моделирования, которая включает: методику ее использования, алгоритм формирования структуры когнитивной модели, методики исследования параметров когнитивных моделей субъекта и средства обучения, алгоритм обработки апостериорных данных тестирования, а также комплекс программ для автоматизации задач исследования*

### Информационно-образовательная среда, когнитивная модель, система автоматизированного обучения, технология когнитивного моделирования Введение и особенности адаптивной среды на основе когнитивных моделей

Созданная автором (рис.1) структура информационно-образовательной среды (ИОС) системы автоматизированного (дистанционного) обучения (АДО) со свойствами адаптации на основе параметрических когнитивных моделей (КМ) выступает замкнутым контуром (с обратными связями) и является гибридной: имеет 2 уровня информационного взаимодействия и 6 каналов обмена информацией между источниками информации и потребителями информации [1, 2, 3, 4, 6].

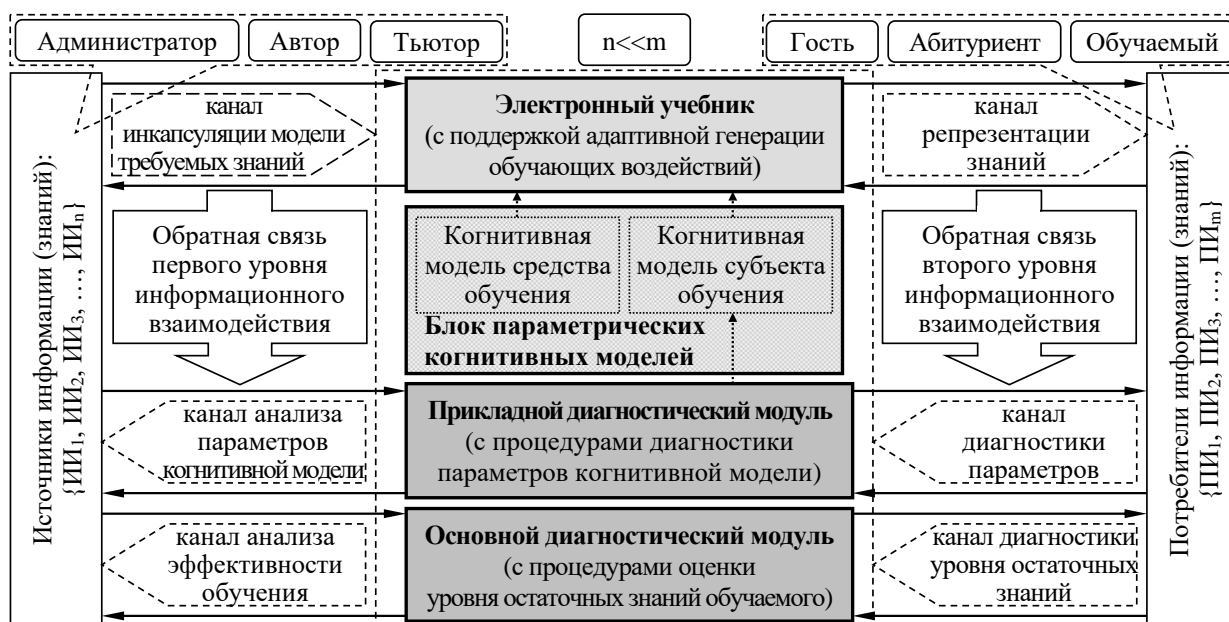


Рис. 1. Структура информационно-образовательной среды системы автоматизированного обучения со свойствами адаптации на основе параметрических когнитивных моделей

Предложенная в научной статье технология когнитивного моделирования (ТКМ) выступает универсальной по отношению к объекту исследования и предметной области [2, 6].

ТКМ – итеративный цикл, предусматривающий возвраты в случае выявления разнородных ошибок и несоответствий, включающий последовательность технологических этапов, реализующих системный анализ: идентификация – получение информации об объекте исследования, концептуализация – создание концептуальной схемы или модификация набора концептов, структурирование – разработка структурной схемы или модификация элементов концептуальной схемы, формализация – построение первого и второго уровня структуры параметрической КМ или изменение способа (модели) представления параметрической КМ, структурный анализ – верификация первого уровня структуры параметрической КМ или модификация его разнородных информационных элементов (математических множеств), параметрический анализ – верификация второго уровня структуры параметрической КМ или модификация его разнородных информационных элементов (математических множеств), реализация – размещение полученной параметрической КМ в основе среды исследования, выявление несоответствий и причин затруднений при интеграции параметрической КМ, моделирование – моделирование, основанное на целостном подходе, решение проблем измерения и учета номинальных значений параметров, анализ – статистическая обработка данных, полученных с помощью параметрической КМ, выявление различных тенденций, зависимостей, закономерностей и связей, а также разнородных неоднозначностей и неоднородностей, предметная интерпретация – интерпретация полученных зависимостей и закономерностей, научное обоснование полученных научных результатов в рамках предметных областей, синтез – накопление новых знаний о динамике объекта исследования в предметной области, добавление новых научных аспектов (подходов) рассмотрения объекта исследования. Апостериорные данные использования ТКМ для системного анализа ИОС системы АДО приведены непосредственно в инновационных авторских научных трудах [4, 6].

На разных технологических этапах ТКМ используются методики и алгоритмы, реализующие различные функции и поддерживающие стадии системного анализа [6, 9]:

- методика использования ТКМ формализует последовательность системного анализа ИОС;
- алгоритм формирования структуры КМ на базе ряда способов представления КМ;
- два способа представления структуры параметрической КМ (граф и структурная схема);
- методики исследования параметров КМ субъекта обучения и КМ средства обучения;
- алгоритм математической обработки апостериорных данных, полученных в ходе процедур автоматизированного тестирования уровня остаточных знаний контингента обучаемых (УОЗО) и диагностики индивидуальных особенностей личности субъектов обучения (ИОЛСО) реализуемых соответственно посредством основного и прикладного диагностических модулей (ДМ), входящих в систему АДО.

Для проведения системного анализа сложных ИОС систем АДО ТКМ предусматривает привлечение ряда специалистов-консультантов: эксперт в предметной области – преподаватель, физиолог, психолог, лингвист или методист, когнитолог – квалифицированный специалист в области инженерии знаний, обеспечивающий корректность полученной структуры параметрической КМ, системный аналитик – специалист в области системного анализа и моделирования ИОС, программист – квалифицированный специалист в области языков программирования, владеющий разнородными современными методами и подходами к реализации разных высоко-технологичных компонентов ИОС системы АДО посредством разных интегрированных сред программирования (Borland C++ Builder).

При использовании ТКМ возможно добавление новых, удаление устаревших и модернизация существующих методов и алгоритмов для реализации системного анализа [6, 9].

В общем виде структура системы АДО может быть формализована с точки зрения классической теории автоматического управления и представлена следующим образом (рис. 2).

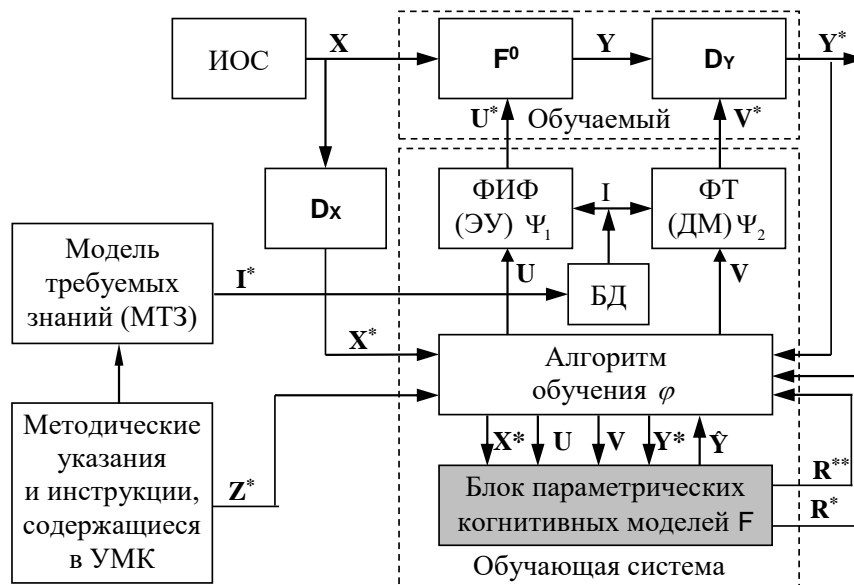


Рис. 2. Структурная схема системы автоматизированного (дистанционного) обучения на основе параметрических когнитивных моделей

На рис. 2 введены обозначения:  $F^0$  – оператор преобразования воздействия среды  $X$  и обучающего воздействия (ОВ)  $U^*$  в конечное состояние обучаемого  $Y$ , ФИФ – формирователь информационных фрагментов – обеспечивает адаптивную генерацию ОВ  $U^*$  и контрольных вопросов  $V^*$  с использованием адресов в БД и параметров отображения  $U_i$  и  $V_i$  на основе модели требуемых знаний  $I$ ,  $Y^*$  – результативность тестовых заданий рассчитывается оператором  $D_Y$  (датчик) на основе конечного состояния обучаемого  $Y$  и набора контрольных вопросов  $V^*$ .

Задача и цель процесса формирования знаний:  $Z^* = \begin{cases} Q(Y^*) \rightarrow \delta, \\ T(Y^*) \rightarrow \min, \end{cases}$   $\delta$  – требуемый УОЗО.

Алгоритм обучения представляется в виде:  $Q(P_{n+1}) = Q(F(P_n, U_{n+1}, C_n)) \rightarrow \min_{U_i, R_j} \Rightarrow U_{n+1}^*$ .

## Методика использования технологии когнитивного моделирования

Методика использования ТКМ для системного анализа ИОС системы АДО (рис. 3) формализует последовательность и особенности применения технологических этапов итеративного цикла предложенной ТКМ для системного анализа и повышения эффективности формирования знаний обучаемых в ИОС системы АДО, а также набор определенных методик и алгоритмов используемых на каждом из них.



Рис. 3. Методика использования технологии когнитивного моделирования

## Алгоритм формирования структуры когнитивных моделей

Алгоритм формирования структуры параметрической КМ (рис. 4) формализует последовательность (ре)конструирования структуры параметрической КМ на основе одной из существующих моделей представления структурированных данных (логическая и фреймовая модель, семантическая сеть и онтология) или предложенных автором моделей представления структурированных данных: ориентированный граф, сочетающий элементы теории множеств и многоуровневая структурная схема, обеспечивающие наиболее наглядное представление структуры параметрической КМ.

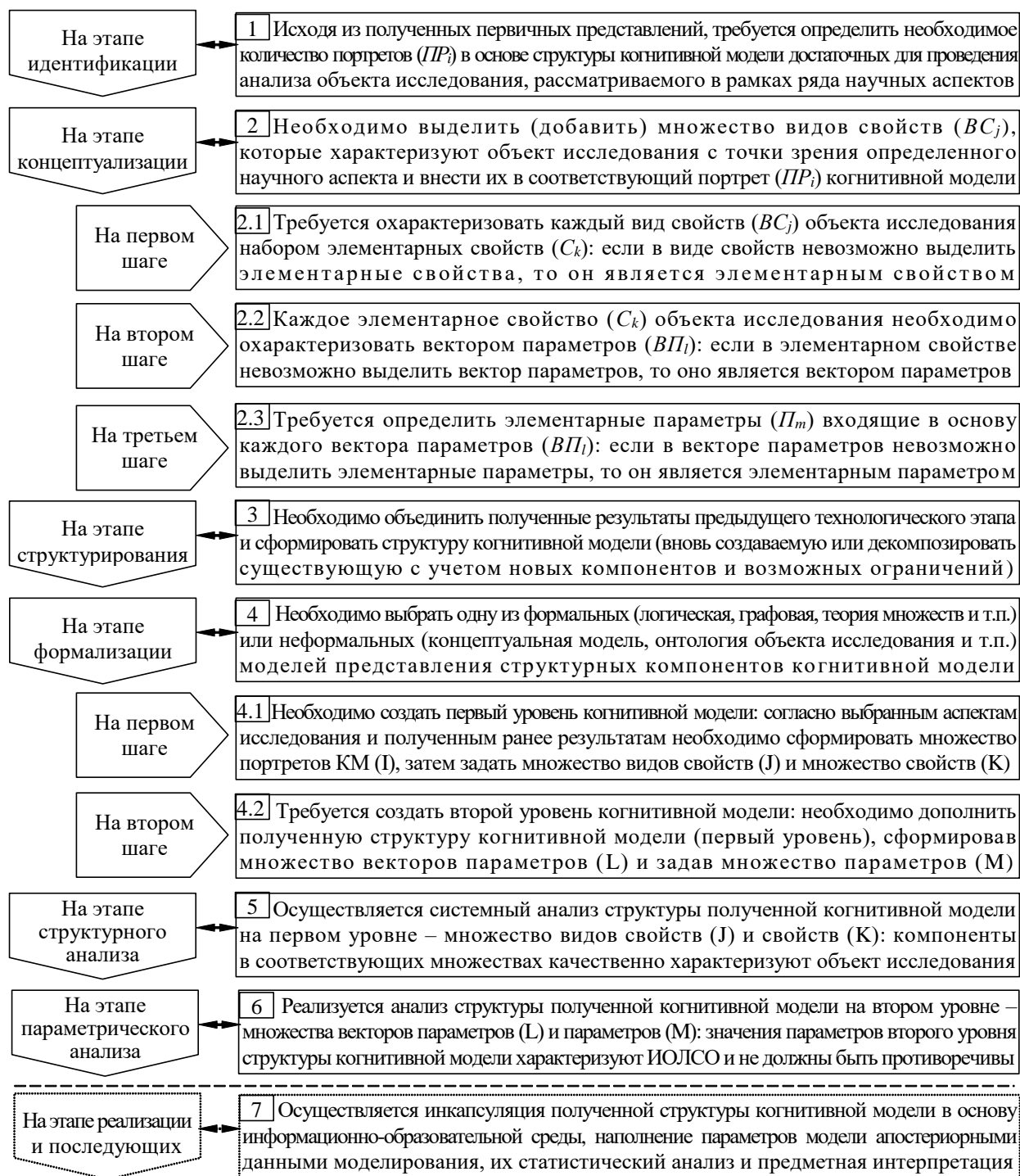


Рис. 4. Алгоритм формирования структуры когнитивной модели

## Понятие и способы (модели) представления структуры когнитивной модели

КМ – (ре)конструируемый в ширину и глубину репертуар параметров, который эшелонирован на ряд портретов ( $ПР_i$ ) с определенным научным обоснованием и стратифицирован на несколько разнородных математических множеств, расположенных на двух уровнях выделенной иерархии (структуры): множество видов свойств ( $ВС_j$ ), множество элементарных свойств ( $С_k$ ), множество векторов параметров ( $ВП_l$ ) и множество элементарных параметров ( $П_m$ ) [6]. Допустимо применение одной из существующих моделей представления данных [5].

При этом предлагается два способа (модели) представления структуры КМ [6]:

- ориентированный граф, сочетающий теорию математических множеств (рис. 5) – непосредственно поддается алгоритмизации и программной реализации, представляет собой совокупность вершин соединенных связями, находящимися на разных уровнях выделенной иерархии (структуры);
- многоуровневая структурная схема (рис. 6) – включает ряд разнородных соподчиненных математических множеств информационных элементов, находящихся на разных уровнях выделенной иерархии (структуры), предполагает полную редукцию информационных связей, выступает удобным для интерпретации способом представления структуры КМ.



Рис. 5. Представление структуры когнитивной модели в виде ориентированного графа



Рис. 6. Представление когнитивной модели в виде многоуровневой схемы

**Структуры когнитивных моделей субъекта обучения и средства обучения, а также методики их исследования и алгоритм обработки апостериорных данных**

Параметрическая КМ субъекта обучения (рис. 7) концентрирует параметры, характеризующие индивидуальные особенности восприятия, обработки и понимания субъектом обучения содержания набора информационных фрагментов по предмету изучения [2, 3, 4, 6].

Параметрическая КМ средства обучения (рис. 8) концентрирует параметры, отражающие потенциальные технические возможности адаптивного электронного учебника при реализации индивидуально-ориентированной генерации разнородных обучающих воздействий различным способом посредством процессора адаптивной репрезентации информационных фрагментов оперирующего на основе инновационного блока параметрических КМ [3, 4, 6, 8].

Методика исследования параметров КМ субъекта обучения (рис. 9) позволяет наполнить и сохранить в БД разработанного комплекса программ актуальное математическое множество номинальных значений параметров содержащихся в сформированной структуре параметрической КМ субъекта обучения, подобрать набор методов их исследования, обеспечить постановку и провести серию экспериментальных исследований посредством использования прикладного ДМ [3, 4, 6, 7, 10].

Методика исследования параметров КМ средства обучения (рис. 10) позволяет настроить разнородные компоненты комплекса программ, добавить новую или удалить существующую процедуру в основе процессора адаптивной репрезентации последовательности информационных фрагментов, а также рассчитать номинальные значения параметров отображения информации для каждого определенного обучаемого (субъекта обучения).

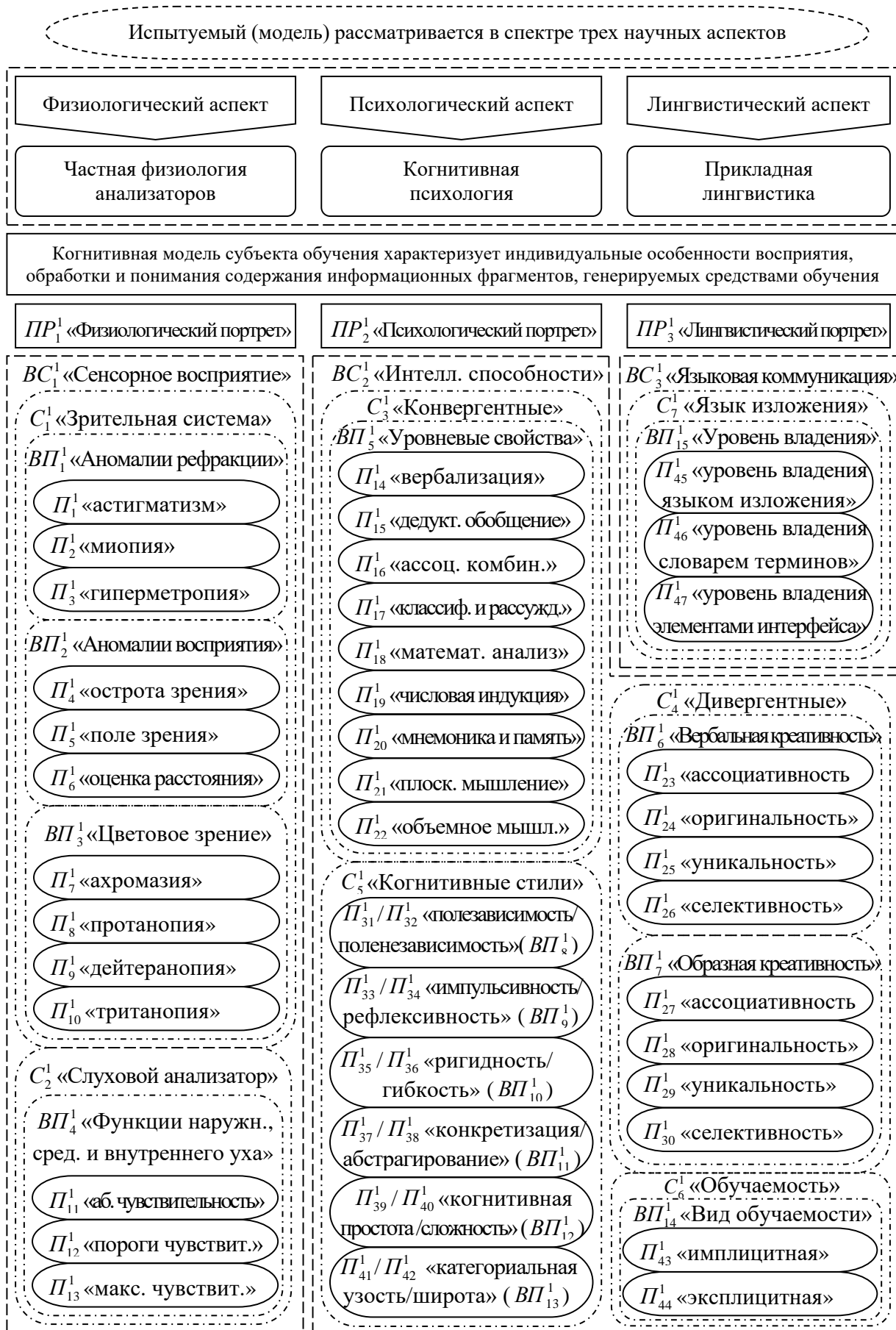


Рис. 7. Структура когнитивной модели субъекта обучения



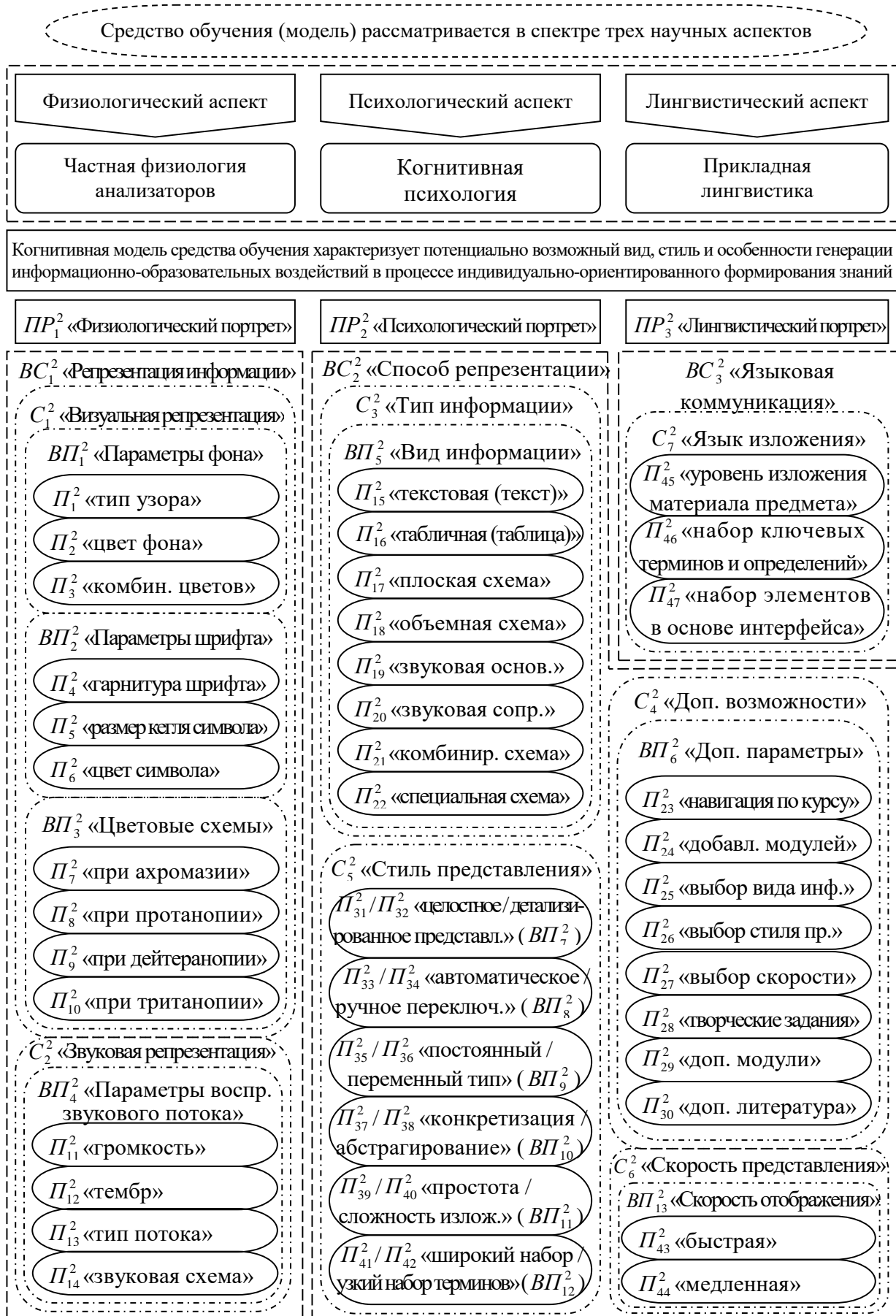


Рис. 8. Структура когнитивной модели средства обучения

Методики исследования параметров КМ позволяют корректно настроить программный комплекс для автоматизации задач исследования ИОС системы АДО.

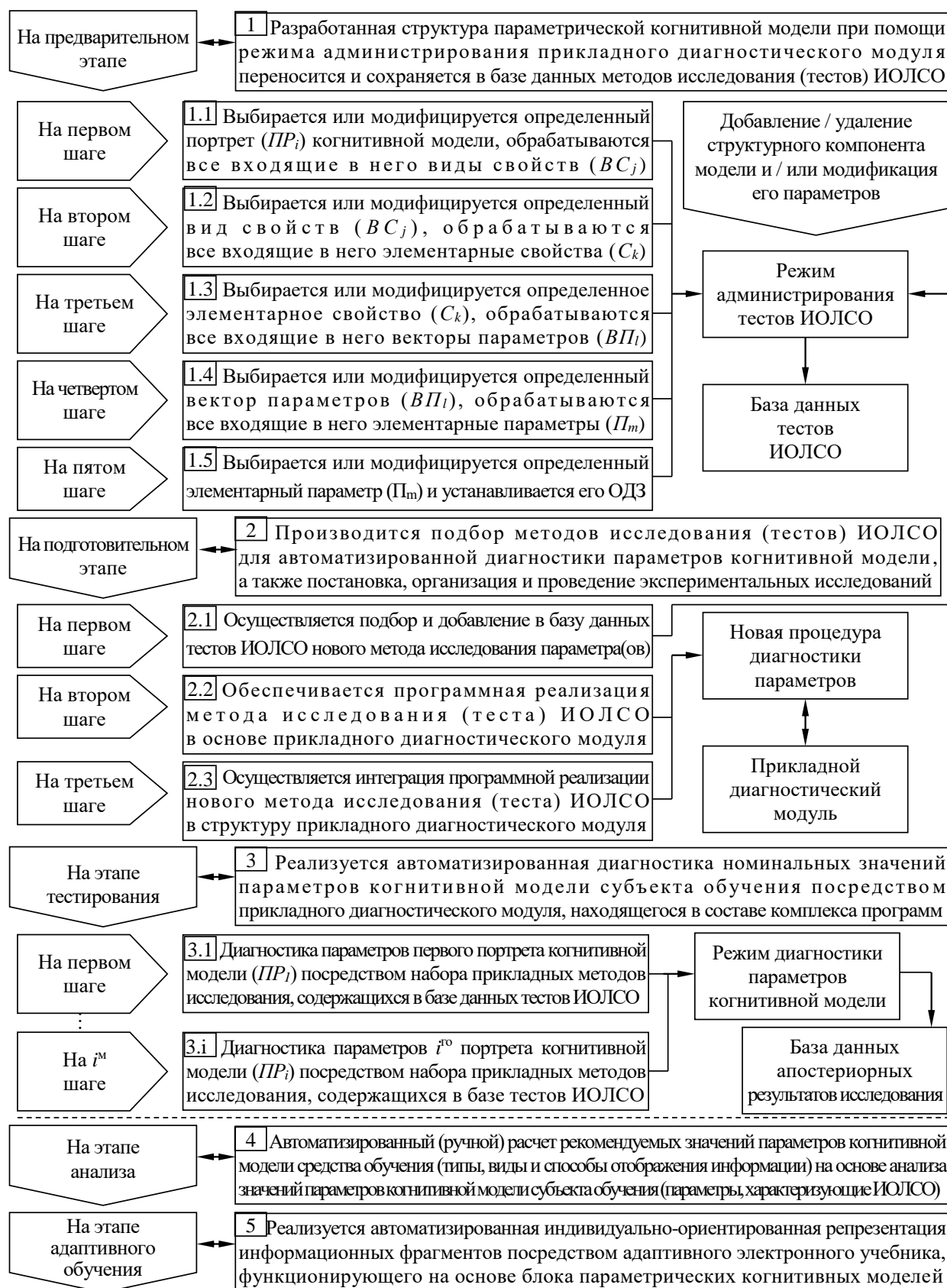


Рис. 9. Методика исследования параметров когнитивной модели субъекта обучения

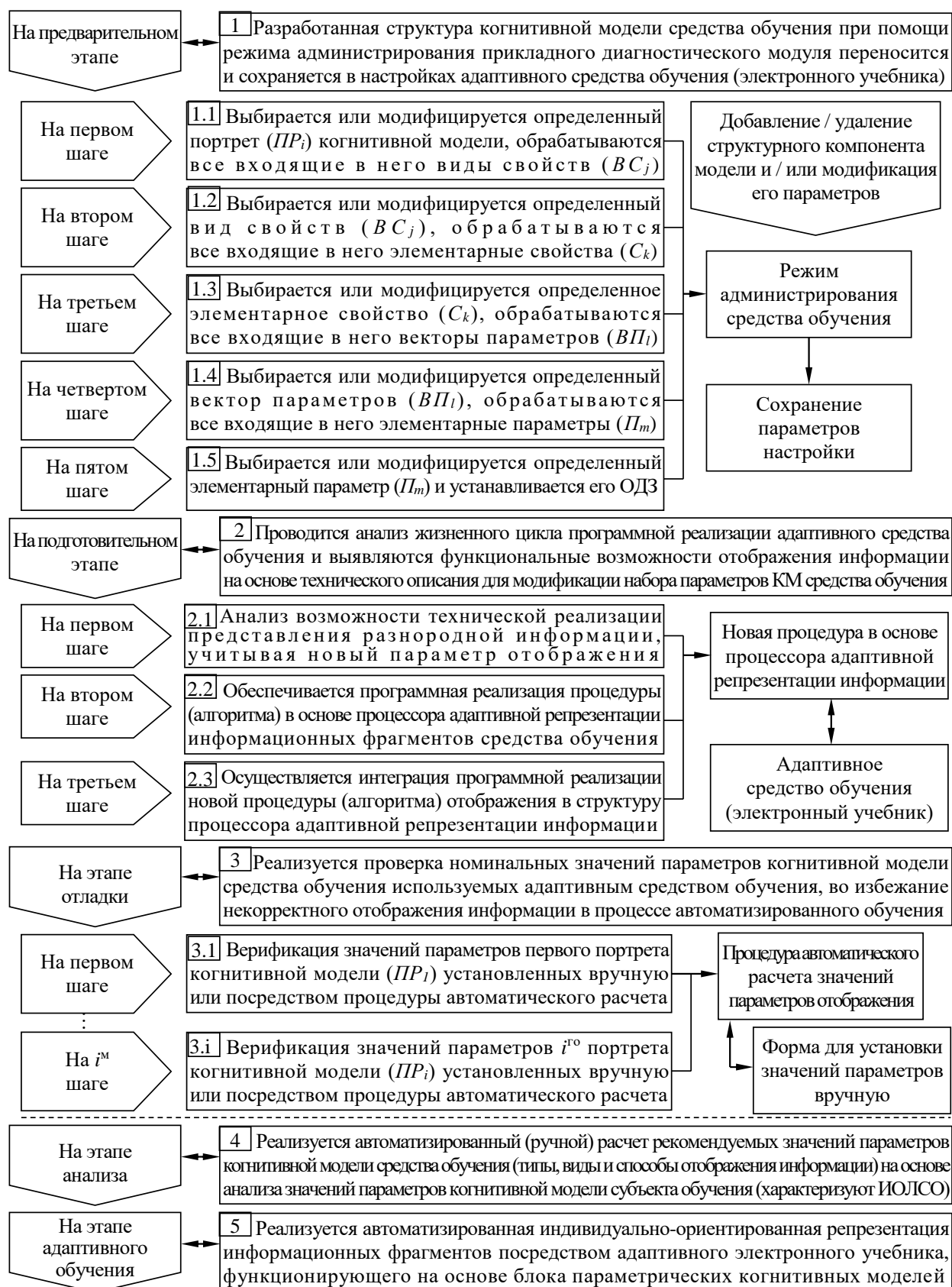


Рис. 10. Методика исследования параметров когнитивной модели средства обучения

Алгоритм обработки апостериорных данных исследования (рис. 11) позволяет сформировать интервальную шкалу и функцию оценивания, подготовить разработанное программное обеспечение для реализации процедуры автоматизированного тестирования контингента испытуемых, обеспечить первичную и вторичную математическую обработку полученных выборок данных на основе множества подобранных коэффициентов и статистических методов, оценить качество и модифицировать последовательность заданий содержащихся в используемых тестах и методах исследования ИОЛСО.



Рис. 11. Алгоритм обработки апостериорных данных исследования

Комплекс программ (рис. 12) предназначен для автоматизации задач исследования ИОС, а также реализует технологию адаптивного обучения [3, 6, 7, 8, 10, 11].

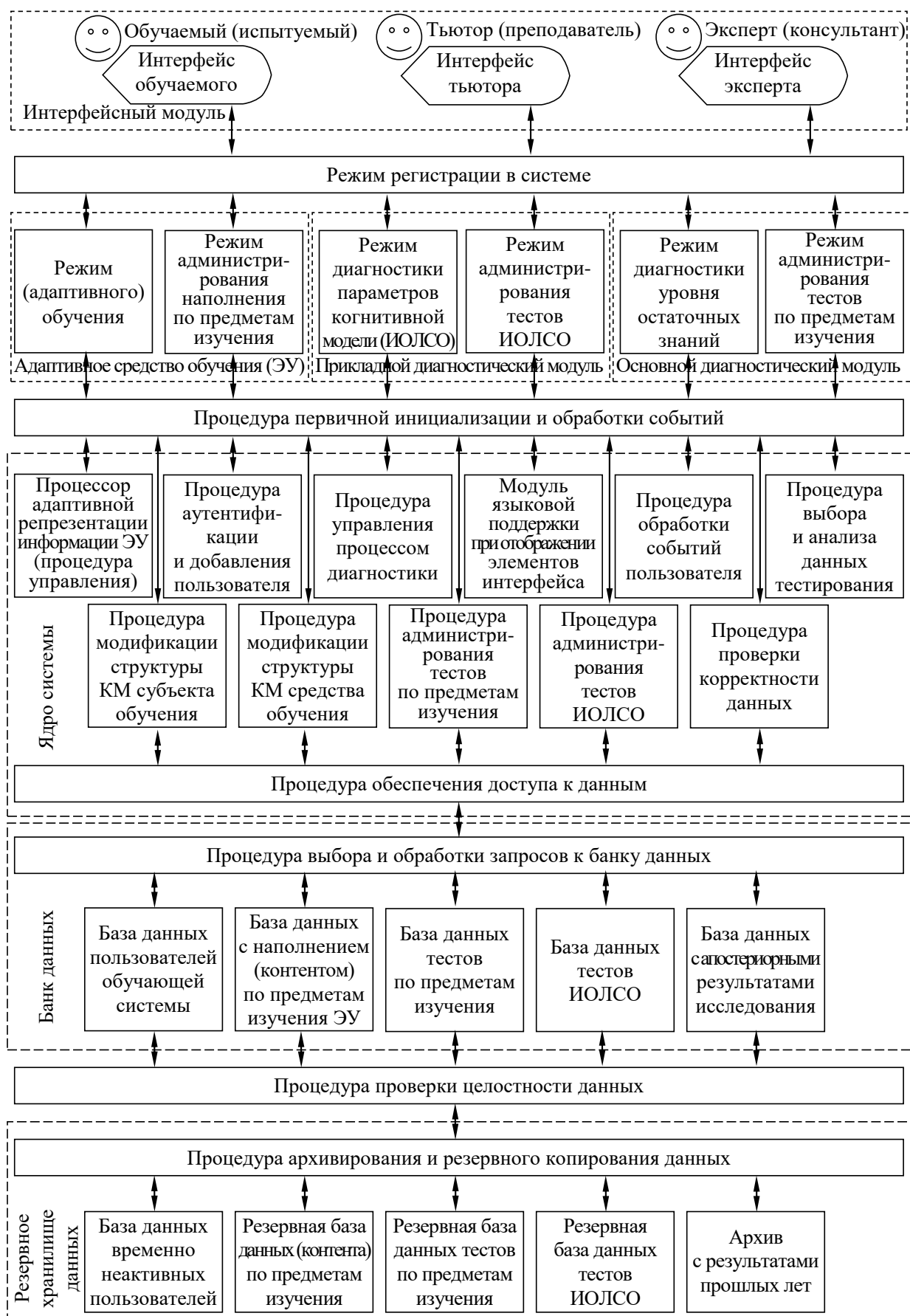


Рис. 12. Структурно-функциональная схема комплекса программ

### Выводы

1. Практическое использование результатов осуществлялось в учебном процессе «Международного банковского института» (г. Санкт-Петербург) и «Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета "ЛЭТИ"» (имеются акты о практическом использовании и получены 3 авторских свидетельства).
2. Оценка эффективности результатов исследования производилась с использованием общепринятых показателей эффективности (результативности) обучения (на расстоянии):

$$\mathbf{K} = \{k_1; k_2; k_3\} = \left\{ Y_2 - Y_1; \frac{Y_2}{Y_1}; \frac{Y_2 - Y_1}{Y_1} 100\% \right\}, \text{ где коэффициенты } k_1, k_2, k_3 \text{ соответственно}$$

обозначают абсолютный, сравнительный и относительный показатели эффективности (результативности) формирования знаний контингента обучаемых [12, 13], а результаты статистической обработки апостериорных данных серии автоматизированных экспериментов обобщены в табл. 1.

Таблица 1

**Результаты первичного статистического анализа результативности обучения**

Показатель	Номер группы обучаемых							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Показатели результативности обучения за 2004 год								
Объем выборки	20	21	25	18	18	15	0	0
Средний балл $Y_1$	4,05	4,286	4,24	4,611	4,056	4,4	-	-
СКО среднего балла	0,686	0,845	0,779	0,502	0,802	0,507	-	-
Показатели результативности обучения за 2005 год								
Объем выборки	24	22	24	25	24	22	23	21
Средний балл $Y_2$	4,333	4,046	4,375	4,16	4,042	4,091	4,696	4
СКО среднего балла	0,817	0,785	0,824	0,8	0,859	0,811	0,559	0,894
Показатели результативности обучения за 2006 год (с исп. ТКМ в 3 <sup>х</sup> группах)								
Объем выборки	26	23	29	24	25	22	22	22
Средний балл $Y_3$	4,5	4,609	4,379	3,708	3,92	3,773	4,455	3,818
СКО среднего балла	0,707	0,656	0,775	0,751	0,572	0,612	0,858	0,853
Результаты статистического анализа								
Показатели, отражающие изменение эффективности обучения за 2004-2005 год								
$k_1$	0,283	-0,240	0,135	-0,451	-0,014	-0,309	-	-
$k_2$	1,07	0,944	1,032	0,902	0,997	0,93	-	-
$k_3, \%$	6,996	-5,606	3,184	-9,781	-0,345	-7,023	-	-
Изменение СКО	0,131	-0,06	0,045	0,298	0,057	0,304		
Показатели, отражающие изменение эффективности обучения за 2005-2006 год								
$k_1$	0,167	0,563	0,004	-0,452	-0,122	-0,318	-0,241	-0,182
$k_2$	1,039	1,139	1,001	0,891	0,97	0,922	0,949	0,955
$k_3, \%$	3,854	13,915	0,091	-10,865	-3,018	-7,773	-5,132	-4,55
Изменение СКО	-0,11	-0,129	-0,049	-0,049	-0,287	-0,199	0,299	-0,041

3. В результате регрессионного анализа полученные номинальные значения коэффициента множественной корреляции ( $KMK=0,558$ ) и коэффициента множественной детерминации ( $KMD=0,312$ ) свидетельствуют, что 31,2% дисперсии зависимой переменной  $\hat{Y}_i$  (оценка УОЗО) определяется вариацией номинальных значений коэффициентов (предикторов)  $K_i$  находящихся в основе полученной линейной регрессионной модели  $\hat{Y}(K_i)$ .

Номинальные значения исходных ( $\beta$ ) и стандартизованных коэффициентов ( $\beta'$ ) линейной модели множественной регрессии  $\hat{Y}(K_i)$  представлены в табл. 2-3. Константа линейной модели множественной регрессии равна 4,653.

Таблица 2

**Значения исходных  $\beta$  и стандартизованных коэффициентов  $\beta'$**

Предиктор	$VoZr$	$K_7$	$K_8$	$K_9$	$K_{14}$	$K_{15}$	$K_{16}$	$K_{17}$	$K_{18}$	$K_{19}$
Значение исходного $\beta$ - коэффициента	-0,006	-0,002	-0,156	0,121	0,064	-0,029	0,006	-0,074	0,025	-0,009
Стандартизованный $\beta$ - коэффициент	-0,017	-0,010	-0,714	0,611	0,247	-0,104	0,034	-0,262	0,159	-0,052

Таблица 3

**Значения исходных  $\beta$  и стандартизованных коэффициентов  $\beta'$  (продолжение)**

Показатель	$K_{20}$	$K_{21}$	$K_{22}$	$K_{23}$	$K_{24}$	$K_{25}$	$K_{27}$	$K_{28}$	$K_{29}$	$K_{45}$
Значение исходного $\beta$ - коэффициента	-0,026	0,001	0,035	0,013	0,009	-0,008	-0,111	-0,008	0,032	0,022
Стандартизованный $\beta$ - коэффициент	-0,147	0,002	0,182	0,052	0,052	-0,113	-0,226	-0,018	0,172	0,037

Предикторы в полученной линейной модели множественной регрессии:  $K_7 = \Pi_7^1, K_8 = \Pi_8^1, K_9 = \Pi_9^1, K_{14} = \Pi_{14}^1, K_{15} = \Pi_{15}^1, K_{16} = \Pi_{16}^1, K_{17} = \Pi_{17}^1, K_{18} = \Pi_{18}^1, K_{19} = \Pi_{19}^1, K_{20} = \Pi_{20}^1, K_{21} = \Pi_{21}^1, K_{22} = \Pi_{22}^1, K_{23} = \Pi_{23}^1, K_{24} = \Pi_{24}^1, K_{25} = \Pi_{25}^1, K_{27} = \Pi_{27}^1, K_{28} = \Pi_{28}^1, K_{29} = \Pi_{29}^1, K_{45} = \Pi_{45}^1, VoZr$ , а фактором (зависимой переменной) выступает результативность обучения  $Y$ .

Тогда алгебраическое уравнение множественной регрессии принимает вид:

$$\hat{Y} = 4,653 - 0,006VoZr - 0,002K_7 - 0,156K_8 + 0,121K_9 + 0,064K_{14} - 0,029K_{15} + 0,006K_{16} - 0,074K_{17} + 0,025K_{18} - 0,009K_{19} - 0,026K_{20} + 0,001K_{21} + 0,035K_{22} + 0,013K_{23} + 0,009K_{24} - 0,008K_{25} - 0,111K_{27} - 0,008K_{28} + 0,032K_{29} + 0,022K_{45}$$



4. ТКМ позволяет реализовать дополнительный контур адаптации на основе инновационного блока параметрических КМ, а также провести комплексный системный анализ ИОС, направленный на повышение эффективности функционирования системы АДО и результативности процесса формирования знаний контингента обучаемых.

5. В ходе дискриминантного анализа осуществлялось выделение нескольких групп обучаемых в зависимости от показателя результативности (эффективности) обучения (оценка УОЗО): «5» – группа «отличников», «4» – группа «хорошистов» и «3» – группа «троечников».

Рис. 13 отражает непосредственно геометрическую интерпретацию относительного расположения введенных центроидов классов, которые соответствуют выделенным для системного анализа группам обучаемых в пространстве координат двух канонических дискриминантных функций.

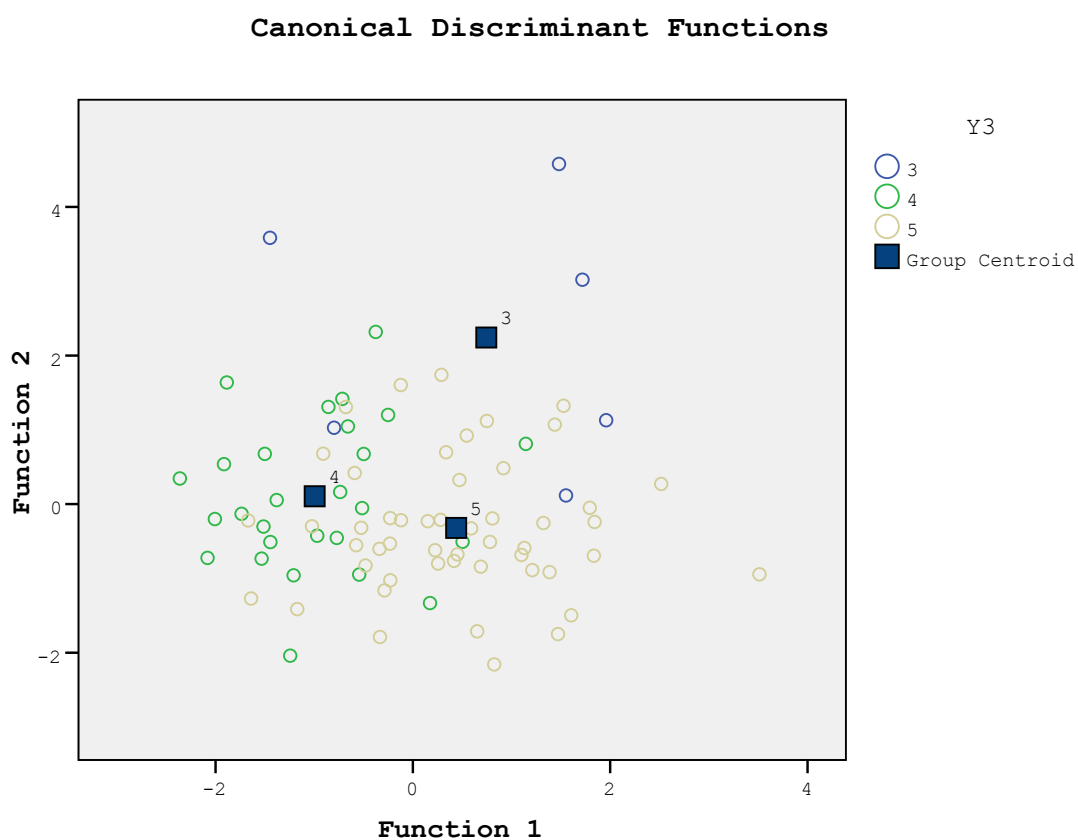


Рис. 13. Центроиды разных классов обучаемых в пространстве канонических функций

## Список литературы

1. Ветров А.Н. Факторы успеха в образовательной деятельности современного ВУЗа: Тенденции развития информационной среды дистанционного образования / А.Н. Ветров, Н.А. Ветров; коллективная монография под ред. члена-корр. «Международной академии наук ВШ» И.Н. Захарова. – СПб: Изд-во «МБИ», 2004. – С.54-65 (148 с.).
2. Ветров А.Н. Факторы успеха в образовательной деятельности современного ВУЗа: Когнитивная модель для адаптивных систем дистанционного обучения / А.Н. Ветров, Е.Е. Котова; коллективная монография под ред. члена-корр. «Международной академии наук ВШ» И.Н. Захарова. – СПб: Изд-во «МБИ», 2004. – С.65-78. (148 с.).
3. Ветров А.Н. Особенности структуры информационной среды адаптивных систем дистанционного обучения / А.Н. Ветров, Н.А. Ветров // «Актуальные проблемы экономики и новые технологии преподавания»: материалы IV<sup>ой</sup> международной научно-практической конференции, г. Санкт-Петербург, 15-16 марта 2005 г. – СПб.: «МБИ», 2005. – С.45-46.
4. Ветров А.Н. Информационная среда автоматизированного обучения на основе когнитивных моделей / А.Н. Ветров, Е.Е. Котова, Н.Н. Кузьмин // Известия «Международной академии наук ВШ», №3(37). – М.: «МАН ВШ», 2006. – 18 с.
5. Ветров А.Н. Особенности развития теории информации и информационных технологий на пороге XXI века: Монография. – М.: Деп. в «РАО». – 2007. – 141 с.
6. Ветров А.Н. Среда автоматизированного обучения со свойствами адаптации на основе когнитивных моделей: Монография. – М.: Деп. в «РАО». – 2007. – 256 с.
7. Ветров А.Н. Программный комплекс для исследования адаптивной информационно-образовательной среды на основе когнитивных моделей / А.Н. Ветров // «Современное образование: содержание, технологии, качество»: материалы XIII<sup>ой</sup> международной научно-практической конференции, г. Санкт-Петербург, 19 апреля 2007 г. – СПб.: «СПбГЭТУ "ЛЭТИ"», 2007. – С.142-144.
8. Ветров А.Н. Адаптивное средство обучения в автоматизированной образовательной среде на основе блока параметрических когнитивных моделей / А.Н. Ветров // «Управление качеством в современном ВУЗе»: материалы V<sup>ой</sup> международной научно-методической конференции, г. Санкт-Петербург, 21-22 июня 2007 г. – СПб.: «МБИ», 2007. – С.110-113.

9. Ветров А.Н. Методики и алгоритмы в основе технологии когнитивного моделирования / А.Н. Ветров // «Управление качеством в современном ВУЗе»: материалы V<sup>ой</sup> международной научно-методической конференции, г. Санкт-Петербург, 21-22 июня 2007 г. – СПб.: «МБИ», 2007. – С.86-89.
10. Ветров А.Н. Реализация адаптивного обучения в автоматизированной образовательной среде на основе когнитивных моделей / А.Н. Ветров // Известия «СПбГЭТУ "ЛЭТИ"», Вып. 1, Изд-во «СПбГЭТУ "ЛЭТИ"», 2007. – 9 с.
11. Ветров А.Н. Электронный учебник на основе процессора адаптивной репрезентации информационных фрагментов в автоматизированной образовательной среде. – М.: Деп. во «В И Н И Т И» «Р А Н». – 2008. – 15 с.
12. Дружинин В.Н. Структура и логика психологического исследования. – М.: «ИП» «РАН», 1994. – 163 с.
13. Мириманова М.С. Информационно-когнитивные процессы. – М.: «Прометей», 1989. – 80 с.

## **THE COGNITIVE MODELING TECHNOLOGY**

### **IN THE AUTOMATED EDUCATIONAL ENVIRONMENT**

A.N. Vetrov, assistant of the chair “Automatics and control processes”  
of “The Saint-Petersburg state electrotechnical university "LETI"”

*For the solving of the complex scientific problem of creation, system analysis and improving in the efficiency of functioning of the automated training with the properties of adaptation based on the cognitive models the new cognitive modeling technology is proposed, which includes: the technique of its use, the algorithm of formation of the structure of the cognitive model, the techniques of research of the parameters of the cognitive models of the subject and means of training, the algorithm of processing of a posteriori data of testing, and also the complex of programs for the automation of the tasks of research*

**The information-educational environment, the cognitive model,  
the automated training system, the cognitive modeling technology**