

# ИННОВАЦИОННЫЕ ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ

## ТЕХНОЛОГИЯ КОГНИТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ

А.Н. Ветров

Санкт-Петербургский государственный  
электротехнический университет (ЛЭТИ)

*Ул. проф. Попова, д. 5, Санкт-Петербург, Россия, 197376*

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 когнитивных моделей, методики исследования параметров когнитивных моделей, алгоритм обработки апостериорных данных тестирования, а также комплекс программ.

**Информационно-образовательная среда, когнитивная модель, система автоматизированного обучения, технология когнитивного моделирования. Особенности адаптивной среды на базе когнитивных моделей.** Созданная структура информационно-образовательной среды (ИОС) системы автоматизированного (дистанционного) обучения (АДО) со свойствами адаптации на основе когнитивных моделей (КМ) (рис. 1) выступает замкнутым контуром, является гибридной: имеет 2 уровня информационного взаимодействия и 6 каналов обмена информацией между  $n$  источниками и  $m$  потребителями информации [1; 2—4; 6].

Предложенная технология когнитивного моделирования (ТКМ) универсальна по отношению к объекту исследования и предметной области [2; 6].

ТКМ — итеративный цикл, предусматривающий возвраты в случае выявления ошибок и несоответствий, включающий последовательность этапов, реализующих системный анализ: идентификация объекта исследования — получение информации об исследуемом объекте; концептуализация — создание концептуальной схемы или модификация набора концептов; структурирование — разработка структурной схемы или модификация элементов концептуальной схемы; формализация — построение первого и второго уровня структуры КМ или изменение способа представления КМ; структурный анализ — верификация первого уровня структуры КМ или модификация его элементов; параметрический анализ — верификация второго уровня структуры КМ или его модификация; реализация — размещение полученной КМ в основе среды исследования, выявление несоответствий и причин затруднений при интеграции КМ; моделирование — моделирование, основанное на целостном подходе, решение про-

блем измерения и учета параметров; анализ — статистическая обработка полученных с помощью КМ данных, выявление неоднородностей, закономерностей и неоднозначностей; предметная интерпретация — интерпретация полученных зависимостей и закономерностей, научное обоснование полученных результатов; синтез — накопление новых знаний о динамике развития ситуации в предметной области, добавление новых аспектов рассмотрения объекта исследования.

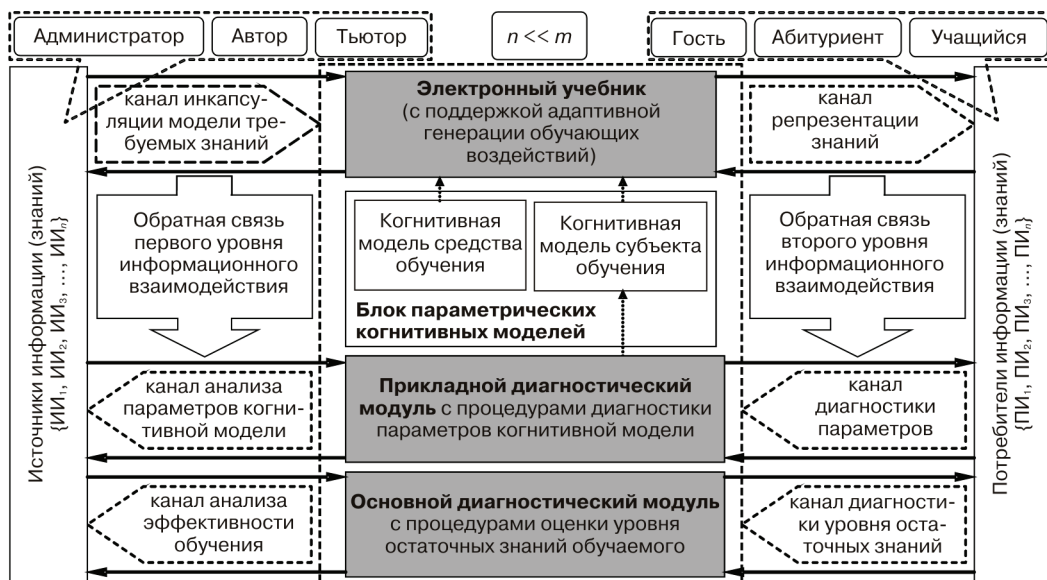


Рис. 1. Структура среды автоматизированного обучения со свойствами адаптации на основе когнитивных моделей

Апостериорные данные использования ТКМ для анализа ИОС приведены в научных трудах [4; 6].

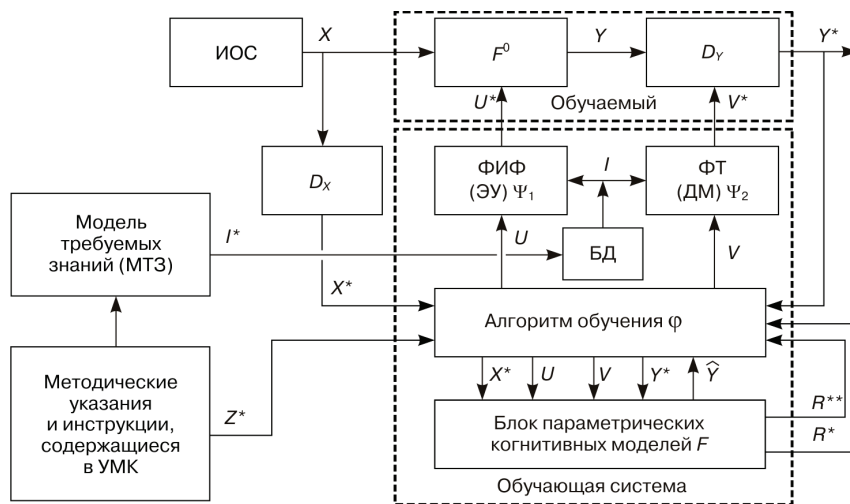
На разных этапах ТКМ используется набор методик и алгоритмов, реализующих различные функции и поддерживающих определенные стадии системного анализа среды автоматизированного обучения [6; 9]: методика использования ТКМ формализует процесс анализа ИОС; алгоритм формирования структуры КМ на базе новых способов представления вновь созданной или реконструируемой КМ; два способа представления структуры КМ (граф и структурная схема); методики исследования параметров КМ субъекта и средства обучения; алгоритм 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 использования основного и прикладного диагностических модулей (ДМ), входящих в систему АДО.

Для сложных ИОС АДО ТКМ предусматривает привлечение специалистов-консультантов: преподавателя, физиолога, психолога, лингвиста или методиста — эксперта в определенной предметной области; когнитолога — специалиста в области инженерии знаний, обеспечивающего корректность полученной структуры КМ; системного аналитика — специалиста в области системного анализа

и моделирования ИОС; программиста — квалифицированного специалиста, владеющего современными методами и подходами к реализации высокотехнологичных компонентов ИОС посредством разных интегрированных сред программирования (Borland C++ Builder, ASP.Net, XML).

При использовании ТКМ возможно добавление новых, удаление устаревших и модернизация существующих методик и алгоритмов для анализа разных объектов исследования в определенных предметных областях [6; 9].

В общем виде структура системы АДО формализуется посредством классической теории управления и представлена следующим образом (рис. 2).



**Рис. 2.** Структурная схема системы обучения на основе когнитивных моделей:

$F^0$  — оператор преобразования воздействий ИОС  $X$  и обучающих воздействий (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  $I$ ;  $Y^*$  — результативность тестовых заданий рассчитывается оператором  $D_Y$  (датчик) на основе состояния обучаемого  $Y$  и набора вопросов  $V^*$

Задача и цель процесса формирования знаний обучаемых сводится к определению минимально и максимально возможного порога вариации УОЗО, формированию модели требуемых знаний по предмету изучения; проведению исследования ИОЛСО посредством прикладного ДМ; обеспечению возможности повышения оценки УОЗО в интервале от минимального (состояние отсутствия априорных знаний в предметной области) до максимально возможного (состояние абсолютной обученности) посредством набора информационных фрагментов; реализации индивидуально-ориентированной модели формирования знаний контингента обучаемых путем использования адаптивного средства обучения на основе блока параметрических КМ; проведению текущего, промежуточного и итогового автоматизированного тестирования контингента обучаемых посредством использования основного ДМ для констатации факта достижения определенным обучаемым порогового значения  $\delta$  — требуемого УОЗО.

Процесс АДО выдерживает требование оптимальности по времени  $Z^* = \{Q(Y^*) \rightarrow \delta \ \& \ T(Y^*) \rightarrow \min\}$ ,  $\delta$  — требуемый УОЗО (оценка УОЗО).

Алгоритм обучения обеспечивает автоматизированное формирование последовательности информационных фрагментов (ОВ) разного содержания:

$$Q(P_{n+1}) = Q(F(P_n, U_{n+1}, C_n)) \rightarrow \min_{U_i, R_j} \Rightarrow U_{n+1}^*$$

При формировании последующего ОВ учитывается предыдущий информационный фрагмент, цели и задачи обучения и параметры КМ.

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

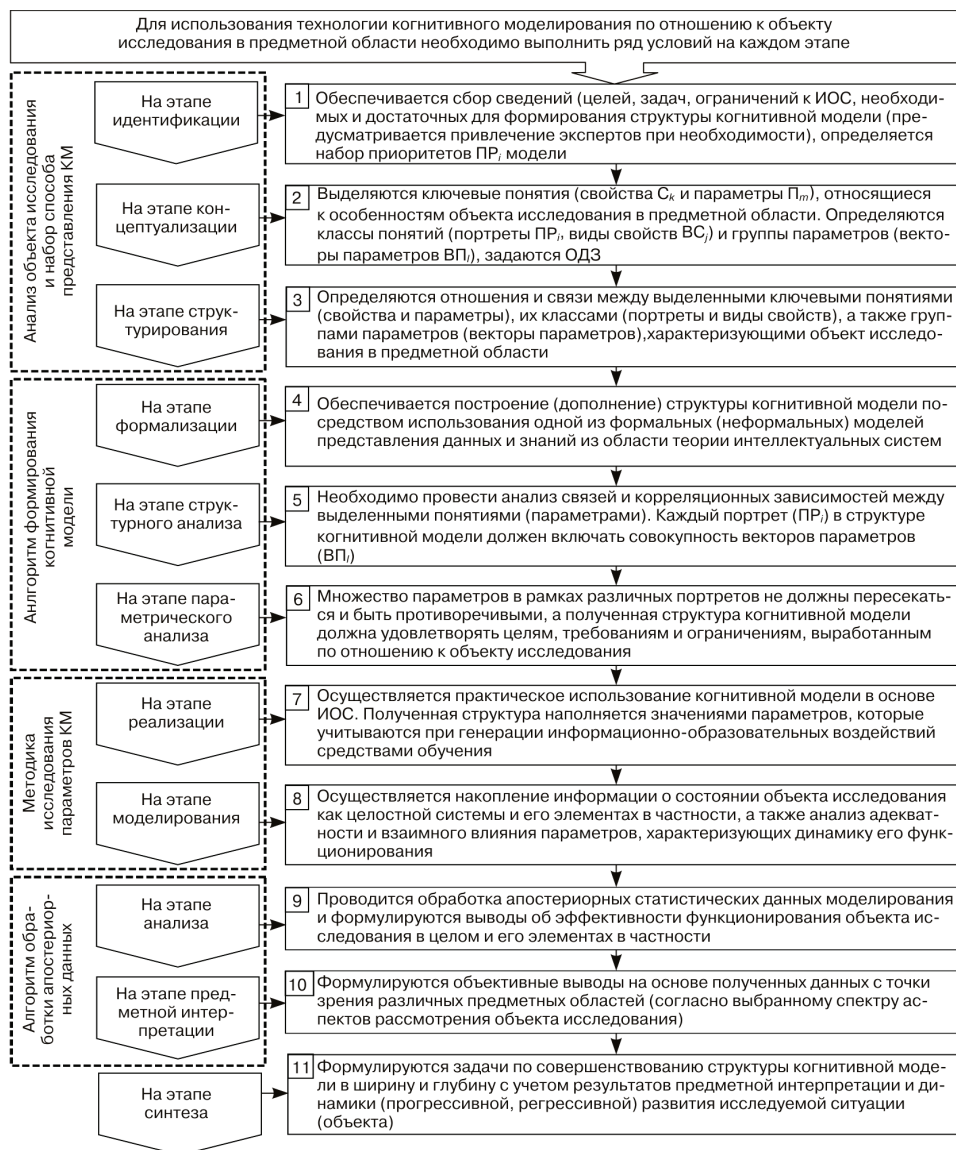
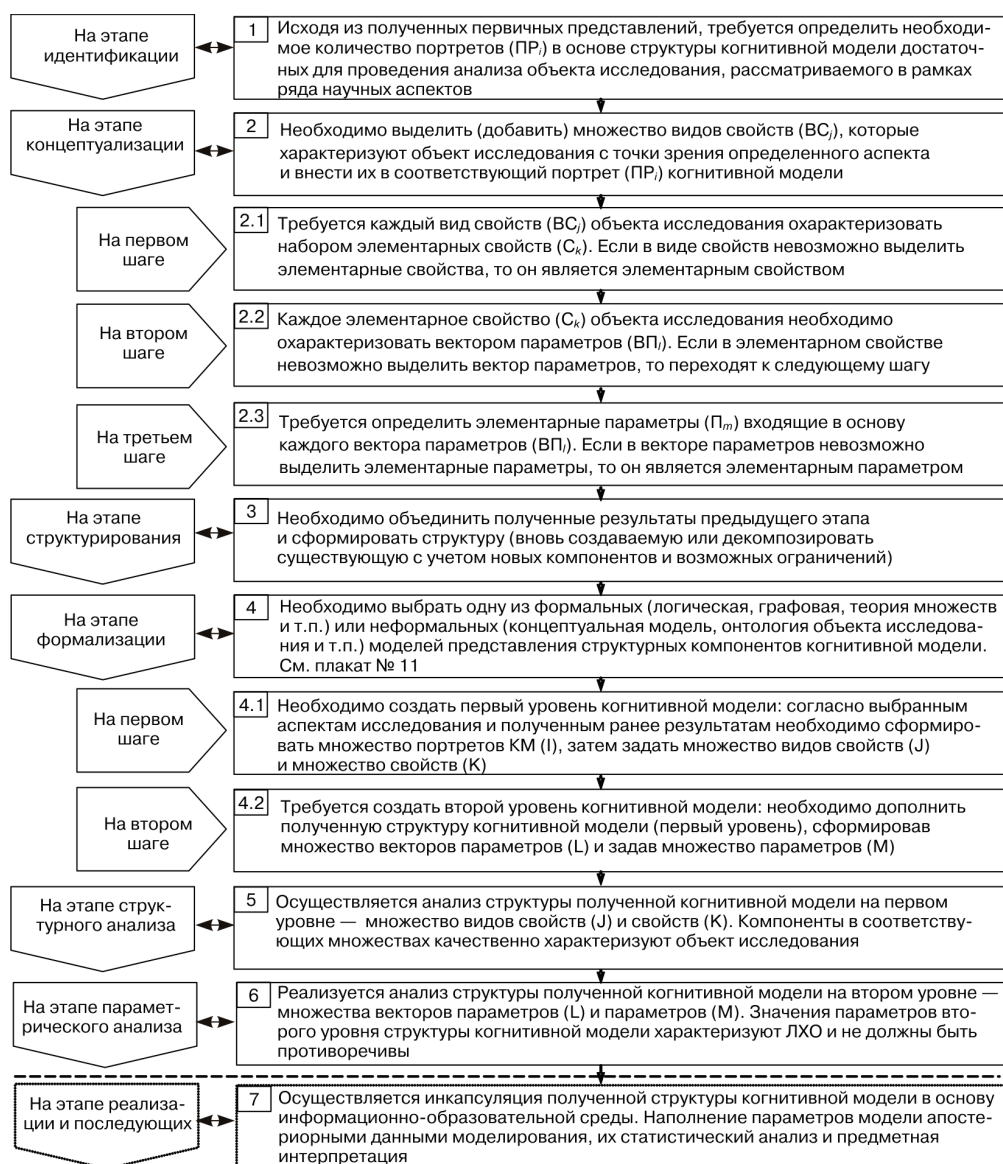


Рис. 3. Методика использования технологии когнитивного моделирования

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



**Рис. 4.** Алгоритм формирования структуры когнитивной модели

**Понятие и способы представления структуры когнитивной модели.** КМ — (ре)конструируемый в ширину и глубину репертуар параметров, который

эшелонирован на ряд портретов ( $ПР_i$ ) и стратифицирован на несколько множеств, расположенных на двух уровнях иерархии:

- множество видов свойств ( $ВС_j$ ),
- множество элементарных свойств ( $С_k$ ),
- множество векторов параметров ( $ВП_l$ )
- множество элементарных параметров ( $П_m$ ) [6].

Допустимо применение одной из известных формальных, неформальных, либо предложенных автором моделей представления данных [5]:

- формальная логическая модель, основанная на применении исчисления высказываниями и предикатами первого и второго порядка;
- продукционная модель, включающая совокупность продукционных ядер (правил), которые формируют разветвленное решающее дерево;
- фреймовая модель представления структурированных данных;
- семантическая сеть, представляющая собой ориентированный граф;
- онтология предметной области, предназначенная для неформального описания слабо структурированных предметных областей.

Предлагается два способа (модели) представления структуры КМ [6]:

- ориентированный граф, сочетающий теорию множеств (рис. 5) — расширяемый в ширину и глубину репертуар параметров, эшелонированный на ряд портретов (физиологический, психологический, лингвистический) и стратифицированный на несколько множеств (множество видов свойств и множество элементарных свойств, множество векторов параметров и множество элементарных параметров), которые расположены на двух уровнях выделенной (вновь созданной) и полученной (реконструируемой) структуры КМ инвариантно предмету анализа;

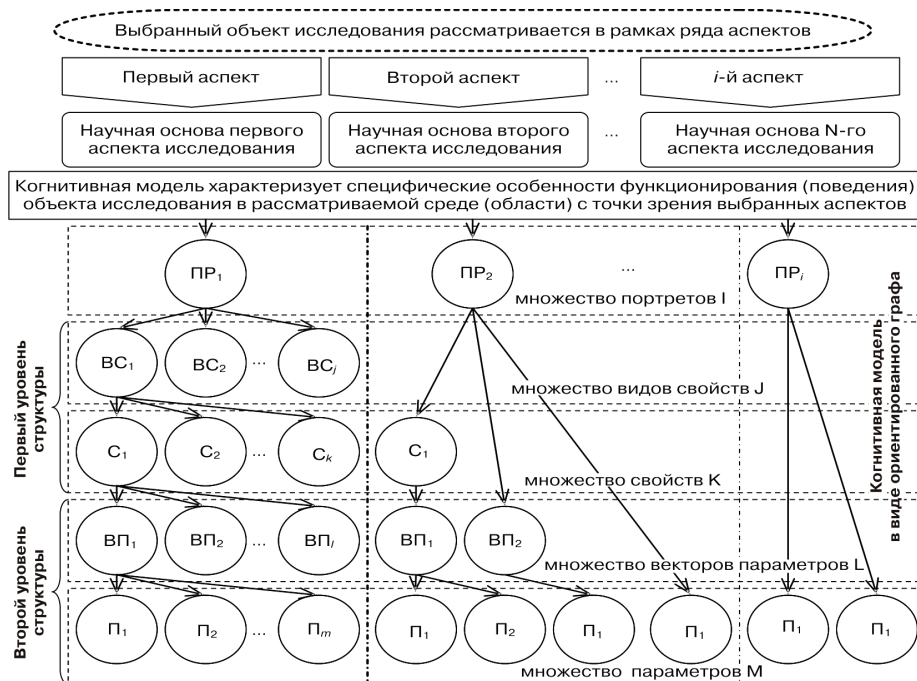


Рис. 5. Представление структуры когнитивной модели в виде ориентированного графа

— многоуровневая структурная схема (рис. 6) — расширяемый в ширину и глубину репертуар параметров, эшелонированный на ряд портретов и стратифицированный на несколько множеств, которые отражают структуру КМ без использования связей между элементами (полное отсутствие), которые расположены на двух уровнях сформированной иерархии, согласно принципу взаимной вложенности (соподчиненности).

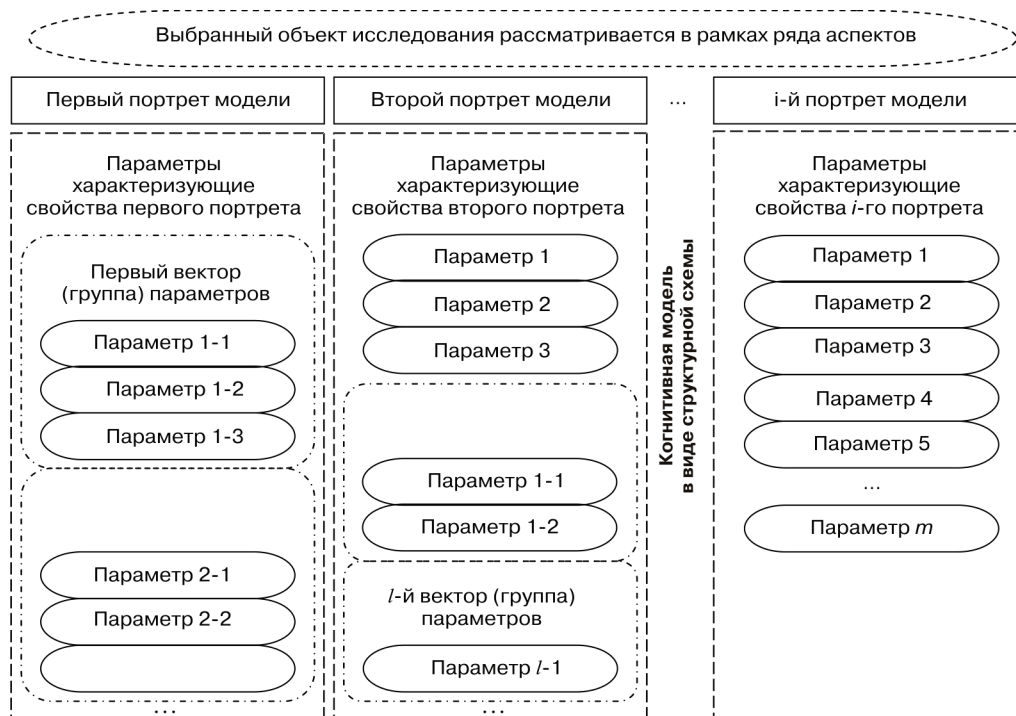


Рис. 6. Представление когнитивной модели в виде многоуровневой схемы

Структуры когнитивных моделей субъекта и средства обучения, а также методики их исследования и алгоритм обработки апостериорных данных КМ субъекта и средства обучения содержатся в основе блока параметрических КМ, включают ряд портретов, имеющих научное обоснование:

- физиологический — физиологии сенсорных систем (В.М. Кроль);
- психологический — когнитивная психология (В.М. Дружинин);
- лингвистический — когнитивная и прикладная лингвистика (М.Л. Гик).

КМ субъекта обучения (рис. 7) концентрирует параметры, характеризующие индивидуальные особенности восприятия, обработки и понимания субъектом обучения содержания набора информационных фрагментов, которые отражают структуру определенного предмета изучения [2; 3; 4; 6].

КМ средства обучения (рис. 8) отражает потенциальные технические возможности электронного средства обучения при реализации индивидуально-ориентированной генерации информационных воздействий различным способом посредством процессора адаптивной репрезентации информации, функционирующего на основе блока параметрических КМ [3; 4; 6; 8].

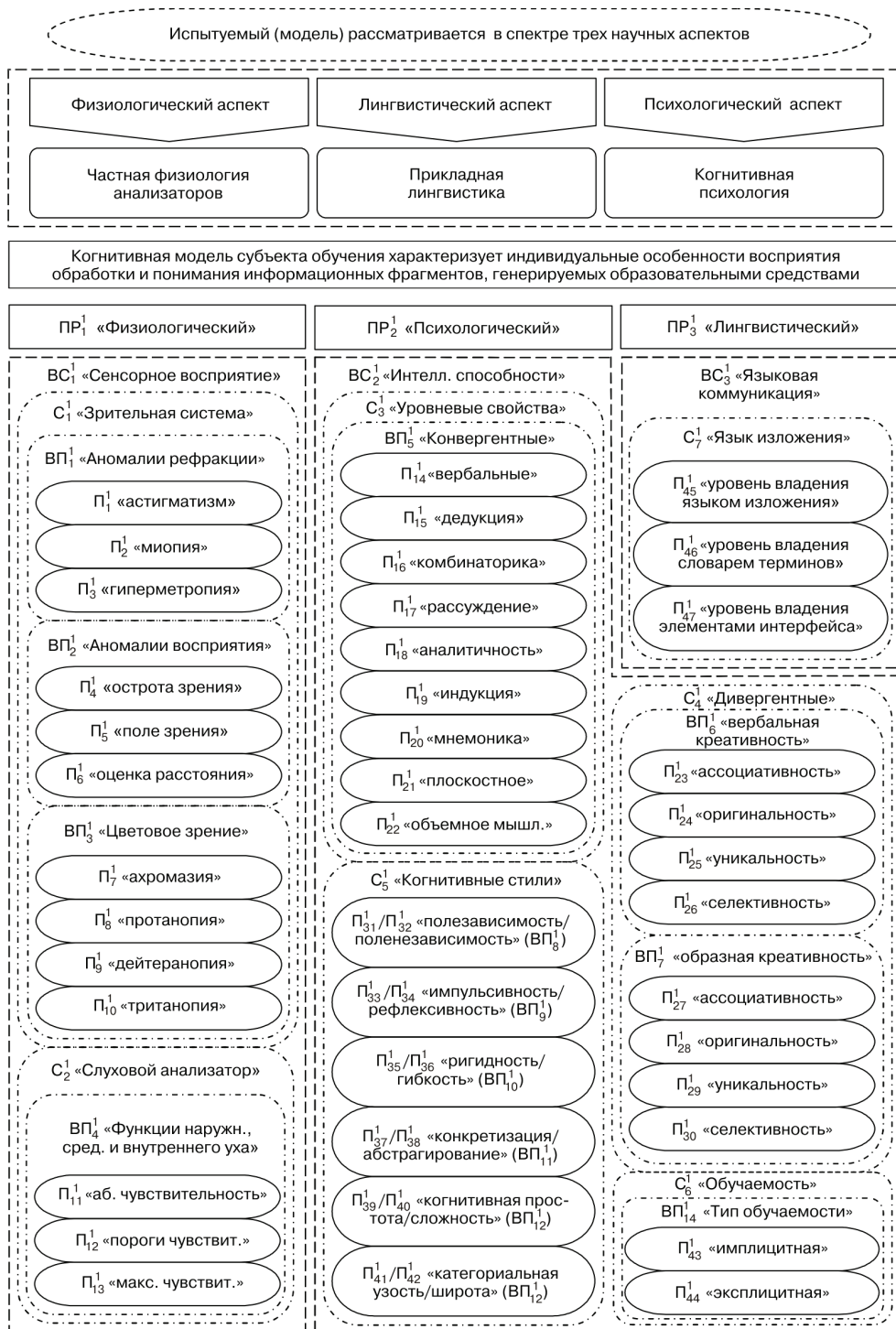
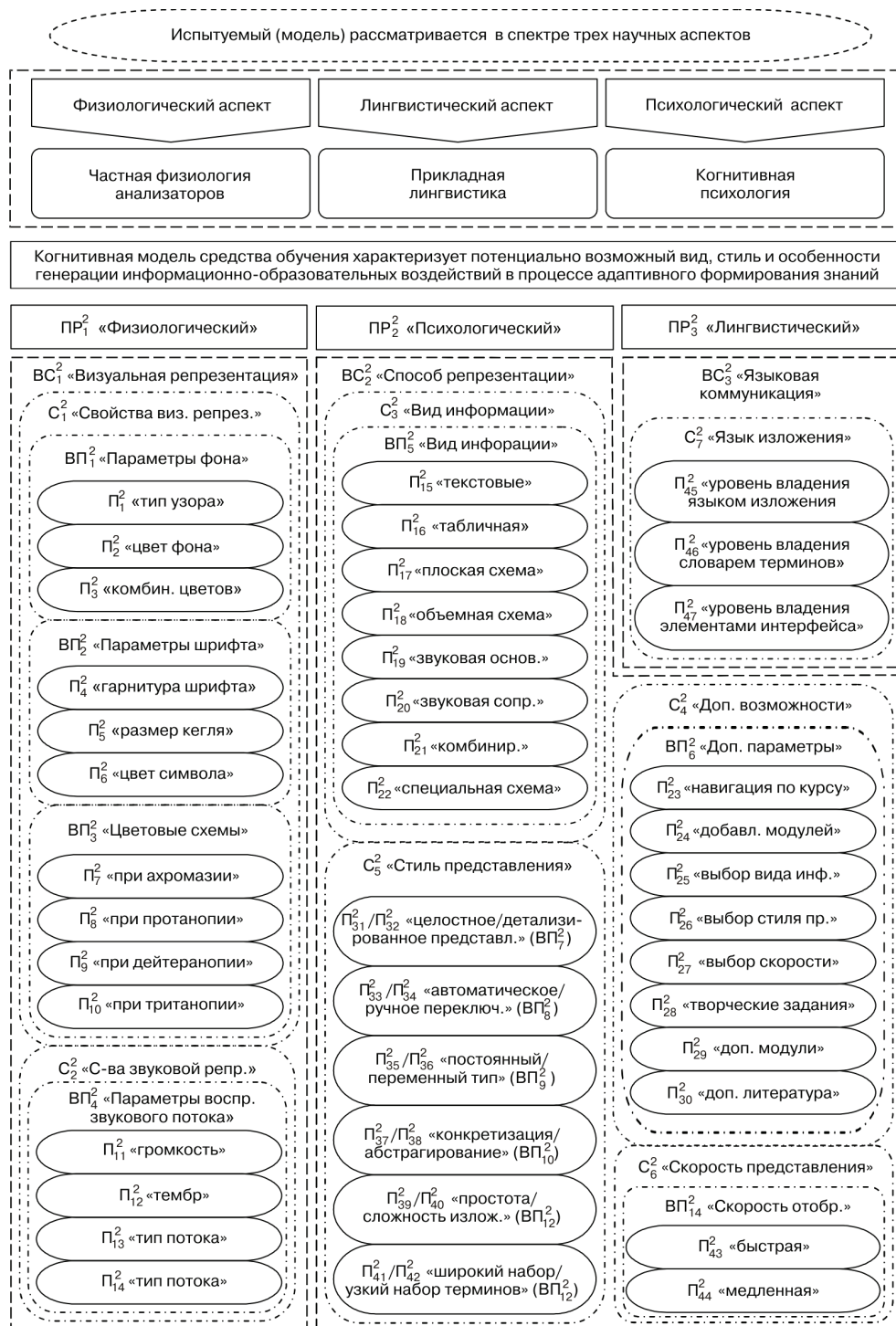


Рис. 7. Структура когнитивной модели субъекта обучения





**Рис. 8.** Структура когнитивной модели средства обучения

Методика исследования параметров КМ субъекта обучения (рис. 9) позволяет наполнить и сохранить в БД комплекса программ актуальное множество

параметров содержащихся в сформированной структуре КМ субъекта обучения, подобрать набор методов для их исследования, обеспечить постановку и проведение серии экспериментальных исследований посредством использования прикладного ДМ [3; 4; 6; 7; 10].

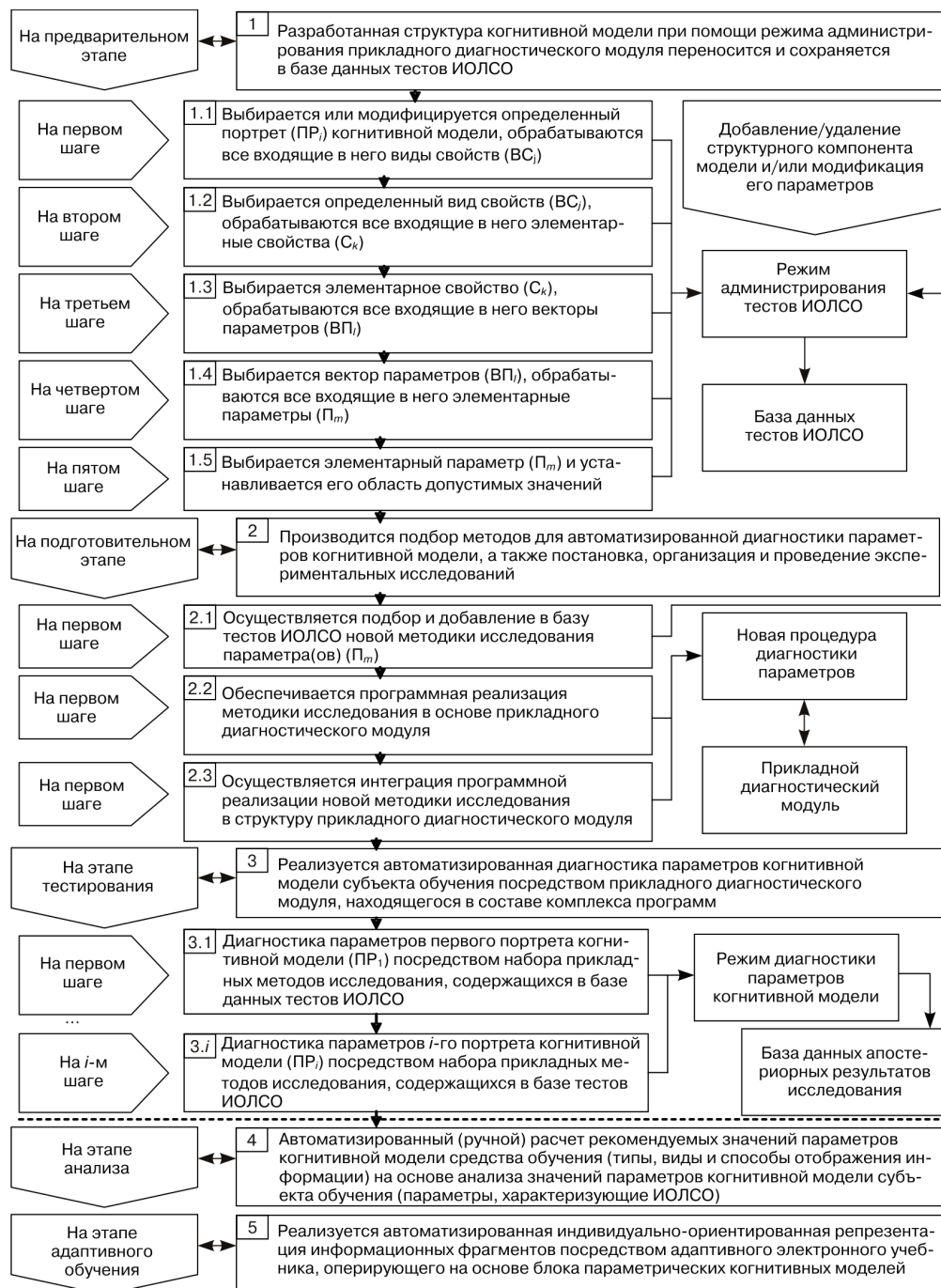


Рис. 9. Методика исследования параметров когнитивной модели субъекта обучения

Методика исследования параметров КМ средства обучения (рис. 10) позволяет настроить компоненты комплекса программ, добавить новую процедуру в основе процессора адаптивной репрезентации информационных фрагментов, а также рассчитать оптимальное сочетание значения параметров отображения информационных фрагментов для каждого обучаемого.

Автоматизация процесса индивидуально-ориентированного отображения информационных фрагментов достигается посредством использования разработанного адаптивного средства обучения, основной ДМ обеспечивает тестирование УОЗО, прикладной ДМ реализует диагностику ИОЛСО.

Методики исследования параметров КМ субъекта и средства обучения позволяют обеспечить организацию, постановку и проведение серии экспериментов для диагностики ИОЛСО, а также корректно настроить программный комплекс для автоматизации задач исследования ИОС и системы АДО.

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

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

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

Практическое использование научных и практических результатов осуществлялось в учебном процессе Международного банковского института и Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета (ЛЭТИ) (имеются акты). Получены 3 авторских свидетельства.

Оценка эффективности результатов исследования производилась с использованием общепринятых показателей эффективности (результативности) обучения:

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

где коэффициенты  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  соответственно обозначают абсолютный, сравнительный и относительный показатели эффективности (результативности) формирования знаний контингента обучаемых [12; 13], а результаты статистической обработки апостериорных данных серии экспериментов обобщены в табл. 1.

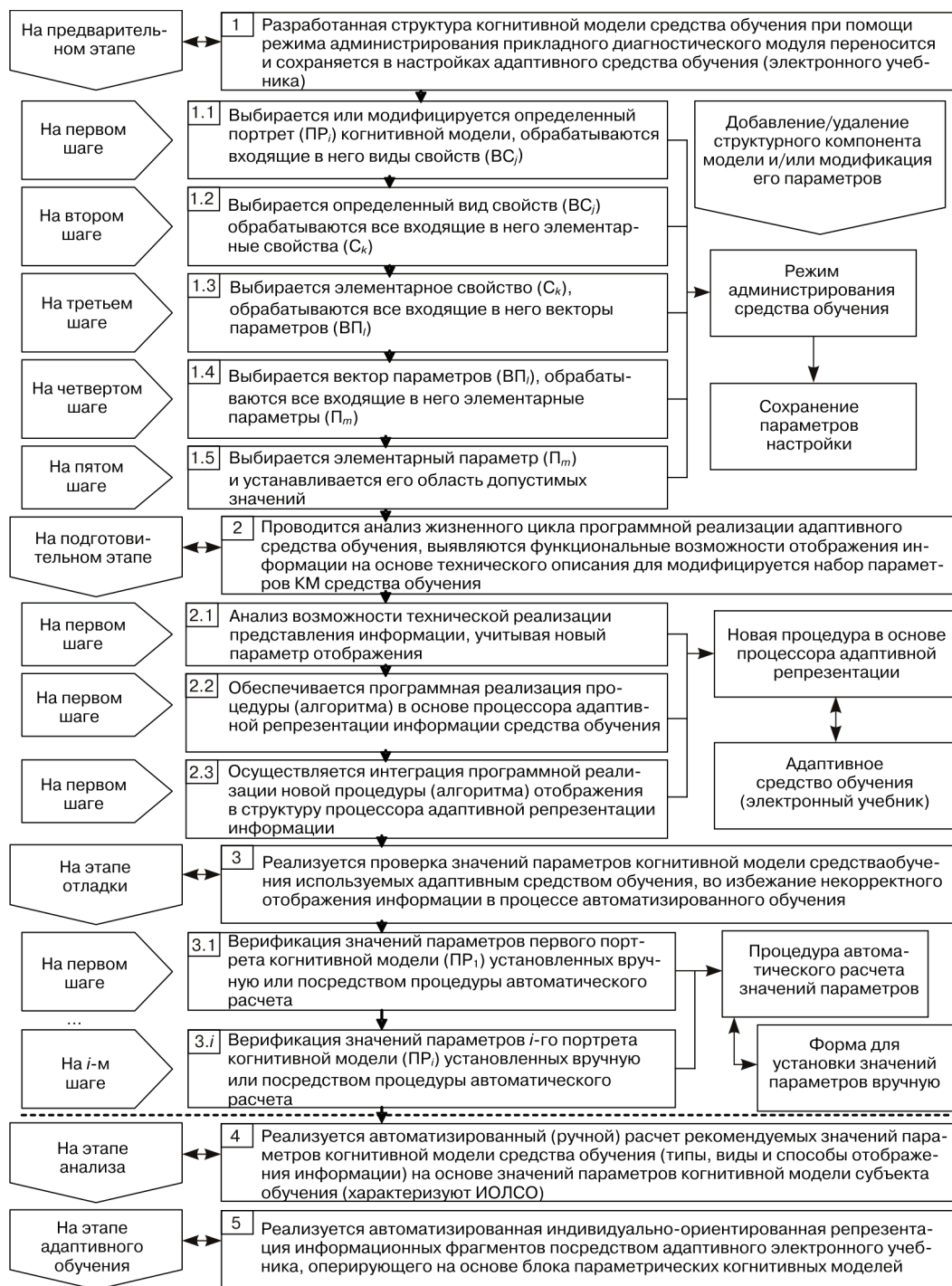


Рис. 10. Методика исследования когнитивной модели средства обучения

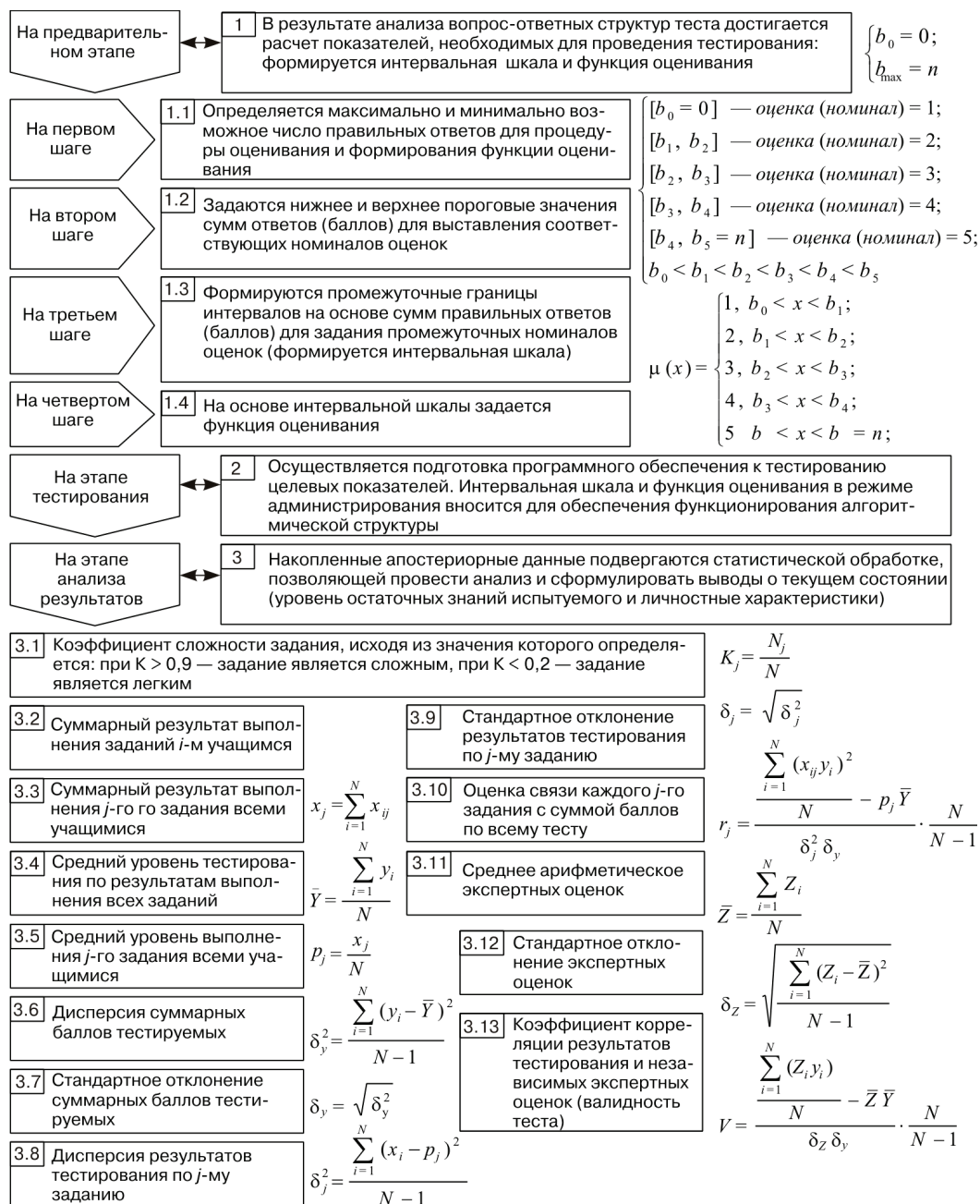


Рис. 11. Алгоритм обработки апостериорных данных тестирования

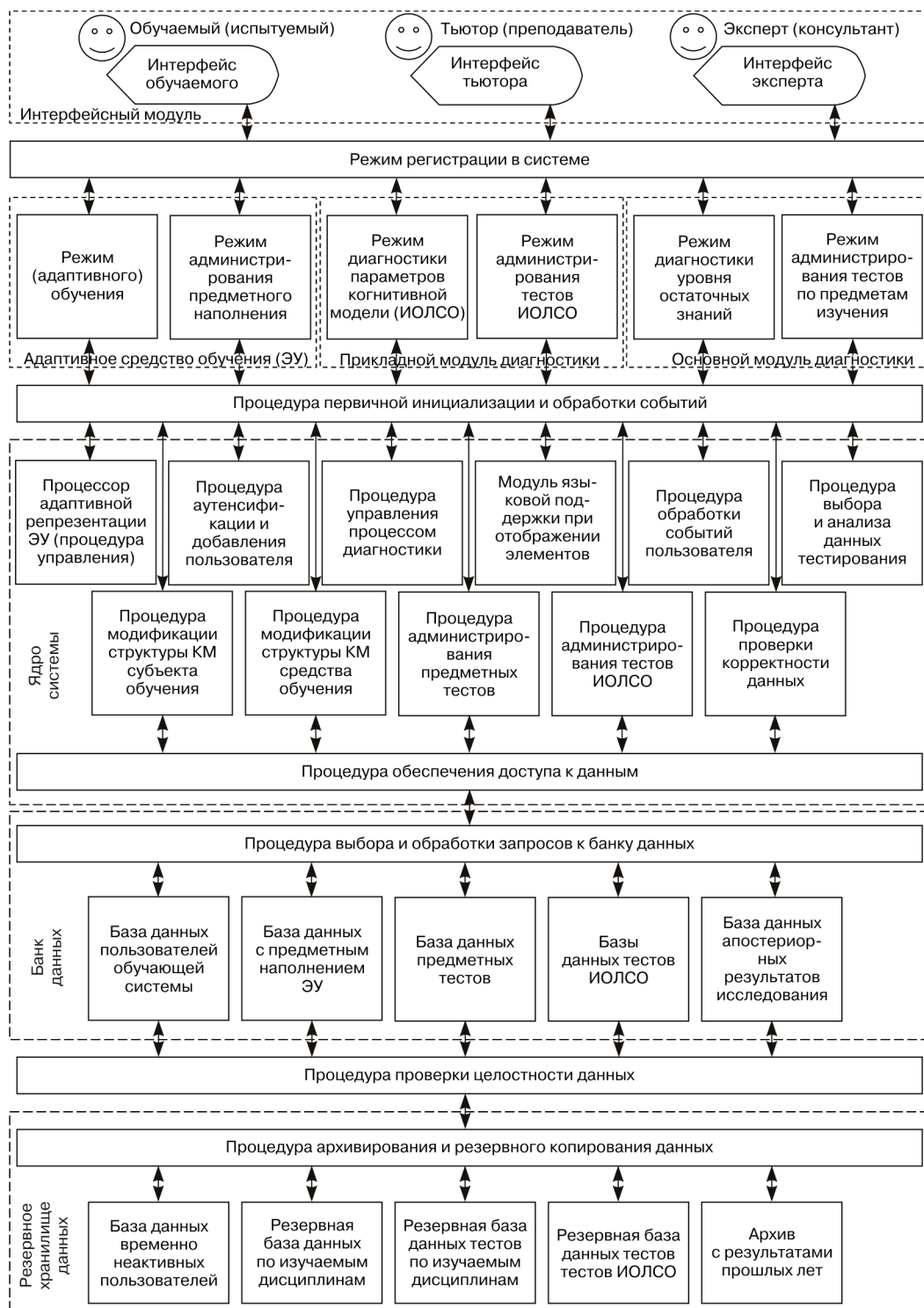


Рис. 12. Структурно-функциональная схема комплекса программ

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 г.								
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 ср. балла	0,686	0,845	0,779	0,502	0,802	0,507	—	—
Показатели результативности обучения за 2005 г.								
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 ср. балла	0,817	0,785	0,824	0,8	0,859	0,811	0,559	0,894
Показатели результативности обучения за 2006 г. (с исп. ТКМ в трех 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 ср. балла	0,707	0,656	0,775	0,751	0,572	0,612	0,858	0,853
Итоги статистического анализа								
Показатели, отражающие изменение эффективности обучения за 2004—2005 гг.								
$k_1$	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 гг.								
$k_1$	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

Полученные в результате регрессионного анализа апостериорных данных 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 значений коэффициентов (предикторов)  $K_i$  находящихся в основе полученной линейной регрессионной модели  $\hat{Y}(K_i)$ . Значения исходных ( $\beta$ ) и стандартизованных коэффициентов ( $\beta'$ ) линейной регрессионной модели  $\hat{Y}(K_i)$  представлены в табл. 2—3. Константа 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 множественной регрессионной модели:

$$K_7 = \Pi_7^1, K_8 = \Pi_8^1, K_9 = \Pi_9^1, K_{14} = \Pi_{14}^1, K_{15} = \Pi_{15}^1, K_{16} = \Pi_{16}^1, K_{17} = \Pi_{17}^1, \\ K_{18} = \Pi_{18}^1, K_{19} = \Pi_{19}^1, K_{20} = \Pi_{20}^1, K_{21} = \Pi_{21}^1, K_{22} = \Pi_{22}^1, K_{23} = \Pi_{23}^1, K_{24} = \Pi_{24}^1, \\ K_{25} = \Pi_{25}^1, K_{27} = \Pi_{27}^1, K_{28} = \Pi_{28}^1, K_{29} = \Pi_{29}^1, K_{45} = \Pi_{45}^1, \text{Vo}zr,$$

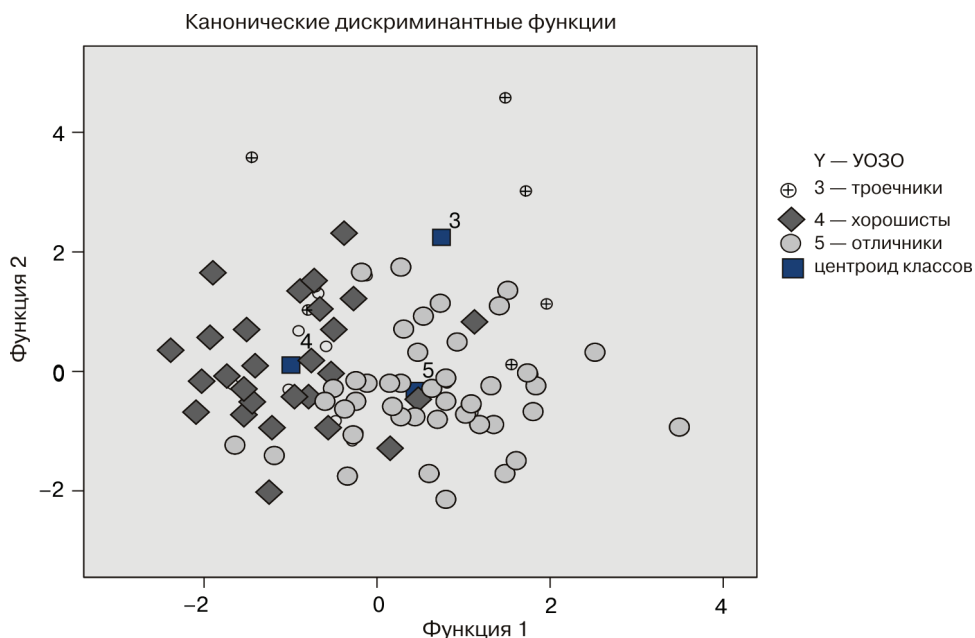
а фактором (зависимой переменной) выступает результативность обучения  $Y$ . Тогда уравнение множественной регрессии принимает вид

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

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

В ходе дискриминантного анализа осуществлялось выделение нескольких групп обучаемых в зависимости от показателя результативности (эффективности) обучения (оценка УОЗО): «5» — отличники; «4» — хорошисты; «3» — троечники.

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



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



## ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Ветров А.Н.* Факторы успеха в образовательной деятельности вуза: Тенденции развития информационной среды дистанционного образования / А.Н. Ветров, Н.А. Ветров; колл. монография под ред. И.Н. Захарова. — СПб.: МБИ, 2004. — С. 54—65.
- [2] *Ветров А.Н.* Факторы успеха в образовательной деятельности ВУЗа: Когнитивная модель для адаптивных систем дистанционного обучения / А.Н. Ветров, Е.Е. Котова; колл. монография под ред. И.Н. Захарова. — СПб.: МБИ, 2004. — С. 65—78.
- [3] *Ветров А.Н.* Особенности структуры информационной среды адаптивных систем ДО // А.Н. Ветров, Н.А. Ветров. Актуальные проблемы экономики и новые технологии преподавания: Материалы IV междунар. науч.-практ. конф., С.-Петербург, 15—16 марта 2005. — 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.
- [5] *Ветров А.Н.* Особенности развития теории информации и информационных технологий на пороге XXI века: Монография. — М.: Деп. РАО, 2007.
- [6] *Ветров А.Н.* Среда автоматизированного обучения со свойствами адаптации на основе когнитивных моделей: Монография. — М.: Деп. РАО, 2007.
- [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 междунар. науч.-практ. конф., С.-Петербург, 19 апреля 2007. — СПб.: СПбГЭТУ, 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 междунар. науч.-метод. конф., Санкт-Петербург, 21—22 июня 2007. — 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 междунар. науч.-метод. конф., Санкт-Петербург, 21—22 июня 2007. — СПб.: МБИ, 2007. — С. 86—89.
- [10] *Ветров А.Н.* Реализация адаптивного обучения в автоматизированной образовательной среде на основе когнитивных моделей // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Вып. 1, Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2007.
- [11] *Ветров А.Н.* Электронный учебник на основе процессора адаптивной репрезентации информационных фрагментов в автоматизированной образовательной среде. — М.: Деп. ВИНТИ РАН, 2008.
- [12] *Дружинин В.Н.* Структура и логика психологического исследования. — М.: ИПРАН, 1994.
- [13] *Мириманова М.С.* Информационно-когнитивные процессы. — М.: Прометей, 1989.

## THE COGNITIVE MODELING TECHNOLOGY IN AUTOMATED EDUCATIONAL ENVIRONMENT

**A.N. Vetrov**

St.-Petersburg state electrotechnical University (LETI)

*Prof. Пилова str., 5, St.-Petersburg, Russia, 197376*

For the decision of a complex scientific problem of creation, system analysis and increase functioning efficiency of the automated training environment with adaptation properties based on cognitive models the new cognitive modelling technology is offered, it includes: technique of its use, algorithm of cognitive models formation, technique of cognitive models parameters research, algorithm of processing a posteriori data of testing, and also a complex of programs