

На правах рукописи

Леонова Наталия Михайловна

**МЕТОДЫ АДАПТИВНОГО СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО
УПРАВЛЕНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИИ МНОГОСВЯЗНЫХ
СОЦИАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ПРИМЕРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

05.13.01 - системный анализ, управление и обработка информации
(по отраслям)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва 2006

Работа выполнена в Московском инженерно-физическом институте (государственном университете).

Научный консультант: доктор технических наук, профессор
Модяев Алексей Дмитриевич

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, профессор
Шикин Евгений Викторович

доктор технических наук, профессор
Топорков Виктор Васильевич

доктор технических наук, профессор
Кулябичев Юрий Павлович

Ведущая организация: Институт проблем информатики Российской
академии наук (ИПИ РАН)

Защита состоится « 14 » марта 2007 г. в 14 часов на заседании
диссертационного совета Д 212.130.03 в МИФИ (ГУ) по адресу: 115409,
Каширское шоссе, д.31., тел. (495)324-84-98, 323-91-67,

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МИФИ (ГУ).

Автореферат разослан «__» _____ 2007 г.

Просим принять участие в работе совета или выслать отзыв на
автореферат в одном экземпляре, заверенный печатью организации.

Ученый секретарь диссертационного совета
д.т.н., профессор

Ю.Ю.Шумилов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

В настоящее время в различных областях социальной сферы при решении задач обработки информации и управления широко используются компьютерные средства. Отличительной особенностью создаваемых здесь информационно-управляющих систем является наличие многоканального режима управления, который обеспечивает индивидуальное взаимодействие с каждым из объектов той или иной социальной группы. Однако переход от решения отдельных задач вспомогательного характера к постановке и разрешению крупных комплексных проблем управления в социальной сфере сдерживается отсутствием или недостаточно глубокой проработкой теории и методов построения систем управления рассматриваемого класса. Все сказанное в полной мере относится и к образовательной деятельности.

В процессе обучения имеет место целенаправленное взаимодействие между преподавателем и обучаемым с использованием соответствующих учебно-методических материалов. Это взаимодействие осуществляется в течение цикла обучения в рамках электронной информационно-образовательной среды. С позиций теории управления обучаемый является сложным объектом управления, обладающим многосвязностью характеристик и неопределенными структурой и параметрами. В этих условиях при формировании системы управления учебным процессом, поддерживающей профессиональную деятельность преподавателей, целесообразно воспользоваться основополагающими кибернетическими принципами адаптации, самонастройки и самоорганизации. Недостаток информации об объекте управления будет восполняться за счет применения методов его идентификации.

Основополагающий вклад в разработку теории адаптивного управления и идентификации объектов и систем внесли отечественные и зарубежные ученые Я.З.Цыпкин, Б.Н.Петров, А.А.Красовский, А.Л.Фрадков, Ю.М.Козлов и Р.М.Юсупов, Р.Беллман, Дж. Саридис, П.Эйкхофф, П.Гроп, Э.П.Сейдж и Дж.Л.Мелса, I.D.Landau, G.Tao. В выполненных ими работах развиваются методы построения адаптивных систем управления на основе принципов самонастройки, самоорганизации и идентификации объектов управления. Поскольку полученные результаты относятся преимущественно к технической сфере, требуется их дальнейшее развитие и обобщение для использования в социальной сфере деятельности. Основные трудности здесь заключаются в следующем. Во-первых, в социальной сфере при математическом описании динамики процессов, объектов и систем практически не удастся использовать классические подходы, такие как методы теории пространства состояний. Поэтому необходимо искать иные, теоретико-множественные подходы к решению данной задачи, на основе которых удастся выявить признаки, характеризующие как статические, так и динамические свойства рассматриваемых процессов и объектов. На основе этих же подходов следует решать задачи идентификации объектов управления, которые часто

оказываются многосвязными. Во-вторых, аналитическое решение задачи оптимизации показателя качества при синтезе законов адаптации и управления не представляется возможным из-за отсутствия математического описания процессов управления в виде дифференциальных уравнений и их частных производных. Поэтому оптимизацию режимов достижения целей управления необходимо проводить с использованием компьютерных моделей управляемого процесса. В-третьих, значительные трудности встречаются при измерении тех величин, которые должны использоваться при формировании контуров адаптации и управления, поскольку они часто являются латентными. О возрастающем интересе к решению задач адаптивного управления в социальной сфере свидетельствует значительное увеличение количества публикаций, посвященных данной теме. Тем не менее, в настоящее время социальная кибернетика находится в начальной стадии своего развития и далека от завершения.

Разработка методов социальной кибернетики позволяет формировать многофункциональные адаптивные информационно-образовательные среды нового поколения, обладающие свойствами инвариантности к различным видам образовательной деятельности и к контингенту обучаемых, а также высокой степенью автономности, что дает возможность повысить качество и эффективность учебного процесса. Этим обуславливается важность и актуальность данной работы.

Диссертационная работа подготовлена на основе многолетних исследований автора в области информатизации образования, выполненных в Московском инженерно-физическом институте (государственном университете), в том числе фундаментального научного исследования, выполненного по заданию Министерства образования и науки РФ на тему «Исследование и создание математических методов обработки информации и управления с использованием интеллектуальных средств поддержки принятия решения», номер гос. регистрации 0120.0506957, 2001-2006 гг.

Объектом исследования являются процессы многофункциональной компьютерной поддержки профессиональной деятельности преподавателей в ходе учебного процесса.

Предметом исследования выступает методология создания информационно-образовательных сред нового поколения, обеспечивающих взаимодействие обучаемых с электронными образовательными ресурсами в режиме адаптивного структурно-параметрического управления.

Цели и задачи исследования

Целью диссертационной работы является решение крупной научной проблемы, заключающейся в экспериментальном исследовании и разработке теории, методов и средств адаптивного структурно-параметрического управления и идентификации многосвязных социальных объектов на примере образовательной деятельности, имеющей важное хозяйственное и социально-культурное значение.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие **основные задачи:**

- разработка принципов построения и выбор структуры адаптивных электронных информационно-образовательных сред, обеспечивающих многофункциональную поддержку профессиональной деятельности преподавателей в условиях инвариантности к видам образовательной деятельности и к уровням подготовки обучаемых;
- формирование показателей качества, частных и обобщенных критериев оценки эффективности процессов управления взаимодействием обучаемых с электронными образовательными ресурсами;
- разработка измерительного устройства с адаптивным тестированием, предназначенного для оценивания латентного параметра – уровня знаний обучаемых, используемого при формировании контура адаптации;
- проведение статистической обработки экспериментальных данных, получаемых при параметрически адаптивном управлении учебным процессом, с целью выявления характеристик многосвязности, статики и динамики обучаемых как объекта управления;
- создание имитационных математических моделей обучаемого, отражающих его поведение в процессе выполнения различных видов учебных занятий в условиях изменения уровня интенсивности входных воздействий;
- разработка теоретических основ нового класса адаптивных систем идентификационного типа с пробными воздействиями для управления многосвязными динамическими объектами, допускающими как классическую, так и кластерную форму представления исходных моделей;
- разработка методов синтеза законов структурно-параметрической адаптации и управления многосвязными динамическими объектами с использованием кластерных моделей и цифровых фильтров;
- разработка методов выбора структуры и оптимизации параметров цифровых фильтров по выбранному критерию на основе компьютерного моделирования с использованием имитационных моделей различных видов учебных занятий, законов адаптации и управления;
- разработка методов и средств информационной поддержки учебного процесса в виде взаимодействующих между собой системы управления банка структурированных учебно-методических материалов и банка данных;
- комплексирование программно-аппаратных средств и проведение экспериментальных исследований для сравнительного анализа показателей качества адаптивной информационно-образовательной среды в режиме структурно-параметрического управления в условиях реального учебного процесса;
- создание научно обоснованной методологии построения многофункциональных сетевых информационно-образовательных сред нового поколения на основе применения принципов адаптации, самонастройки и самоорганизации.

Результаты решения поставленных в работе задач могут быть также использованы в иных областях социальной деятельности, а также в технических приложениях.

Методы исследования При решении поставленных задач использовались методы математической статистики, методы кластерного анализа и идентификации, методы имитационного моделирования, теория адаптивного управления, методы цифровой фильтрации, методы численной оптимизации, методы адаптивного тестирования, основы теории баз и банков данных.

Научная новизна и практическая значимость работы

Научная новизна результатов работы заключается в следующем:

- впервые теоретически обоснованы и реализованы на примере образовательной деятельности принципы и методы адаптивного структурно-параметрического управления многосвязными социальными объектами;
- выявлены неизвестные ранее закономерности и свойства поведения обучаемых как многосвязных объектов управления по результатам статистической обработки экспериментальных данных, полученных в ходе реального учебного процесса;
- введена кластерная форма представления математических моделей обучаемых при проведении различных видов учебных занятий, выявлены свойства и параметры взаимосвязи кластеров. Установлено, что каждый из кластеров отражает как статические, так и динамические характеристики моделей поведения обучаемых;
- впервые созданы имитационные математические модели управляемого учебного процесса, использующие экспериментально полученные для каждого из кластеров функции распределения плотности вероятностей выходных величин в виде гистограмм при различных уровнях входных воздействий;
- разработаны теоретические основы нового класса адаптивных систем идентификационного типа с пробными воздействиями для управления многосвязными динамическими объектами, допускающими как классическую, так и кластерную форму представления исходных моделей;
- поставлена и решена задача синтеза законов структурно-параметрической адаптации и управления многосвязными динамическими объектами с использованием кластерных моделей и дискретных корректирующих устройств в виде цифровых фильтров;
- поставлены и решены задачи выбора структуры и оптимизации параметров цифровых фильтров по выбранному критерию на основе компьютерного моделирования с использованием имитационных моделей различных видов учебных занятий, законов адаптации и управления;
- разработана научно обоснованная методология построения многофункциональных сетевых информационно-образовательных сред нового поколения на основе применения принципов адаптации, самонастройки и самоорганизации.

Практическая значимость результатов работы определяется тем, что:

- разработано измерительное устройство с адаптивным тестированием, обеспечивающее систематическое оценивание уровня знаний обучаемых, приобретаемых в ходе учебного процесса. Введение контура адаптации в

измерительное устройство способствует достижению приемлемых характеристик тестирования при одновременном сокращении объемов тестовых заданий и снижении нагрузки на обучаемых;

- разработаны средства информационной поддержки учебного процесса в виде управляемых электронных образовательных ресурсов. Информационное наполнение средств поддержки включает в себя структурированные учебно-методические материалы для тестирования обучаемых и проведения различных видов учебных занятий;

- создан банк данных, содержащий наборы тестовых заданий, задач и заданий различных уровней сложности, предназначенных для выполнения учебных занятий, а также справочные и методические материалы;

- разработаны способы аттестации тестовых заданий по критериям соответствия заявленной и реальной сложности, дискриминативности и валидности, что позволяет формировать наборы тестовых заданий с заданными характеристиками;

- проведено комплексирование программно-аппаратных средств адаптивной информационно-образовательной среды, используемой при очной форме образовательной деятельности. Показано, что эти средства могут быть применены при проведении учебного процесса при других формах образовательной деятельности, в частности, при вечерней, очно - заочной и дистанционной формах обучения, а также в режиме экстерната;

- создана методология построения многофункциональных сетевых информационно-образовательных сред нового поколения, обладающих высокой степенью автономности, - SPACEL (Structural Parametric Adaptive Control of Electronic Learning) – технология. Ее применение позволяет формировать адаптивные информационно-образовательные среды, эффективно поддерживающие профессиональную деятельность преподавателей.

Основные положения, выносимые на защиту:

- принципы формирования адаптивных информационно-образовательных сред, обеспечивающих эффективную поддержку профессиональной деятельности преподавателей в условиях высокой степени автономности, инвариантности к видам образовательной деятельности, к уровню подготовки обучаемых и к используемым электронным образовательным ресурсам;

- способы измерения уровня знаний обучаемых на основе адаптивного тестирования с использованием многоинтервального классификатора, образующего контур местной обратной связи;

- кластерные модели обучаемых как многосвязных объектов управления, отражающие статические и динамические характеристики поведения обучаемых при различных видах учебных занятий и уровнях интенсивности входных воздействий;

- обобщенная математическая модель управляемого учебного процесса, включающая имитационные модели различных видов учебных занятий, законы адаптации и управления;

- основы теории нового класса адаптивных систем идентификационного типа с пробными воздействиями для управления многосвязными динамическими объектами с использованием классических и кластерных моделей;

- методы синтеза адаптивного структурно-параметрического управления многосвязными динамическими объектами по заданному критерию качества с использованием кластерных моделей и цифровых фильтров;

- методы информационной поддержки адаптивной системы управления учебным процессом и аттестации тестовых заданий по критериям соответствия уровней сложности, дискриминативности и валидности;

- объектно-ориентированная методология построения многофункциональных сетевых адаптивных информационно-образовательных сред нового поколения на основе разработанной SPACEL-технологии.

Достоверность разработанных основ теории, методов, средств и проблемно-ориентированной методологии создания адаптивных информационно-образовательных сред обеспечивается применением различных видов математического аппарата, адекватностью моделей, совпадением экспериментальных данных с расчетными и подтверждается актами о внедрении основных результатов работы в ряде высших учебных заведений, научно-исследовательских и научно-производственных организаций.

Реализация и внедрение результатов работы. Научные результаты, полученные в диссертационной работе в виде теоретических основ и принципов построения адаптивных систем управления и идентификации многосвязных объектов, моделей, методов, методик, алгоритмов и программных комплексов используются в вузах: МИФИ (ГУ), Тверской государственной технической университет, Тульский государственный университет, Астраханский государственный технический университет; в научно-исследовательской организации ЗАО НИИ Центрпрограммсистем; в научно-производственных организациях ГУП МосНПО «Радон» и НОУ «МЦФР». Всего имеется 7 актов о внедрении.

Апробация работы

Основные результаты диссертационных исследований докладывались и обсуждались на международных и всероссийских конференциях и семинарах, в том числе:

1. Всесоюзной научно-методической конференции "Интенсификация учебного процесса в высшей школе на базе микропроцессорных вычислительных систем" (Москва, 1986).
2. Конференции "Телекоммуникации и новые информационные технологии в системе лицей -ВУЗ" (Москва, МИФИ, 1995).
3. IV Международной конференции-выставке "Информационные технологии в образовании" (Москва, 1995).
4. V Санкт-Петербургской международной конференции "Региональная информатика-96" (Санкт-Петербург, 1996).

5. Международной научно-методической конференции “Новые информационные технологии в университетском образовании” (Новосибирск, Академгородок, 1996).
6. The second international conference on distance education. (World trade centre, Moscow, Russia, 1996).
7. Конференции “Телекоммуникации и новые информационные технологии в системе лицей -ВУЗ” (Москва, МИФИ, 1997).
8. Конференции "Телематика 97" (Санкт-Петербург, 1997).
9. VII, VIII Международной конференции-выставке “Информационные технологии в образовании” (Москва, 1998, 1999).
10. Научной сессии МИФИ-98, 99, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2006 (Москва, МИФИ, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2006).
11. Научно-методическом семинаре «Актуальные проблемы информатики в современном российском образовании» (Москва, МГУ, 2005).

Публикации. Всего по теме диссертации опубликовано 88 работ, из них 79 печатных трудов, в том числе 3 монографии и 5 статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ для публикации основных результатов работы, 13 учебных пособий и компьютерных учебников.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы из 210 наименований и приложения. Основная часть диссертации содержит 330 страниц машинописного текста, включая 92 рисунка и 68 таблиц.

Содержание работы

Во введении обосновывается актуальность работы и дается ее краткая характеристика, формулируются цель исследования, основные задачи и положения, выносимые на защиту. Излагается научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе рассматривается применение принципов адаптивного управления для создания электронных информационно-образовательных сред нового поколения. Эволюция информационных технологий в образовании свидетельствует о появлении в составе информационно-образовательных сред электронных систем управления, которые предназначены для динамической компоновки учебно-методических материалов индивидуально для каждого обучаемого. Введение такой системы управления, как показано на рис.1, приводит к перераспределению информационных потоков в образовательной среде. В результате система управления возьмет на себя реализацию части функций, выполняемых преподавателем, и обеспечит взаимодействие обучаемых с учебно-методическими материалами в виде электронных образовательных ресурсов. Такая информационно-образовательная среда будет включать в себя преподавателя, обучаемого и электронные средства, в состав которых войдут система управления, электронные образовательные ресурсы, средства хранения, обработки и передачи данных, интерфейсы для взаимодействия обучаемых и преподавателя.

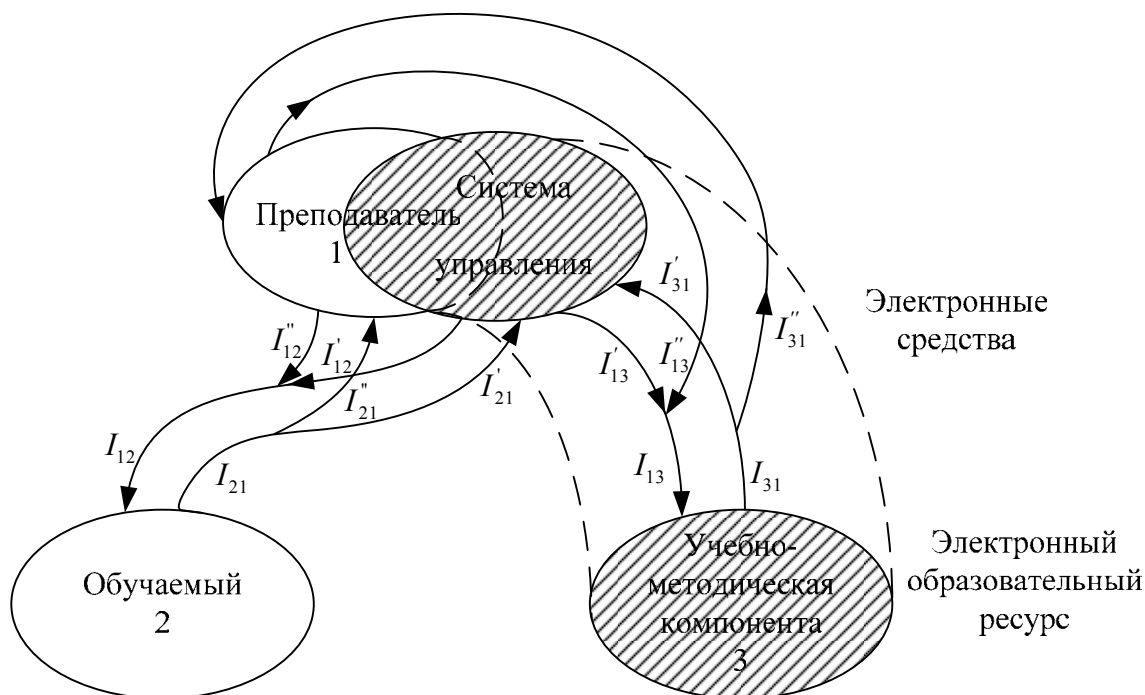


Рис. 1. Структура электронной информационно-образовательной среды.

Для придания системе управления свойств адаптации применим известные из технической кибернетики принципы самонастройки. Зная текущий уровень успеваемости обучаемого, можно сформировать такой контур адаптации, который обеспечит требуемый уровень интенсификации процесса обучения.

Для построения адаптивной системы управления необходимо прежде всего задать цель управления. В образовательной деятельности в качестве целей управления можно применить следующие показатели качества:

J_1 - суммарное время, затрачиваемое преподавателем на работу с каждым из обучаемых для достижения заданного уровня знаний, умений и навыков, приобретаемых в течение типового цикла обучения;

J_2 - уровень знаний, умений и навыков каждого обучаемого, приобретаемых при фиксированном времени общения с преподавателем в течение типового цикла обучения;

J_3 - количество обучаемых, достигающих заданного уровня знаний, умений и навыков при фиксированном времени общения преподавателя с каждым из обучаемых,

и критерии эффективности:

$$J_4 = \frac{\Delta J_2}{J_2 \cdot \left(1 - \frac{\Delta J_1}{J_1}\right)};$$

$$J_5 = \frac{\Delta J_3}{J_3 \cdot \left(1 - \frac{\Delta J_1}{J_1}\right)}.$$

Далее необходимо сформировать модель обучаемого, которая будет использоваться для построения адаптивной системы управления. Применительно к вузовскому учебному процессу структура такой модели представлена на рис. 2.

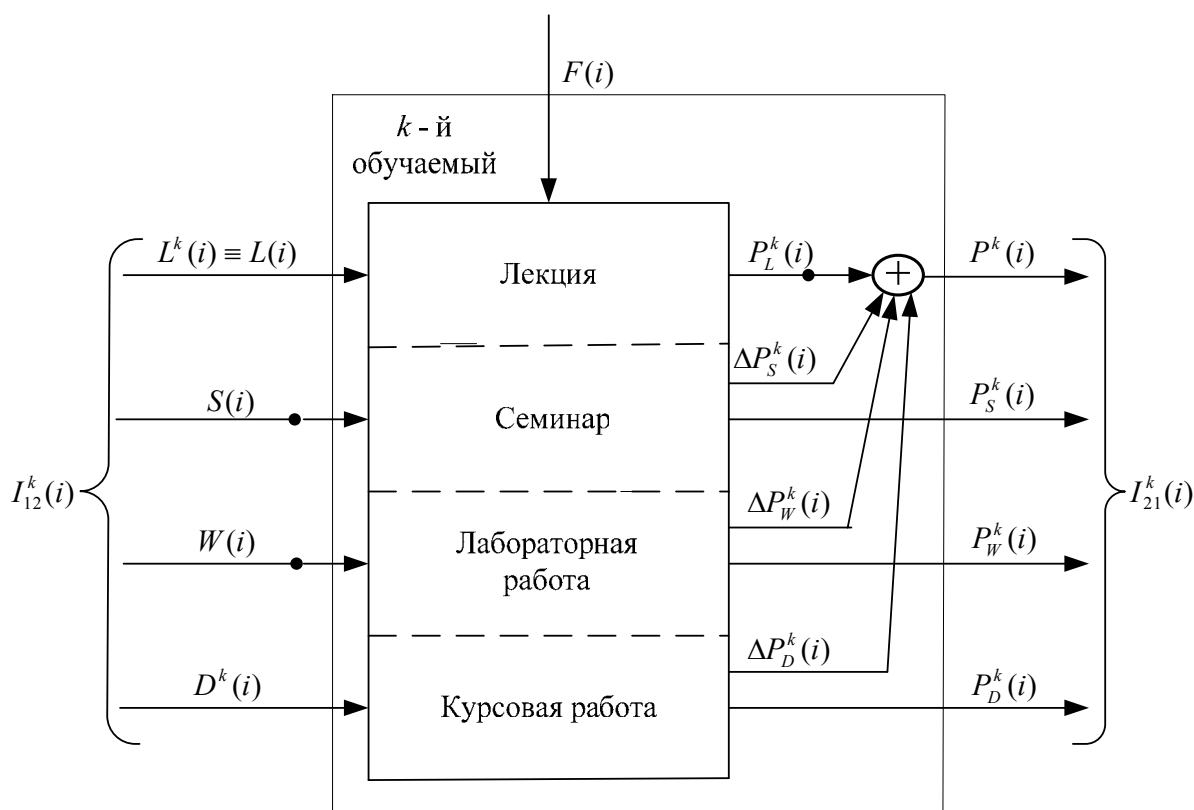


Рис. 2. Модель подсистемы «обучаемый» как объекта управления.

Представленная структура модели k -го обучаемого как объекта управления предполагает наличие многосвязности между различными видами учебных занятий. Здесь входной информационный поток на текущем этапе обучения $I_{12}^k(i) = \{L^k(i), S^k(i), W^k(i), D^k(i)\}$ включает в себя лекционный вид занятий $L^k(i)$ и внелекционные виды учебных занятий $S^k(i)$, $W^k(i)$, $D^k(i)$. Лекционные занятия проводятся преподавателем с группой обучаемых перед выполнением внелекционных видов учебных занятий. Поэтому имеется возможность управлять уровнем сложности задач $S^k(i)$ и уровнем объемов заданий $W^k(i)$ в зависимости от уровня подготовки обучаемого, полученного после проведения лекционного вида занятий.

Выходной информационный поток $I_{21}^k(i) = \{P_L^k(i), P_S^k(i), P_W^k(i), P_D^k(i)\}$ содержит элементы, отражающие знания, умения и навыки, получаемые обучаемым на текущем этапе. Символ Δ обозначает дополнительное приращение уровня знаний, полученное после выполнения внелекционных видов учебных занятий. Величина $F(i)$ отражает возмущения, действующие на объект управления.

Для введения контура адаптации достаточно измерить только одну выходную величину $P_L^k(i)$, отражающую уровень знаний, полученных обучаемым на лекции. Поскольку параметр $P_L^k(i)$ является латентным, то его оценку $P_T^k(i)$ можно получить с использованием методов тестирования.

Закон адаптации в наиболее простой форме примет вид

$$r^k(i) = K_r (P_T^k(i)), \quad (1)$$

где $r^k(i)$ - рейтинг обучаемого, принимающий целочисленные значения 1, 2, 3; $K_r(\cdot)$ – кусочно-непрерывная функция, связывающая рейтинг с уровнем знаний обучаемого. Выберем наиболее простой, пропорциональный закон управления

$$q_S^k(i) = r^k(i) K_S; \quad (2)$$

$$q_W^k(i) = r^k(i) K_W, \quad (3)$$

где $q_S^k(i)$, $q_W^k(i)$ - уровни сложности задач и объемы заданий; K_S , K_W - коэффициенты пропорциональности. Данный закон обеспечивает статический режим управления входными воздействиями $S^k(i, q_S^k)$, $W^k(i, q_W^k)$. Отсюда следует, что закон адаптации (1) и закон управления (2), (3) реализуют самонастройку одного параметра – коэффициента передачи контура адаптации.

В результате при минимальном объеме информации об объекте управления может быть сформирована параметрически адаптивная система управления, показанная на рис. 3. Здесь ИУ – измерительное устройство, УУ – устройство управления, СУММ – структурированные учебно-методические материалы, содержащие лекции, наборы задач, заданий, курсовых работ, а также наборы тестовых заданий для измерительного устройства и ответы к задачам, заданиям и результаты выполнения курсовых работ. Такая адаптивная система будет обеспечивать достижение цели управления по показателю J_2 , приводя к повышению его значения. Действительно, если всем обучаемым дать задачи и задания одного среднего уровня сложности и объема, обучаемые с высокой степенью успеваемости недополучат знания, умения и навыки, поскольку могли бы успешно справиться и с более сложными задачами и объемными заданиями. Обучаемые с низким уровнем успеваемости могут не справиться со многими задачами и заданиями в полной мере. В результате уровень их знаний, умений и навыков может практически не измениться.

Во второй главе излагаются способы измерения величины $P_L^k(i)$ методами адаптивного тестирования и результаты статистической обработки экспериментальных данных с целью построения моделей обучаемых при различных видах учебных занятий.

Как следует из рис. 3, измерительное устройство выполняет две функции. Первая из них заключается в определении величины $P_T^k(i)$, а вторая – в определении величины $r^k(i)$. Структурная схема данного устройства представлена на рис. 4.

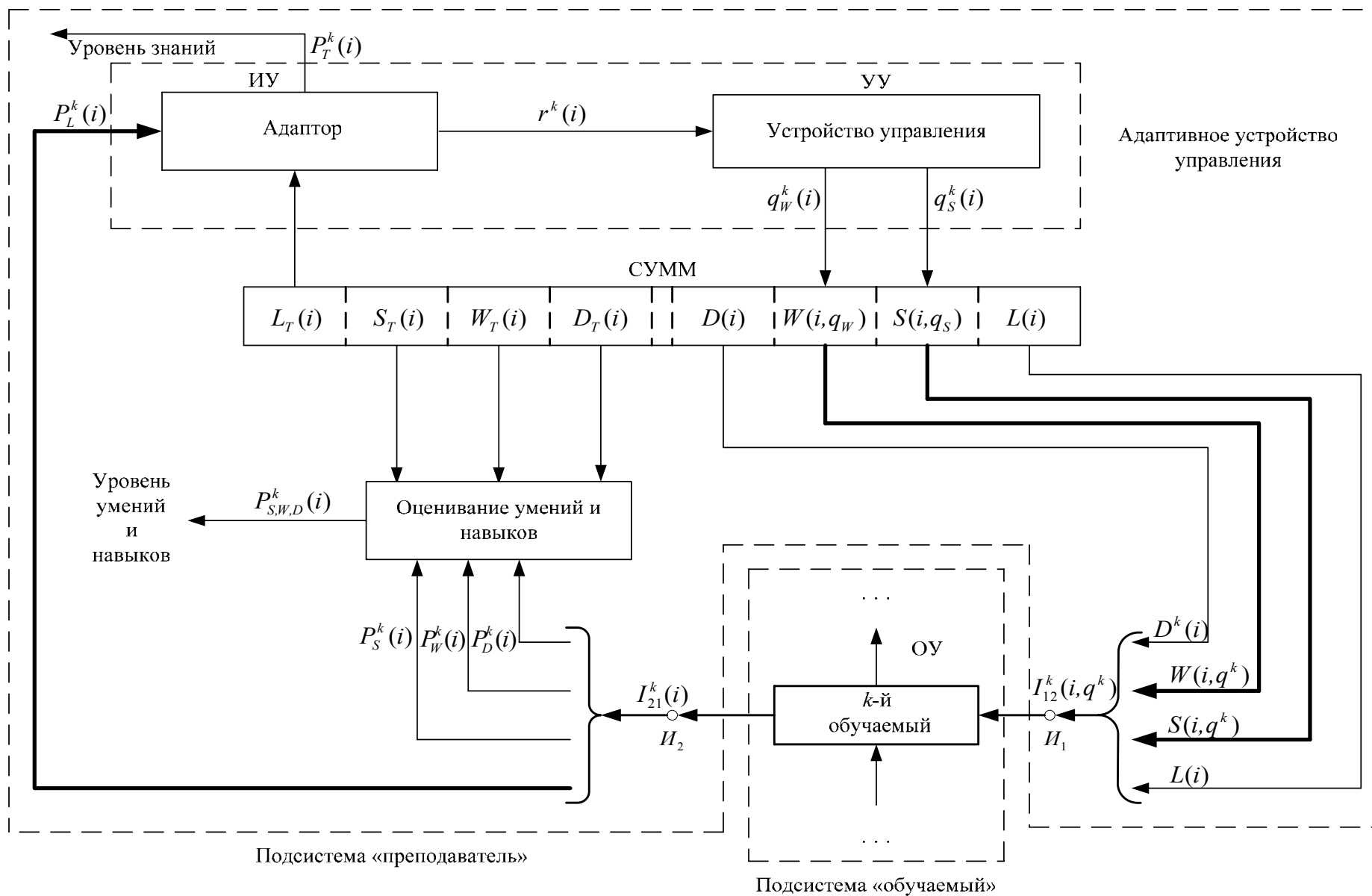


Рис. 3. Параметрически адаптивная система управления учебным процессом

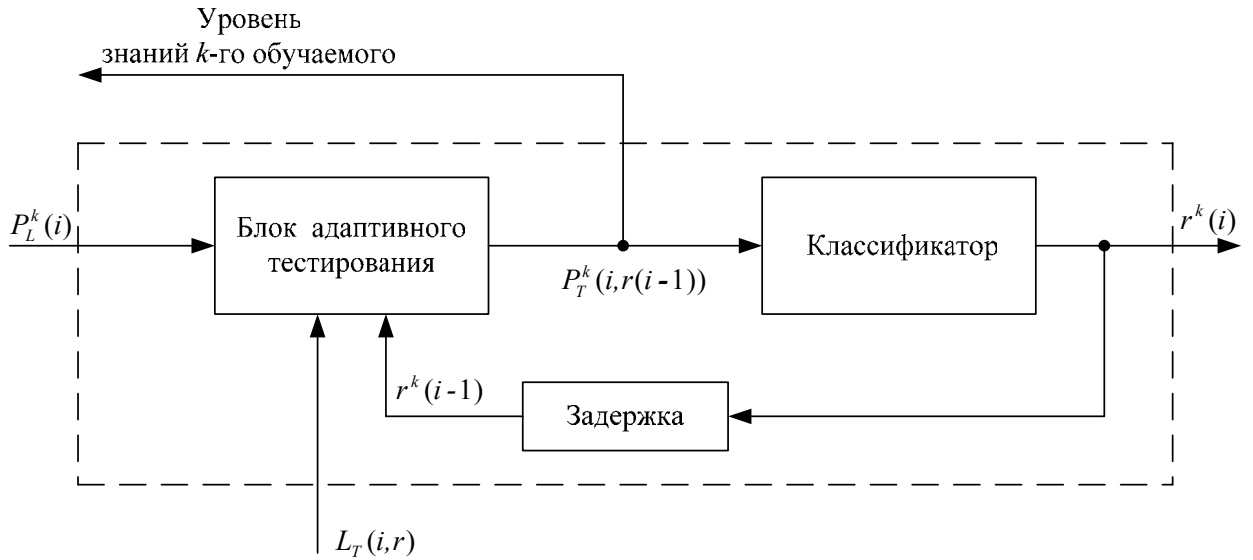


Рис. 4. Структурная схема измерительного устройства.

Здесь в процессе тестирования происходит адаптация уровня сложности r тестового задания $L_T^k(i, r)$ к рейтингу обучаемого $r^k(i)$, что позволяет достигнуть приемлемых характеристик измерения величины $P_T^k(i)$ при значительном снижении требований к процедуре тестирования. Вначале формируется относительная оценка уровня знаний по шкале $[0, 1]$

$$\bar{P}_L^k(i, r^*) = \frac{1}{n^*} \sum_{j=1}^{n^*} \alpha_j^k, \text{ где } r^* = r^k(i-1), n^* = n_r(i), \quad (4)$$

где α_j^k - оценка, выставляемая обучаемому за выбранный ответ на j -й контрольный вопрос тестового задания закрытого типа. Далее, с учетом заданных интервалов значений уровней знаний $P_T^{max}(r)$, $P_T^{min}(r)$ для каждого из рейтингов $r^k(i)$ конструируется значение уровня знаний обучаемого в абсолютных значениях по шкале $[0, 1]$

$$P_T^k(i) \equiv P_T^k(i, r^*) = [P_T^{max}(r^*) - P_T^{min}(r^*)] \times \bar{P}_L^k(i, r^*) + P_T^{min}(r^*). \quad (5)$$

Разработанный многоинтервальный классификатор определяет текущее значение величины $r^k(i)$ и позволяет сформировать контур местной обратной связи, что способствует улучшению характеристик измерительного устройства – адаптора в целом.

С использованием разработанного измерительного устройства в ходе реального учебного процесса в режиме параметрически адаптивного управления были получены серии экспериментальных данных, которые позволяют определить характеристики моделей поведения обучаемых при проведении лекционного вида учебных занятий.

На рис. 5 приведены результаты статистической обработки величины $P_T^k(i)$ для группы обучаемых. Здесь k - идентификационный номер обучаемого.

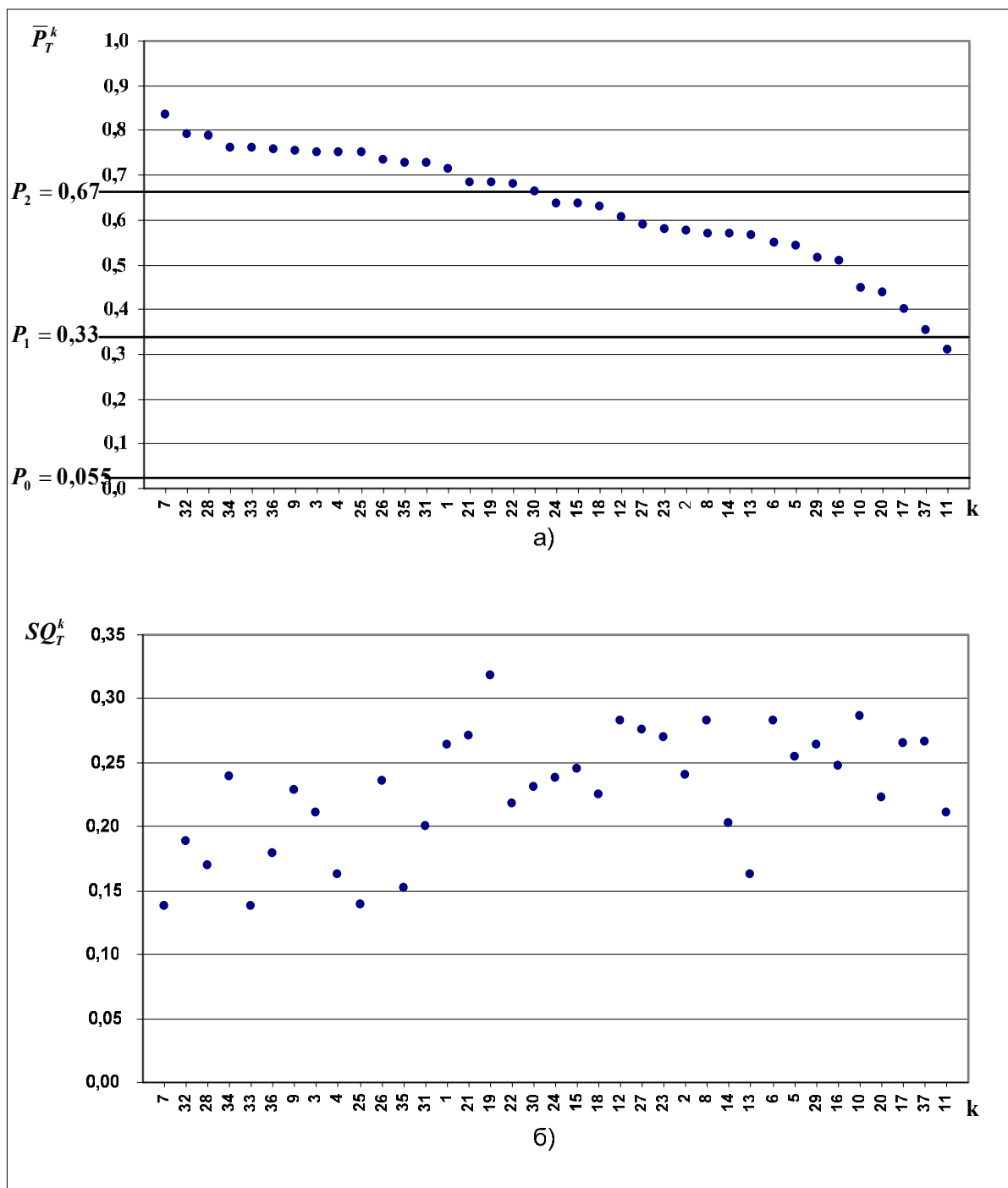


Рис. 5. Интегральные показатели уровня знаний обучаемых.

а) средние значения уровня знаний обучаемых по лекциям по всем этапам обучения;

б) среднеквадратические отклонения уровня знаний обучаемых по лекциям по всем этапам обучения.

Горизонтальными линиями обозначены границы интервалов, соответствующих низкому, среднему и высокому уровням знаний. Приведенные данные показывают наличие характерной зависимости, имеющей монотонный характер и близкой к линейной. Причем у обучаемых с высоким уровнем знаний среднеквадратическое отклонение уровня знаний в целом в 1,5 – 2 раза ниже, чем у обучаемых с низким уровнем знаний.

Анализ поведения обучаемого с использованием не только уровня знаний, но также частоты и глубины переходов с одного уровня знаний на другой позволил выявить более тонкую структуру группирования обучаемых. С учетом этих дополнительных признаков было выявлено 6 подгрупп обучаемых, которые были названы L-кластерами (Lecture). Изменение уровня знаний типичных представителей L-кластеров показано на рис. 6.

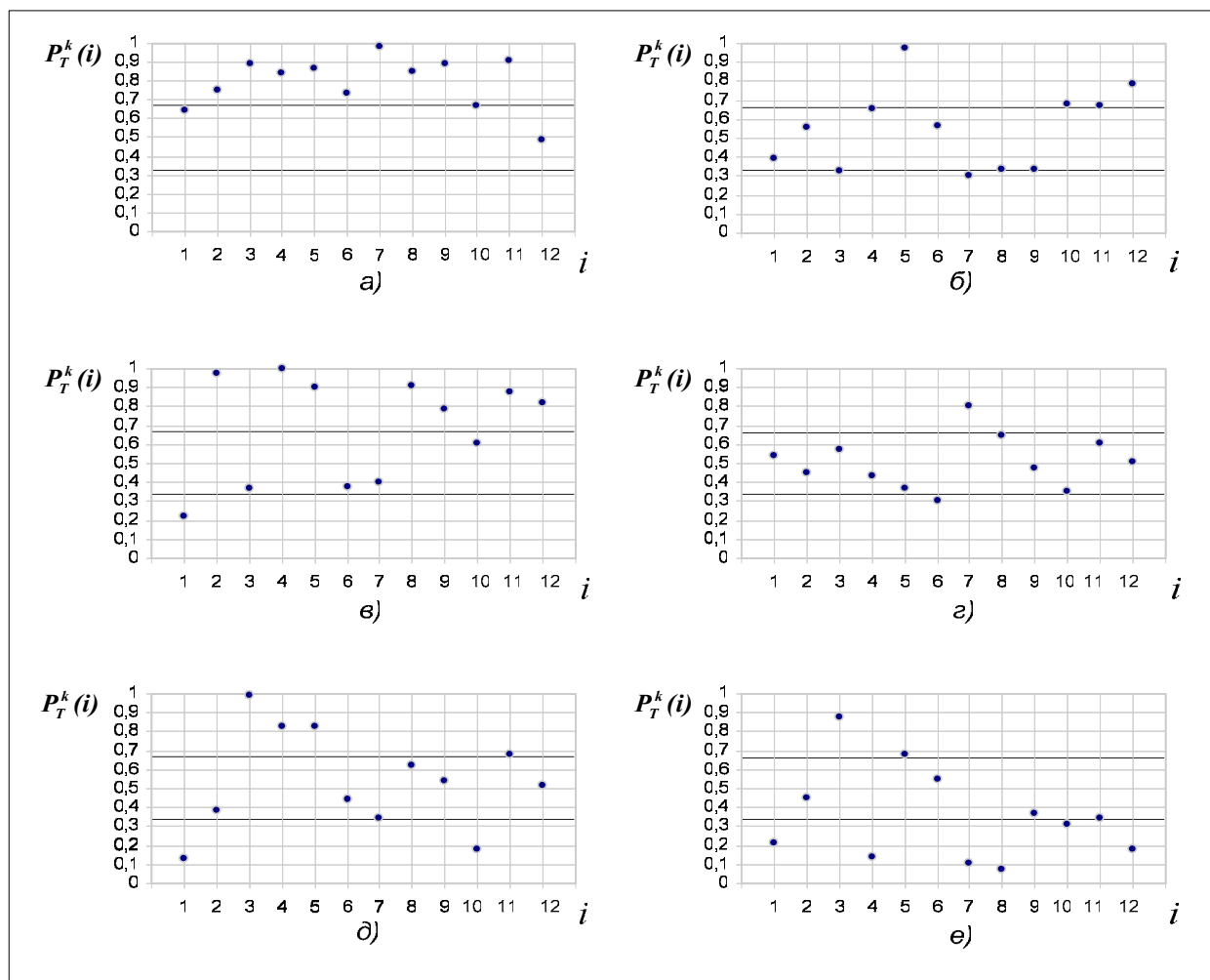


Рис. 6. Уровни знаний обучаемых, образующих различные подгруппы (кластеры) на каждом из этапов обучения.

- а) обучаемый ($k=7$) с высоким уровнем знаний с малой дисперсией оценок;
- б) обучаемый ($k=26$) с высоким уровнем знаний с большей дисперсией оценок;
- в) обучаемый ($k=15$), знания которого колеблются между высоким и средним уровнями;
- г) обучаемый ($k=13$) со средним уровнем знаний с малой дисперсией оценок;
- д) обучаемый ($k=5$) со средним уровнем знаний с большой дисперсией оценок;
- е) обучаемый ($k=11$), знания которого колеблются между средним и низким уровнями.

В итоге с учетом многомерного числа признаков получим следующие непересекающиеся между собой L-кластеры, что показано на рис. 7.

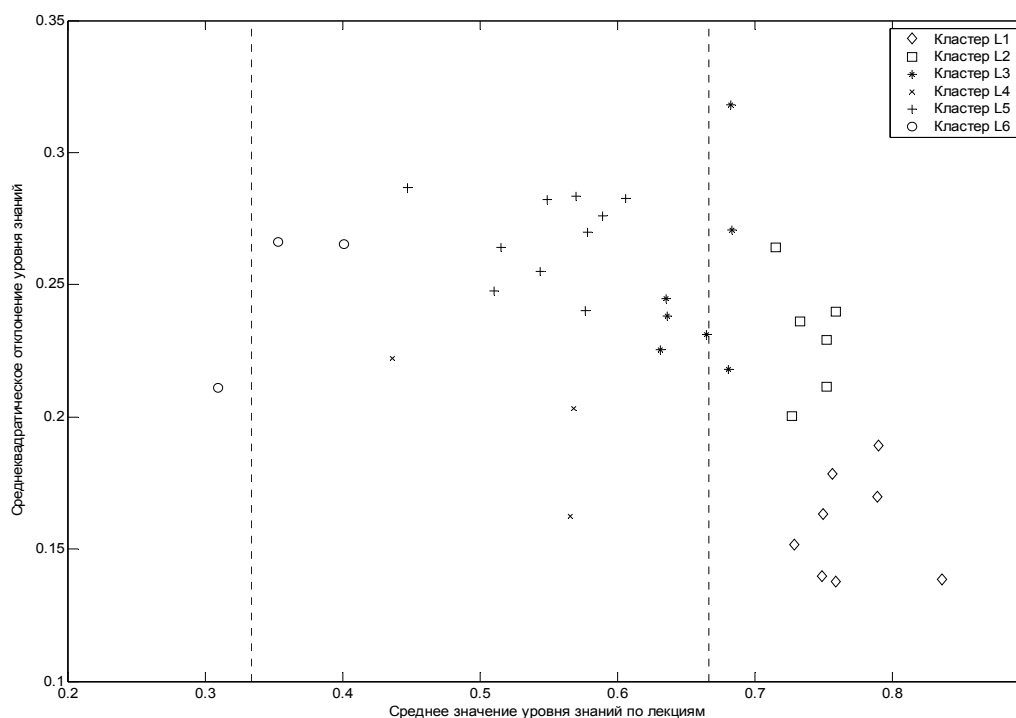


Рис. 7. Диаграмма распределения обучаемых по L-кластерам.

Характеристики L-кластеров приведены в таб. 1.

Таблица 1. Характеристики обучаемых, принадлежащих к L-кластерам.

Кластер L1 обучаемые с высоким уровнем знаний со средней оценкой $0.70 \div 1.00$ и малым среднеквадратическим отклонением ≤ 0.20	$\Leftrightarrow$	Кластер L4 обучаемые со средним уровнем знаний со средней оценкой $0.40 \div 0.60$ и малым среднеквадратическим отклонением ≤ 0.22
Кластер L2 обучаемые с высоким уровнем знаний со средней оценкой $0.70 \div 1.00$ и большим среднеквадратическим отклонением > 0.20	$\Leftrightarrow$	Кластер L5 обучаемые со средним уровнем знаний со средней оценкой $0.40 \div 0.60$ и большим среднеквадратическим отклонением > 0.22
Кластер L3 обучаемые, уровень знаний которых колеблется между высоким и средним уровнем и среднеквадратическим отклонением ≥ 0.22	$\Leftrightarrow$	Кластер L6 обучаемые, уровень знаний которых колеблется между средним и низким уровнем и среднеквадратическим отклонением > 0.20

Аналогичным образом были статистически обработаны результаты проведения внелекционных видов учебных занятий. Здесь была выявлена SW-

кластеризация обучаемых (Seminar, laboratory Work). Характеристики SW-кластеров приведены в таб. 2.

Таблица 2. Характеристики обучаемых, принадлежащих к SW-кластерам.

Кластер SW1 обучаемые с высоким уровнем умений и навыков со средней оценкой $0.86 \div 1.00$ и среднеквадратическим отклонением < 0.09	$\Leftrightarrow$	Кластер SW3 обучаемые со средним уровнем умений и навыков со средней оценкой $0.67 \div 0.79$ и среднеквадратическим отклонением > 0.15
Кластер SW2 обучаемые, уровень умений и навыков которых колеблется между высоким и средним уровнем со средней оценкой $0.79 \div 0.86$ и среднеквадратическим отклонением > 0.04	$\Leftrightarrow$	Кластер SW4 обучаемые с низким уровнем умений и навыков со средней оценкой < 0.67 и большим среднеквадратическим отклонением > 0.30

Для выявления взаимосвязи между лекционным и внелекционными видами учебных занятий была проведена обобщенная G-кластеризация (General). Было обнаружено 7 G-кластеров, представленных на рис. 8. G-кластеры содержат информацию о поведении обучаемых при всех видах учебных занятий и позволяют определить характеристики многосвязности моделей обучаемых как объекта управления.

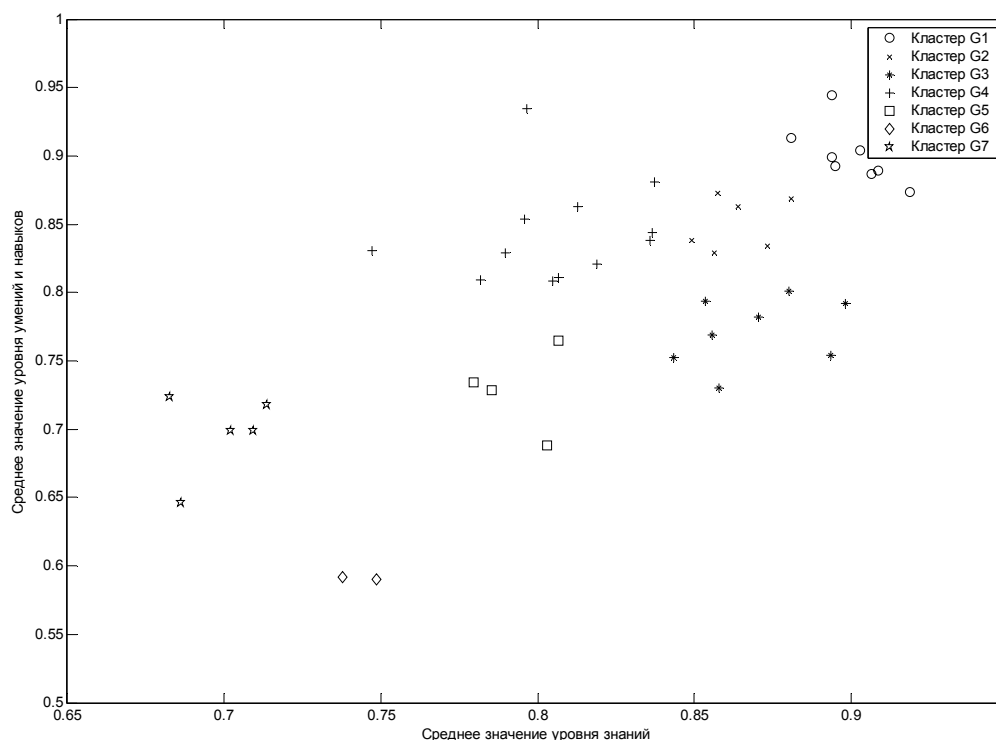


Рис. 8. Распределение обучаемых по обобщенным G-кластерам.

Качественные и количественные характеристики поведения обучаемых для каждого из обобщенных G-кластеров приведены таб. 3, 4.

Таблица 3. Качественные характеристики обобщенных G-кластеров.

Кластер	Качественные характеристики обучаемых обобщенных G- кластеров
G1	обучаемые с высоким уровнем знаний по лекциям и с высоким уровнем умений и навыков по внелекционным видам занятий
G2	обучаемые, у которых уровень знаний по лекциям и уровень умений и навыков по внелекционным видам занятий колеблется между высоким и средним уровнем
G3	обучаемые, у которых уровень знаний по лекциям колеблется между высоким и средним уровнем, и которые обладают средним уровнем умений и навыков по внелекционным видам занятий
G4	обучаемые со средним уровнем знаний по лекциям, уровень их умений и навыков по внелекционным видам занятий колеблется между высоким и средним уровнем
G5	обучаемые со средним уровнем знаний по лекциям и средним уровнем умений и навыков по внелекционным видам занятий
G6	обучаемые, у которых уровень знаний по лекциям колеблется между средним и низким уровнем, и которые обладают низким уровнем умений и навыков по внелекционным видам занятий
G7	обучаемые с низким уровнем знаний по лекциям, у которых уровень умений и навыков по внелекционным видам занятий колеблется между средним и низким уровнем

Таблица 4. Границы для интегральных показателей обобщенных G-кластеров.

Кластер	$\bar{P}_T^k$	$\bar{P}_{S,W}^k$	SQ_T^k	$SQ_{S,W}^k$
G1	$0.88 \div 1.00$	$0.87 \div 1.00$	< 0.13	< 0.09
G2	$0.84 \div 0.88$	$0.82 \div 0.87$	< 0.13	$0.04 \div 0.14$
G3	$0.84 \div 0.89$	$0.73 \div 0.80$	$0.12 \div 0.20$	$0.05 \div 0.25$
G4	$0.74 \div 0.84$	$0.80 \div 1.00$	$0.12 \div 0.21$	$0.03 \div 0.14$
G5	$0.77 \div 0.80$	$0.68 \div 0.77$	$0.12 \div 0.24$	$0.16 \div 0.28$
G6	≈ 0.74	< 0.60	> 0.20	> 0.30
G7	$0.68 \div 0.72$	$0.64 \div 0.73$	$0.17 \div 0.28$	$0.15 \div 0.35$

Отсюда следует, что характеристики каждого из G-кластеров достаточно четко описываются на качественном и количественном уровнях.

Проведенный анализ лекционного и внелекционных видов учебных занятий показывает, что группа обучаемых является многоканальным многосвязным объектом. В ее состав входят несколько подгрупп – кластеров. Каждую из них формируют обучаемые, обладающие близкими моделями

поведения. Обучаемым, принадлежащим к тому или иному L-, SW- и G-кластеру, могут быть поставлены в соответствие определенные динамические характеристики, объективно отражающие процесс приобретения ими знаний, умений и навыков. Обнаруженные закономерности в поведении обучаемых могут быть использованы при формировании более сложных, чем пропорциональный, динамических законов управления учебным процессом.

Третья глава посвящена разработке имитационных математических моделей подсистемы «обучаемый» как объекта управления на основе экспериментально полученных гистограмм оценок плотностей вероятностей уровней знаний, умений и навыков. При формировании математической модели лекционного вида учебных занятий используются оценки плотностей вероятности уровня знаний обучаемых из различных L-кластеров, представленные на рис. 9.

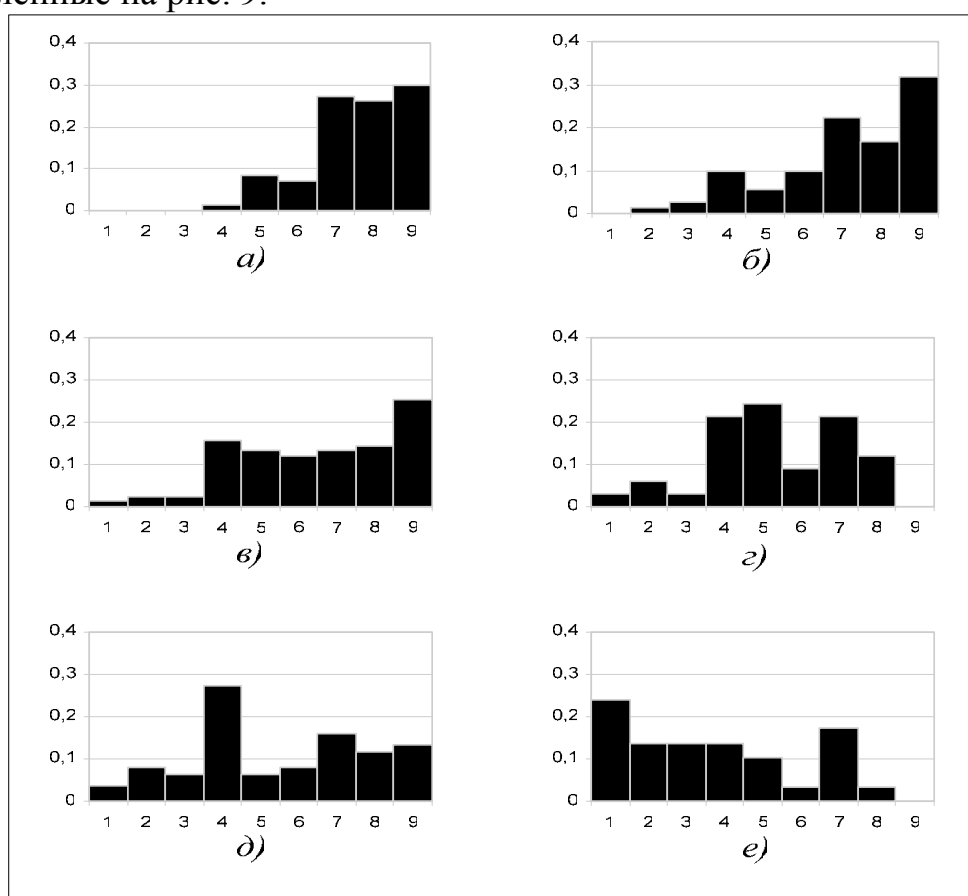


Рис. 9. Оценки плотностей вероятности уровня знаний для L-кластеров.

а) кластер L1, б) кластер L2, в) кластер L3,
г) кластер L4, д) кластер L5, е) кластер L6.

По оси абсцисс отложены номера полуинтервалов, по оси ординат – оценки вероятности попадания оценок уровня знаний по лекциям в указанный полуинтервал.

Выполнив интегрирование (в данном случае суммирование с накоплением) для столбцов гистограммы, получим оценку функций распределения уровня знаний

$$\hat{p}_l = P\left[x \leq \frac{l}{m}\right] = \sum_{j=l}^m \frac{N_j}{N}; \quad 1 \leq l \leq m. \quad (6)$$

На основе полученных функций распределения математическая модель формирует для каждого из кластеров последовательность оценок $\hat{P}_T^k(i)$ обучаемых. Разработан алгоритм формирования оценок, основанный на функции распределения, заданной в виде вектора-строки из 9 чисел

$$\hat{\mathbf{p}} = [\hat{p}_1, \hat{p}_2, \hat{p}_3, \hat{p}_4, \hat{p}_5, \hat{p}_6, \hat{p}_7, \hat{p}_8, \hat{p}_9], \quad (7)$$

причем

$$\hat{p}_1 \leq \hat{p}_2 \leq \hat{p}_3 \leq \hat{p}_4 \leq \hat{p}_5 \leq \hat{p}_6 \leq \hat{p}_7 \leq \hat{p}_8 \leq \hat{p}_9. \quad (8)$$

Для формирования заданного количества оценок $\hat{P}_T^k(i)$ выполняются определенные действия с использованием генератора псевдослучайных чисел.

Математические модели внелекционных видов занятий формируются аналогично модели лекционного вида занятий также с использованием гистограмм плотностей вероятности уровня умений и навыков для кластеров SW1 – SW4. При этом вводятся функции распределения вероятностей для каждого из заданных значений сложности задач и объемов заданий $u = \{1, 2, 3\}$. Матрица плотностей вероятности обобщенных оценок $P_{S,W}^k(i)$ уровня умений и навыков имеет вид

Уровень сложности задач и объемов заданий	Полуинтервал								
	(0.0; 1/9]	(1/9; 2/9]	(2/9; 3/9]	(3/9; 4/9]	(4/9; 5/9]	(5/9; 6/9]	(6/9; 7/9]	(7/9; 8/9]	(8/9; 1.0]
1	p_{11}	p_{12}	p_{13}	p_{14}	p_{15}	p_{16}	p_{17}	p_{18}	p_{19}
2	p_{21}	p_{22}	p_{23}	p_{24}	p_{25}	p_{26}	p_{27}	p_{28}	p_{29}
3	p_{31}	p_{32}	p_{33}	p_{34}	p_{35}	p_{36}	p_{37}	p_{38}	p_{39}

На основе функций распределения для каждого из SW-кластеров формируется последовательность оценок $\hat{P}_{S,W}^k(i)$ обучаемых для каждого из возможных значений величины u . Для повышения точности формируемых оценок алгоритм дополнительно использует экспериментально полученные характеристики обобщенной G-кластеризации обучаемых.

Для построения обобщенной математической модели учебного процесса необходимо объединить математическую модель лекционного вида занятий, модель формирователя уровня сложности задач и объемов заданий и математическую модель внелекционных видов учебных занятий, как показано на рис. 10.

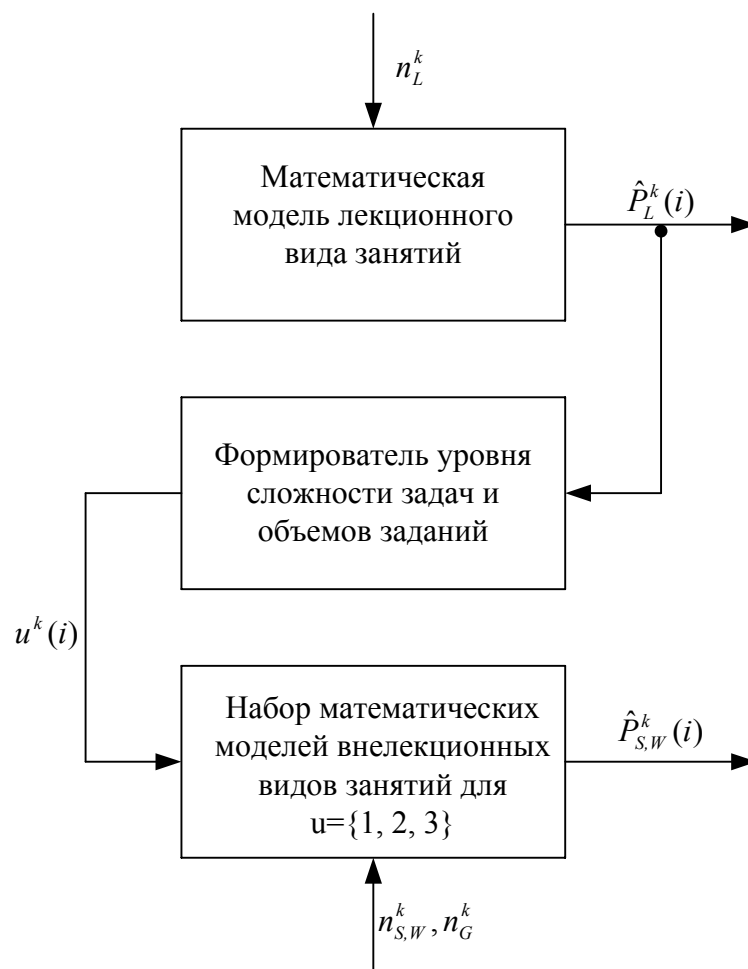


Рис. 10. Обобщенная математическая модель учебного процесса.

При этом модель формирователя задач и заданий может отражать функции подсистемы «преподаватель», выполняемые как преподавателем, так и системой управления. Разработан специальный алгоритм, позволяющий при наличии оценок величин $\hat{P}_T^k(i)$ и $\hat{P}_{S,W}^k(i)$, сформированных на моделях при параметрически адаптивном управлении, моделировать обобщенные G-кластеры.

Компьютерное моделирование учебного процесса, состоящего из лекционного и внелекционных видов учебных занятий, проводимых с виртуальными группами обучаемых, подтвердило адекватность разработанных моделей подсистемы «обучаемый». Практически полностью совпали интегральные показатели уровня знаний и характер его изменения в ходе как реального учебного процесса, так и при компьютерном моделировании. Характеристики L-кластеров также полностью совпали. При сравнительном анализе внелекционных видов учебных занятий также выявилось совпадение интегральных показателей и характеристик SW-кластеров. Аналогичные результаты были получены при обобщенной G-кластеризации. Подтвердилось также совпадение характеристик взаимосвязи лекционного и внелекционных видов учебных занятий. Это позволяет применять разработанные

математические модели при исследовании и разработке новых, более совершенных законов адаптации и управления.

В четвертой главе разрабатываются основы теории и методы синтеза нового класса систем со структурно-параметрической адаптацией. Изложенные в предыдущих главах результаты кластеризации показывают, что они отражают не только статические, но и динамические характеристики моделей обучаемых, причем для представителей одного и того же кластера эти характеристики практически совпадают. Кроме того выявлена связь между проводимыми лекционным и внелекционными видами учебных занятий. Это дает возможность поставить задачу синтеза законов структурно-параметрической адаптации и управления многосвязными объектами. Однако решение этой задачи классическими методами весьма затруднительно, поскольку кластерная форма динамических моделей не допускает использования ни разностных уравнений, ни передаточных функций.

Рассмотрим адаптивную систему управления идентификационного типа с пробными воздействиями, представленную на рис. 11. Пробные воздействия используются для идентификации неизвестных параметров первой части объекта управления OY_1^k . В ряде случаев неизвестные параметры другой части объекта управления OY_2^k могут быть связаны определенной зависимостью с найденными параметрами объекта OY_1^k . Тогда контур адаптации может сформировать такие управляющие воздействия для объекта OY_2^k , которые приведут к достижению заданной цели управления.

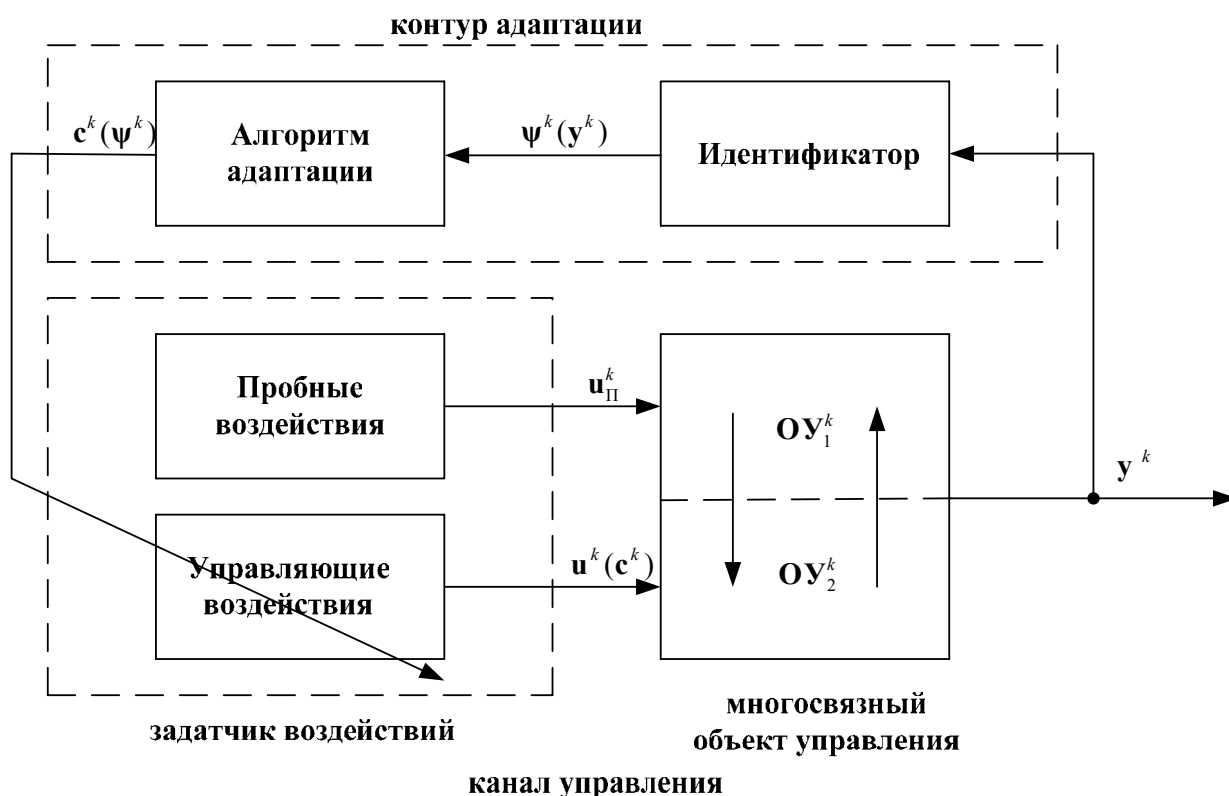


Рис. 11. Структура системы адаптивного управления идентификационного типа с пробными воздействиями.

Математическая постановка данной задачи при различных способах задания динамических характеристик многосвязного объекта управления ОУ^k с учетом шумов и возмущений примет вид

Классические уравнения динамики многосвязного ОУ^k в виде уравнений состояний и уравнений выхода $\mathbf{x}_1^k(i+1) = \mathbf{F}_1^k[\mathbf{x}_1^k(i), \mathbf{u}_\Pi^k(i), \xi_1^k(i), \boldsymbol{\varphi}_1^k(i)];$ $\mathbf{x}_2^k(i+1) = \mathbf{F}_2^k[\mathbf{x}_2^k(i), \mathbf{u}^k(i), \xi_2^k(i), \boldsymbol{\varphi}_2^k(i)],$ $\mathbf{y}_1^k(i) = \mathbf{H}_1^k[\mathbf{x}_1^k(i), \mathbf{x}_2^k(i), \boldsymbol{\eta}_1^k(i), \boldsymbol{\varphi}_1^k(i)];$ $\mathbf{y}_2^k(i) = \mathbf{H}_2^k[\mathbf{x}_2^k(i), \mathbf{x}_1^k(i), \boldsymbol{\eta}_2^k(i), \boldsymbol{\varphi}_2^k(i)].$	Кластерное представление динамических характеристик многосвязного ОУ^k L-, SW-, G- кластеры.
---	--

Здесь $\mathbf{y}^k(i) = \begin{bmatrix} \mathbf{y}_1^k(i) \\ \mathbf{y}_2^k(i) \end{bmatrix}$ - вектор измеряемых величин; $\boldsymbol{\varphi}^k = \begin{bmatrix} \boldsymbol{\varphi}_1^k \\ \boldsymbol{\varphi}_2^k \end{bmatrix}$ - вектор неизвестных параметров обеих частей многосвязного объекта ОУ^k. Пробное воздействие $\mathbf{u}_\Pi^k(i)$ обеспечивает идентификацию параметров объекта ОУ₁^k с использованием алгоритма идентификации

$$\boldsymbol{\psi}_1^k(i) = \boldsymbol{\Phi}^k[\mathbf{y}_1^k(i), \boldsymbol{\psi}_1^k(i-1)], \text{ где } \boldsymbol{\psi}_1^k(i) = \hat{\boldsymbol{\phi}}_1^k(i). \quad (9)$$

Далее по известной зависимости $\boldsymbol{\varphi}_2 = \mathbf{Q}(\boldsymbol{\varphi}_1)$ находится полный вектор $\boldsymbol{\psi}^k(i)$ оценки параметров многосвязного объекта ОУ^k

$$\boldsymbol{\psi}^k(i) = \begin{bmatrix} \boldsymbol{\psi}_1^k(i) \\ \boldsymbol{\psi}_2^k(i) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{\boldsymbol{\phi}}_1^k(i) \\ \hat{\boldsymbol{\phi}}_2^k(i) \end{bmatrix} = \hat{\boldsymbol{\phi}}^k(i).$$

Алгоритм адаптации в общем случае имеет вид

$$\mathbf{c}^k(i) = \boldsymbol{\Psi}^k[\boldsymbol{\psi}^k(i), \mathbf{c}^k(i-1)]. \quad (10)$$

Закон управления определяется соотношением

$$\mathbf{u}^k(i) = \mathbf{U}^k[\mathbf{u}^k(i-1), \mathbf{c}^k(i)]. \quad (11)$$

Для фиксированной структуры закона управления алгоритмы адаптации и управления примут вид

$$\mathbf{c}^k(i) = \hat{\boldsymbol{\phi}}^k(i); \quad (12)$$

$$\mathbf{u}^k(i) = \mathbf{U}^k[\mathbf{u}^k(i-1), \hat{\boldsymbol{\phi}}^k(i)]. \quad (13)$$

Цель управления задается с помощью оценочной функции $\boldsymbol{\varepsilon}^k(i) = \mathbf{E}^k[\mathbf{y}^k(i), \mathbf{u}^k(i)]$ или критерия $\mathbf{J} = \mathbf{J}[\boldsymbol{\varepsilon}^k(i)]$. На практике этот критерий часто принимает скалярный вид J .

Решение задачи синтеза сводится к идентификации неизвестных параметров $\boldsymbol{\varphi}^k$ с использованием пробного воздействия $\mathbf{u}_\Pi^k(i)$ и формированию алгоритмов адаптации и управления, обеспечивающих достижение требуемых значений оценочной функции $\boldsymbol{\varepsilon}^k(i)$ или критерия $\mathbf{J}$.

В классической постановке эта задача решается с использованием

аналитической оптимизации критерия J на множестве параметров закона управления.

При использовании кластерного представления многосвязного объекта управления эта задача может быть решена путем выбора структуры и параметров закона управления методами компьютерного моделирования процесса управления.

В результате решение задачи синтеза системы адаптивного структурно-параметрического управления учебным процессом с использованием кластерной формы представления моделей обучаемых сводится к последовательному выполнению следующих этапов.

1. Идентификация обучаемых на принадлежность к кластеру n_L или n_G .

Для решения этой задачи используются наборы измеряемых переменных $y_i^k(i) = P_T^k(i)$ (при L - кластеризации), либо $y^k(i) = [P_T^k(i), P_S^k(i), P_W^k(i)]^T$ (при G - кластеризации). Кластеризация проводится по методу K-средних.

2. Выбор структуры алгоритмов адаптации и управления.

Поскольку характеристики L- и G- кластеров содержат информацию о динамике поведения обучаемых в ходе учебного процесса, при формировании законов управления можно использовать более сложные, динамические режимы управления. Здесь наиболее целесообразно реализовать механизмы памяти и прогноза, которые часто используются преподавателем. Законы управления реализуется с помощью цифровых фильтров, использующих пропорционально-интегральный (ПИ) или пропорционально-интегро-дифференциальный (ПИД) законы управления.

Основной функцией алгоритма адаптации будет выбор цифрового фильтра (ЦФ), включаемого в контур управления в зависимости от результатов идентификации обучаемых на принадлежность к тому или иному L- или G-кластеру, что показано на рис. 12.

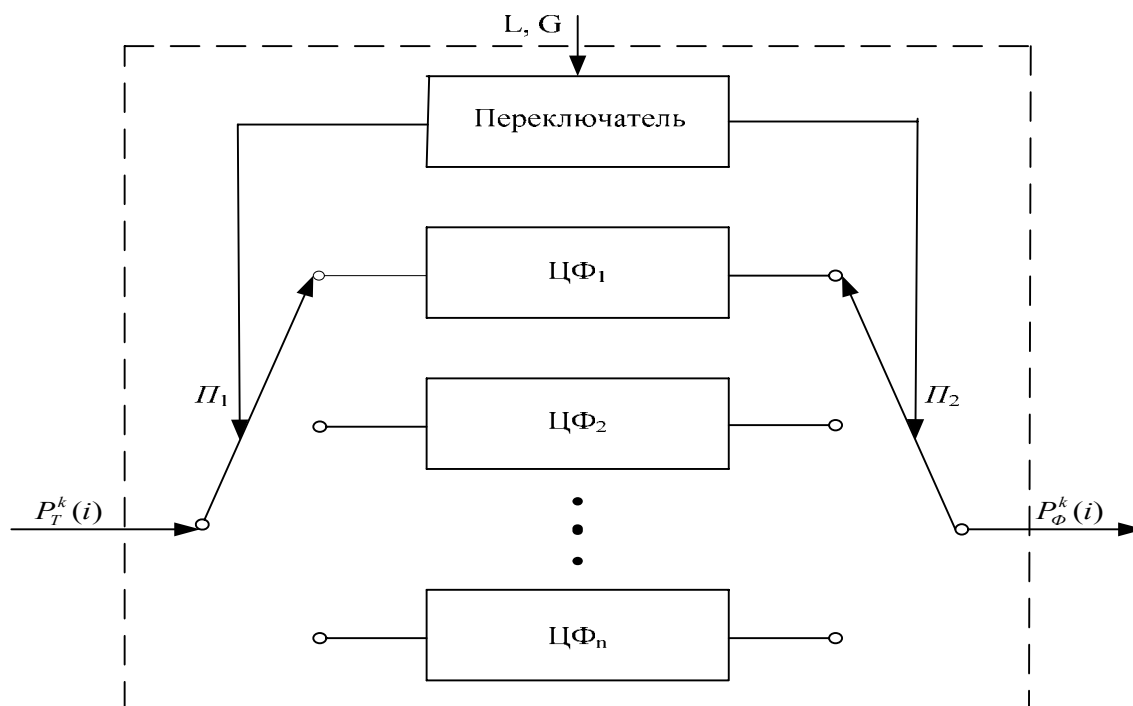


Рис. 12. Адаптация цифровых фильтров к L- или G-кластеру.

3. Определение структуры цифровых фильтров.

Цифровой фильтр осуществляет динамическую обработку данных в соответствии с используемым законом управления. Ввиду отсутствия в системе управления контура главной обратной связи цифровой фильтр будет отличаться от обычно используемых ПИ- и ПИД – регуляторов. Решение данной задачи требует привлечения нелинейных методов фильтрации, изменяющих среднее значение управляющих воздействий. Алгоритм ПИ-закона управления в данном случае примет вид

$$\begin{aligned} &\text{если } P_T^k(i) \geq P_\Phi^k(i-1), \text{ то } P_\Phi^k(i) = P_T^k(i) \\ &\text{иначе } P_\Phi^k(i) = (1 - \gamma_1)P_T^k(i) + \gamma_1 P_\Phi^k(i-1). \end{aligned} \quad (14)$$

Ему соответствует двухканальный цифровой фильтр, представленный на рис. 13.

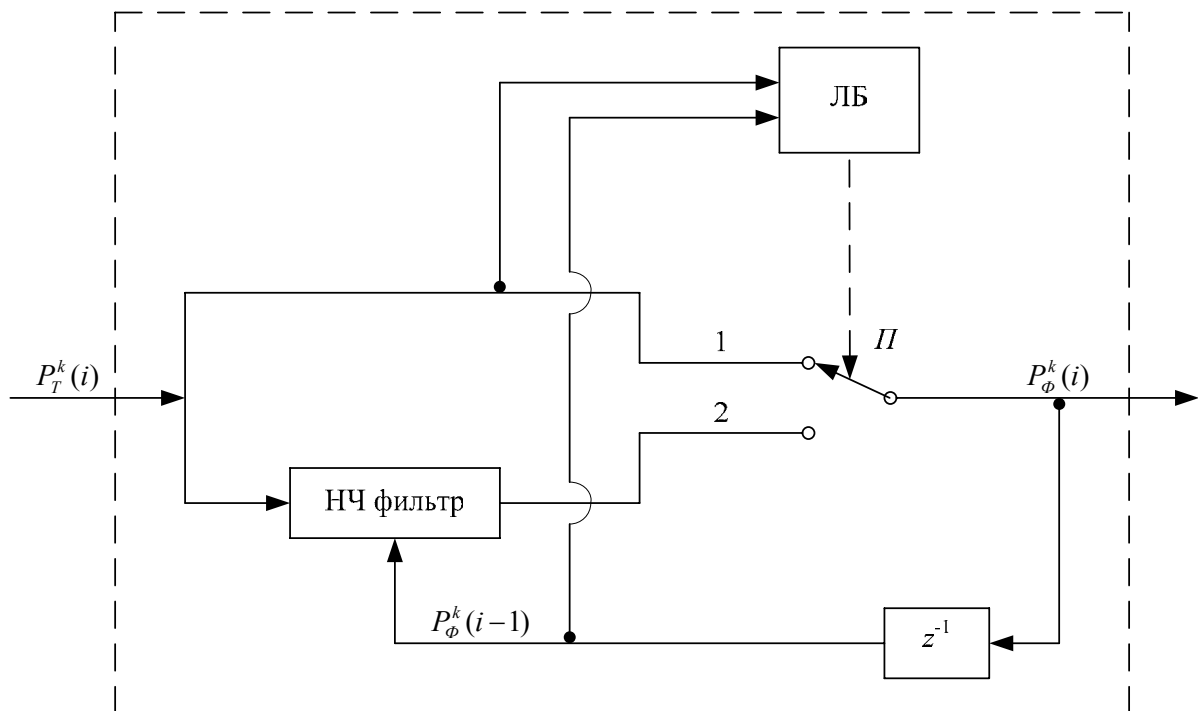


Рис. 13. Структура нелинейного двухканального цифрового фильтра.

Здесь z^{-1} – задержка на один шаг, ЛБ – логический блок, НЧ фильтр – низкочастотный фильтр. Входящий в него элемент сравнения управляет переключателем П в соответствии с алгоритмом (14). Аналогичным образом построен трехканальный фильтр, реализующий ПИД-закон управления. Здесь наряду с НЧ-фильтром используется высокочастотный ВЧ-фильтр.

4. Оптимизация параметров цифровых фильтров.

Оптимизация параметров цифровых фильтров с целью повышения уровня умений и навыков обучаемых может проводиться с использованием математических моделей лекционного вида занятий и внелекционных видов занятий, показанных выше. Схема взаимодействия математических моделей для оптимизации параметров фильтров аналогична схеме, приведенной на рис. 10. Здесь только необходимо заменить блок формирования уровня сложности задач и объемов заданий на схему обработки данных,

соответствующих структурно-параметрическому закону управления и адаптации. Данная схема показана на рис. 14.

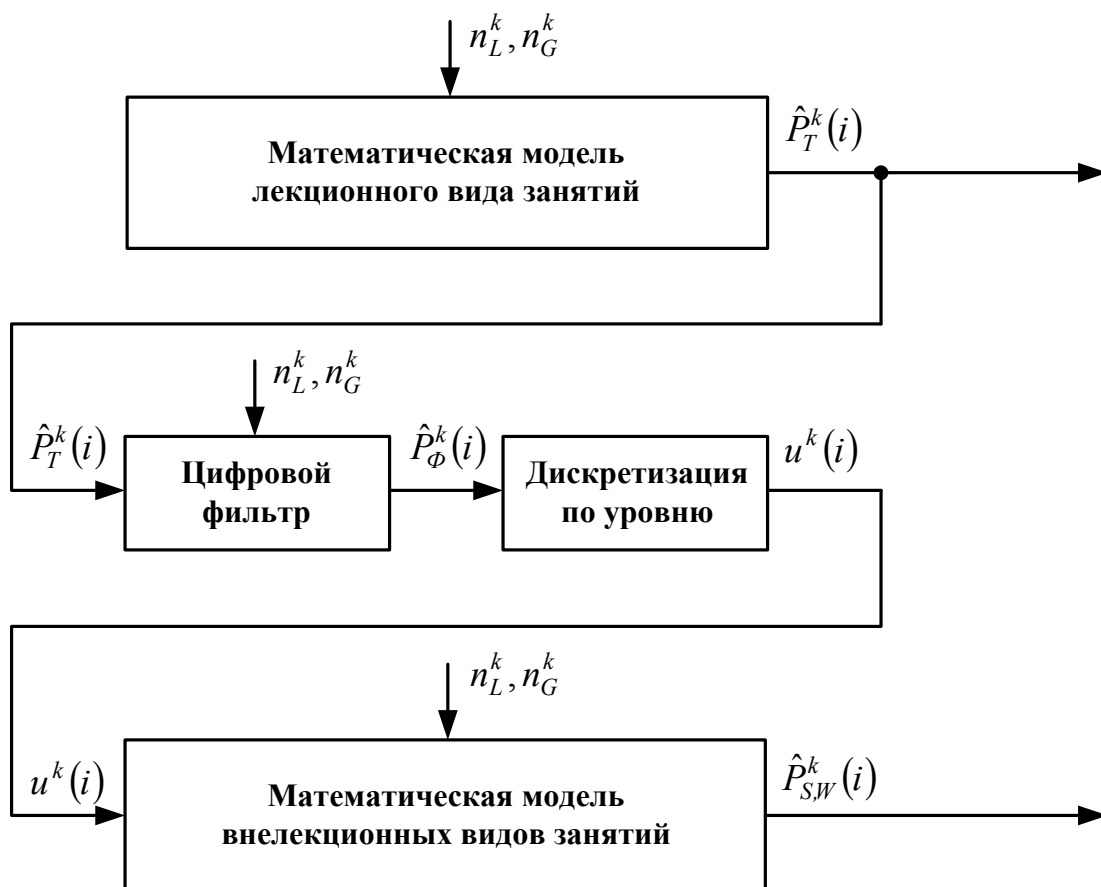


Рис. 14. Схема взаимодействия математических моделей различных видов учебных занятий для оптимизации параметров цифровых фильтров.

Такая модифицированная схема позволяет выполнять математическое моделирование оценок уровня знаний и уровня умений и навыков при использовании заданного цифрового фильтра для L- или G-кластеризации. При ее использовании для математической модели лекционного вида занятий, цифрового фильтра и математической модели внелекционных видов занятий задается один и тот же номер L-кластера n_L или G-кластера n_G . Номер кластера определяет конкретные параметры моделей видов учебных занятий и конкретную структуру цифрового фильтра и значения его параметров.

Сформирован алгоритм моделирования процессов управления, обеспечивающих достижение цели управления применительно к показателю качества J_2 . Среднее значение оценки уровня умений и навыков $\bar{P}_{S,W}(n_L, \gamma_1)$ для кластера n_L при заданном значении параметра цифрового фильтра γ_1 вычисляется по формуле

$$\bar{J}_2(n_L, \gamma_1) = \bar{P}_{S,W}(n_L, \gamma_1) = \frac{\sum_{k=1}^{N_{n_L}} \sum_{i=1}^{i_{max}} \hat{P}_{S,W}^k(i)}{N_{n_L} i_{max}}. \quad (15)$$

Результаты компьютерного моделирования, приведенные в таб. 5, показали следующее изменение показателя качества $\bar{J}_2$ в зависимости от параметра цифрового фильтра γ_1 .

Таблица 5. Изменение показателя качества $\bar{J}_2$.

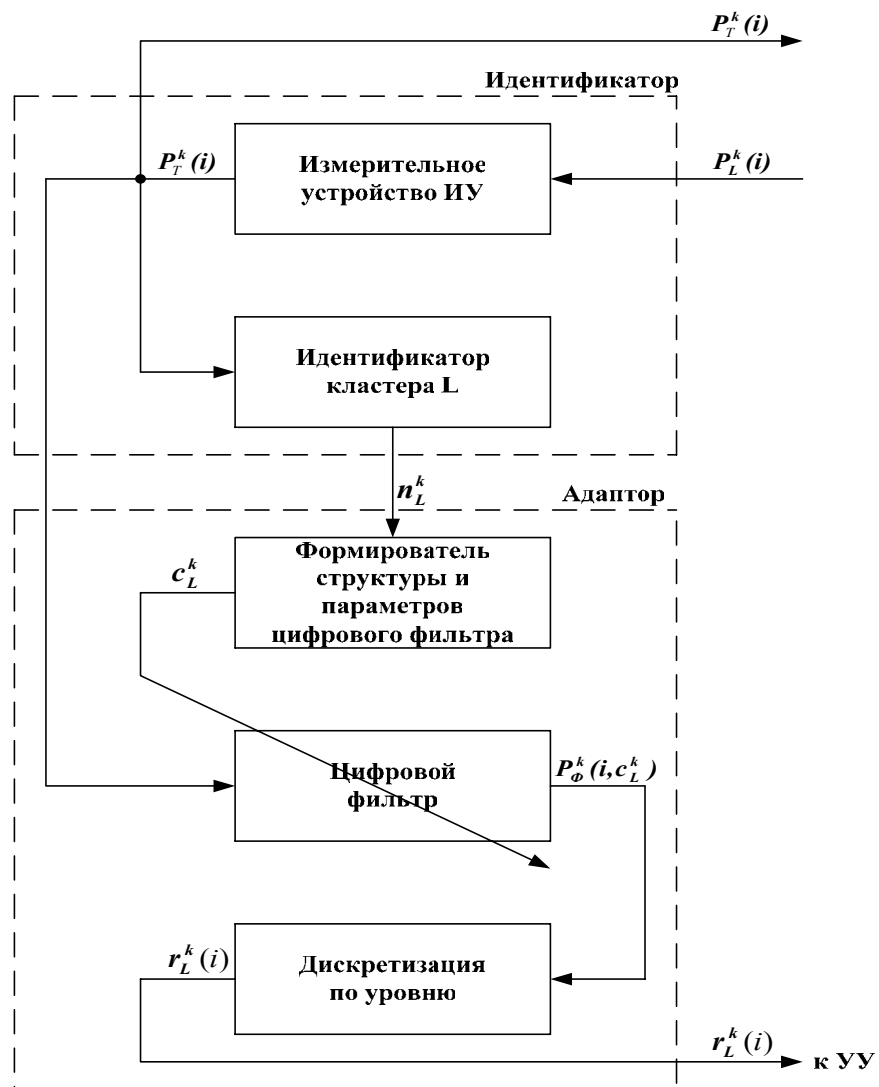
Процент увеличения среднего уровня умений и навыков (показателя качества $\bar{J}_2$)	Кластер L1	Кластер L2	Кластер L3	Кластер L4	Кластер L5	Кластер L6
5%	0.53	0.45	0.56	0.40	0.29	0.42
10%	-	0.75	0.81	0.64	0.45	0.52
15%	-	0.89	1.00	0.75	0.58	0.62

Аналогичным образом можно определить изменения показателя качества $\bar{J}_2$ применительно к обучаемым, принадлежащим к различным G-кластерам. В результате будут созданы наборы цифровых фильтров, каждый из которых будет соответствовать тому или иному L- или G-кластеру и удовлетворяющие заданным значениям показателя качества $\bar{J}_2$.

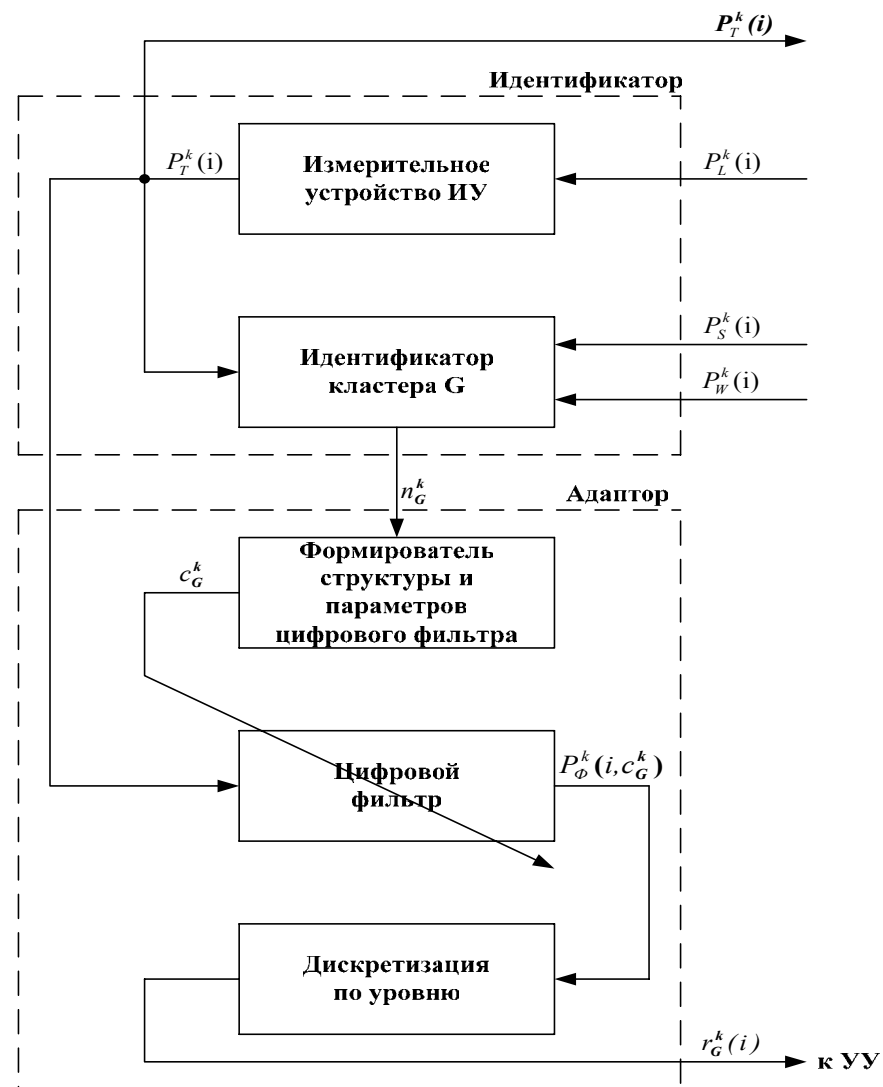
Следует отметить, что по формуле (15) оценивается показатель качества $\bar{J}_2$ только в части умений и навыков. В соответствии с моделью подсистемы «обучаемый» как объекта управления, представленной на рис. 2, повышение этого показателя приведет также к некоторому повышению уровня знаний обучаемых по завершении проведения всех видов учебных занятий на текущем этапе обучения. Следовательно здесь действительно имеет место достижение цели управления по введенному ранее показателю J_2 .

С использованием изложенной методики решены задачи синтеза системы адаптивного структурно-параметрического управления учебным процессом на основе кластерной L- и G- формы представления моделей обучаемых. Структура идентификатора кластера и адаптора при структурно-параметрическом управлении показана на рис. 15а,б.

Для того, чтобы перейти от параметрически адаптивного управления учебным процессом, показанному на рис. 3, к структурно-параметрическому управлению, достаточно заменить показанный там адаптор на одну из структур, представленных на рис. 15а,б. При этом устройство управления (УУ) и задатчик воздействий будут одними и теми же для всех трех случаев адаптивного управления.



а) при L-кластеризации обучаемых



б) при G-кластеризации обучаемых

Рис. 15. Структуры идентификатора кластера и адаптора при структурно-параметрическом управлении

В пятой главе рассматриваются средства информационной поддержки адаптивной системы управления учебным процессом. Здесь в состав информационно-образовательной среды вводятся электронные средства, образуемые адаптивной системой управления электронными образовательными ресурсами и каналами передачи данных. Электронные средства обеспечивают информационное взаимодействие с обучаемым и преподавателем. При этом функции подсистемы «преподаватель» перераспределяются между адаптивной системой управления и преподавателем таким образом, что значительная их часть поддерживается электронными средствами. Модульный принцип построения и единый подход к формированию электронных образовательных ресурсов позволяет сделать адаптивную систему управления инвариантной по отношению к ним. В результате одна и та же адаптивная система управления будет оперировать с различными электронными образовательными ресурсами, структура которых представлена на рис. 16.

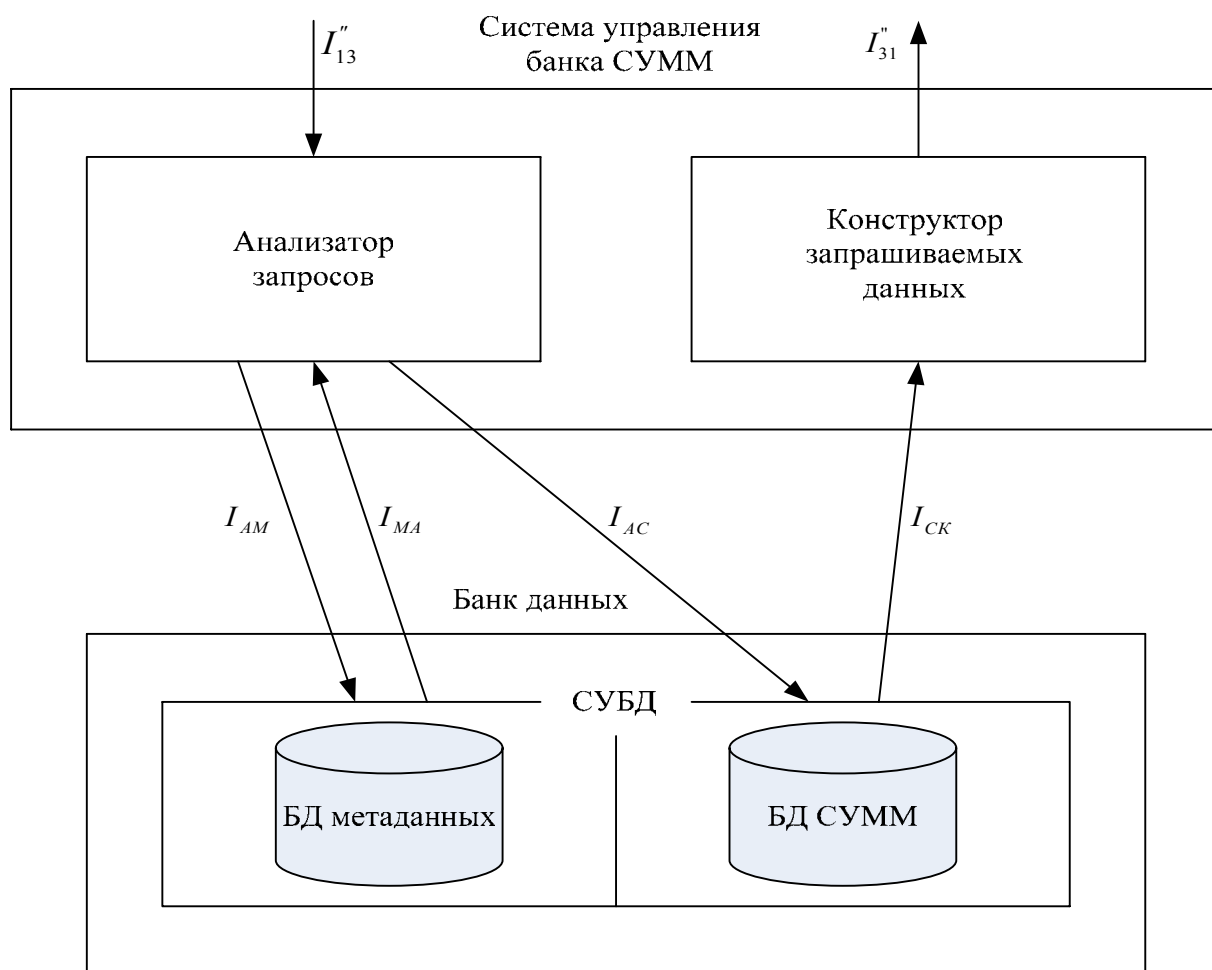


Рис. 16. Функциональная структура управляемого электронного образовательного ресурса.

Управляемый электронный образовательный ресурс состоит из двух основных блоков. Первый из них является системой управления банка данных, содержащего структурированные учебно-методические материалы. В нее входят две подсистемы. Одна из них, Анализатор запросов, осуществляет обработку запросов I'_{13} , поступающих от адаптивной системы управления.

Другая подсистема, Конструктор запрашиваемых данных, формирует выходной набор данных I'_{31} , направляемый к адаптивной системе управления.

Второй блок, банк данных, состоит из системы управления базами данных и двух баз данных. Одной из них является база данных структурированных учебно-методических материалов (БД СУММ), а другой - база метаданных.

Проведена оценка показателей качества наборов тестовых заданий для измерительного устройства. В качестве одного из таких показателей выбрана оценка соответствия заданного и реального уровня сложности тестового задания. С использованием экспериментальных данных, полученных в ходе учебного процесса, на основе анализа значимости коэффициентов ранговой корреляции Спирмена сделан вывод об адекватности уровней сложности большинства используемых тестовых заданий. К другим показателям качества были отнесены оценки дискриминативности и валидности, для которых в большинстве случаев также подтверждены приемлемые характеристики используемых тестовых заданий. В целом 75% тестовых заданий могут быть аттестованы по трем показателям, а 83 % - не менее, чем по двум показателям. Разработанная методика оценки показателей качества тестовых заданий позволяет выбраковывать те из них, которые не удовлетворяют требуемым значениям, и корректировать те из них, у которых показатели качества недостаточно высоки.

В шестой главе проводится комплексирование и излагаются результаты экспериментального исследования адаптивной информационно-образовательной среды. Здесь рассматриваются способы формирования адаптивных информационно-образовательных сред, инвариантных к видам образовательной деятельности, контингенту обучаемых с различным уровнем подготовки и индивидуальными особенностями, электронным образовательным ресурсам, программно-аппаратным и сетевым средам. Приведена многоуровневая структура и определен состав сетевой адаптивной информационно-образовательной среды, имеющей выход в Интернет и используемой на уровне кафедры для очной формы образовательной деятельности. Даны рекомендации по выбору системного и прикладного программного обеспечения, средств визуализации и администрирования.

При построении информационно-образовательной среды унифицируются как структуры электронных образовательных ресурсов, так и способы сопряжения информационных потоков I'_{13} и I'_{31} , циркулирующих между ресурсом и системой управления. Тогда адаптивная система управления сможет в многоканальном режиме взаимодействовать с несколькими электронными образовательными ресурсами, каждый из которых поддерживает учебный процесс по той или иной изучаемой дисциплине.

Таким образом наряду с многоканальностью системы управления по отношению к обучаемым будет иметь место многоканальность системы управления по отношению к изучаемым дисциплинам. Этот режим многоканальности показан на рис. 17.

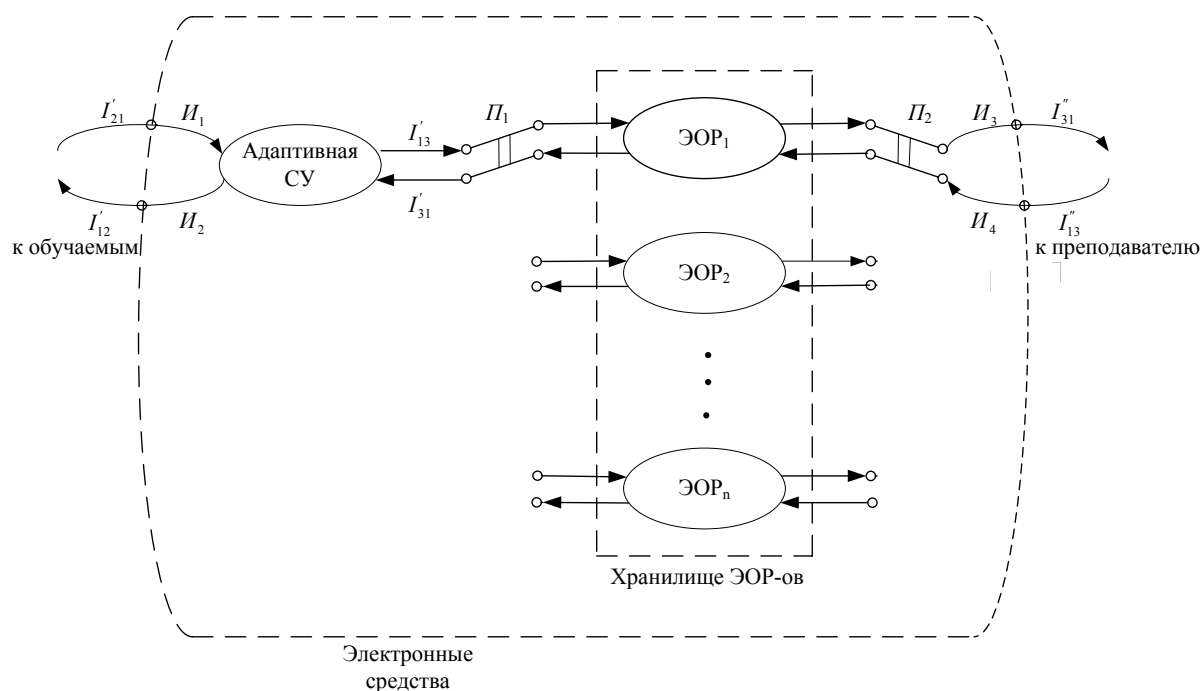


Рис. 17. Электронные средства, обеспечивающие многоканальный режим использования нескольких управляемых электронных образовательных ресурсов (ЭОР).

Здесь переключатели Π_1 , Π_2 обеспечивают подключение к адаптивной системе управления того электронного образовательного ресурса, который необходим для проведения текущего вида учебных занятий по изучаемой дисциплине. Функции управления этими переключателями берет на себя адаптивная система управления, которая устанавливает параметры интерфейсов I_1 , I_2 для интерактивного взаимодействия с обучаемыми и интерфейсов I_3 , I_4 , используемых для консультаций обучающихся преподавателем в рамках изучаемой дисциплины. В результате достигается инвариантность адаптивной системы управления к предметной области.

При очной форме обучения в рамках используемого программно-аппаратного обеспечения проведено экспериментальное исследование сетевой адаптивной информационно-образовательной среды в ходе реального учебного процесса в вузе с двумя группами обучающихся. Обучение первой группы проводилось в режиме адаптивного структурно-параметрического управления с использованием динамического пропорционально-интегрального ПИ-закона управления. Вторая группа являлась контрольной. Здесь обучение проводилось в режиме параметрически адаптивного управления с использованием статического пропорционального П-закона управления. Обе группы содержали в своем составе представителей всех лекционных кластеров примерно в равных количествах.

В результате были получены следующие гистограммы оценок уровня умений и навыков двух подгрупп обучающихся, представленные на рис. 18.

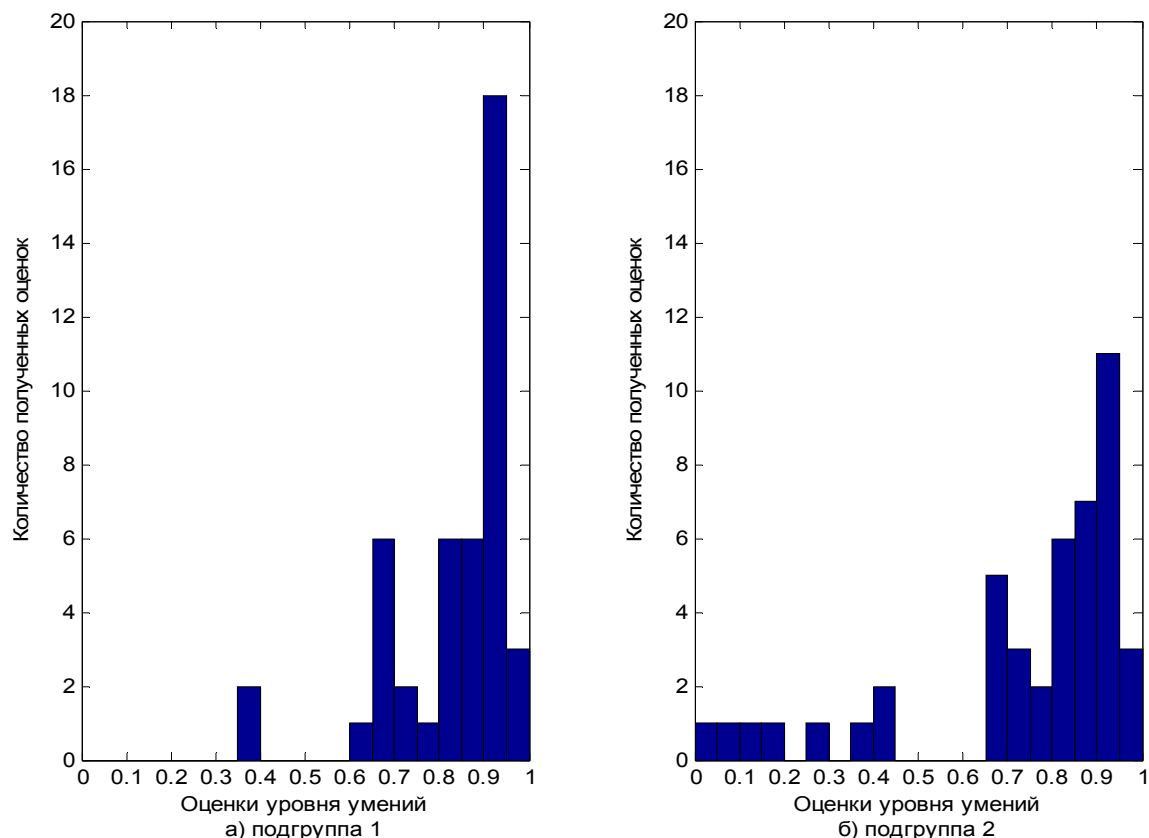


Рис. 18. Гистограммы оценок уровня умений и навыков в двух подгруппах

Полученные экспериментальные данные практически совпали с расчетными. Подтвердилось ожидаемое повышение показателя качества J_2 – уровня знаний, умений и навыков каждого из обучаемых в режиме адаптивного структурно-параметрического управления по сравнению с параметрически адаптивным управлением в диапазоне от 4% до 18% в зависимости от принадлежности обучаемого к тому или иному L-кластеру. Применение G-кластеризации не приводит к заметному увеличению показателя качества J_2 .

Для использования адаптивной информационно-образовательной среды при других видах образовательной деятельности, в частности, при дистанционной форме обучения, рассмотрены способы взаимодействия с глобальной сетью. Поскольку рекомендованное системное программное обеспечение поддерживает протокол https, для работы в режиме дистанционного обучения потребуется перенастройка Web-сервера, размещение серверов в Data-центре и применение процедур шифрования для повышения уровня безопасности информационного взаимодействия. Полученные экспериментальные зависимости времени отклика системы на действия пользователей, изображенные на рис. 19, показывают, что используемые программно-аппаратные средства обеспечивают приемлемую работу 350-500 пользователей в режиме удаленного доступа.

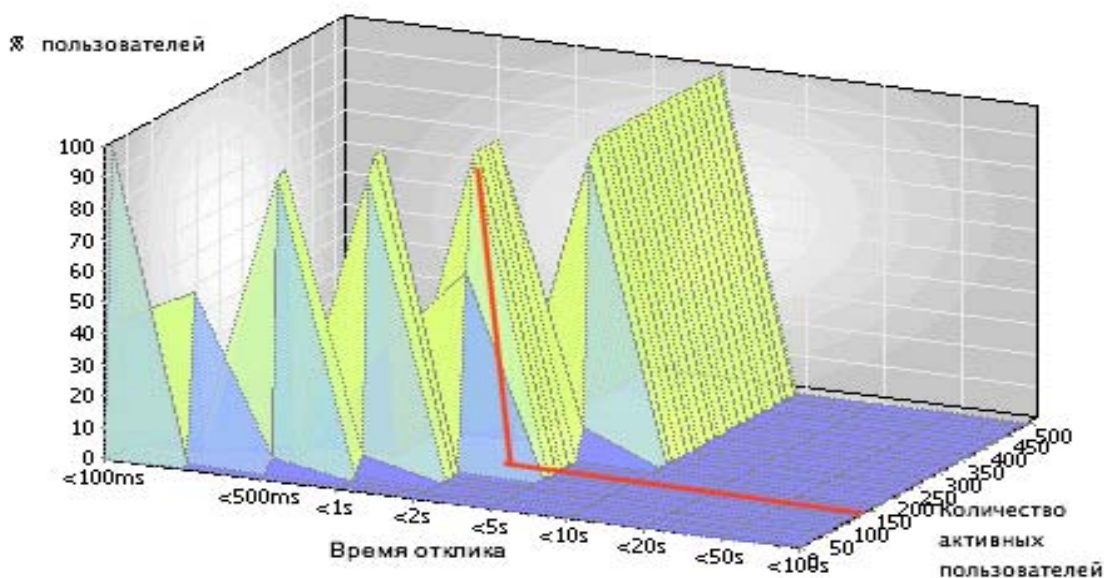


Рис. 19. Экспериментальные зависимости времени отклика.

Таким образом, появление в составе информационно-образовательных сред многофункциональных адаптивных систем управления электронными образовательными ресурсами при различных видах образовательной деятельности обеспечивает повышение показателей качества учебного процесса при одновременном снижении нагрузки на преподавателей. Разработанная методология построения многофункциональных сетевых информационно-образовательных сред на основе принципов адаптации, самонастройки и самоорганизации названа SPACEL (Structural Parametric Adaptive Control of Electronic Learning)-технологией. Ее применение позволяет формировать адаптивные информационно-образовательные среды, эффективно поддерживающие профессиональную деятельность преподавателей. Расчетные работы при проведении исследований выполнялись в среде программирования MATLAB.

В заключении приводятся основные результаты диссертационной работы.

В приложении содержится 7 актов о внедрении основных научных положений и результатов диссертации в вузах, в научно-исследовательской и в научно-производственных организациях.

Основные результаты работы

В результате проведенных исследований решена важная проблема социальной кибернетики, заключающаяся в разработке принципов построения, основ теории и методов формирования адаптивных информационно-образовательных сред нового поколения, эффективно поддерживающих

профессиональную деятельность преподавателей при различных уровнях подготовки обучаемых и инвариантных к видам образовательной деятельности. Выполненные экспериментальные исследования позволили выявить ранее неизвестные свойства и характеристики моделей поведения обучаемых как многосвязных объектов управления. На их основе проведено обобщение и развитие теории адаптивного управления применительно к новому классу адаптивных систем идентификационного типа, реализующих режим структурно-параметрического управления многосвязными объектами.

При выполнении данной работы получены следующие основные результаты:

1. Проведен системный анализ информационно-образовательной среды, образуемой взаимодействующими между собой преподавателем, обучаемым и учебно-методической компонентой, при различных формах образовательной деятельности. Исследовано и обосновано включение в состав информационно-образовательной среды многоканальной системы управления, берущей на себя выполнение ряда функций, выполняемых преподавателем, и учебно-методической компоненты в виде электронного образовательного ресурса, что позволяет перераспределить интенсивности информационных потоков. В результате за счет повышения интенсивности взаимодействия обучаемого с электронным образовательным ресурсом будет достигаться снижение нагрузки на преподавателя. Использование в системе управления принципов адаптации придает информационно-образовательной среде новые свойства и способствует повышению качества обучения.
2. Сформированы и обоснованы показатели качества и обобщенные критерии эффективности функционирования информационно-образовательной среды при различных видах образовательной деятельности. На основе этих показателей вводятся как частные, так и обобщенные критерии, предназначенные для выбора цели управления и синтеза законов адаптации и управления. Данные показатели качества и критерии позволяют оценивать процесс обучения при различных способах управления.
3. Исследованы и разработаны принципы построения параметрически адаптивных систем управления учебным процессом, основанные на декомпозиции многосвязных моделей обучаемого как объекта управления по видам учебных занятий. При этом контур адаптации формируется с использованием лекционного вида учебных занятий. Входящее в состав контура адаптации измерительное устройство определяет текущий уровень знаний обучаемого и соответствующий ему рейтинг. Канал управления предназначен для проведения внелекционных видов учебных занятий. В его состав входят задатчик воздействий, устройство управления и объект управления – обучаемый. При использовании пропорционального П-закона управления будут вырабатываться управляющие воздействия в виде задач и заданий с уровнями сложности и объемами, соответствующими текущему рейтингу обучаемого.
4. Автором предложено измерительное устройство с адаптивным тестированием, используемое для оценивания латентного параметра - уровня

знаний, приобретаемых обучаемыми после проведения лекционного вида учебных занятий. Входящий в измерительное устройство многоинтервальный классификатор устанавливает текущий рейтинг обучаемых. В результате образуется контур местной обратной связи, с помощью которого подбирается необходимый уровень сложности тестовых заданий для каждого из обучаемых. Введение контура адаптации в измерительное устройство способствует достижению приемлемых характеристик формируемых оценок значений уровней знаний обучаемых при одновременном сокращении объемов тестовых заданий и снижении нагрузки на обучаемых в процессе тестирования.

5. Выполнена статистическая обработка большого количества экспериментальных данных, полученных в течение ряда лет при проведении учебного процесса с несколькими группами обучаемых с использованием параметрически адаптивной системы управления. В результате выявлены неизвестные ранее закономерности и свойства моделей поведения обучаемых при проведении различных видов учебных занятий. С учетом многомерных признаков при проведении лекционного вида учебных занятий выявлены L-кластеры, при проведении внелекционных видов учебных занятий выявлены SW-кластеры, а с учетом всех видов учебных занятий выявлены обобщенные G-кластеры. Внутри каждого из кластеров обучаемые проявляют сходные характеристики поведения. Установлено, что каждый из кластеров отражает не только статические, но и динамические характеристики моделей поведения принадлежащих к нему обучаемых. Определены свойства и параметры взаимосвязи L-, SW- и G-кластеров.

6. Предложены, исследованы и обоснованы имитационные математические модели лекционного и внелекционных видов учебных занятий, формирующие последовательности значений уровней знаний, умений и навыков, приобретаемых обучаемыми в ходе учебного процесса. Модели используют экспериментально полученные для каждого из кластеров функции распределения плотности вероятностей выходных величин в виде соответствующих гистограмм. На примере виртуальной учебной группы подтверждена адекватность построенных математических моделей. Показано совпадение результатов L-, SW- и G-кластеризации обучаемых в виртуальной группе с соответствующими параметрами реальных кластеров. Построенные имитационные математические модели позволяют использовать методы компьютерного моделирования для определения показателей качества при различных законах адаптации и управления.

7. Разработаны основы теории нового класса адаптивных систем идентификационного типа для управления многосвязными динамическими объектами. Здесь для идентификации части объекта управления используется пробное воздействие. На основе получаемой информации восстанавливаются характеристики объекта управления в целом и формируются управляющие воздействия, направленные на достижение цели управления. Дана математическая постановка и определены способы решения задачи дискретного адаптивного управления с использованием как классических, так

и кластерных моделей многосвязных динамических объектов управления. Получены аналитические зависимости, связывающие цель управления с алгоритмами идентификации, адаптации и управления.

8. Разработана методика синтеза адаптивного структурно-параметрического управления многосвязными динамическими объектами с использованием кластерных моделей. Применительно к учебному процессу сформировано два способа построения систем управления. Первый из них использует L – кластеризацию, а второй – G – кластеризацию обучаемых. В обоих случаях в состав контура адаптации входят измерительное устройство, идентификатор кластера, цифровой фильтр с переменными структурой и параметрами, реализующий пропорционально-интегральный ПИ- и пропорционально-интегро-дифференциальный ПИД-законы управления. Сформированы алгоритмы кластеризации и структурно-параметрической адаптации. Устройство управления и задатчик воздействий остаются теми же, что и при параметрически адаптивном управлении.

9. Сформированы и исследованы структуры многоканальных нелинейных цифровых фильтров, осуществляющих динамическую обработку сигналов на основе ПИ- и ПИД-законов в системах прямого управления. В состав фильтров входят элементы задержки и логический блок, обеспечивающий переключение каналов фильтра в зависимости от уровней сигналов в каждом из них. Проведен анализ реакции двухканального фильтра, соответствующего ПИ-закону управления, при входном воздействии в виде синусоидального сигнала с постоянной составляющей. Показано, что данный цифровой фильтр обладает псевдолинейными характеристиками. Это позволяет расширить функциональные возможности законов адаптации и управления за счет низкочастотной фильтрации сигналов, отражающей механизм учета памяти при формировании управляющих воздействий.

10. Предложена и исследована методика оптимизации параметров цифровых фильтров по выбранному критерию на основе компьютерного моделирования учебного процесса с использованием разработанных имитационных моделей различных видов учебных занятий, законов адаптации и управления. Показано, что динамическая коррекция в виде ПИ-закона управления позволяет в большей степени повысить эффективность учебного процесса для обучаемых, принадлежащих к кластерам с наибольшими значениями среднеквадратического отклонения уровня знаний, умений и навыков по сравнению с характеристиками других кластеров. Достижимые при этом значения показателей качества выше, чем при использовании П-закона управления.

11. Разработана структура и определено функциональное назначение средств информационной поддержки учебного процесса в виде взаимодействующих между собой системы управления банка структурированных учебно-методических материалов и банка данных. Информационное наполнение средств поддержки включает в себя структурированные учебно-методические материалы для тестирования обучаемых и проведения с ними различных видов учебных занятий. Помимо хранения содержательного контента средства

информационной поддержки обеспечивают поиск, формирование, передачу и сопровождение элементов структурированных учебно-методических материалов в соответствии с запросами, поступающими от адаптивной системы управления.

12. Проведена обработка экспериментальных данных, полученных в ходе адаптивного тестирования обучаемых после проведения лекционного вида учебных занятий. Подтверждено соответствие заявленной и реальной сложности большинства тестовых заданий. Получены методики оценки тестовых заданий по показателям дискриминативности и валидности, позволяющие проводить аттестацию заданий. Подтверждена корректность разработанных тестовых заданий, используемых в измерительном устройстве при формировании оценок уровней знаний обучаемых.

13. Проведено экспериментальное исследование адаптивной информационно - образовательной среды в условиях реального учебного процесса. Показано достоверное повышение уровня знаний, умений и навыков обучаемых при применении алгоритмов адаптации, использующих L-кластеризацию, и ПИ-законов управления по сравнению с параметрической адаптацией. Полученные результаты свидетельствуют о том, что применение системы адаптивного структурно-параметрического управления электронными образовательными ресурсами в составе информационно-образовательной среды обеспечивает повышение показателей качества учебного процесса при одновременном снижении нагрузки на преподавателей.

14. Создана научно обоснованная методология построения многофункциональных сетевых информационно-образовательных сред нового поколения на основе применения принципов адаптации, самонастройки и самоорганизации - SPACEL (Structural Parametric Adaptive Control of Electronic Learning) - технология. Ее применение позволяет формировать адаптивные информационно-образовательные среды, эффективно поддерживающие профессиональную деятельность преподавателей.

В результате использования кластерного подхода к исследованию и идентификации статических и динамических характеристик многосвязных объектов управления и замены аналитической оптимизации критериев качества на компьютерное моделирование при выборе законов адаптации и управления проведено обобщение теории адаптивного управления, что существенно расширяет класс исследуемых задач.

Разработанные основы теории и принципы адаптации, структуры, модели и алгоритмы могут быть использованы в различных областях социальной деятельности, например, при решении задач управления персоналом, а также в технических приложениях.

Сведения о практическом использовании полученных в работе научных результатов приводятся в Приложении в соответствующих актах.

По теме диссертации опубликованы следующие основные работы

Монографии

1. Леонова Н.М. Параметрически адаптивное управление образовательной деятельностью / Под редакцией А.Д.Модяева: Монография. М.: МИФИ, 2006. 72 с. (Серия «Социальная кибернетика»).
2. Леонова Н.М., Марковский М.В. Имитационные математические модели процессов адаптивного управления образовательной деятельностью / Под редакцией А.Д.Модяева: Монография. М.: МИФИ, 2006. 123 с. (Серия «Социальная кибернетика»).
3. Леонова Н.М. Синтез алгоритмов адаптивного структурно-параметрического управления образовательной деятельностью / Под редакцией А.Д.Модяева: Монография. М.: МИФИ, 2006. 64 с. (Серия «Социальная кибернетика»).

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ для публикации основных результатов работы

4. Леонова Н.М., Модяев А.Д. Адаптивные электронные образовательные ресурсы: кибернетический подход // Известия МАН ВШ. 2004. №4. С. 213-220.
5. Леонова Н.М., Модяев А.Д. Адаптивное управление учебным процессом, поддерживающее профессиональную деятельность преподавателей // Известия МАН ВШ. 2005. №1, С. 151-159.
6. Леонова Н.М., Модяев А.Д. Адаптивное управление учебным процессом, обеспечивающее многофункциональную поддержку профессиональной деятельности преподавателей // Открытое образование. 2004. №6. С. 29-34.
7. Леонова Н.М., Марковский М.В. Формирование кластеров учащихся по результатам использования адаптивного электронного образовательного ресурса в учебном процессе // Открытое образование, 2005. №4. С. 33-38.
8. Леонова Н.М., Марковский М.В. Проверка адекватности математической модели лекционного вида учебных занятий // Открытое образование. 2006. №6, С. 39-44.

Учебные пособия

9. Киселев Б.Г., Леонова Н.М. Методические указания к лабораторному практикуму по курсу «Основы инженерного дела» (раздел «Основы программирования»): Учебное пособие. М.: МИФИ, 1983. 60 с.
10. Киселев Б.Г., Леонова Н.М. Лабораторный практикум по курсу «Основы инженерного дела и техники вычислений на ЭВМ». М.: МИФИ, 1984. 58 с.

11. Киселев Б.Г., Леонова Н.М. Организация использования ЭВМ в ходе компьютерного урока: Учебное пособие. М.: МИФИ, 1987. 57 с.
12. Леонова Н.М., Слотин А.Ю. Машинная графика в курсе «основы информатики и вычислительной техники»: Учебное пособие. М.: МИФИ, 1987. 23 с.
13. Айнутдинов В.А., Иванов А.Н., Леонова Н.М. Проектирование баз данных: Учебное пособие. М., МИФИ, 1999. 76 с.
14. Айнутдинов В.А., Белоусова С.Н., Леонова Н.М. Создание приложений в ACCESS: Учебное пособие. М., МИФИ, 2000. 115 с.

Публикации в журналах, сборниках и трудах конференций

15. Киселев Б.Г., Леонова Н.М. Опыт разработки и проведения цикла компьютерных уроков с использованием персональной ЭВМ // Интенсификация учебного процесса в высшей школе на базе микропроцессорных вычислительных систем: Сб. тр. Всесоюзной научно-методической конференции: 1986. С. 89-90.
16. Киселев Б.Г., Леонова Н.М. Опыт компьютеризации в физико-математической школе при вузе // Автоматизированные системы учебного назначения: Сб. научно-методических статей: М.: МИФИ, 1989, С. 37-42.
17. Киселев Б.Г., Леонова Н.М. Педагогика сотрудничества и компьютеризация учебного процесса // Информатика и образование. 1990. №2. С. 73-74.
18. Леонова Н.М., Модяев А.Д. Регионально-отраслевая подсистема дистанционного обучения в рамках школа-ВУЗ // Проблемы информатизации высшей школы. 1995. №3. С. 4-1 - 4-2.
19. Модяев А.Д., Леонова Н.М. Непрерывное разноуровневое образование на основе использования телекоммуникационных технологий // Региональная информатика-96: Тр. V Санкт-Петербургской международной конференции: Санкт-Петербург, 1996. С. 274-275.
20. Матюхин В.М., Леонова Н.М. Регионально-отраслевая телекоммуникационная сеть X-Атом и особенности ее использования // Региональная информатика-96: Тр. V Санкт-Петербургской международной конференции: Санкт-Петербург, 1996. С. 89-90.
21. Грибач В.А., Леонова Н.М., Модяев А.Д. Адаптация сетевых информационных технологий дневной формы обучения применительно к дистанционному образованию // Телематика 97: Тр. Конференции: Санкт-Петербург, 1997. С. 177-178.

22. Леонова Н.М., Модяев А.Д. Методологические и психолого-педагогические основы дистанционного обучения // Научная сессия МИФИ-98: Сб. научных тр.: В 11 т. М.: МИФИ, Т.6. 1998. С. 48-51.
23. Леонова Н.М., Модяев А.Д. Методология разработки и применения электронных учебников в вузе // Научная сессия МИФИ-99: Сб. научных тр.: В 13 т. М.: МИФИ, Т.7. 1999. С. 71-72.
24. Леонова Н.М., Лисенков И.А. Формирование систем оценки знаний и контроля успеваемости при дистанционной форме обучения // Научная сессия МИФИ-99: Сб. научных тр.: В 13 т. М.: МИФИ, Т.7. 1999. С. 69-70.
25. Леонова Н.М., Модяев А.Д. Методы разработки многофункциональных сетевых электронных учебников // Научная сессия МИФИ-2000: Сб. научных тр.: В 13 т. М.: МИФИ, Т.2. 2000. С. 95-97.
26. Леонова Н.М., Лисенков И.А. Интерактивное управление процессом обучения с использованием нейросетевой системы // Научная сессия МИФИ-2000: Сб. научных тр.: В 13 т. М.: МИФИ, Т.2. 2000. С. 98-100.
27. Леонова Н.М., Серебрякова А.Г., Шишилов А.Н. Разработка подсистемы оценки знаний и контроля успеваемости учащихся для интерактивных сетевых обучающих систем // Научная сессия МИФИ-2000: Сб. научных тр.: В 13 т. М.: МИФИ, Т.2. 2000. С. 92-94.
28. Панферов В.В., Модяев А.Д., Леонова Н.М., Лисенков И.А., Разработка методов и средств адаптивной системы управления образовательным процессом с использованием средств интеллектуальной поддержки преподавателя в рамках системы открытого образования. Минобразование РФ: М.: МИФИ, 2001. 44 с.
29. Леонова Н.М., Галанова Е.Г., Лисенков И.А. Реализация искусственной нейронной сети с использованием реляционных баз данных // Научная сессия МИФИ-2001: Сб. научных тр.: В 13 т. М.: МИФИ, Т.2. 2001. С. 94-95.
30. Леонова Н.М., Лисенков И.А. Разработка адаптивной системы обучения // Научная сессия МИФИ-2002: Сб. научных тр.: В 14 т. М.: МИФИ, Т.12. 2002. С. 50-52.
31. Леонова Н.М., Новосадова Е.Г. Информационные технологии в контроле и оценке результатов обучения // Научная сессия МИФИ-2002: Сб. научных тр.: В 14 т. М.: МИФИ, Т.12. 2002. С. 98-99.
32. Леонова Н.М., Овчинников В.Ю., Хомичкова И.Э. Адаптивное обучение в системах дистанционного образования // Научная сессия МИФИ-2002: Сб. научных тр.: В 14 т. М.: МИФИ, Т.12. 2002. С. 99-100.

33. Леонова Н.М., Галкин Е.Б. Разработка новых визуальных форм взаимодействия при дистанционном тестировании учащихся // Научная сессия МИФИ-2003: Сб. научных тр.: В 14 т. М.: МИФИ, Т.12. 2003. С. 126-127.
34. Леонова Н.М., Густун О.Н., Овчинников В.Ю. Разработка сетевой интерактивной обучающей системы с использованием Web-технологий // Научная сессия МИФИ-2003: Сб. научных тр.: В 14 т. М.: МИФИ, Т.12. 2003. С. 133-135.
35. Леонова Н.М., Лисенков И.А. Практическое использование адаптивной системы обучения // Научная сессия МИФИ-2003: Сб. научных тр.: В 14 т. М.: МИФИ, Т.12. 2003. С. 131-132.
36. Леонова Н.М., Мясников А.А., Шумилин Н.Н. Разработка вычислительного модуля для многофункциональной сетевой обучающей системы // Научная сессия МИФИ-2003: Сб. научных тр.: В 14 т. М.: МИФИ, Т.12. 2003. С. 125-126.
37. Леонова Н.М., Новосадова Е.Г. Перспективы развития программного обеспечения информационных систем дистанционного обучения в приложении к задаче анализа успеваемости учащихся // Научная сессия МИФИ-2003: Сб. научных тр.: В 14 т. М.: МИФИ, Т.12. 2003. С. 122-123.
38. Леонова Н.М., Модяев А.Д. Методы адаптивного управления проведением учебных занятий в реальном времени // Информационные технологии в образовании: Сб. тр. XIV Международной конференции-выставки, часть IV. М.: МИФИ, 2004. С. 208-210.
39. Леонова Н.М., Модяев А.Д. Многофункциональная тестирующая система электронного образовательного ресурса // Научная сессия МИФИ-2004: Сб. научных тр.: В 15 т. М.: МИФИ, Т.12. 2004. С.145-146.
40. Леонова Н.М., Модяев А.Д. Теоретико-множественный подход к формированию системы адаптивного структурно-параметрического управления // Научная сессия МИФИ-2006: Сб. научных тр.: В 16 т. М.: МИФИ, Т.12. 2006. С.24-25.
41. Modyaev A., Leonova N., Gribatch V. The multimedia distance learning software. Proceedings of the second international conference on distance education. World trade center Moscow, Russia, 1996, C. 313-314.
42. Modyaev A., Leonova N., Volokhova E. Experimental education telecommunication media in the school - high school system. Proceedings of the second international conference on distance education. World trade center Moscow, Russia, 1996. C. 348-349.