

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Пензенский государственный университет» (ПГУ)

---

Н. К. Юрков

# Интеллектуальные компьютерные обучающие системы

*Монография*

Пенза  
Издательство ПГУ  
2010

УДК 681.3.068

Ю74

Р е ц е н з е н т ы :

доктор технических наук, профессор,  
заведующий сектором проблем кибернетики  
Вычислительного центра  
им. А. А. Дородницына Российской академии наук  
*А. И. Дивеев;*

доктор технических наук, профессор,  
председатель СПА г. Серпухова «Комитет по образованию»,  
заслуженный деятель науки РФ, лауреат премии Правительства РФ  
*Ю. А. Романенко*

**Юрков, Н. К.**

Ю74      Интеллектуальные компьютерные обучающие системы :  
моногр. / Н. К. Юрков. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2010. – 304 с.  
ISBN 978-5-94170-355-5

Книга посвящена проблеме повышения эффективности управления интеллектуальными компьютерными обучающими системами в слабо формализованных предметных областях за счет разработки методов и алгоритмов решения задач ситуационного управления процессом обучения, что вызвано необходимостью интенсификации образовательного процесса на основе разработки адаптивных систем управления. На основе системного подхода решается научно-практическая проблема разработки методов и алгоритмов управления компьютерными системами обучения, основанная на функционально-целевом подходе. Пункты 2.5, 3.4 и 3.5, а также главы 4 и 6 написаны совместно с А. В. Затылкиным.

Монография предназначена для научных работников и специалистов в области системного анализа, математического моделирования и проектирования технических средств обучения, а также для студентов и аспирантов соответствующих специальностей.

**УДК 681.3.068**

**ISBN 978-5-94170-355-5** © Юрков Н. К., 2010

© ГОУ ВПО «Пензенский государственный  
университет», 2010

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |     |
|---|-----|
| ВВЕДЕНИЕ .....  | 5   |
| 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ<br>АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОБУЧЕНИЯ.....  | 16  |
| 1.1. Психофизиологические особенности человека .....  | 16  |
| 1.2. Методы адаптации в ИКОС .....  | 30  |
| 1.3. Анализ существующих моделей обучаемого.....  | 44  |
| 1.4. Обзор современных средств автоматизированного обучения .....   | 49  |
| 1.5. Классификация ИКОС на основе теории коммуникации .....   | 61  |
| 2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ<br>ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМ .....  | 66  |
| 2.1. Сравнительный анализ методов моделирования систем<br>обучения.....   | 66  |
| 2.2. Концептуальное моделирование информационных систем.....  | 68  |
| 2.3. Разработка концептуальной модели интеллектуальной<br>компьютерной обучающей системы .....                                  | 74  |
| 2.4. Синтез рекуррентного алгоритма параметрического синтеза<br>математической модели системы обучения.....                     | 81  |
| 2.5. Структурная модель ИКОС с внешним объектом исследования .....  | 94  |
| 3. СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫМ<br>ОБУЧЕНИЕМ.....   | 105 |
| 3.1. Методы адаптивного управления системой обучения.....   | 105 |
| 3.2. Целеполагание в системах управления .....  | 113 |
| 3.3. Адаптивное управление. Анализ робастности системы управления ....  | 136 |
| 3.4. Структурная модель интеллектуальной системы управления .....   | 144 |
| 3.5. Контроль знаний обучаемого .....   | 155 |
| 4. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ИКОС С ВНЕШНИМ ОБЪЕКТОМ<br>ИССЛЕДОВАНИЯ .....   | 161 |
| 4.1. Моделирование знаний предметной области в ИКОС .....   | 161 |
| 4.2. Разработка понятийной модели предметной области.....   | 166 |
| 4.3. Методика количественного анализа соотношения декларативных<br>и процедурных знаний в предметной области обучения.....      | 185 |
| 4.4. Интерфейс технических систем .....   | 188 |
| 4.5. Интеллектуальный интерфейс пользователя .....  | 201 |
| 5. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ<br>УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ СИСТЕМАМИ.....   | 206 |
| 5.1. Анализ эффективности внедрения компьютерных технологий<br>в профессиональное образование.....                              | 206 |
| 5.2. Информационные особенности многоэкстремальных функций<br>для описания показателей функционирования систем управления ..... | 214 |
| 5.3. Информационный критерий качества алгоритмов управления .....   | 226 |

|  |            |
|--|------------|
| 5.4. Интеллектуализация управления слабо формализованными процессами .....                       | 233        |
| <b>6. РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ ОБУЧЕНИЯ.....</b>                         | <b>249</b> |
| 6.1. Учет репрезентативной системы обучаемого .....  | 249        |
| 6.2. Методика взаимодействия обучаемого с ИКОС .....   | 252        |
| 6.3. Аппаратно-программная реализация ИКОС.....  | 257        |
| 6.4. Исследование эффективности ИКОС .....   | 261        |
| <b>7. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗВИТИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМ .....</b> | <b>267</b> |
| 7.1. Адаптация к психофизическому состоянию обучаемого .....                                     | 267        |
| 7.2. Определение электрокожного сопротивления.....   | 274        |
| 7.3. Анализ клавиатурного почерка .....  | 280        |
| 7.4. Диагностика вариационной пульсометрии .....   | 281        |
| 7.5. Оценка видеоизображения.....  | 285        |
| <b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>   | <b>290</b> |
| <b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>   | <b>294</b> |

---

---

## Введение

В условиях рыночной экономики реинжиниринг высшего образования означает его перепроектирование как открытой, гибкой, неоднородной, децентрализованной системы, способной успешно функционировать и эволюционировать в сложной и плохо определенной среде. В отличие от закрытых систем, мало взаимодействующих с внешней средой, открытые системы характеризуются периодическим и интенсивным обменом с внешней средой. Здесь границы между системой и средой становятся достаточно условными и нечеткими. У открытой системы имеются хорошие возможности и средства адаптации к изменениям среды, в том числе путем модификации своей структуры и параметров. Иными словами, она способна к развитию путем самообновления – ликвидации старых и создания новых структур внутри самой себя.

Для высшего образования первостепенную актуальность приобретает задача использования возможностей информационных технологий в моделировании исследовательской и профессиональной деятельности. Процесс реформирования рассматривается в контексте создания таких педагогических технологий, которые обеспечивали бы переход от формально-дисциплинарного к проблемно-активному типу обучения [1]. Эта задача напрямую связана с концептуальным обоснованием системной целостности учебно-предметной деятельности, сохраняющей в условиях информационной технологии обучения основные этапы формирования умственных действий с использованием конструктивного анализа и моделирования предметных сред [83]. В основе системного подхода к реформированию содержания и методов обучения, который рассматривается в работах Б. Н. Богатыря, Ю. С. Брановского, Я. А. Ваграменко, Э. Г. Скибицкого, А. В. Хуторского, а также в целом ряде зарубежных исследований (Т. Reeves, С. Resnick, J. Self, J. Underwood и др.), лежит использование в образовательном процессе обучающей среды (Learning Environment). Необходимо отметить, что задача перехода к обучающим средам как насущной потребности информатизации образования была поставлена в целом ряде работ

еще в конце 70-х – 80-е гг. (Ю. А. Первин, Д. Сьюзел, Д. Ротерей, S. Papert, D. H. Jonassen и др.).

Как показывает анализ исследований и материалов конференций по проблемам информатизации образования, существует целый ряд авторских трактовок, определяющих специфику обучающей среды, основанной на компьютерных технологиях. Это явление во многом обусловлено неустоявшейся, динамично развивающейся терминологической базой компьютерных технологий обучения. Виртуальная среда обучения рассматривается в работах Ж. Н. Зайцевой, А. А. Калмыкова, Л. А. Хачатурова; встречаются такие термины, как «интегрированная учебная среда» [84], «информационно-предметная среда» (И. В. Роберт), «предметная обучающая среда» [83], «информационно-динамическая среда» (Н. В. Сизинцева), «информационно-педагогическая среда» (А. А. Ахаян) и др.

Однако наиболее распространенным и, с нашей точки зрения, адекватно отражающим сущность данного явления термином является «информационно-обучающая среда» (ИОС). В этом определении акцент делается на информационном характере среды, поскольку информационно-знаниевые потоки составляют основу взаимодействия системы «человек–компьютер». Современные образовательные процессы не могут проходить без включения в процесс обучения широкого спектра информационных ресурсов, без развития умений обработки и представления информации. Информационная среда, созданная средствами новых информационных технологий (НИТ), рассматривается как составная часть среды обучения и выступает как «сложное, многоаспектное образование, своеобразная результирующая всех информационно-знаниевых и коммуникационных потоков, на пересечении которых находится человек» [5]. Анализ работ П. Л. Брусилковского, Г. В. Кедровой, А. М. Короткова, О. П. Крюковой, Е. А. Локтюшиной, Ю. М. Насоновой, Е. С. Полат, И. В. Роберт, Д. В. Смолина и других позволяет сделать вывод, что большинство исследователей рассматривают ИОС в русле решения задач совершенствования дидактической теории и практики применительно к новым образовательным условиям и описывают модель учебного процесса, в которой используются возможности, позволяющие эффективно организовать индивидуальную и коллективную работу преподавателя и студентов, а также интегрировать различные формы и стратегии освоения знаний по предмету, направленные на развитие самостоятельной познавательной учебной деятельности. Те различия, которые при-

существуют в понимании ИОС, во многом определяются концептуальными подходами к использованию информационных и телекоммуникационных технологий в обучении, на которые опирается каждый из авторов. Можно выделить три основных типа сред, которые были реализованы на практике или описаны в виде теоретических подходов в известных нам работах:

- среды, ориентированные на представление знаний;
- среды, ориентированные на самостоятельную деятельность по приобретению знаний;
- смешанный тип сред.

Выполненный обзор существующих интеллектуальных обучающих систем дает следующие виды технологий в интеллектуальных обучающих системах:

- построение последовательности курса обучения;
- интеллектуальный анализ ответов обучаемого;
- интерактивная поддержка в решении задач;
- помощь в решении задач, основанная на примерах.

Независимо от предметной специфики ИОС должна реализовывать следующие основные функции:

- оперативная доставка учебной информации обучающемуся;
- осуществление коммуникационной функции между всеми участниками учебного процесса и обратной связи с преподавателем;
- обеспечение индивидуальной и групповой самостоятельной работы.

Компьютеризация общества и его различных институтов должна быть направлена не только (не столько) на пассивную (статическую) актуализацию информационных ресурсов общества, но и на создание и актуализацию новых информационных технологий, ресурсов, динамическое их переупорядочивание, а также их взаимопроникновение и взаимообогащение в системах вида «человек–технология–знания–система».

Большинство обучающих систем ориентировано на анализ механизма приобретения информации человеком и его воспроизведения в машине. В то же время сложное эвристическое обучение, свойственное человеку, практически не реализовано.

Общепринятый смысл обучения можно пояснить так: методом проб и ошибок или экспериментов с одной и той же исходной

совокупностью данных происходит модификация системы, которая при этом демонстрирует на каждом этапе экспериментов лучшие результаты, чем на предыдущем этапе. Это определение не что иное, как наблюдение со стороны действий обучающейся системы в конкретной среде.

В переводной литературе термин «автоматизированные обучающие системы» встречается в двух модификациях: CAI (computer assisted instruction) и CHI (computer helped instruction).

Центральной проблемой компьютерного обучения является проблема создания машинных обучающих программ, способных обеспечить эффективную организацию содержания учебного курса, стратегий усвоения и режимов активного взаимодействия ученика с машиной.

Проблема обучения в дальнейшем рассматривается с нескольких точек зрения – с точки зрения самой функции обучения, анализа свойств окружающей среды и, наконец, взаимодействия обучающегося и среды [8].

При обучении ставится, по крайней мере, две цели: первая – извлечение информации из среды, вторая – повышение ее уровня и структурирование. С повышением уровня данных возрастает их универсальность в плане применения.

Помимо функций обучающегося, связанных с получением информации об объекте и повышением ее уровня, необходимы также функции управления процессом обучения.

Главное в обучении – повышение уровня обученности или достижение определенных навыков и даже развитие интеллекта или формирование личности [7]. Основное – это научить человека мыслить самостоятельно.

ИОС должна быть основана на следующих эвристических правилах: констатация правильности ответа, подробная диагностика ошибок, обсуждение родственных задач, переход к новой теме. Более общие принципы должны быть выделены на уровне метаправил, определяющих возможность и порядок применения эвристических правил обучения. Блок обучения должен быть построен по принципу блока решения задач, причем база знаний его содержит правила, действующие на двух из этих уровней, а также включает в качестве аргументов правил данные, представленные в модели пользователя.

Разработка «правил обучения», не зависящих от семантики предметной области, в совокупности с инструментальными сред-



ствами проектирования систем решения задач на основе модели предметной области позволяет снизить трудозатраты на создание интеллектуальных обучающих систем.

Сегодня вопросам информатизации образования уделяется большое внимание на государственном уровне: запущен приоритетный национальный проект «Образование», действуют различные федеральные целевые программы, привлекаются международные инвестиции. Благодаря этой поддержке в образовательные учреждения поставляется современная компьютерная техника, обеспечивается доступ к образовательным информационным ресурсам, предоставляется выход в Интернет, осуществляются научно-исследовательские работы. Анализ открытых источников показывает, что эффект от внедрения образовательных информационных технологий (ОИТ) можно усилить, если сконцентрировать внимание на следующих проблемных зонах:

- «технократизация» обучения, т.е. «внедрение информационных коммуникационных технологий (ИКТ) ради ИКТ» и(или) получение коммерческой прибыли от поставки компьютерной и презентационной техники;

- недостаточная вовлеченность обучающихся в процесс получения знаний, умений и навыков;

- недостаточно эффективное использование дистанционного обучения для повышения доступности образования.

Развитие компьютерных технологий в образовании привело к появлению множества педагогических программных средств (ППС) различного назначения: компьютерных обучающих систем, электронных учебных пособий, электронных средств контроля знаний, вычислительных экспериментов, моделирующих компьютерных программ, компьютерных деловых игр и т.д.

Как известно, подготовка специалистов различных специальностей требует усвоения знаний в предметной среде учебных дисциплин на различных уровнях усвоения. В связи с этим необходимо четко представлять, на каких уровнях усвоения знаний возможно использование ППС различного назначения.

В табл. 1 приведены типы обучающих систем, использование которых целесообразно для достижения различных уровней усвоения знаний, и уровни мотивации учения студентов, необходимые для их эффективного использования.

## Типы обучающих систем

| Уровень усвоения знаний  | Уровни мотивации учения | Типы компьютерных обучающих систем  | Управление учебной деятельностью |
|--|-------------------------|---|----------------------------------|
| Уровень идентификации ранее изученного                           | Первый–четвертый        | Тесты первого уровня  | Компьютер                        |
|  |                         | Электронные лекции  | Компьютер, преподаватель         |
| Уровень воспроизведения знаний                                   | Первый–четвертый        | Контролирующие системы, тесты второго уровня  | Компьютер                        |
|  |                         | Электронные учебники  | Компьютер, преподаватель         |
| Уровень использования знаний в стандартных ситуациях             | Второй–четвертый        | Контроль третьего уровня  | Преподаватель                    |
|  |                         | Электронные учебники, программы-тренажеры, компьютерные практикумы, моделирующие системы      | Компьютер                        |
| Творческий уровень (использование знаний в нетипичных ситуациях) | Третий–четвертый        | Творческие задания  | Преподаватель                    |
|  |                         | Специальные системы по управлению решением учебных творческих задач, экспертные системы, САПР | Компьютер                        |

Предъявление учебного материала на первом уровне усвоения знаний – уровне идентификации – возможно с помощью электронных учебников или электронных лекций, содержащих теоретические основы заданной дисциплины, сопровождающихся иллюстративным материалом. Оценить усвоение знаний на первом уровне позволяет использование компьютерных тестов. Задания для теста первого уровня должны содержать в явном виде все компоненты задачи: цель, ситуацию и деятельность по ее решению. От учащегося требуется только дать заключение об их совместности (узнавание ранее изученного).

Контроль знаний на втором уровне знаний – уровне воспроизведения – требует создания сложных контролирующих систем с вводом конструируемых ответов и развитой системой распознавания ответов, поскольку задания для теста второго уровня должны содержать цель и ситуацию, а учащемуся по памяти надо воспро-

известить подходящие действия для достижения заданной цели в заданной ситуации.

Задания для тестов третьего уровня – уровня использования знаний в стандартных ситуациях – должны содержать цель и неполную ситуацию, которую учащемуся необходимо дополнить, чтобы использовать известные действия. Компьютерные тесты третьего уровня практически не создаются из-за технической сложности реализации таких заданий. Обучение с помощью компьютеров на третьем уровне может проводиться с помощью других видов ППС. Для достижения третьего уровня усвоения знаний могут использоваться электронные учебники, программы-тренажеры и обучающие компьютерные системы, ориентированные на использование знаний в типичных ситуациях, к которым относятся также и моделирующие ППС. Опыт использования моделирующих ППС показал, что их использование приводит к повышению качества знаний учащихся в рамках присущего им уровня знаний, но не приводит к повышению уровня усвоения знаний [10].

Повышение уровня знаний до четвертого – творческого – уровня требует специальных ППС, ориентированных на достижение субъективно новых для учащихся знаний в нестандартных учебных ситуациях. При этом достижение четвертого уровня усвоения знаний возможно только у учащихся с исходным уровнем усвоения знаний не ниже третьего. Развитию творческих способностей учащихся способствует включение в процесс обучения задач творческого характера. Под учебными творческими задачами понимаются такие задачи, для решения которых учащиеся не имеют готовых учебных приемов и способов. В учебном процессе творческие задачи могут использоваться самостоятельно как упражнения и как познавательные задачи в преподавании учебного материала методами проблемного обучения.

В настоящее время ППС, ориентированные на достижение высоких уровней усвоения знаний, все чаще конструируются на основе экспертных систем учебного или профессионального назначения.

В зависимости от своего выбора или задания преподавателя учащийся может передвигаться по разным «веткам» дерева знаний обучающей системы. После завершения работы с системой по одной теме обучаемый имеет возможность продолжить ее, проходя по другой «ветке» дерева знаний, или выйти из программы. Вывод вопросов и комментариев может сопровождаться выводом на дис-

плей рисунков и графиков, что расширяет информационные возможности систем. Организация учебного материала в базе знаний позволяет довольно легко и быстро менять или дополнять его содержание.

Применение экспертных систем (ЭС), несомненно, расширяет возможности в создании ППС, предоставляя большую свободу как в организации учебного материала, так и в способах его представления, позволяя создавать ППС, содержащие модули учебного материала большого объема, включающие содержание нескольких тем или разделов учебных предметов. При этом, однако, повышаются и требования к разработчикам ППС в следующих основных направлениях [9]:

- отбор учебного материала и установление внутренних связей между отдельными его частями требуют высокого профессионального уровня и компетентности разработчика, который должен быть экспертом в предметной области ППС;

- увеличивающаяся нагрузка на дидактическую (создание обучающих модулей или укрупненных дидактических единиц) и методическую (нестандартная организация учебного материала, поиск методов обучения с помощью компьютера) стороны создания ППС требует высокого уровня педагогической подготовки разработчика ППС;

- для достижения свободы передвижения по дереву знаний необходима четкая организация учебного материала в базе знаний, что требует высокого уровня алгоритмизации учебного материала.

Соблюдение всех перечисленных требований поднимает процесс создания ППС на качественно более высокий уровень, приводя к созданию учебных программных продуктов, отвечающих современному уровню информатизации науки и образования.

Исходя из вышеизложенного можно сделать вывод, что использование ППС различного назначения на занятиях по конкретным учебным дисциплинам должно производиться с учетом конкретных целей профессиональной подготовки учащихся и присутствующего им уровня усвоения знаний.

При этом немногие АОС по программированию постоянно используются в реальном учебном процессе, и большая часть из них неприменима вне стен университета, в котором они были разработаны. С другой стороны, все компьютерные программы по программированию в университетах и школах являются неинтел-

лектуальными автоматизированными обучающими системами, программными средами и гипермедийными системами.

Для того чтобы быть полезными, системы должны помогать преподавателю или обучаемому на большинстве этапах их работы. В то же время существующие АОС очень сильно помогают преподавателю и обучаемому во время выполнения различных действий и в различных разделах курса, но каждая отдельно взятая система очень мало помогает при работе с курсом в целом. Большинство существующих систем строго ориентированы на использование в университете, в котором они были разработаны. Для поддержки различных способов обучения или различных структур курсов такие системы не могут быть использованы в существующем виде.

С точки зрения разработчика современные интеллектуальные и неинтеллектуальные системы по программированию достаточно сложны. Каждый компонент стоит нескольких человеко-лет исследований, и, для того чтобы быть действительно полезной, система должна включать в себя несколько компонентов.

Проблемы пользователей и разработчиков АОС можно будет решить, если сможем найти способ объединить функциональные возможности различных АОС, сред программирования и гипермедийных систем. Минимальным требованием при этом является возможность объединить две различные системы, например, АОС и среду программирования. Самой предпочтительной была бы возможность извлечения отдельного компонента из системы и использования его вместе с другой системой, созданной другими разработчиками. В этом случае преподаватель, который ищет компьютерную поддержку для определенного курса программирования, сможет объединить несколько уже существующих интеллектуальных и неинтеллектуальных компонентов, которые вместе могли бы поддерживать нужные разделы курса и нужный диапазон действий. В то же время отдельные разработчики и команды разработчиков могли бы сосредоточить усилия на компонентах, которые им под силу. Им не нужно было бы тратить время на разработку других компонентов лишь для того, чтобы сделать систему полной и полезной, так как отсутствующий компонент можно взять из других систем.

К сожалению, существующие интеллектуальные и неинтеллектуальные системы не могут поддерживать такую интеграцию. Обычно каждая система разрабатывается как единое целое и не допускает гибкого использования. Нельзя просто интегрировать

внешний компонент (например, коммерческую среду программирования или локально созданного интеллектуального отладчика) в другую систему. Исследователь не может быстро удалить или заменить компонент, который не соответствует определенному методу обучения. Если в системе есть компонент, который действительно нравится и нужен, зачастую сложно извлечь и снова применить этот компонент в другой системе. Систему можно использовать только в существующем виде.

Интеллектуальные обучающие системы должны интегрировать знания трех типов [21]:

- знания о педагогической технологии, которые включаются в систему на этапе ее проектирования;
- знания об изучаемой предметной области, которые включаются в уже готовую программную оболочку;
- знания о психологических особенностях обучаемого и его учебных достижениях, которые приобретаются системой в процессе работы с конкретным пользователем.

Остановимся более подробно на последнем знании, возможно, самом сложном не только для интеллектуальных обучающих систем, но и для преподавателя.

На сегодняшний день определены два способа подбора моделей обучаемых: адаптивная поддержка сотрудничества и интеллектуальное наблюдение за классом [91].

Адаптивная поддержка сотрудничества – это новая технология, которая развивалась последние годы вместе с развитием сетевых образовательных систем. Целью адаптивной поддержки сотрудничества является использование знаний системы о разных обучающихся для подбора групп сотрудничества.

Интеллектуальное наблюдение за классом также основано на возможности сравнивать записи о разных обучающихся. Однако вместо поиска совпадений оно ищет различия. Цель – выделение тех обучаемых, которые по своим индивидуальным особенностям существенно отличаются от сокурсников: усваивают учебную программу слишком быстро (или медленно), имеют доступ к гораздо меньшему объему материала, чем остальные. В любом случае эти обучаемые нуждаются во внимании преподавателя больше, чем остальные: чтобы бросить вызов тем, кто может; чтобы обеспечить больше объяснений тем, кто не может; чтобы подтолкнуть тех, кто медлит. В обычной аудитории преподаватель может следить за по-

сещаемостью и вниманием обучающихся, выделять тех, кто нуждается в особом внимании. В сетевой аудитории преподаватель в лучшем случае имеет только данные из журнала. В то же время необходимость распознавания небольшого подмножества обучающихся, нуждающихся в помощи больше, чем остальные, является более важной.

Современные системы компьютерного обучения невозможно представить без средств адаптации, причем под адаптацией будем понимать широкий спектр возможностей системы.

Нельзя выделить факторы, которые являются главными в повышении эффективности компьютерного обучения (организационные, технические, педагогические, психологические). Отсутствие одних факторов приводит к невозможности компьютерного обучения, а другие – влияют на его эффективность. Информационные технологии могут быть эффективными только тогда, когда используются на основе системного подхода: при обязательном наличии технических средств должно использоваться программное обеспечение, созданное на основе учебного содержания, ориентированного на цели обучения с учетом достижений педагогики и психологии.

Эффективность компьютерного обучения, помимо всего прочего, зависит от психологических особенностей обучаемых, которые определяют мотивацию к учению, их работоспособности и прилежания. Присутствие преподавателя как объекта управления учебной деятельностью, в том числе и в режиме on-line при обучении в Интернете, также является одним из основных факторов, повышающих эффективность компьютерного обучения.

Анализ существующих автоматизированных обучающих систем позволил выявить, что те различия, которые присутствуют в понимании АОС, во многом определяются концептуальными подходами к использованию информационных и телекоммуникационных технологий в обучении, на которые опирается каждый из авторов.

---

# 1. Современное состояние проблемы автоматизированного обучения

---

## 1.1. Психофизиологические особенности человека

В передовых странах образование (в особенности инженерное) все больше становится капиталом, инструментом борьбы за рынок и решения геополитических задач. Состояние образования определяет интеллектуальный потенциал общества и на данный момент, и на длительную перспективу, создает предпосылки устойчивого социально-экономического прогресса. Все это приводит к необходимости проведения передовыми странами новой образовательной политики, опирающейся на «инженерный подход» к разработке системы образования. При этом активно используются различные стратегии и средства моделирования, реструктуризации, усовершенствования [7].

Главное в обучении – повышение уровня обученности или достижение определенных навыков и даже развитие интеллекта или формирование личности. Основное – это научить человека мыслить самостоятельно.

Наличие жесткого сценария диалога и ограниченность средств анализа ответов в АОС препятствовали их широкому использованию для обучения решению задач и организации выполнения практических заданий.

Центральной проблемой компьютерного обучения является проблема создания машинных обучающих программ, способных обеспечить эффективную организацию содержания учебного курса, стратегий усвоения и режимов активного взаимодействия ученика с машиной.

Проблема обучения в дальнейшем рассматривается с нескольких точек зрения: с точки зрения самой функции обучения, анализа свойств окружающей среды и, наконец, взаимодействия обучающегося и среды [8].

При обучении ставится, по крайней мере, две цели. Первая – извлечение информации из среды, вторая – повышение ее уровня и



структурирование. С повышением уровня данных возрастает их универсальность в плане применения.

Процесс формирования новых знаний на базе имеющихся – это, по сути, процесс абстрагирования. Следует различать научение как непрерывное знание (преобразование первого рода) и абстрагирование, когда группа преобразований знаний должна быть более сложной (преобразования второго рода), когда знания претерпевают скачок. На основе первого пути строят тренажеры. Более сложные системы реализовывают более высокие ступени познания.

Помимо функций обучающегося, связанных с получением информации об объекте и повышением ее уровня, необходимы также функции управления процессом обучения.

Как показывает анализ проблемы повышения эффективности обучения, интеллектуальная компьютерная обучающая система (ИКОС) должна быть основана на следующих эвристических правилах: констатация правильности ответа, подробная диагностика ошибок, обсуждение родственных задач, переход к новой теме. Более общие принципы должны быть выделены на уровне метаправил, определяющих возможность и порядок применения эвристических правил обучения. Блок обучения должен быть построен по принципу блока решения задач, причем база знаний его содержит правила, действующие на двух из этих уровней, а также включает в качестве аргументов правил данные, представленные в модели пользователя.

Введем вначале некоторые понятия. Психическая модель, отображающая сущность действительности, называется понятием, а отражение на сфере сущностей – понятийным отражением. Способность человека к понятийному отражению называется мышлением, а процесс понятийного отражения – интеллектуальной деятельностью [28].

Наиболее творческие интеллектуальные операции – переход от осознания некоторой цели и предварительной формулировки задачи к формальной записи уточненного условия [28]. Важен и сложен этап постановки задачи. Действительно, планирование решения можно представить как «преобразование» знаний  $A$  в систему действий  $D$  и, следовательно, удачно сконструированные знания предполагают окончательный успех.

Задачу можно представить как пару  $\langle\langle T, Ц \rangle, A \rangle$  где  $\langle T, Ц \rangle$  – подзадача, включающая несовпадающие понятийные модели те-

кущей ситуации (Т) и цели (Ц); А – «активные» знания, которые могут быть использованы студентом, встретившимся с данной прозадачей.

Планирование решения – нахождение действий, переводящих Т в Ц. Заданием является пара вида  $\langle\langle\langle T, C \rangle, A \rangle D \rangle$ , предписывающая применять указанные действия (Д) к модели (Т). Решенная задача – тройка  $\langle\langle\langle T, C \rangle, A \rangle D, P \rangle$ , содержащая матричную систему действий (Д) и результат (Р) применения Д к Т [28].

Процесс понимания может быть прерывистым: выдвижение подцелей, возврат на предыдущие этапы и коррекция. Кроме того, он может сопровождаться адаптацией как к языку в целом, так и к особенностям индивидуальной языковой модели собеседника [28].

Создание систем искусственного интеллекта (ИИ) в максималистском варианте (полный аналог человека) приводит к проблемам определения природы, уровня, мощи и прочих качеств интеллекта естественного. Человек как индивидуум определяется теми задачами, с которыми он сталкивается. Поскольку сфера действия интеллекта человека определяется его человеческой природой, за исключением небольшой группы формальных задач, то любой иной интеллект, сколь бы велик он ни был, неизбежно окажется чужд этой среде [27].

Важным достижением кибернетики является то, что она выдвинула в качестве важнейшей задачи изыскание все новых и новых средств формализации умственной деятельности человека, подчеркнув необходимость изучения процессов мышления и изучения их с помощью машин.

В гносеологическом плане ограничения определяются невозможностью доступа только лишь с помощью математической логики моделирования и искусственного интеллекта к присущим человеку феноменам понимания, сознания и самосознания – феноменам, органически присущим и неотделимым от социальной природы человека [27].

На основе этого главной задачей синтеза интеллектуальной компьютерной системы обучения является не создание системы, заменяющей труд человека в системе образования, а, как и везде в области широкого применения компьютерной техники, создание средств усиления некоторых возможностей человека, создание совершенного средства индивидуального обучения, которое облегчит работу преподавателя и поможет обучаемому полнее и быстрее раскрыть свои внутренние возможности, развить способности,

побороть психологический барьер, образуемый в ряде случаев между учителем и учеником. Полностью доверять обучению машине нельзя, ибо в ней не находят отражения социальные стороны, а человек как социальное существо подвержен обучению, которое также является социальным процессом. Поэтому нельзя сбрасывать со счета такие эмоциональные аспекты обучения с учителем, как стыд за неправильный ответ, мобилизация интеллектуальных возможностей под воздействием правильно подобранных моральных факторов, общение с сформировавшимся интеллектом учителя и др. Человеческое общение в процессе обучения приносит свои положительные плоды, подталкивает к победе над своими сомнениями, побуждает интерес к знаниям. Однако многие аспекты технической стороны обучения уже сейчас возможно возложить на машину, причем с появлением интеллектуальных компьютерных обучающих систем и с их совершенствованием доля машинных задач будет все более возрастать.

Для более полного приближения к человеку при создании автоматизированных обучающих систем требуется выявление средств и конструкций, вызывающих совершенствование человеческих знаний и умений, исследование операционного характера человеческих высказываний, механизмов понимания, формирования понятий, запоминания, механизма мышления и др. [25].

Помня о том, что, по мнению Винера, любая область деятельности людей, описанная на языке с четкой семантикой, может быть, в принципе, передана машине, поставим цель увеличить область семантического описания действий, порождаемых процессом обучения. Для этого необходимо оценить психофизиологические особенности человеческого восприятия знаний.

В процессе кибернетического моделирования познавательных процессов и создания систем ИИ мы должны использовать практику как основу формирования самого человека, так и как главный импульс познавательного процесса, а так же как критерий истинности результатов отображения действительности в психике, сознании человека [27].

Роль нейронов в механизмах памяти и обучении остается одним из серьезных нерешенных вопросов. Основная идея состоит в том, что, хотя новые связи устанавливаются редко, изменение весов связей происходит достаточно часто. Существует гипотеза, что большинство связей являются лишь потенциальными, а обучение усиливает или закрепляет необходимые связи.

В коре головного мозга 10 млрд нейронов. Мы не знаем, как представляются в мозге сложные идеи, как мозг подыскивает соответствия между запасенными в нем моделями объектов и информацией, поступающей извне, как воспринимает язык или интерпретирует зрительные образы, поэтому нет и соответствующих структур данных и процедур. К примеру, для имитации 10 мс работы одной нервной клетки сетчатки нужно стократное решение системы примерно из 500 нелинейных дифференциальных уравнений, а это несколько минут работы самого мощного суперкомпьютера.

Для правильного использования моделирования надо понять принципы, которые использует мозг при своей работе.

Человек в отличие от ЭВМ управляется от «данных», т.е. он прерывается, занимается этим прерыванием и может забыть предыдущие вычисления, если очередной запрос не вернет его к этому. Это особенно эффективно, если приходится сталкиваться с большим числом ситуаций, особенно в условиях неопределенности [20].

Образование иерархий, например, разнесение данных на два различных уровня абстракции (привязанный к пространству и не зависящий от него), широко используется живыми существами (и является фундаментальным принципом организации мозга). Существование такой иерархии обнаруживается в опытах, когда по движению глаз изучаются предпочтения при распределении внимания [3]. В живых существах решена, по-видимому, проблема реализации параллельных вычислений, хотя нам кажется, слово «вычисления» не подходит к описанию психофизиологических процессов деятельности естественного интеллекта.

Работа за дисплеем характеризуется большим нервным и зрительным напряжением. Плотность работы за дисплеем высокая, причем она связана как с положительными, так и отрицательными эмоциями. Начиная с 20 мин работы за дисплеем ухудшаются функциональное состояние высшей нервной деятельности (снижение внимания, восприятия и переработки информации), нарушается взаимодействие между зрительными и слуховыми анализаторами (более 30 мин работы – и эти нарушения уже явно выражены).

Эти данные говорят о том, что широкое использование несовершенных компьютеров может привести к нежелательным психологическим последствиям. Необходимы более совершенные средства обучения, а для их создания необходим анализ психофизиологических особенностей человека.

Основной психологический принцип, которым надо пользоваться при выборе степени автоматизации функции обучаемого, – принцип целостности структуры учебной деятельности оператора. Должны быть учтены положения о трансформации структуры деятельности оператора в ходе обучения.

Надо научить оператора самостоятельно приходить к правильным внешним реакциям. Для этого нужно сформировать у него те психологические процессы, которые лежат за этими реакциями, их обуславливают и ими управляют. В связи с этим можно сформулировать следующие принципы обучения:

- обучение должно идти впереди развития;
- обучаясь с помощью наставника, обучаемый начинает решать те задачи, которые до этого он не мог выполнить самостоятельно, следовательно, для операторов можно рассматривать аналог «зоны ближайшего развития», и мера помощи педагога может выступать как показатель способностей оператора к профессиональному обучению;
- опорные знания на пути к концептуальной модели выступают в роли «зоны активного развития».

Человек в системе автоматизированного управления с радостью разделяет ответственность за порученное дело с компьютером, «помощь» ЭВМ снимает часть психологического груза с оператора. При этом, как показал психологический анализ, ситуация отказа автоматики в сложном объекте может явиться критической для оператора [7].

Создателю ЭВМ нового поколения необходимо решить проблему совместимости человека с компьютером, снизить психологический барьер между человеком и ЭВМ. В настоящее время этот барьер представляется как результат несовершенства техники, работать с которой непрофессионалу очень сложно. Появляется ложное чувство превосходства ЭВМ над человеком. Комплекс неполноценности, так успешно развивающийся у наших детей под влиянием всякого рода запретов, страхов, наказаний и т.п., здесь проявляет себя в полной мере (это в той же мере относится и ко взрослому человеку: никто не хочет быть дураком даже в глазах машины).

Существует два пути обучения мышлению:

- *эмпирический*, понимаемый как формирование самим обучаемым операционных и познавательных структур мышления на

собственном опыте через собственную деятельность. Интуитивный характер этого пути реализуется главным образом через решение задач и интуитивное обобщение получаемых при этом познавательных структур и опыта мыслительной деятельности.

По мере развития ИКОС пользователю приходится выполнять все более сложные мыслительные операции (от постановки задач до проверки гипотез и доказательства теорем);

– *теоретический*.

В работе [12] оспаривается тезис о том, что способность к научению есть показатель умственных способностей. Самонаблюдение, этот часто вводящий нас в заблуждение авторитет, убеждает нас в том, что научение в отличие от инстинкта, как правило, включает в себя сознательное принятие решения о том, когда и чему учиться.

Невозможно провести столь резкую грань между инстинктом и научением, равно как между ведущими механизмами, лежащими в основе поведения человека и животных. Процесс научения у высших животных так же, как и у насекомых, находится под контролем врожденных механизмов, т.е. под контролем информации, наследуемой генетическим аппаратом животного. Другими словами, процесс научения часто находится под контролем инстинкта.

Создается впечатление, что многие, если не все, животные «запрограммированы» к научению определенным вещам определенным образом.

Даже допуская спорность такого определения, видимо, не следует упускать возможность выявить те наиболее благоприятные способы научения, которые, если и не присущи человеку как виду, то, по крайней мере, наиболее легко им усваиваются и приносят ощутимый успех.

С точки зрения этологии (науки об инстинкте) поведение животных в большинстве случаев управляется четырьмя основными факторами: знаковые стимулы; комплекс двигательных реакций побуждения, или драп (контролирующие мотивационные импульсы), и запечатление, или импринтинг (узко ограниченная и внешне аберрантная форма научения).

Бихевиористы полагают, что почти все поведенческие реакции высших животных можно разделить на две формы научения – выработку классического условного рефлекса и выработку инструментального (оперантного) условного рефлекса.

Идея о том, что животные врожденно запрограммированы к восприятию специфических сигналов в специфических условиях и к определенным способам поиска решения в других условиях, предполагает наличие взаимовыгодных отношений между обучением и инстинктом.

Пчелы, научившись однажды отличать какой-нибудь цветок, используют в дальнейшем это умение «на практике» исключительно инстинктивно.

Врожденная способность идентифицировать согласные звуки позволяет ребенку не обращать внимание на мир, полный ненужных ему слуховых раздражителей, чтобы сосредоточиться на звуках речи; она ставит ребенка на правильный путь постижения того, как декодировать многослойный смысл, вложенный в невероятно сложные и изменяющиеся звуки речи, наконец, она обеспечивает ребенка неким внутренним стандартом, который он использует при усвоении и восприятии речевых сигналов.

Подобный тезис еще более спорен, если не неверен. Следуя положениям [12], невозможно объяснить появление «Маугли» – человеческих детенышей, лишенных возможности научиться человеческой речи, ведь если врожденно, то должно проявиться. Думается, что процесс постижения человеческой речи лежит во внутриутробном развитии. Человеческий зародыш «слышит» все, что происходит вокруг его матери, согласные звуки становятся для него знакомыми задолго до рождения. Этому свидетельствует тот факт, что в семьях музыкантов гораздо больше рождается детей, склонных к музыке, чем это можно допустить по теории вероятности. Приведен факт, когда человек во чреве матери слышал часто исполняемую любимую мелодию (музыкальное произведение) матери. Со дня появления на свет этот человек больше не сталкивался с данным музыкальным произведением, дожив до солидного возраста. Когда же он столкнулся с этой музыкой, он понял, что знает продолжение этого музыкального произведения, хотя, повторим, не слышал его раньше.

Представленное заключение, хотя и ставит под сомнение гипотезу [12], но ни в малой степени не отменяет те положения данной работы, которые говорят о том, что следует использовать эти врожденные (или благоприобретенные) навыки на пользу быстрейшему обучению. Тезис о том, что ритмы, с помощью которых слова и предложения вкладываются в речь, и набор правил, именуемых грамматикой, также являются врожденными на каком-то

глубоком уровне, никем не отвергнут. Это помогает объяснить, почему овладение речью протекает намного легче, по сравнению с теми существенно более простыми задачами, как сложение и вычитание [12].

При этом человек любой национальности легко научается языку страны своего рождения (несмотря на то, что языки разных национальностей разительно отличаются по ритмам, правилам грамматики и т.п.), ведь предполагать заложенными в нас на генетическом уровне склонности ко всему многообразию языковых ритмов было бы абсурдно. Но в то же время ребенок с легкостью, недоступной взрослому, научается языку той страны, где проживают его родители, если он «слышал» речь во внутриутробном развитии.

Представление о некоем решении проблемы до ее физического исследования как тип поведения находится за пределами двух традиционных форм научения, изначально исследовавшихся биохевиористами. Этот способ познавательного научения, называемого мысленными пробами и ошибками, подходит значительно ближе, чем программное обучение, к интуитивному разуму, т.е. тому, что мы называем умом. Для такого научения необходимо обладать способностью помнить и комбинировать отдельные биты информации и на основе этой мысленной рекомбинации формулировать поведенческие решения.

Дети автоматически формируют концептуальные категории для новых выученных ими слов. Стулья, столы и шкафы организуются в категорию «мебель», а категория «стулья» делится на подчиненные категории (кресла, просто стулья и т.п.). Это очень существенно для быстрого усвоения слов, словарное хранилище в мозге, возможно, организовано по типу категоризованной карточной системы. Последствия слабых инсультов, которые могут убить небольшие области мозга, отражают, по-видимому, наличие такой системы: их жертвы иногда теряют узкую категорию слов, например названия цветов.

Склонность к категоризации является врожденной. С этим тезисом трудно спорить, так как неизвестно, обладают или нет такой способностью животные: у них нет языка, и понять их очень трудно. Возможно, именно эта склонность и лежит в основе способности животных к мысленным пробам и ошибкам – к оценке альтернативных вариантов в выработке простых решений.

Животные «разумны» там, где этому благоприятствует естественный отбор, и «глупы» там, где их образ жизни не создает ну-



жды в приобретении новых навыков. Человек умен там, где это имеет адаптивное значение, и странным образом глуп в других ситуациях.

Важным выводом из вышеизложенного может быть утверждение в правомочности введения иерархического деления всего процесса обучения человека на два уровня: обучение как высший этап, основанный на воспитании способности абстрактного мышления, и второй, более низкий, связанный с привитием автоматизма при выполнении некоторых функций, напрямую не связанных с видовым развитием человека, например управление атомными электростанциями. Этот нижний уровень процесса обучения будем в дальнейшем называть научением. Итак, обучение – наверху, научение – внизу, ближе к тренажерному «натаскиванию». Обе задачи являются важнейшими составными частями единого процесса обучения, но обладают рядом отличительных черт, основанных на различии психологических моделей поведения человека, положенных в их основу.

В настоящее время отсутствует полностью удовлетворительная модель познавательной деятельности, адекватно вписывающая механизмы и формы получения, организации и использования знания, которые можно было бы воплотить в реальной программе для ЭВМ [11]. Процесс построения объяснений и накопления знаний только начал изучаться.

Все увиденное люди кодируют в уже известных понятиях. Они опираются на свои знания и пакеты ожиданий. Способность понять и оценить ситуацию вытекает из способности сравнить ее с соответствующими прежними ситуациями.

Мощный механизм исследования структуры памяти – ассоциативное мышление. Мозг активизирует память, которая помогает понять сказанное. То, что одна жизненная ситуация напоминает другую, указывает на то, что для запоминания и понимания мы используем одни и те же структуры. Изучая ассоциативную память, мы получаем возможность исследовать структуру памяти.

Следует разобраться, как велико значение памяти в процессе познания.

Умение учиться на собственном опыте и правильно применять свои знания в соответствующих ситуациях – важная составляющая настоящего интеллекта.

Ожидания играют основополагающую роль в понимании текста при чтении. Когда у детей развивается способность строить

ожидания относительно известных ему слов и текстов, они начинают лучше читать. Владение языком тесно связано со знанием существа вопроса, поэтому по содержанию детские книги должны быть близки тому, что дети знают. Используя пакеты ожиданий, касающиеся того, что дети знают, можно было бы создавать более совершенные хрестоматии и писать такие книги, которые развивали бы у детей способность заполнять тексты деталями, «читаемыми между строк», и таким образом учили бы логическому мышлению.

Необходимо разобраться, как лучше объяснять новое и даже как развивать творческие способности. Можно ставить при создании ИКОС более скромную цель, а именно – не навреди! Во всяком случае первые образцы интеллектуальных компьютерных обучающих систем вряд ли будут претендовать на средство развития творческих способностей, хотя принципы их построения должны быть выбраны так, чтобы дальнейшее их развитие привело к выполнению этой, прямо скажем, нетрадиционной для ЭВМ функции – развития творчества у человека.

Возможности компьютерной техники позволяют, например, при обучении в случае затруднения студента осуществить перевод из рабочего режима в режим планирования, при котором на конкретном примере учитель шаг за шагом прорабатывает требуемый алгоритм решения задачи. Исследования психологии обучения убедительно показывают, что при мгновенной обратной связи (что осуществимо лишь при персональном компьютерном обучении) процесс обучения облегчается. Среди дополнительных косвенных достоинств машинного обучения есть и такой штрих: имеются веские основания полагать, что письменный учебный материал усваивается более эффективно, когда он краток, а кратность – первейшее требование компьютерной техники.

*Замечание.* Перевод учебного материала на машинные представления потребует от учителя по-новому взглянуть на учебный материал, переосмыслить его, изложить более кратко, доходчиво, с применением новых средств компьютерной графики, звуковых и речевых эффектов, так, что одно уже это позволит существенно повысить уровень подготовки кадров, не считая других достоинств, возможностей и преимуществ, коими будет обладать ИКОС.

Важным понятием развивающегося обучения является обучающий эксперимент, называемый «опытом, забегающим вперед»: по сравнению с традиционной программой обучения сначала обу-

чаемому предлагают самостоятельно усвоить новые знания, а на последующих фазах ему в случае необходимости оказывается строго дозированная помощь.

Человеческая память и обучение полезны лишь тогда, когда они дают информацию о связи вещей, которые хотя бы частично можно было предсказывать. Память не может с одинаковой силой запомнить все, в том числе и случайные признаки ситуации. Необходимы способы, чтобы выделять и группировать только самые полезные из представленных предсказуемых сочетаний характеристик.

Само понятие причины включает определенный элемент стилизации, объяснение причины должно быть кратким, ибо некомпактное объяснение не позволяет строить прогноз.

Чтобы оперировать сложными объектами, мозг должен уметь описывать их с помощью подструктур, в пределах которых можно проследить результат некоторых действий.

Механизмы, отражающие причинно-следственные связи, позволяют нам прогнозировать результаты цепочки событий и действий, т.е. заранее планировать свою деятельность.

Есть теория «универсального решателя задач», где развит метод постепенного движения к целям путем нахождения действий, которые каждую высокотрудную задачу заменяют совокупностью более простых.

В работе [13] предложено рассматривать процесс переработки зрительной информации на двух уровнях. Частично переработка осуществляется как бы спонтанно (одновременно для всего поля зрения) и автоматически (без концентрации внимания на какой-либо части зрительного поля), а частично, похоже, зависит от концентрации внимания: информация обрабатывается постепенно, поэтапно, как если бы пятно света передвигалось из одного места в другое.

Другой вариант объяснения: на первой стадии падающий на рецепторы сетчатки поток света преобразуется в кодированное описание линий, пятен или контуров и их размещения, ориентации. Репрезентация поверхностей и объемов и, наконец, идентификация объема происходят уже после такого первичного кодирования.

Модели восприятия зрительной информации с двумя и более степенями все более популярны. Первая степень – извлечение признаков из пучка света, далее – идентификация объекта и его окружения.

Зрение использует разложение стимулов на части. В одной зоне головы перерабатывается информация о линиях и контурах, в другой – о цвете, в третьей – о направлениях движения. Далее информация попадает в зону, где происходит различение сложных реальных объектов.

Первоначальный «разбор» опирается на отдельные качества, а не на комбинации качеств, т.е. анализ качеств и частей предшествует их синтезу. Практическим подтверждением тому является тот факт, что на ОТК больше времени тратят на обнаружение брака, если он представляет комбинацию признаков, чем когда он выражается изменением одного качества.

На ранней стадии нейронный сигнал несет информацию именно о наличии признака, а не об отсутствии. На начальной стадии происходит кодирование наклона и кривизны, а кодирование вертикальности и «прямыны» не происходит (видимо, человек жил среди вертикальных деревьев, которые являлись фоном, а выделять надо было именно отличия от вертикали), т.е. наклон и кривизна определяются как отклонения от некоторого стандарта или нормы (норма – вертикаль, которая не вызывает нервного импульса).

На данной стадии извлекается только лишь небольшое число признаков, из которых замкнутость – самое сложное свойство, но и оно обнаруживается на ранней стадии.

Формирование структурированного образа – репрезентация объектов и их отношений.

Знания о мире ускоряют восприятие, делают его более точным. Предварительное знание позволяет эффективно использовать внимание для соединения признаков, однако это не способствует иллюзорной перестановке признаков, хотя она и была бы нужна для приведения объекта к «нормальному» виду. Следовательно, иллюзорные соединения признаков, вероятно, происходят на уровне предвнимания «снизу вверх», без влияния ограничений «сверху».

На более поздних стадиях зрительного восприятия информация предыдущих стадий, имеющих дело с признаками, объединяется во временные конкретно-предметные репрезентации.

Неясно, какую роль играют в процессе зрения знания высокого уровня и процедуры логического вывода. Видимо, следует утверждать, что информация в зрительной системе не идет просто «снизу вверх» (т.е. последовательно от нижних уровней абстракт-

ции к верхним). Но вместе с тем зрение не является «управляемой иллюзией», когда абстрактные представления навязывают нам наши восприятия, на которые поступающие данные оказывают слабое корректирующее влияние.

Если бы число взаимосвязанных характеристик, по которым люди различают объекты, не было ограниченным, мы просто не могли бы узнавать уже известные, а значит, не могли бы учиться на собственном опыте, не могли бы хранить и накапливать знания.

Знания нельзя было бы использовать, если бы они не были выражены в виде связей между прогнозируемыми характеристиками и теми действиями, которые мы могли предпринять для установления этих связей. Только при наличии таких связей можно предвидеть, какие действия помогут избавиться от нежелательных свойств.

Проблемы моделирования человеческого восприятия упираются в недостаточность сведений о природе процессов человеческого зрения, например, нейроны работают в шесть раз медленнее, чем кремниевые микросхемы, но зрение человека нельзя сравнить с машинным; выигрыш в обработке информации состоит в том, что человек ожидает увидеть то, что ищет, а любая поисковая процедура гораздо более эффективна, чем полный перебор вариантов, хотя при этом человек может пропустить важные детали, например, спрятаться человеку помогает широкая одежда, изменяющая характерный для него облик. Человек даже в не очень темной комнате наверняка бы увидел ожидаемый контур врага, но видоизмененный контур не воспринимает.

По-видимому, некоторые простейшие признаки мозг обрабатывает параллельным путем, однако конъюнкции этих признаков обрабатываются в последовательном режиме.

При создании компьютерной обучающей системы следует учесть психофизиологические особенности человека. Причем не в последнюю очередь следует предусмотреть возможности и средства снятия психической нагрузки с нервной системы. Для этого следует информацию от ЭВМ выдавать как минимум в зрительной и звуковой формах, включить в программное обеспечение системы музыкальные произведения.

Предлагается перед началом работы провести цветовой психологический тест – позволить обучаемому самому выбрать те цвета, которые на данный момент наиболее благоприятствуют его восприятию. Если идти дальше и считать данные этого теста дос-

таточно научными, то следует и программу работ с обучаемым строить по данным этого цветового теста: при благоприятном настроении дать повышенную нагрузку, а при состоянии, близком к самоубийству, следует, видимо, больше внимания уделить отвлекающим элементам.

## 1.2. Методы адаптации в ИКОС

Интеллектуальные обучающие системы интегрируют знания трех типов [21]:

- знания о педагогической технологии, которые включаются в систему на этапе ее проектирования;
- знания об изучаемой предметной области, которые включаются в уже готовую программную оболочку;
- знания о психологических особенностях обучаемого и его учебных достижениях, которые приобретаются системой в процессе работы с конкретным пользователем.

Остановимся более подробно на последнем знании, возможно, самом сложном не только для интеллектуальных обучающих систем, но и для преподавателя.

На сегодняшний день определены два способа подбора моделей обучаемых: адаптивная поддержка сотрудничества и интеллектуальное наблюдение за классом [22].

Адаптивная поддержка сотрудничества – это новая технология, которая развивалась последние годы вместе с развитием сетевых образовательных систем. Целью адаптивной поддержки сотрудничества является использование знаний системы о разных обучающихся для подбора групп сотрудничества.

Интеллектуальное наблюдение за классом также основано на возможности сравнивать записи о разных обучающихся. Однако вместо поиска совпадений оно ищет различия. Цель – выделение тех обучаемых, которые по своим индивидуальным особенностям существенно отличаются от сокурсников: усваивают учебную программу слишком быстро (или медленно), имеют доступ к гораздо меньшему объему материала, чем остальные. В любом случае эти обучаемые нуждаются во внимании преподавателя больше, чем остальные. В обычной аудитории преподаватель может следить за посещаемостью и вниманием обучающихся, выделять тех, кто нуждается в особом внимании. В сетевой аудитории преподаватель в

лучшем случае имеет только данные из журнала. В то же время необходимость распознавания небольшого подмножества обучающихся, нуждающихся в помощи больше, чем остальные, является более важной.

Интеллектуальные КОС, как правило, в той или иной степени учитывают индивидуальные особенности учащихся, предоставляя каждому возможность наиболее быстро и качественно получить новые знания. Таким образом, существующие КОС в различной мере обеспечивают адаптацию, а часть из них обладает также некоторыми свойствами адаптируемых систем.

К сожалению, существующие интеллектуальные и неинтеллектуальные системы не могут поддерживать требуемую степень интеграции. Обычно каждая система разрабатывается как единое целое и не допускает гибкого использования. Нельзя просто интегрировать внешний компонент (например, коммерческую среду программирования или локально созданного интеллектуального отладчика) в другую систему. Исследователь не может быстро удалить или заменить компонент, который не соответствует определенному методу обучения.

При компьютерном обучении выделяют три иерархических уровня адаптации к учащимся [23]:

- адаптация к студентам как категории пользователей;
- адаптация к группе студентов;
- адаптация к отдельному студенту.

Первый уровень адаптации предусматривает адаптацию к каждой категории пользователей компьютерной системы обучения в зависимости от их потребностей и обычно реализуется созданием специального интерфейса для каждого класса пользователей. Такой подход характерен для любых компьютерных систем. В интеллектуальных обучающих системах учащемуся предоставляются следующие возможности: обучение, проверка знаний, упражнения, помощь и справочная информация, видеолекции и их презентации, вопросы преподавателю, конференции, студенческие форумы, электронные методические пособия, ввод комментариев по ходу занятия и др.

Адаптация к группе студентов обеспечивает адаптацию в зависимости от выбранной специальности, образовательной программы, возраста и психологической направленности личности. Этот уровень адаптации базируется в первую очередь на решении

двух основных вопросов дидактики: чему учить и как учить? Ответ на первый вопрос определяет цели обучения, т.е. объем необходимых знаний, умений и навыков и степень их освоения. Решение второго вопроса дидактики (как учить?) обуславливает выбор методов обучения, наиболее подходящих для группы учащихся, а также способов представления информации [24].

На третьем уровне достигается максимальная степень адаптации к учащемуся, так как он основан на учете личностных характеристик студента, его предшествующих и текущих знаний, умений и навыков, опыта, способностей и т.п.

Для организации адаптации к учащемуся используют различные методы [25]:

- построение последовательности обучения (Curriculum sequencing);

- адаптивное представление информации (Adaptive presentation);

- интеллектуальный анализ решений (Intelligent analysis of student solutions);

- диалоговая поддержка решения задач (Interactive problem solving support);

- адаптивная поддержка в навигации (Adaptive navigation support);

- решение задач на примерах (Example-based problem solving);

- адаптивная поддержка сотрудничества (Interactive collaboration support).

Далее подробно рассматриваются некоторые методы адаптации и связанные с ними вопросы.

Цель построения адаптивной последовательности обучения как метода адаптации заключается в обеспечении студентам наиболее подходящей индивидуально планируемой последовательности для изучения единиц знаний и выполняемых задач. Для реализации метода ставится задача построения оптимальной последовательности изучения учебного материала (УМ). В компьютерных системах обучения УМ или объект изучения представляется в виде трех- или четырехуровневой иерархии (рис. 1): курс (учебный предмет), тема, раздел темы, квант учебной информации (УИ), причем уровень разделов для небольших и несложных тем может быть опущен. Квант УИ – это элементарная порция информации:



текст для изучения некоторого понятия темы (квант-понятие), вопрос, задача, комментарий на ответ, разъяснительный текст и т.п.

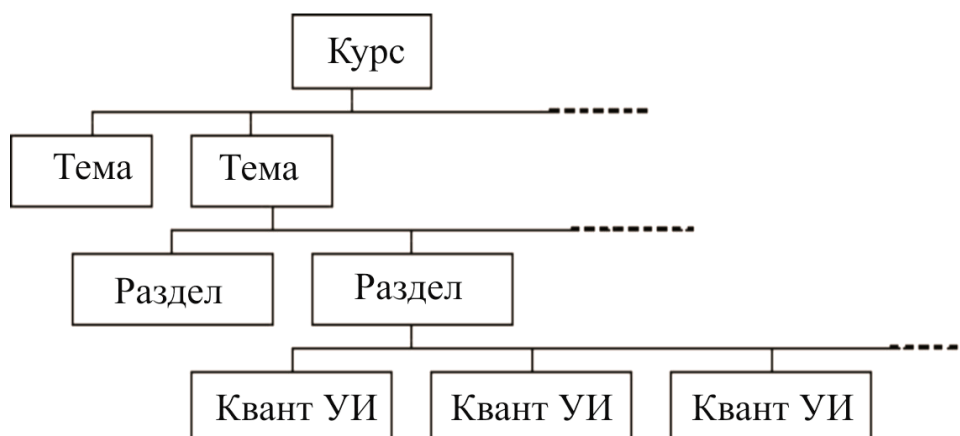


Рис. 1. Иерархическая структура учебного курса

В настоящее время при объектно ориентированном подходе к разработке компьютерных систем обучения широко используется термин «объект изучения» (learning object), но однозначного определения этого термина пока не существует [26]. Некоторые авторы под объектом изучения (ОИ) понимают кванты УМ, другие рассматривают ОИ на двух уровнях: макроуровне (уровень тем) и микроуровне (уровень квантов УИ) [27], хотя учебный курс также можно считать объектом изучения.

Построение оптимальной последовательности объектов изучения осуществляется на основе модели учебного материала, в качестве которой используется ориентированный граф с нагруженными ребрами  $G(V, S)$  (рис. 2). Множество  $V$  вершин графа соответствует объектам изучения (курсам, темам, разделам тем или квантам УМ), а множество  $S$  ребер – связям между ними. При этом возможны следующие степени связи:

$S_1$  – для изучения объекта необходимо иметь общее понятие о другом ОИ;

$S_2$  – при изучении объекта используются частые ссылки на другой ОИ;

$S_3$  – для изучения наиболее сложных (или редко используемых) понятий объекта необходимы знания из другого ОИ;

$S_4$  – для изучения объекта и практического применения знаний необходимо четкое знание другого ОИ.

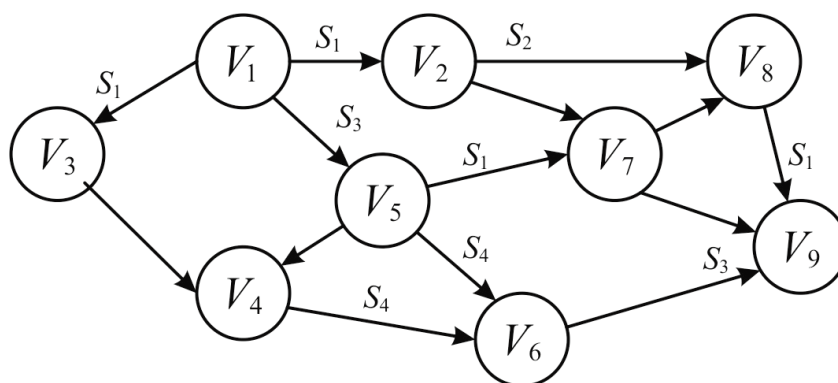


Рис. 2. Семантическая модель учебного материала

Каждой вершине  $i$  графа ставится в соответствие вектор  $V_i = \{R_{i1}, R_{i2}, \dots, R_{im}\}$ , каждый элемент которого включает четыре параметра, т.е.

$$R_{ij} = (p_{ij}, t_{ij}, z_{ij}, u_{ij}, q_{ij}), \quad (1.1)$$

где  $i$  – номер ОИ;  $j$  – номер программы (специальности) студента;  $p_{ij}$  – программа (специальность) студента;  $t_{ij}$  – время изучения ОИ;  $z_{ij}$  – уровень знаний, который должен быть достигнут при изучении ОИ;  $u_{ij}$  – уровень умений;  $q_{ij}$  – уровень навыков, которые должны быть сформированы в результате изучения ОИ.

Последние три параметра отражают цель обучения. Тогда подграф  $G_k$  графа  $G$ , включающий вершины с одинаковыми значениями  $p_{ij}$ , является моделью УМ для группы студентов, обучающихся по специальности  $p_k$ . На рис. 3 показан подграф с вершинами  $V_1, V_2, V_4, V_5, V_6, V_7$ . Такой подход позволяет осуществить адаптацию к разным группам студентов в зависимости от их специальности и (или) программы обучения.

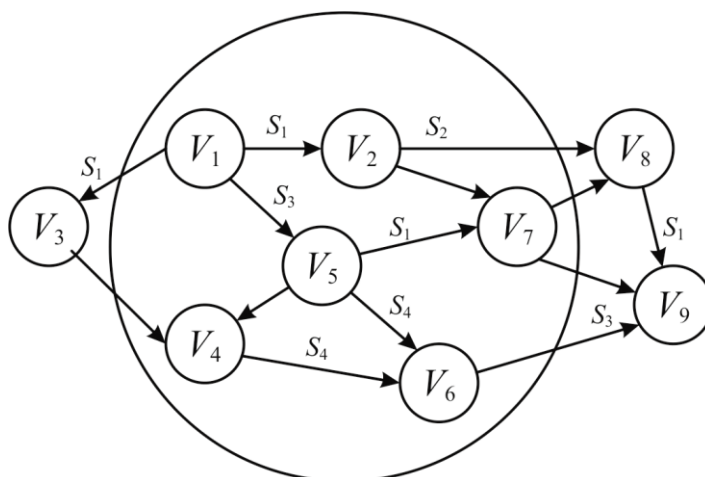


Рис. 3. Подграф  $G_k$  графа  $G$  как модель УМ для группы студентов, обучающихся по специальности  $p_k$

После построения моделей УМ необходимо определить оптимальную последовательность изучения объектов, используя, например, математический метод А. В. Нетушила и А. В. Никитина [28], основанный на минимизации линейной функции забываемости. В результате получим сценарии обучения (последовательность ОИ) для всех групп студентов. При этом также определяются ОИ, которые могут быть изучены в произвольной последовательности, обеспечивая тем самым некоторую адаптируемость ИКОС, так как в процессе обучения студенту предоставляется возможность выбора ОИ для обучения из предлагаемого списка.

Аналогичным образом определяется последовательность контрольных вопросов и задач, которые должны быть выполнены для достижения требуемых знаний и умений.

Описанную модель будем использовать на всех уровнях УМ, так как она позволяет определить сценарии и управлять последовательностью изучения курсов, тем, разделов и квантов-понятий УИ. Но при неизменной модели УМ, что в целом характерно для учебных дисциплин, полученные на ее основе сценарии являются постоянными. Поэтому их можно поместить в базу знаний компьютерной системы обучения и использовать лишь для управления последовательностью изучения курсов, тем, разделов и квантов-понятий. В случае включения нового курса, темы, раздела видоизменяется модель УМ и определяется последовательность обучения, т.е. создается новый сценарий.

На низшем уровне иерархии УМ при проработке отдельных квантов сценарий обучения должен строиться динамически в ходе диалога на базе модели квантов-понятий УМ и модели студента. Модель квантов-понятий УМ используется для определения оптимальной последовательности их изучения и служит основой при формировании сценария обучения, т.е. в зависимости от деятельности студента и его модели предварительный сценарий (последовательность квантов-понятий) дополняется другими квантами УМ (вопросы, задачи, разъяснения, комментарии). Решение о включении новых квантов УМ принимается на основе модели студента, которая в общем случае, хотя и необязательно, является вектором [29]:

$$M = \{M_1, M_2, M_3, \dots, M_n\} \quad (1.2)$$

и может включать следующие компоненты, как правило, векторы:  $M_1$  – предыстория обучения;  $M_2$  – результаты текущей работы с курсом (тип выполненных заданий, время выполнения заданий, число обращений за помощью и т.д.);  $M_3$  – личностные психологи-

ческие характеристики (тип и направленность личности, репрезентативная система, способность к обучению, уровень беспокойства тревоги, особенности памяти и др.);  $M_4$  – опыт работы с компьютерной системой;  $M_5$  – общий уровень подготовленности;  $M_6$  – стратегия обучения и др.

Стратегия обучения отражает наиболее подходящие для студента методы обучения, которые выбираются на основе его общего уровня подготовленности и направленности личности. Так, для наименее подготовленных будем рекомендовать перцептивные и логические методы обучения, для более подготовленных – гностические проблемные и поисковые [30]. Последние также будем считать предпочтительными для студентов, направленность личности которых – ориентация на задачу.

Метод адаптивного представления информации предусматривает генерацию наиболее подходящих для студента квантов УМ и связан с видом и детальностью представления информации. Выбор как вида представления информации, так и ее детальности осуществляется на основе модели студента ( $M_2$ ,  $M_3$ ,  $M_5$ ).

Современные компьютерные технологии позволяют представить информацию по-разному: в виде текста, графики, анимации, звука и т.д. Известно, что по предпочитаемой форме восприятия информации различают людей с тремя репрезентативными системами ( $M_3$ ): аудиалы, визуалы и кинестики. Для аудиалов, которые воспринимают информацию на слух, необходима звуковая интерпретация УМ. Кинестики, или кинестетики (люди с предрасположенностью к телесным ощущениям, получению информации через осязание), должны получать больше информации через практические действия. Визуалам предпочтительна информация в виде изображений, а текст должен быть визуально структурированным. Таким образом, осуществляется адаптация в зависимости от вида представления информации. Однако полезно предусмотреть в ИКОС такое свойство адаптируемости, как обеспечение выбора вида выводимой информации, т.е. ИКОС предоставляет студенту возможность включать и отключать звук, анимацию и презентацию.

Детальность выдаваемой информации зависит от текущего выполнения заданий ( $M_2$ ) и общего уровня подготовленности ( $M_5$ ) студента. Так, для более подготовленных учащихся достаточно лаконичного изложения УМ, для остальных нужна разъяснительная информация различной степени детальности. Выбор степени детальности выдаваемой информации также можно предоставлять студенту.

Выдача комментариев – очень важный аспект компьютерного обучения, который является составной частью нескольких методов адаптации (интеллектуальный анализ решений, диалоговая поддержка решения задач, решение задач на примерах, адаптивная поддержка сотрудничества). Комментарии выводятся в зависимости от контекста, учитывая психолого-личностные характеристики студента, хранящиеся в модели студента  $M$ .

Адаптивные комментарии бывают следующих видов: реплика, помощь, разъяснение, примеры. Комментарий-реплика – это слово или короткая фраза типа «Правильно», «Молодец!», «Неверно», «Вы ошиблись» и т.п. В ИКОС целесообразно создать банк реплик и использовать его для выбора подходящей реплики случайным образом, что позволит оживить ход диалога. Комментарии-помощь предназначены для поддержки студентов при работе с ИКОС, помогая им выполнить те или иные действия, решить предлагаемую задачу. В состав комментария-помощи может входить и подсказка, например: «Для изучения новой темы выберите режим "обучение", для проверки своих знаний – режим "контроль"». Комментарии-разъяснения объясняют ошибочные действия студента. Они обычно представляются в виде текста разной степени детальности, но могут также включать другие виды представления информации. Комментарии-примеры используются для демонстрации выполнения требуемых действий и (или) решения задач.

Выдаваемые студенту комментарии включают в себя как один вид комментария, так и целый набор комментариев разного вида, который формируется в процессе диалога. Так, при правильном ответе студента достаточно комментария-реплики. При неверном ответе комментарий формируется в зависимости от уровня подготовленности ( $M_5$ ) студента. Для студентов высокого уровня подготовленности – это реплика и краткий комментарий-разъяснение, для среднего уровня – реплика с подробным разъяснением, для студентов с низким уровнем подготовленности следует выдавать реплику, подробный комментарий-разъяснение и примеры, в отдельных случаях также комментарий-помощь. При этом для аудиалов ( $M_3$ ) рекомендуется и звуковой вывод комментария.

Интеллектуальный анализ решений как еще один метод адаптации предусматривает анализ ответов студента с использованием интеллектуальных анализаторов с целью распознавания не только правильных, но и неточных, неполных и неправильных от-

ветов. Это позволяет определить, что конкретно не знает или не понял студент, и выдавать соответствующие комментарии-разъяснения, а также генерировать дальнейший ход диалога. Таким образом, для реализации метода необходимо, во-первых, тщательно подобрать задания для проверки знаний и умений студента и подготовить комментарии на все возможные варианты ответов и, во-вторых, разработать интеллектуальный анализатор. Теоретической основой является метод ситуационного управления, применение которого в системах компьютерного обучения рассматривается далее.

В первую очередь подготавливаются задания различной степени трудности для проверки каждого определения и основного понятия, по результатам выполнения которых можно однозначно определить наличие у студента требуемых знаний и (или) умений. Такие задания отбираются по результатам контрольных работ и включаются в банк заданий, что позволяет предлагать задания учащемуся в зависимости от его уровня подготовленности ( $M_5$ ). В системе также предусмотрена возможность задавать наводящие вопросы, которые помогут студенту самостоятельно выполнить задания в процессе изучения УМ. Для каждого задания подготавливается набор эталонных ответов: правильных, неточных, неполных, неверных, позволяющих определить отсутствие у студента элементов знаний. Особое внимание уделяется подготовке комментариев, разъясняющих каждое неверное действие студента. Задания и эталонные ответы и комментарии генерируются с помощью программных средств ситуационного управления работой ИКОС, опирающихся на базу знаний системы.

Сценарий диалога разрабатывается на основе последовательности квантов-понятий УМ и отобранных контрольных заданий для однозначной оценки достижения требуемых знаний и (или) умений. Обычно каждый этап диалога начинается с изучения нового понятия, за которым следует ряд вопросов и задач для закрепления полученных знаний и выработки умений. Завершает этап контрольное задание. Предлагаемая студенту последовательность вопросов и задач разной степени трудности зависит от выполнения этих заданий и другой информации, хранящейся в его модели  $M$ . В качестве модели сценария диалога используют граф, вершины которого соответствуют предлагаемым учащемуся заданиям, а ребра отражают связи между ними при правильных (Пр), непра-

вильных (Нп) и неточных (Нт) ответах студента. На рис. 4 показан пример такого графа, включающего шесть заданий:

$B_1$  – очередное задание последовательности средней трудности;

$B_2, B_5$  – задания, аналогичные заданию  $B_1$ ;

$B_3$  – наводящий вопрос;

$B_4$  – задание минимальной трудности;

$B_6$  – задание максимальной трудности.

Задания  $B_i$ , предлагаемые студенту, выбираются из банка заданий. Для освоения каждого понятия, как правило, разрабатывается свой сценарий – граф.

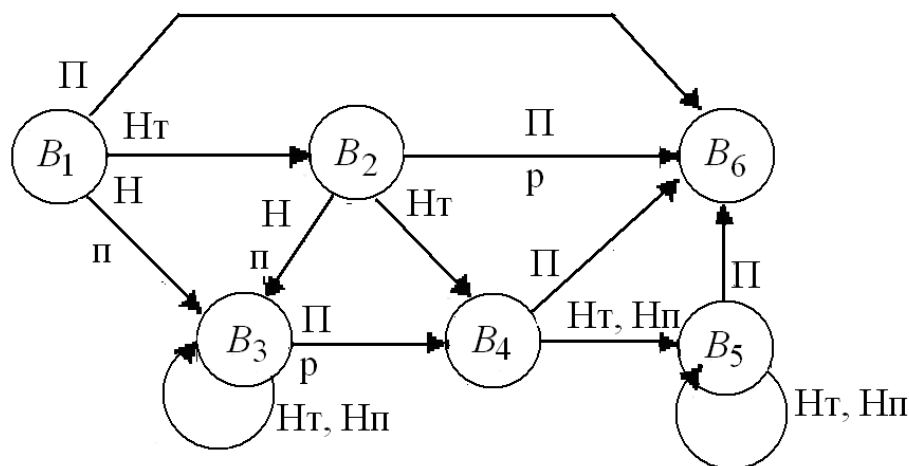


Рис. 4. Пример сценария диалога

Для индивидуализации процесса обучения в ИКОС применяются различные методы адаптации, реализация которых основана на ряде моделей: студента, учебного материала и др. В табл. 2 показана возможность использования методов и моделей на разных уровнях адаптации к учащемуся [31].

Таблица 2

Уровни, методы и модели адаптации

| Уровень адаптации | Методы адаптации | Используемые модели | Параметры | Реализация |
|-------------------|------------------|---------------------|-----------|------------|
|                   |                  |                     |           |            |

|  |   |   |  |  |
|--|---|---|--|--|
| 1. К студенту как категории пользователя | Адаптивная навигация.<br>Адаптивное представление информации.<br>Обучение на примерах | Модель студента как категории пользователей.<br>Модель студента | Требования пользователя.<br>Уровень подготовленности.<br>Опыт работы | Интерфейс пользователя.<br>Комментарии |
|--|---|---|--|--|

*Окончание табл. 2*

| Уровень адаптации        | Методы адаптации  | Используемые модели                                       | Параметры   | Реализация   |
|--------------------------|---|---|---|--|
| 2. К группе студентов    | Построение последовательности.<br>Адаптивное представление информации.<br>Адаптивная навигация  | Модели УМ.<br>Модель группы студентов.<br>Модель студента | Программа (специальность) студента.<br>Репрезентативная система.<br>Уровень подготовленности  | Последовательность ОИ.<br>Вид представления информации.<br>Комментарии   |
| 3. К отдельному студенту | Построение последовательности.<br>Поддержка решения задач.<br>Адаптивное представление информации.<br>Адаптивная навигация.<br>Обучение на примерах | Модель студента   | Преdyстория обучения.<br>Уровень подготовленности.<br>Способность к обучению.<br>Направленность личности.<br>Репрезентативная система | Последовательность ОИ.<br>Тип и сценарий диалога.<br>Комментарии.<br>Трудность заданий.<br>Метод обучений.<br>Вид представления информации |

В ходе анализа открытых источников выявлены факторы, определяющие готовность студентов к обучению с помощью компьютерных технологий. К ним относятся уровень усвоения знаний в предметной области учебной дисциплины, уровень мотивации учения, ведущая репрезентативная система обучаемого, психологический тип личности, а также работоспособность и прилежание. Типы обучающих систем, использование которых целесообразно



для достижения различных уровней усвоения знаний, и уровни мотивации учения студентов, необходимые для их эффективного использования, приведены в табл. 3.

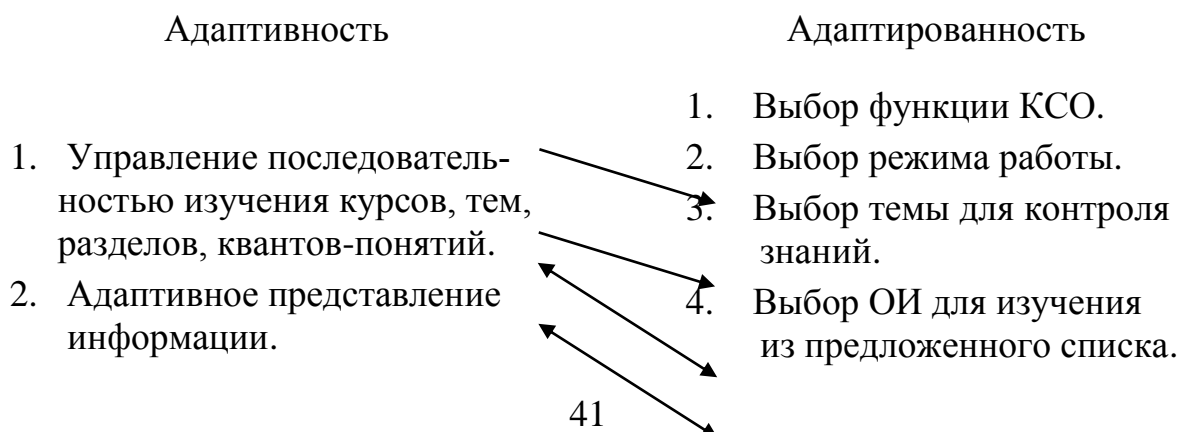
Интеллектуальным КОС присущи как свойства адаптивности, так и свойства адаптируемости (рис. 5), например функциональная адаптируемость. Однако совместное использование некоторых свойств приводит к противоречию.

Таблица 3

**Адаптивные и интеллектуальные технологии в сетевых образовательных системах, комбинирующие адаптивную гипермедиа и методы интеллектуальных обучающих систем**

| Система         | Адаптивная последовательность | Адаптивная поддержка в навигации | Поддержка в решении задач | Интеллектуальный анализ решений | Адаптивное представление |
|-----------------|-------------------------------|----------------------------------|---------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| ELM-ART         | Страницы                      | Помечивание                      | Частичная                 | Сервер                          | Отчасти                  |
| ELM-ART-II      | Курс, проверки                | Помечивание                      | Частичная                 | Сервер                          | Отчасти                  |
| PAT-InterBook   | Страницы, корректировка       | Помечивание                      | Частичная                 | Сервер                          | Отчасти                  |
| VC Prolog Tutor | Задание, корректировка        |                                  |                           | Сервер                          |                          |

На рис. 5 такие свойства соединены двунаправленными линиями. Учитывая особое назначение интеллектуальных КОС – индивидуализацию обучения, целесообразно отдать предпочтение свойствам адаптивности. В отдельных случаях студентам с высоким уровнем подготовленности можно разрешить выбор детальности представления информации и комментариев.



3. Адаптивная выдача комментариев.
5. Включение и отключение звука, анимации и т.п.
6. Выбор детальности представления.

Рис. 5. Свойства адаптивности и адаптируемости ИКОС

Под обучением будет пониматься специально организованный учебный процесс, который реализуется в некотором учебном заведении: школе, техникуме, вузе – или происходит в виде самообучения. Отметим, что современная педагогическая наука трактует обучение как процесс управления усвоением знаний, управления познавательной деятельностью учащихся. Он реализуется в замкнутой системе управления и обладает всеми характерными особенностями системы управления: имеет цель обучения, объект управления (в качестве которого выступают учащиеся), звено управления (или управляющую часть), где вырабатываются управляющие воздействия, поступающие к объекту управления, и канал обратной передачи. В качестве управляющей части может выступать преподаватель (наставник) или компьютер с заложенной в него обучающей программой. Преподаватель в процессе обучения выступает как кибернет, организующий функционирование системы управления, в частности, олицетворяющий ее управляющее звено. Все это можно проиллюстрировать структурной схемой (рис. 6), процессы в которой описываются в терминах, относящихся к действию систем управления [32].

Известный формализм этой структурной схемы вполне приемлем, если пользоваться ею в определенных рамках упрощения и не требовать от схемы трактовки тех особенностей процесса обучения, которые обусловлены свойствами участвующих в нем объектов – живых людей со всеми свойственными людям особенностями поведения и характеров. Понятно, что умственная деятельность человека не поддается описанию никакой четко и определенно измеримой системой параметров. Даже такой важный параметр, как выход (результат обучения), не поддается характеристике однозначно трактуемыми и измеряемыми величинами, не говоря уже об адекватном описании учебного состояния объекта управления и управляющего обучением преподавателя. Полезно заметить, что, несмотря на неоспоримое несовершенство реального учебного процесса, описывающая его система управления явля-

ется адаптивной, и в рационально организованном учебном процессе всегда в той или иной степени выражена адаптация. Канал адаптации обозначен как некоторый блок, имеющий два входа, на которые поступают сведения о цели обучения (вход системы) и о результатах обучения (выход системы), и два выхода. На основе априори принятого критерия (числового, описательного, умозрительного) в этом блоке вырабатываются воздействия, изменяющие параметры (характеристики, свойства) как управляющей части, так и объекта управления. В первом случае может совершенствоваться методика постановки курса, например, путем введения компьютерных средств обучения могут создаваться новые учебные пособия и т.п.; во втором – воздействия касаются мер, повышающих мотивацию учения (организация НИР студентов, другие меры воздействия на мотивацию учения студентов).

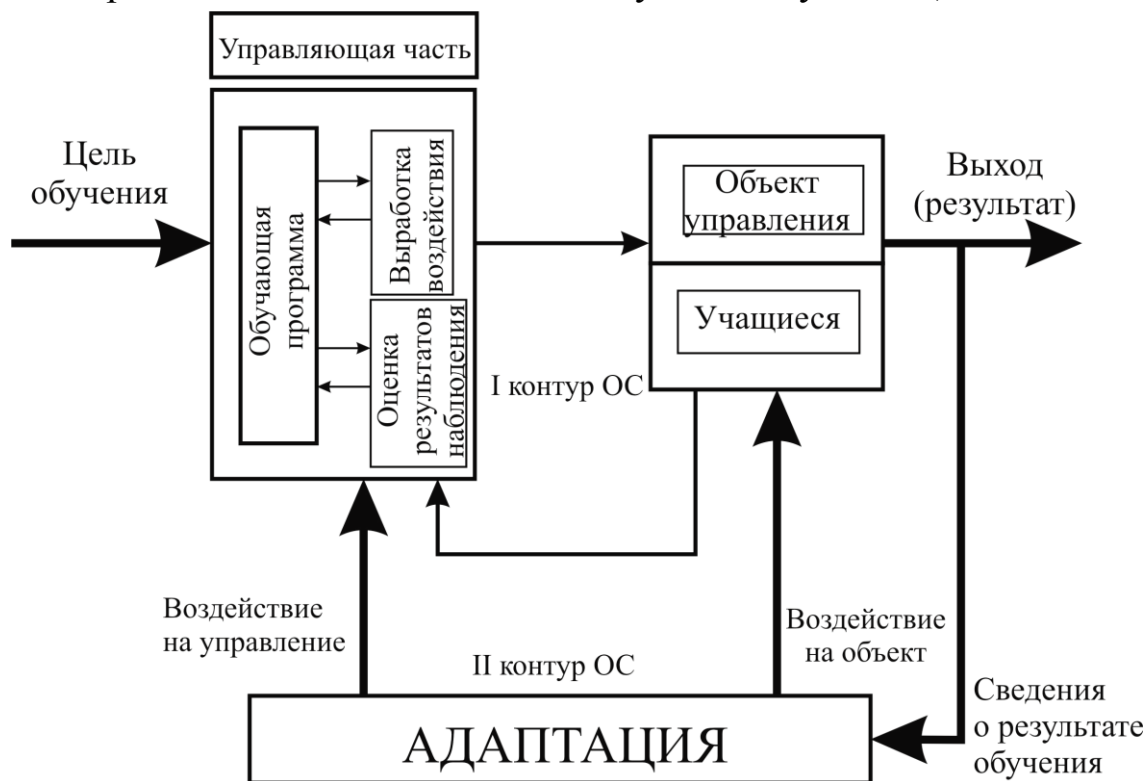


Рис. 6. Структурная схема процесса адаптивного обучения

Не будем касаться ограничений, характерных для принятого описания: они очевидны. Но такое представление очень полезно и даже необходимо для решения поставленной задачи выбора системных признаков и (в некоторой степени) терминологии.

Отметим, что по прямому каналу передачи поступает не только фактологическая (предметная) информация, подлежащая

усвоению, но и дополнительная информация, предназначенная для правильной организации самого процесса управления. Например, в современной теории поэтапного усвоения знаний такой информацией можно считать ориентировочную основу действий, без использования которой процесс усвоения знаний нельзя считать эффективным. В процессе обучения, который реализуется в результате циркуляции информации по замкнутому контуру, канал обратной передачи выполняет педагогические функции коррекции: корректирующая информация поступает на блок оценки, а оттуда – на блок выработки текущих решений по управлению. Конечно, канал обратной передачи может выполнять также функции педагогического контроля, когда он действует самостоятельно и отсроченно во времени. Такой «частичный» процесс, когда имеет место фактическое размыкание цикла управления, не следует называть обучением, равно как отсроченная посылка информации по прямому каналу при отсутствии замыкания цикла не может трактоваться как обучение: это процесс предъявления информации.

Заметим, что наряду с внешним циклом всегда существует «малый», внутренний цикл, когда процесс замыкания реализуется самим учащимся, без выхода во внешний цикл. Требуется обдумывание воспринимаемой учеником информации, которое происходит путем внутренней постановки вопросов и ответов на них, что всегда имеет место. Без этого процесса усвоения знаний нет. Непрерывное взаимодействие обоих циклов – неременная особенность обучения. Не входя в обсуждение этого взаимодействия, отметим, что чем лучше организован внутренний цикл, тем эффективнее обучение. Известно, что многие преподаватели придают огромное значение научению правильной организации внутреннего цикла (обучению умению учиться) и считают это обязательным в деятельности преподавателя. При этом остро встает задача оптимизации функционирования ИКОС, которая требует анализа существующих методов их моделирования.

### 1.3. Анализ существующих моделей обучаемого

Рассмотрим оценку возможностей различных существующих типологий.

Модель обучаемого должна служить для оперативного определения средств воздействия на эффективность процесса усвоения знаний, а в общем виде – процесса формирования личности. Эта

модель используется в ЭВМ в качестве первого компонента. Создание модели педагога (решения проблем исследования обучающих стратегий педагога) является вторым компонентом.

В модели обучаемого должны быть представлены данные, используемые блоком обучения для выбора оптимальной обучающей стратегии с учетом индивидуальных особенностей пользователя. Модель должна отражать текущий уровень знаний, содержать информацию о количестве и типах допущенных ошибок, включать в соответствующей форме протокол процесса обучения.

Простейшие модели обучаемого в КОС с элементами искусственного интеллекта представлены разметкой базы знаний системы вида «известно–неизвестно». Начальная разметка создается исходя из некоторых предположений об уровне знании обучаемого и корректируется в процессе его работы в КОС. Модели такого типа называются оверлейными.

По результатам наблюдений за игрой система строит предположение о том, какой прием игры пользователю неизвестен, и поясняет его применение. Наличие связанного с моделью блока обучения позволяет демонстрировать прием в той ситуации, где его использование дает наибольший выигрыш, а также генерировать ситуации для закрепления соответствующего приема.

В других системах [16], исходя из предположения о том, что ошибка есть результат правильного выполнения неправильного действия (процедуры), работу пользователя можно характеризовать ошибочными действиями. Разработан каталог ошибок при выполнении элементарных операций. Одна из систем предназначена для имитации действий обучаемого: пользователь-преподаватель должен распознать причину ошибки при выполнении арифметических действий. ИКОС случайным образом выбирает ошибки и систематически допускает их при выполнении заданий, предлагаемых пользователю. Другая система предназначена для автоматического процесса диагностирования ошибок, при неправильном ответе она подбирает комбинацию «элементарных ошибок», которые, будучи включены в процедуру решения, дадут тот же результат.

Наличие ошибки связывается с отсутствием определенных знаний, и соответствующая информация предъявляется пользователю для изучения. Отсутствие развитого блока обучения не позволяет учесть динамику изменения ошибок в управлении процессом обучения.

В рамках интерференционной теории (теории закрепления и ослабления ассоциаций) объект обучения моделируется как перцептрон Розенблата – распознающая система, реализующая корректирующее линейное решающее правило в пространстве фиксированных, случайно выбранных признаков входных сигналов.

В общем случае, модель обучаемого – система нелинейных дифференциальных уравнений, в которую введены показатель «сила навыка» и предположение о его экспоненциальной зависимости от стимулов, вызывающих появление такой силы.

В настоящее время при разработке компьютерных обучающих систем особое внимание уделяется проблеме адаптации, которая, как правило, осуществляется на основе модели студента, включающей различные параметры, такие как программа образования, специальность, личностные характеристики студента, используемые педагогические методы обучения и др.

Задание уровней обученности является основополагающим звеном диагностики усваиваемости материала. К сожалению, в современной дидактике еще не выработаны общие подходы к количественному и качественному определению уровней усвоения содержания учебного материала. В работе [34] приведены примеры классификаций И. Я. Лернера, М. Н. Скаткина, С. И. Архангельского, И. Ф. Гербарта, Б. С. Блюма. Воспользуемся уровнями усвоения учебного материала по В. П. Беспалько, который обобщает вышеуказанные классификации и предлагает «генетическую структуру мастерства человека»:

1. Узнавание при повторном восприятии объектов и свойств процессов данной предметной области (знания–знакомства).

2. Репродуктивное действие (знания–копии) путем самостоятельного воспроизведения информации для выполнения известного действия.

3. Продуктивное действие – деятельность по образцу на некотором множестве объектов (знания–умения, навыки).

4. Творческое действие, выполняемое на любом множестве объектов, в процессе которого добывается объективно новая информация.

Нужно заметить, что предлагаемые уровни достаточно абстрактны. На практике их можно представить в виде интегральных критериев, вычислением которых занимаются соответствующие алгоритмы системы контроля.

Модель обучаемого может реализовать механизм определения качества знаний только на основе специфической информации, предоставляемой предметной областью и системой контроля. Именно в этом месте находится наибольшая проблема для практической реализации идеи.

В качестве основы модели предметной области можно взять классический вариант графовой модели и оверлейную модель обучаемого, которые представлены в работе [1]. Основной структурной единицей будем называть концепт, несущий минимальную единицу информации. Кроме стандартных параметров, определим для каждого концепта уровень абстрактности. Пусть в системе задано конечное множество уровней абстрактности  $\cup A = \{\cup A_1, \cup A_2, \dots, \cup A_n\}$ , где  $n \in N$ . На практике уровень абстрактности можно определить либо на основании мнения экспертов, либо автоматически, исходя из иерархии предметной области.

Наибольшая нагрузка ложится на систему контроля. Для определения знания каждого концепта недостаточно иметь интегральную оценку. Получение качественных характеристик при оценивании – это актуальная задача разработчиков систем контроля. Рассмотрим идеальную ситуацию и будем считать, что мы получили от каждого контрольного элемента оценку, разложенную на несколько критериев. В частности, в качестве критериев можно использовать уровни усвоения учебного материала по Беспалько, указанные выше. Обозначим множество критериев  $K = \{K_1, K_2, \dots, K_m\}$ , где  $m \in N$ .

Здесь  $\cup Z = K \times \cup A = \{(K_i, \cup A_j \mid K_i \in K, A_j \in \cup A)\}$ ,  $i, j \in N$ , задает множество уровней изучения учебного материала. Теперь модель обучаемого может проанализировать результаты контроля для каждого концепта и определить качество его изучения.

Таким образом, современное состояние вопроса создания обучающих систем испытывает определенный кризис роста. Старая методика синтеза подобных систем тормозит их развитие. Как было подчеркнуто, перевод курса на автоматизированное обучение требует колоссальных затрат труда, времени, требует отлаженной методики преподавания, а поскольку создаваемые системы уникальны по своей природе, то они никак не могут решить глобальной проблемы повышения эффективности применения вычислительной техники в народном хозяйстве. До сих пор каждая отрасль, а в ней и отдельные предприятия, выпускающие ту или иную аппаратуру, создают свои специальные тренажеры для обучения оператора пользованию изготовленной аппаратурой. При этом многие систем-

ные вопросы обучения выпадают из рассмотрения. Все возрастающая сложность систем обучения, их программно-аппаратной реализации не позволяет в дальнейшем надеяться на положительные результаты такого подхода.

В зависимости от своего выбора или задания преподавателя обучаемый может передвигаться по разным «веткам» дерева знаний обучающей системы. После завершения работы с системой по одной теме обучаемый имеет возможность продолжить ее, проходя по другой «ветке» дерева знаний, или выйти из программы. Следует осуществить сетевую организацию учебного материала в базе знаний, что позволяет довольно легко и быстро менять или дополнять его содержание. Отмечены следующие недостатки существующих АОС:

- относительно слабый интерес к учению у пользователей-непрофессионалов (за счет значительной сложности освоения самой АОС);

- обучаемые усваивали, например, язык программирования, для изучения которого и предназначается АОС, но, встречаясь с практическими задачами, испытывали затруднения – не овладели достаточно сформированным оператором программирования.

Пока еще нельзя выделить факторы, которые являются главными в повышении эффективности компьютерного обучения (организационные, технические, педагогические, психологические). Отсутствие одних факторов приводит к невозможности компьютерного обучения, а другие – влияют на его эффективность. Информационные технологии могут быть эффективными только тогда, когда используются на основе системного подхода: при обязательном наличии технических средств должно использоваться программное обеспечение, созданное на основе учебного содержания, ориентированного на цели обучения с учетом достижений педагогики и психологии.

Немногие существующие автоматизированные обучающие системы постоянно используются в реальном учебном процессе, и большая часть из них неприменима вне стен университета, в котором они были разработаны. Для того чтобы быть полезными, системы должны помогать преподавателю или обучаемому на многих этапах их работы. Большинство существующих систем строго ориентированы на использование в университете, в котором они были разработаны. Для поддержки различных способов обучения или



различных структур курсов такие системы не могут быть использованы в существующем виде.

Проблемы пользователей и разработчиков АОС можно решить, если суметь найти способ объединения функциональных возможностей различных АОС, сред программирования и гипермедийных систем. Минимальным требованием при этом является возможность объединения двух различных систем, например, АОС и среду программирования. Самой предпочтительной является возможность извлечения отдельного компонента из системы и использования его вместе с другой системой, созданной другими разработчиками.

Показано, что основой интеграции систем должна служить единая методическая основа функционирования систем, работающих со знаниями. Система на основе активного диалога должна обеспечивать расширение форм внешней и внутренней активности за счет накопления декларативной компоненты – знаний.

Таким образом, работа основана на кибернетическом подходе к проблеме синтеза ИКОС, представляющим проблему обучения с точки зрения управления процессом приобретения знаний. В работе решается проблема создания высокоэффективной системы управления на основе применения методов ситуационного управления в условиях полной неопределенности и их алгоритмическо-программной реализации.

#### 1.4. Обзор современных средств автоматизированного обучения

Сейчас уже можно с полной уверенностью утверждать, что развитие информационных технологий создало необходимую основу для превращения ИКОС из информационного приложения традиционных методик преподавания в новый класс систем, радикально меняющих технологию подготовки современных специалистов.

Качественные изменения инструментария разработки ИКОС предполагают разработку новых методических подходов к организации процессов подготовки специалистов в различных областях знаний. Это позволит, с одной стороны, систематизировать уже накопленный опыт в данной области, с другой – сформулировать основные требования ко вновь разрабатываемым системам автоматизированного обучения. Очевидно, что развитие ИКОС на базе новых информационных технологий должно естественным образом опираться на практику существующих результатов в области

разработки электронных средств обучения. При этом необходимо однозначное понимание места каждой системы в наборе средств электронного обучения. Существующие классификации ИКОС в значительной мере ориентированы на анализ уже существующих средств и практически не дают ответа на вопросы, возникающие на этапе разработки новых систем обучения. К их числу относится ряд важных вопросов, таких как выбор структуры системы, форма передаваемой информации, организация процесса ее передачи, оценка успешности процесса обучения и целого ряда других.

В настоящее время существует множество обучающих систем по самым различным предметным областям. Для проведения анализа современных ИКОС выделим следующие классы обучающих систем:

- мультимедийные энциклопедии;
- компьютерные системы тестирования (КСТ);
- компьютерные средства обучения (КСО);
- тренажеры и учебно-лабораторные комплексы;
- средства разработки обучающих систем.

Рассмотрим класс систем, представляющих собой мультимедийные энциклопедии, справочники, словари. Компьютерные технологии существенно изменили характер доступа к энциклопедическим сведениям – поиск статей стал практически мгновенным, появилась возможность вставлять в статьи не только качественные фотографии, но и звуковые фрагменты, видео, анимацию. Наиболее значимым стало издание в 1993 г. «Encarta» [1] американской корпорацией Майкрософт и в 1994 г. – электронной версии «Британники» [2].

В России наиболее значительным проектом такого рода с 1996 г. является «Большая энциклопедия Кирилла и Мефодия» (БЭКМ) [3], ежегодно издаваемая в обновленном варианте компанией «Кирилл и Мефодий».

Один из наиболее крупных проектов по публикации энциклопедических изданий в интернете на русском языке – открытый в 2000 г. портал «Рубрикон» [4], где выложены тексты и иллюстрации 62 энциклопедий и словарей. Многие материалы проекта находятся в платном доступе.

Развитие интернет-технологий дало возможность появления энциклопедии, составляемой и редактируемой всеми желающими, – Википедии [5]. Несмотря на кажущуюся вседоступность, в

том числе и для деструктивного воздействия, по охвату Википедия (английская версия, более 2,356 млн статей на 2 апреля 2008 г.), как минимум, не уступает всемирно известным изданиям. Основным недостатком, порожденным методом создания Википедии, является, однако, не доступность для деструктивных воздействий, а внутренняя противоречивость; поэтому на современном этапе Википедию нельзя в полной мере считать «приведенным в систему обзором отраслей человеческого знания» – приведение в систему накопленного материала является одной из постоянных целей Википедии.

Основные достоинства мультимедийных энциклопедий – широкое использование мультимедийных форматов предоставления информации (графические, видео- и аудиоформаты), быстрота поиска требуемой информации (использование технологии гиперссылок). К недостаткам следует отнести отсутствие в них функции контроля и тренировки.

Компьютерные системы тестирования в отличие от мультимедийных энциклопедий создаются для определения уровня знаний пользователя. Их возможности колеблются от простейших (позволяющих проводить тестирование, сохранять его результаты, а затем предоставлять их) до достаточно сложных (статистическая обработка результатов, оформление отчетов по различным критериям, установки параметров вопросов (например, коэффициент сложности), параметров тестов (например, ограничение времени тестирования), разграничение прав доступа и т.д.).

Различаются системы и по типам вопросов: чаще всего имеется возможность создавать только одновариантные вопросы (дается несколько вариантов ответов, из которых только один является правильным). Более сложные системы позволяют использовать несколько типов вопросов: многовариантные (несколько вариантов ответов, из которых правильных может быть несколько или все), открытые (обучаемый должен ввести ответ сам), нахождение соответствия (дается два списка, требуется для каждого элемента первого списка установить подходящий к нему элемент второго списка).

В Пензенском государственном университете (ПГУ) создана КСТ «Elleka» [6], активно используемая как в дистанционном обучении, так и в учебном процессе ПГУ. Одним из направлений развития системы является применение КСТ «Elleka» при проведении междисциплинарного экзамена. Для этого предложен алгоритм гетерогенного адаптивного тестирования [7], базирующийся на варь-

ирующей ветвящейся стратегии. В его основе лежат модели тестового задания современной и классической теории тестирования, дополненные метаинформацией об их семантике. Под метаинформацией здесь понимаются как ключевые слова, введенные автором данного тестового задания для его описания, так и слова, содержащиеся в формулировке и ответах. На основе данной модели тестового задания строится модель хранилища тестовых материалов.

С помощью такой модели хранилища тестовых заданий алгоритм гетерогенного адаптивного тестирования не только позволяет осуществлять подбор сложности следующего тестового задания, но и учитывать семантическую составляющую теста, что способствует повышению эффективности за счет сокращения количества тестовых заданий при итоговой оценке знаний по нескольким дисциплинам. Качественным достижением применения данного алгоритма является выявление и оценка структуры знаний тестируемого.

Практическое применение КСТ получили не только в образовательных, но и в коммерческих организациях, например при автоматизированном процессе первичного отбора и аттестации персонала. В качестве примеров следует привести широко известные проекты компании TestGold – AVELife TestGold Studio и AVELife TestGold Enterprise [8].

AVELife TestGold Studio предоставляет возможность определения уровня профессиональных знаний и психологических характеристик принимаемого на работу сотрудника, а также периодическую оценку и аттестацию персонала.

Программное обеспечение позволяет проводить тестирование на отдельно стоящем компьютере, на рабочих местах в локальной сети организации с централизованным хранением данных и дистанционное тестирование, имеет многоуровневый механизм обеспечения безопасности данных и повышения достоверности результатов тестирования.

Продукт предназначен для использования на предприятиях малого и среднего бизнеса, в образовательных и медицинских учреждениях, в профессиональной деятельности психологов и преподавателей, домашнего использования.

AVELife TestGold Enterprise включает всю функциональность AVELife TestGold Studio и дополнительно поддержку технологии интернет-тестирования SAB (Smart Assessment Bridge) – средства организации и контроля центров онлайн-тестирования, что обеспечивает непосредственное и дистанционное тестирование

знаний и психологическое тестирование персонала, студентов, учащихся.

Программное обеспечение ориентировано на предприятия крупного и среднего бизнеса, а также образовательные учреждения и профессиональных специалистов, которым требуется регулярное проведение дистанционного интернет-тестирования.

Рассмотренные КСТ позволяют сделать вывод, что их основные достоинства – это быстрое выявление и оценка знаний тестируемого. К недостаткам следует отнести отсутствие возможности пояснения неверных ответов и последующего программного обучения с учетом текущего уровня знаний обучаемого, т.е. отсутствие адаптивной обучающей функции.

К следующему классу обучающих программ относятся компьютерные обучающие средства, или E-Learning (Electronic Learning – система электронного обучения), обладающие достоинствами мультимедийных энциклопедий и КСТ, а именно: наличием развитой системой предоставления знаний и средствами контроля и оценки обучаемого.

Некоторые из них обладают адаптивностью, например, позволяют осуществлять связь тестовых вопросов с теоретическими темами: при неправильном ответе на вопрос обучаемый может получить объяснение, в чем состоит его ошибка, или вернуться к изучению связанного теоретического материала, что позволяет повысить эффективность процесса обучения.

Применение современных информационных технологий позволило интегрировать КСО с другими информационными системами предприятия (например, student information system (SIS)), предоставить администраторам мощные инструменты управления и анализа процесса обучения, а также обеспечивать идентификацию студентов, предоставление дистанционного доступа, управление платежами за обучение и др.

Широкую известность получило решение Blackboard 5 от компании BlackBoard [9]. Blackboard 5 состоит из трех главных приложений:

- Blackboard Learning System – система управления курсами;
- Blackboard Community Portal System – объединяющий портал, предоставляющий доступ к ресурсам, администрированию курсов, средствам общения, расписанию и т.д. для соответствующих категорий пользователей;

– Blackboard Transaction System – интернет-система, обеспечивающая идентификацию студентов, предоставление доступа и управление платежами и др.

Blackboard Learning System обладает следующими возможностями:

– управление курсами, обеспечивая тем самым управление контентом (personal information, course elements and documents, academic Web resources, publisher-provided digital material), средствами общения (форумы, чаты и т.п.), проведения тестов, опросов, экзаменов, а также предоставление различных дополнительных средств управления для преподавателей;

– интеграция различных видов контента и коммерческих приложений с платформой Blackboard, а также различные утилиты и приложения для студентов и преподавателей;

– интеграция решения Blackboard с различными информационными системами.

Blackboard 5 совместно с Microsoft .Net. позволяет размещать материалы курсов в форматах Microsoft Office, Adobe Acrobat PDF, HTML, различные форматы графики, аудио и видео, а также анимационные ролики (Flash, Shockwave, Authorware).

Среди российских разработчиков своими разработками известна компания DigitalThink – поставщик e-learning решений для бизнеса, адаптированных к стратегическим бизнес-целям компании, обеспечивающих привлекательную среду обучения и включающих инструменты управления [10].

E-Learning Catalog включает больше чем 3000 часов курсов. Темы курсов: IT, менеджмент, продажи, е-навыки, финансовые услуги, HR и др.

E-Learning Platform – масштабируемая, открытая платформа, которая поддерживает работу пользователей и предоставляет администраторам инструменты управления и анализа. Открытый протокол дает возможность «бесшовной» интеграции с другими приложениями на предприятии.

E-Learning Services объединяет опыт понимания бизнес-целей заказчиков с опытом создания учебных проектов; диапазон услуг: от проекта учебного плана до его реализации и сопровождения.

Технология E-Learning DigitalThink – Web-среда, которая поддерживает сотрудничество с преподавателями и обеспечивает подготовку отчетов.

Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что главные достоинства этого класса систем:

- широкое применение средств мультимедиа;
- проведение адаптивного обучения;
- быстрое выявление и оценка уровня знаний обучаемого;
- интеграция различных видов коммерческих приложений с КОС;
- возможность проведения дистанционного обучения (ДО);
- формирование разнообразной электронной отчетности.

К недостаткам рассмотренного класса систем следует отнести отсутствие тренинга, т.е. возможности получения навыков практических действий в реальных условиях или в максимально приближенных к реальным.

Для получения обучаемыми навыков практических действий применяют различные тренажерные или учебно-лабораторные комплексы (УЛК).

В качестве примера рассмотрим работу, выполненную по НП «Развитие информационных ресурсов и технологий. Индустрия образования» на кафедре «Нано- и микроэлектроника» ПГУ, по специальности 200100 – Микроэлектроника и твердотельная электроника [11].

Представленный УЛК служит для исследования свойств активных диэлектриков, однокомпонентных и многокомпонентных проводников, ферромагнитных свойств твердых тел, температурных и полевых зависимостей концентрации и подвижности носителей заряда в полупроводниках и свойств полупроводников и приборов на их основе методом вольт-фарадных характеристик.

Пять автоматизированных лабораторных стендов подключаются к единой автоматизированной системе, которая управляется компьютером-сервером. Возможен выход в Интернет через коммуникационный сервер. УЛК по блоку специальных дисциплин включает автоматизированные лабораторные стенды для исследования основных свойств материалов электронной техники и параметров приборов на их основе различными методами; программное обеспечение автоматизированных лабораторных стендов; методическое обеспечение автоматизированных лабораторных стендов.

Методическое обеспечение учебно-лабораторного комплекса содержит всю совокупность средств, необходимую для ее использования в решении задач исследования и обучения: нормативно-справочные и информационные данные для изучения свойств материалов электронной техники и приборов на их основе, снабженные различными формами представления учебной информации, включая компьютерную анимацию, статические и динамические диаграммы; средства обработки и анализа экспериментальных данных.

Программное обеспечение учебно-лабораторного комплекса включает следующее: совокупность программ драйверов управления стандартными и специально разработанными средствами обмена информацией между узлами автоматизированного лабораторного стенда, поддерживающими протоколы сетевого обмена ТСР/ІР; программное обеспечение сервера, предназначенного для обмена информацией между автоматизированными лабораторными стендами и рабочими местами пользователей; программное обеспечение рабочих мест пользователей.

В состав учебно-исследовательской лаборатории входят следующие автоматизированные лабораторные стенды: для исследования свойств полупроводников и приборов на их основе методом вольт-фарадных характеристик; для исследования температурных и полевых зависимостей концентрации и подвижности носителей заряда; для исследования свойств активных диэлектриков; для исследования ферромагнитных свойств твердых тел; для исследования свойств однокомпонентных и многокомпонентных проводников.

Тренировка операторов сложных промышленных систем, космонавтов, пилотов на реальных установках и в реальных условиях слишком дорога, а часто и очень опасна. Альтернативой этому является создание имитационно-тренажерных комплексов, которые в максимально возможной степени приближены к реальным установкам и позволяют тренирующимся приобрести правильные и устойчивые навыки и умения.

Рабочее место обычно представляет собой копию реального пульта управления и содержит ручки управления, приборы, шкалы и т.д. Моделирующий комплекс включает математическую модель процесса и управляет реакцией системы на действия оператора.

В качестве примера рассмотрим комплексные тренажеры российской компании «Гранзас», обеспечивающие отработку действий экипажа в нормальных (штатных), сложных и аварийных условиях



полета в реальном масштабе времени на всех этапах выполнения полета согласно «Руководству по летной эксплуатации» (РЛЭ) воздушного судна во всем диапазоне летных ограничений [12].

Основные достоинства комплексных тренажеров «Транзас»:

- высокая точность имитации реальных условий полета и работы систем воздушных средств (ВС);
- соответствие облика тренажера конкретному ВС заказчика;
- применение адекватных математических моделей, созданных на основе данных, полученных от разработчика ВС;
- открытая модульная архитектура тренажера;
- собственная система визуализации «Аврора» с высоким уровнем детализации и качества отображения закабинного пространства;
- широкие возможности моделирования сцен, соответствующих требованиям заказчика;
- высокие ремонтно- и контролепригодность;
- низкие эксплуатационные расходы;
- высокоэффективная послепродажная поддержка.

Комплексные тренажеры ЗАО «Транзас» выпускаются серийно на основе инновационных, высокоэффективных и низкозатратных технологий. В тренажерах используется собственная система визуализации, работающая на стандартных персональных компьютерах, электромеханическая система имитации акселерационных эффектов, современная проекционная система и сферический экран с широкими углами обзора.

Бюджетной альтернативой, а иногда и существенным дополнением комплексным тренажерам являются процедурные тренажеры класса FNPT (Flight and Navigation Procedures Trainer).

Такие относительно недорогие тренажеры выпускаются без системы подвижности. В кабине процедурного тренажера могут быть имитаторы приборов, или же приборное оборудование имитируется на сенсорных жидкокристаллических мониторах.

Органы управления на рабочих местах летчиков воспроизводятся в виде реальных самолетных (вертолетных) со штатными загрузчиками или в виде имитаторов с системой загрузки, обеспечивающей адекватные реальные усилия на органах управления.

Проекционная или коллимационная система визуализации и тренажерная среда полностью соответствуют требованиям для комплексных тренажеров. Процедурные тренажеры могут постав-

ляться с реальными аэронавигационными базами данных для проведения полноценной навигационной подготовки экипажей.

Достоинством тренажерных и учебно-лабораторных комплексов является возможность получения навыков практических действий в реальных условиях или в максимально приближенных к реальным. В силу того, что навыки базируются на знаниях, а в системах этого класса отсутствует предоставление теоретических знаний, в них следует выделить следующий недостаток – невозможно организовать процесс обучения только с помощью этих систем.

Следующим классом программ являются средства разработки самих обучающих систем, которые создают рабочую среду для процессов обучения и проведения тестов.

Компанией Macromedia предлагается программный пакет eLearning Studio, в который вошли ранее выпущенные компанией программные продукты [13]:

Authorware MX – программа, предназначенная для разработки приложения в области образования;

Flash MX – программа, предназначенная для разработки флэш-анимационных роликов;

Dreamweaver MX – программа, предназначенная для работы с публикацией материалов в Web.

Пакет eLearning Studio содержит набор инструментов для разработки e-learning приложений. Хотя эти инструменты и адаптированы для создания e-learning приложений, все же продукт представляет собой средство (язык высокого уровня) для создания демонстрационного ролика, принципы построения которого мало чем отличаются от принципов создания флэш-роликов, предназначенных для любых других нужд.

В целом продукт компании Macromedia подходит для создания интерактивных презентаций с использованием анимации, звука и т.п. на основе флэш-технологий. А вот создание системы ДО с элементами управления ПО курсами, а также обучающимся с использованием Macromedia eLearning Studio потребует привлечения программистов и использования дополнительных решений.

Среди российских разработчиков следует выделить систему «Прометей», которая имеет модульную архитектуру, что позволяет расширять, модернизировать и масштабировать ее по мере необходимости [14].

Система состоит из следующих модулей. Типовой Web-узел – набор HTML-страниц, предоставляющих информацию об учебном центре, списке курсов и дисциплин, списке тьюторов в Интернете или ЛВС (Интернете) организации.

АРМ «Администратор». Модуль обеспечивает выполнение администратором своих служебных обязанностей. К обязанностям относятся: управление системой, разграничение прав доступа к ее компонентам, регистрация новых тьюторов и организаторов. Пользователь может работать с любого клиентского компьютера, подключенного к Сети.

АРМ «Организатор». Модуль обеспечивает выполнение организатором своих служебных обязанностей. К обязанностям относятся: формирование групп учащихся, регистрация слушателей, контроль за оплатой обучения и рассылкой учебных материалов. Пользователь может работать с любого клиентского компьютера, подключенного к Сети.

АРМ «Тьютор». Модуль обеспечивает выполнение тьютором своих служебных обязанностей. К обязанностям относятся: консультирование слушателей, контроль за их успеваемостью, тестирование, простановка оценок в зачетную книжку, формирование отчетов руководству. Пользователь может работать с любого клиентского компьютера, подключенного к Сети.

АРМ «Слушатель». Модуль обеспечивает слушателя всеми необходимыми средствами для успешного изучения курса. Слушатель может общаться с тьютором и однокурсниками, изучать электронные версии курсов, выполнять лабораторные работы, сдавать тесты, работать над ошибками. Пользователь может работать с любого клиентского компьютера, подключенного к Сети.

Модуль «Трекинг». Модуль фиксирует в базе данных все обращения к информационным материалам, расположенным на Web-сервере учебного центра, предоставляя отчетность о том, кто, когда и что читал или просматривал.

Модуль «Курс». Модуль обеспечивает доступ к курсам со стороны слушателей, тьюторов, организаторов и администратора. Для каждого пользователя список курсов формируется динамически на основании его членства в группах.

Модуль «Регистрация». Модуль регистрирует в системе новых слушателей и вносит информацию о них в базу данных.

Модуль «Тест». Модуль формирует для каждого слушателя уникальное тестовое задание. Сохраняет ответы на вопросы в базе

данных, анализирует их и подсчитывает набранный балл. Генерирует подробный отчет о попытке сдачи теста и сохраняет его на сервере для последующего анализа.

Модуль «Дизайнер тестов». Модуль позволяет в интерактивном режиме создавать новые тесты, расширять и изменять существующие или импортировать тест из текстового файла. Пользователь может работать с любого клиентского компьютера, подключенного к Сети.

Модуль «Учет». Модуль обеспечивает контроль за поступлением платежей и рассылкой учебных материалов.

Модуль «Отчеты». Модуль формирует разнообразные отчеты о деятельности учебного заведения.

Модуль «Дизайнер курсов». Модуль позволяет в автономном режиме создавать электронные учебные курсы с их последующим размещением на сервере учебного центра. Представляет собой отдельную программу, устанавливаемую на локальный компьютер. Подключение этого компьютера к Сети необязательно.

Рассмотренный класс систем является по существу продолжением развития класса КСО (E-Learning), но в отличие от них обладает следующим важными достоинствами: гибкостью и универсальностью, т.е. возможностью адаптации под конкретные практические нужды клиентов за счет применения модульной архитектуры, позволяющей расширять, модернизировать и масштабировать систему под конкретные условия.

Недостатками этого класса систем является ориентация на теоретический материал и отсутствие получения навыков практических действий. Кроме того, привлечение программистов и использование дополнительных решений для адаптации системы может оказаться нецелесообразным с экономической точки зрения.

Таким образом, анализ существующих компьютерных средств учебного назначения показывает, что их подавляющее большинство является электронными учебниками с односторонней передачей информации от обучающей системы к обучаемому, дополненными, в лучшем случае, системами тестового контроля знаний. При этом работы в области компьютерных средств учебного назначения имеют прикладной характер и нацелены в основном на создание узкоспециализированных обучающих программ, являющихся либо электронными аналогами существующих учебных курсов, либо элементом технических средств обучения в рамках тех же существующих учебных курсов. Как следствие, значительная часть этих

программных продуктов является специализированными авторскими разработками, отражая сложившиеся в конкретном учебном заведении потребности практики обучения и субъективные взгляды их создателей на методы компьютерного обучения.

В настоящее время многим техническим специальностям, ориентированным на приобретение обучаемым не только знаний, но и на формирование у него профессиональных навыков и умений, необходима ИКОС, объединяющая процессы обучения и тренинга. Поэтому на сегодняшний день актуальной задачей является создание ИКОС, обладающей следующими свойствами:

- объединенными процессами обучения и тренинга, что позволит осуществить комплексный подход к организации процесса обучения, передавать обучаемому профессиональные знания, а также формировать у него навыки и умения;
- обоснованной методологией обучения, позволяющей эффективно передавать профессиональные знания, формировать навыки и умения;
- открытой архитектурой, что позволяет расширять, модернизировать и масштабировать ее по мере необходимости.

### 1.5. Классификация ИКОС на основе теории коммуникации

Очевидно, что развитие ИКОС на базе новых информационных технологий должно естественным образом опираться на практику существующих результатов в области разработки электронных средств обучения [15]. При этом необходимо однозначное понимание места каждой системы в наборе средств электронного обучения. Добиться этого возможно, только четко сформулировав принципы классификации ИКОС.

По определению классификация означает систематизацию элементов множества каких-либо объектов на основании ряда признаков и критериев, позволяющих объединить подмножества этих объектов в общие понятия. Научно обоснованная классификация ИКОС должна содействовать четкому определению места каждой учебной системы в их общей совокупности и создавать эффективные возможности для выбора и создания средств электронного обучения.

В настоящее время существуют различные подходы к классификации обучающих компьютерных программ, но единого мнения и соответственно общей классификации нет. Исторически первыми попытками систематизации компьютерных средств обучения были классификации, основанные на анализе внешних признаков систем обучения – формы подачи учебного материала, структуры программной системы и процесса обучения. Как следствие, попытка авторов классифицировать свою разработку с подобной точки зрения часто сводится к анализу ее новых компонентов и построению на этой основе очередного класса автоматизированных обучающих систем.

Другие подходы к систематизации учебных систем основаны на привлечении методов классификации, уже зарекомендовавших себя в других областях. Так, например, используется богатый инструментарий классификационных признаков из теории систем или теории алгоритмов. Это позволяет определить место существующих ИКОС в общем ряду информационных компьютерных средств [16–19].

Рассмотренные подходы к анализу и классификации ИКОС можно объединить и условно назвать «инженерным», так как в основном его используют разработчики математического и программного обеспечения систем автоматизированного обучения.

Параллельно с инженерным подходом существует другой, который условно можно назвать «педагогическим», суть которого основана на анализе процессов передачи знаний и усвоения информации обучаемым с точки зрения педагогики и психологии [20–24]. С точки зрения данного подхода системы могут быть подразделены на те, которые задействуют репродуктивные механизмы восприятия и переработки информации человеком, связанные преимущественно с запоминанием и последующим воспроизведением определенных объемов данных, и те, которые ориентированы на активизацию продуктивных способностей человека усваивать информацию и генерировать новые закономерности через деятельность по решению задач.

Не отрицая теоретической корректности указанных подходов, следует отметить, что с практической точки зрения использование существующих классификаций в значительной мере ориентировано на анализ существующих систем и практически не дает ответа на вопросы, возникающие на этапе разработки новых систем обучения и связанные с выбором структуры системы, формой

передаваемой информации, организацией процесса ее передачи, оценкой успешности процесса обучения и целого ряда других. Поэтому предложен подход к созданию классификации ИКОС, базирующийся на анализе процесса коммуникации системы обучения и обучаемого. Именно принципы организации этого процесса определяют в конечном итоге все существенные аспекты построения конкретного средства электронного обучения.

Наличие двух субъектов процесса обучения позволяет проанализировать этот процесс с точки зрения теории коммуникации [24, 25]. Учет коммуникативного аспекта в процессе современного обучения становится все более важным по ряду причин.

В настоящее время уменьшается степень «обязательности» обучения и система образования становится все более ориентированной на мотивированное желание учиться и повышать свой образовательный и квалификационный уровень. В результате происходит смещение акцентов с традиционных преподавательских методик, базирующихся на репродуктивных методах обучения и предполагающих достаточно жесткое администрирование учебного процесса, на методики, ориентированные на эффективное управление процессом обучения и предполагающие активное использование продуктивных, деятельностных методов с вовлечением обучаемых в процесс получения ими новых знаний. Успешность решения этих задач предполагает ясное понимание целей и возможностей всех участников процесса обучения. Как следствие, эффективность обучения напрямую зависит от эффективности коммуникативного процесса, субъектами которого являются преподаватель и обучаемый.

Качественные изменения инструментария разработки ИКОС предполагают разработку новых методических подходов к организации процессов подготовки специалистов в различных областях знаний. С этой точки зрения автоматизированные системы обучения на базе современных вычислительных и телекоммуникационных средств рассматриваются как самостоятельные участники процесса обучения. Построение этих систем становится невозможным без учета коммуникативных аспектов процесса передачи знаний от информационной системы к обучаемому.

Сформулируем основные особенности процесса обучения как коммуникативного процесса.

Необходимость обучения возникает при осознанном различии уровня знаний обучаемого и обучающего. В количественном

выражении это находит отражение в различных объемах информации, в качественном – способах ее организации и эффективности использования для решения конкретных задач. С точки зрения системного анализа это означает неэквивалентность, рассогласованность входов и выходов систем, которыми являются обучаемый и обучающий; при полном их подобии отпадает необходимость коммуникации и, следовательно, обучения.

Диалогизм процесса обучения находит свое выражение, во-первых, в конкретной направленности, адресности передачи информации и, во-вторых, в контекстной значимости передаваемой информации, имеющей смысл только в контексте той предметной области, в которой происходит обучение.

Двусторонняя направленность информационных потоков в ходе обучения. При этом информационные потоки, направленные от обучающего, преимущественно содержат знания в конкретной предметной области и управляющие сигналы. Информационные потоки от обучаемого характеризуют в общем случае его реакцию на организацию процесса обучения в целом, включая реакцию на знания о предметной области, на построение процесса обучения и на обучающего как субъекта взаимодействия. С этой точки зрения анализ эффективности процесса обучения традиционно затруднен в силу многофакторности реакции обучаемого.

Наличие процесса обучения приводит к необходимости введения понятия коммуникативного пространства обучения. Коммуникативное пространство – это среда, в которой протекает информационный обмен между коммуникантами. Целенаправленное формирование коммуникативного пространства позволяет управлять процессом обучения и таким образом влиять на его результаты.

Научный подход к построению ИКОС предполагает создание моделей процессов обучения, позволяющих исследовать эти процессы еще на этапе разработки систем. Теория коммуникации позволяет использовать широкий спектр моделей эффективного взаимодействия субъектов коммуникации, уже зарекомендовавших себя в различных областях человеческого знания.

На основе рассмотренных особенностей процесса обучения как коммуникативного процесса разработана фасетная классификация ИКОС, обладающая следующими классификационными признаками (рис. 7).

Роль ИКОС. Высокая степень самостоятельности ИКОС определяет ее роль в организации процесса обучения как основную.



Если ИКОС является вспомогательным средством обучения, то основная роль принадлежит педагогу, а ИКОС – вспомогательная.

Тип реакций обучаемого. Активный тип реакций соответствует наиболее полному вовлечению обучаемого в процесс обучения, что необходимо при ориентированности системы обучения на творческое развитие обучаемого. Пассивный тип реакций соответствует повествовательному характеру обучения, что оправданно в случае необходимости передачи большого количества теоретических знаний. Промежуточный тип реакций присутствует при проведении тестового контроля, когда обучаемый является активным, но не определяющим участником процесса обучения.

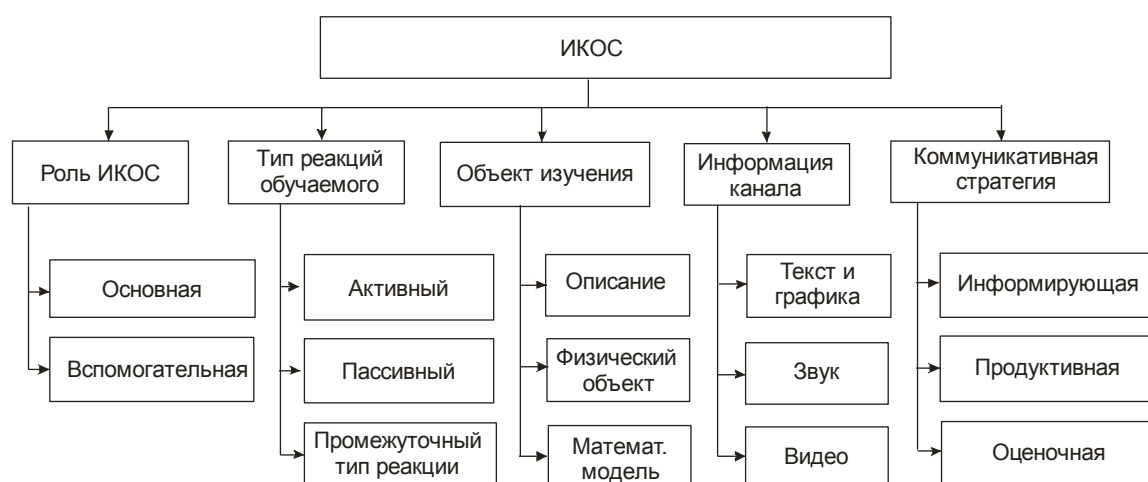


Рис. 7. Схема классификации ИКОС на основе теории коммуникации

Объект изучения. Наиболее полная форма представления объекта изучения дает обучаемому более глубокое понимание.

Информация канала коммуникации. Вид УИ в канале коммуникации соответствует особенностям восприятия обучаемого. Процесс обучения будет более эффективен, если учебная информация будет соответствовать типу репрезентативной системы обучаемого.

Коммуникативная стратегия обучения должна соответствовать особенностям предметной области обучения. Так, информирующая стратегия наиболее соответствует описанию существующих фактов и закономерностей и носит повествовательный характер, продуктивная стратегия связана с описанием способов и процедур решения задач. Оценочная коммуникативная стратегия, как правило, является вспомогательной.

Таким образом, разработана классификация ИКОС, на основе теории коммуникации, отличающаяся фасетной структурой, по-

зволяющей учесть основные аспекты процесса коммуникации обучающей системы и обучаемого, что позволяет сделать выбор существующей или спроектировать новую ИКОС с организацией процесса коммуникации, наиболее соответствующей условиям ее применения.

---

## 2. Моделирование интеллектуальных компьютерных обучающих систем

---

### 2.1. Сравнительный анализ методов моделирования систем обучения

Рассмотрим возможные пути синтеза моделей обучаемого, педагога, знаний и системы обучения в целом.

Проектирование учебного курса включает в себя следующие составляющие:

- определение целей обучения;
- формирование содержания курса;
- назначение технологий преподавания и освоения содержания;
- назначение технологий контроля (включая технологии самоконтроля) усвоения обучающимися учебного материала.

Неправильно спроектированный курс не сможет обеспечить должное качество учебного процесса при самой блестящей его реализации.

При моделировании процесса обучения следует, на наш взгляд, подразделить модель обучаемого на следующие иерархи-

ческие уровни: модель специалиста, модель выпускника вуза и модель выпускника курса [33] .

Модель специалиста представляет собой:

- перечень умений специалиста как элементов его профессиональной деятельности, структурированных до уровня отдельных операций;
- перечень элементов знаний, т.е. модулей информации, которую специалист должен помнить, понимать и уметь преобразовывать для реализации профессиональных умений;
- перечень и характеристику личностных, в том числе моральных качеств, которыми должен обладать специалист для успешной профессиональной деятельности.

На основе модели специалиста формируется модель выпускника вуза, представляющая собой совокупность умений и знаний, которые должны быть сформированы у обучающихся в результате освоения ими конкретной образовательной программы в вузе.

Модель выпускника вуза отличается от модели специалиста меньшим составом умений, знаний и личных качеств, поскольку часть их формируется у специалиста непосредственно в ходе профессиональной деятельности, а также иным уровнем их сформированности. Для обеспечения диагностичности степени достижения целей обучения модель выпускника вуза должна содержать цели как количественно определенные уровни сформированности умений и знаний.

На основе модели выпускника вуза должны формироваться содержание и технология изучения образовательной программы.

Модель выпускника вуза декомпозируется на модели выпускников отдельных учебных курсов (обучающихся, завершивших обучение по данной учебной дисциплине).

Модель выпускника учебного курса представляет собой:

- перечень умений, структурированных до уровня отдельных операций, с указанием уровней их сформированности;
- перечень элементов знаний, необходимых для реализации умений, с указанием уровней их сформированности;
- перечень и характеристику личностных, в том числе моральных качеств, которыми должен обладать выпускник курса для успешной реализации профессиональных умений и успешного продолжения обучения.

Модель выпускника курса отличается от моделей специалиста и выпускника вуза меньшим набором умений, знаний и личных качеств, а также тем, что часть перечисленных характеристик может непосредственно не использоваться в профессиональной деятельности специалиста, но необходима выпускнику курса для успешного продолжения процесса обучения (в том числе возможности освоения знаний, являющихся логическими последователями знаний, сформированных у обучающегося в результате изучения им данного курса).

На основе модели выпускника курса назначаются технологии обучения соответствующим дисциплинам, включая и типы средств контроля достигаемых в ходе и достигнутых в результате обучения уровней сформированности знаний и умений.

Изложенный системный подход позволяет оптимизировать образовательную программу, исключив необоснованное дублирование и нарушение логической взаимосвязи содержания составляющих ее дисциплин, а также судить о достигнутом качестве обучения как о количественно выражаемой степени приближения результатов обучения к эталонам, заданным моделями выпускника вуза и выпускника учебного курса по каждой изученной дисциплине. Другой, не менее сложной задачей является создание моделей обучаемого.

## 2.2. Концептуальное моделирование информационных систем

Известные приложения концептуального моделирования информационных систем (КМИС) разработаны для управления комплексными экспериментальными исследованиями, проектными разработками и многопроцессорными вычислительными и информационными системами [92–96].

Существенные отличия КМИС от других описанных выше подходов состоят в следующем:

- модель включает описание исполнительных средств, что позволяет включить план реализации проекта в сферу формального анализа модели и численно оценивать качество реализации;
- КМИС допускает типизацию как процессов, так и объектов КМПО, тем самым значительно расширяя возможности формального исследования консистентности модели;

– предусмотрены такие методы синтеза, как выбор фрагмента реализации, что создает основу для автоматизации формирования и сопоставления альтернативных сценариев реализации и, главное, для комплексной автоматизации всех этапов моделирования в рамках единого подхода.

Концептуальная модель предметной области (КМПО) в рамках технологии КМИС предназначена для представления знаний об информационных объектах и процессах обработки знаний в разрабатываемой вычислительной системе – системе обработки информации.

Построение концептуальной модели соответствует переходу от описательного представления знаний к их формальному представлению на декларативном языке, допускающем единственную интерпретацию. КМПО является декларативной, так как в ней описываются состав, структура и отношения между объектами и процессами, независимо от конкретного способа их реализации в компьютере.

Концептуальная модель наряду с описанием структуры информационных объектов и процессов обработки информации, способов их взаимодействия отражает такие свойства, как принадлежность процесса или объекта к некоторому типу, количественные характеристики объектов и процессов. В связи с этим, помимо деления элементов модели на объекты и отношения между ними, выделяется класс атрибутов (или свойств), вступающих с собственно объектами модели (информационными объектами и процессами) в бинарные отношения, описываемые функционально.

Таким образом, КМПО в технологии КМИС включает:

- множества элементов модели (объектов и процессов);
- отношения, задаваемые над множествами элементов модели;
- множества атрибутов объектов и отношений;
- множества функций (функциональных отношений между информационными объектами, процессами и их атрибутами).

Первые два из перечисленных выше компонентов образуют схему модели предметной области (далее везде, кроме специально оговоренных случаев, под моделью предметной области понимается концептуальная модель), а последние два – модели атрибутов и количественных характеристик, входящих в состав модели предметной области (ПО).

Схемой концептуальной модели предметной области называется кортеж:

$$S_{\text{КМП}} = \langle P, O, H_p, H_o, In, Out, s \rangle, \quad (2.1)$$

где  $P = \{p_i\}$  – множество процессов обработки информации;  $O = \{o_j\}$  – множество информационных объектов КМП (данных);  $H_p, H_o$  – отношения иерархии процессов и информационных объектов;  $In : P \rightarrow B(O)$  – отношения «входные информационные объекты процесса – процесс»;  $Out : P \rightarrow B(O)$  – отношения «процесс – выходные информационные объекты»;  $s$  – отношения следования процессов.

*Процесс* – это некоторое преобразование (отображение) входного подмножества объектов (данных) на другое их подмножество, именуемое выходным. При построении КМП процесс рассматривается как декларативное представление задачи, решение которой возможно в данной предметной области, элемент описания причинно-следственных связей относительно производимого в предметной области преобразования информации.

Понятие информационного объекта симметрично понятию процесса. *Информационные объекты* используются при решении задач, являются результатами их решения, порождаются процессами обработки информации. Описания информационных объектов так же, как и описания процессов, эволюционируют по мере роста степени проработки концептуального проекта, в ходе которой первоначальное декларативное их определение становится все более процедурным за счет задания для объектов модели признаков типа, местонахождения в системе (привязки к конкретным ресурсам – модулям хранения).

Описываемые в схеме модели предметной области отношения устанавливаются между некоторым процессом (объектом) и некоторым подмножеством множеств  $P$  и  $O$  (элементом  $B(P)$ ,  $B(O)$ , где  $B(\bullet)$  – булеан). Отношения иерархии  $H_p, H_o$  устанавливают соответствие между отдельными процессами (объектами) и множествами подчиненных им процессов (объектов). Интерпретация иерархических отношений зависит от их типа – атрибута отношения иерархии. Отношения иерархии представлены в форме функциональных отображений, частично определенных на множествах  $P$  и  $O$ , областями значений которых являются  $B(P)$  или  $B(O)$ .

Последний компонент схемы КМП – отношения следования, задающие частичный порядок выполнения процессов:

$$s : P \rightarrow B(P), \{p_m\} = s(p_i), \quad (2.2)$$

где  $\{p_m\}$  – множество процессов, выполнение которых должно строго предшествовать выполнению некоторого процесса  $p_i$  ( $p_m \in s(p_i)$ ).

Каждый из перечисленных в (2.1) компонентов схемы модели предметной области имеет свою семантическую интерпретацию. При обсуждении КМПО можно говорить о двух различных видах интерпретации – декларативной и процедурной. Их взаимная непротиворечивость позволяет совместить оба подхода и использовать первый при построении описаний предметной области, а второй – при получении на их основе процедурных спецификаций и самих алгоритмов.

Каждой тройке «входные объекты процесса – процесс – выходные объекты процесса» может быть поставлено в соответствие предложение вида (2.3), являющееся аналогом предложений вычислимости, рассматриваемых в [74]:

$$in(p_i) \xrightarrow{P_i} out(p_i). \quad (2.3)$$

Предложение вычислимости (2.3) в концептуальной модели предметной области рассматривается в двух аспектах: как аксиома вычислимости для процессов самого нижнего уровня иерархии и как теорема вычислимости для процессов промежуточных уровней иерархии, существование доказательства которой является одним из условий корректности модели, проверяемых в ходе анализа разрешимости КМПО.

*Атрибуты*, характеризующие элементы предметной области, можно разбить на два класса. К первому относятся описательные характеристики, общие для всех элементов модели предметной области: имена объектов, их исполнителей, типы отношений иерархии; ко второму классу – количественные характеристики. В дальнейшем под моделью атрибутов понимается модель описательных характеристик.

Модель атрибутов в концептуальной модели образуется следующим кортежем:

$$A_{\text{КМПО}} = \langle N_p, T_p, n_p, N_o, T_o, n_o, E_p, T_{ep}, t_p, E_o, T_{eo}, t_o, T_h, t_{hp}, t_{h0} \rangle, \quad (2.4)$$

где  $N_p, T_p$  – множества имен и типов процессов;  $N_o, T_o$  – множества имен и типов объектов;  $E_p, T_{ep}, E_o, T_{eo}$  – множества имен и типов исполнителей процессов и объектов соответственно;  $T_h = \{\&, \vee, *\} \cup N$  ( $N$  – множество натуральных чисел) – множество типов отношений иерархии процессов и объектов;  $n_p : P \rightarrow N_p$ ;  $n_o : O \rightarrow N_o$ ;

$t_p : P \rightarrow T_{ep}$ ;  $t_o : O \rightarrow T_{eo}$  – функции, описывающие текущий набор имен элементов КМПО;  $t_{hp} : P \rightarrow T_h$ ;  $t_{ho} : O \rightarrow T_h$  – функции, задающие отношения иерархии процессов и объектов соответственно.

Имена процессов и объектов могут задаваться с использованием терминов предметной области и отражать смысл соответствующих элементов модели. С точки зрения процедурной интерпретации имена элементов модели являются комментариями действий по преобразованию информации и алгоритмических структур представления данных.

*Атрибуты (признаки)*, связываемые с отношениями иерархии, позволяют расширить описательные возможности модели и определять такие отношения, как процесс – подпроцессы (объект – компоненты объекта); процесс – варианты процесса (объект – варианты представления объекта); итеративный процесс – тело процесса (множество – элемент множества).

Отношение «&» (композиция) может рассматриваться как аналог используемого в семантических сетях отношения «*part-of*» («есть–часть») – построение абстрактного объекта агрегацией его элементов [98].

Отношение « $\vee$ » (классификация) может рассматриваться как аналог используемого при задании иерархии в семантических сетях отношения «*is-a*» («есть–некоторый»), указывающего, что понятие верхнего уровня есть обобщение для группы понятий ниже.

Отношение «\*» (итерация для процессов или множество – элемент множества для объектов) позволяет определять в КМПО итеративные процессы, описывать регулярные композиции информационных объектов.

Тип процесса (определяемый именем типа из  $T_p$ ) указывает на метод, алгоритм реализации процесса. Однотипные процессы используют однотипные входные объекты, формируют однотипные результаты, имеют тождественные по типам структуры (однотипные подпроцессы). Однотипные объекты в КМИС должны состоять из наборов однотипных подобъектов.

Аппарат типов в КМПО используется для связи описываемых в модели процессов и объектов с их реализациями и частично соответствует правилам типобразования, принятым в языках программирования высокого уровня. Существенным отличием КМПО



является использование типов процессов наряду с типами объектов (данных).

Количественные характеристики в КМИС задаются для отдельных процессов и объектов и позволяют определять показатели надежности, эффективности проектируемой системы в целом на основе значений, заданных для отдельных ее компонентов. К числу характеристик относятся надежность, временные, емкостные показатели, интерпретируемые в зависимости от вида элемента модели, к которому они принадлежат (объект или процесс), и от положения, занимаемого этим элементом в иерархической структуре (лист дерева или промежуточный уровень иерархии).

Для концептуальных моделей определены допустимые подмножества структур и разработаны алгоритмы анализа целостности моделей. Для фрагмента КМПО, характеризующего некоторый выбранный процесс модели, введено понятие «шаблон». Шаблон определяет преобразование входных объектов в выходные, выполняемое процессом, а также способ его реализации на следующем (нижнем) уровне иерархии [99]. Совокупность представленных в КМПО знаний может быть признана корректной, если на различных уровнях иерархии в модели действительно представлены спецификации одного и того же процесса. Использование шаблона позволяет упростить задачи анализа модели, сводить оценку корректности всей модели в целом к последовательному рассмотрению корректности отдельных ее фрагментов – шаблонов описания.

Сформулированные для концептуальных моделей правила присвоения имен, выбора имен типов, определения иерархических отношений и отношений взаимодействия (декомпозиции и построения шаблонов), описания отношений следования позволяют обеспечить синтаксическую корректность и частичную семантическую целостность модели, контролируют получение модели, пригодной для последующего синтеза процедурных спецификаций.

Анализ разрешимости концептуальной модели проводится путем доказательства утверждений вычислимости вида (2.5)

$$in(p_i), s(p_i) \Rightarrow p_i, out(p_i), \quad (2.5)$$

где  $in(p_i)$  – множество входных информационных объектов процесса  $p_i$ ;  $s(p_i)$  – множество процессов, предшествующих процессу  $p_i$ ;  $out(p_i)$  – множество выходных информационных объектов процесса  $p_i$ .

В работе [92] приводится доказательство эквивалентности выводов в системе, соответствующих всей концептуальной модели

в целом, а также совокупности выводов для отдельных шаблонов. Данное свойство модели и методов анализа разрешимости позволяет существенно уменьшить вычислительную сложность алгоритмов (линейный рост вычислительной сложности при увеличении модели).

По завершении построения и анализа концептуальной модели, соответствующего этапу представления знаний о предметной области в формальной модели декларативного типа, возникают задачи перехода к алгоритмической модели. Подготовка исходной информации для этапа алгоритмической реализации заключается в выборе фрагмента реализации и генерации процедурных спецификаций для данного фрагмента. Выбор фрагмента состоит в выделении подмножества модели, достаточного для реализации выбранных задач. При определении фрагмента могут опускаться как ИЛИ-ветви в иерархических структурах, так и элементы промежуточных уровней иерархии. Генерация процедурных спецификаций рассматривается как синтез решения выбранных задач предметной области, описанных в концептуальной модели, на некотором процедурном языке описания алгоритмов. Таким образом, процедурная спецификация может быть построена для любого неэлементарного процесса модели, она представляет собой упорядоченный в соответствии с типом декомпозиции заданными потоками данных и отношениями следования вызов процедур реализации соответствующих подпроцессов.

Методика концептуального проектирования в значительной степени реализована в рамках инструментальной системы «Концептуальный проект» [100].

Однако известные средства сопровождения КМПО [101–103] не поддерживают работу с пространственными функциями, проведение многовариантных расчетов, имитационные режимы исследования объекта моделирования и ГИС-технологии.

Все программные средства не рассчитаны на исследование объекта моделирования в динамическом режиме, что необходимо в исследуемой проблематике. Методы анализа и прогноза динамических характеристик объектов традиционно развиваются теорией управления (см., например, [44]). Наиболее близкие идеи положены в основу ситуационного подхода к управлению динамическими объектами. Однако в теории управления нет средств, поддерживающих открытую модель предметной области, что весьма существенно для управления моделированием ИКОС. Поэтому до опи-

сания особенностей ситуационного подхода к управлению целесобразно рассмотреть методы системной динамики, нашедшие применение в моделировании различных социально-экономических систем [105] и предоставляющие удобную среду для разработки и модификации моделей динамических объектов.

### 2.3. Разработка концептуальной модели интеллектуальной компьютерной обучающей системы

В качестве методологической основы для представления алгоритмов в работе ИКОС используется модель объекта с дискретными состояниями. Основу такой модели составляет идея, что для любого субъекта обучения тем или иным способом можно выделить конечное число состояний, в которых он может пребывать в каждый момент времени. Тогда развитие процесса обучения связано с переходами объекта из одного состояния в другое. В математике такая концепция в качестве способа абстрагирования плодотворно используется достаточно давно: марковские цепи, теория массового обслуживания, теория формальных грамматик и автоматов и т.д.

Работа по созданию ИКОС основана на технологии графосимвольного программирования (ГСП) как наиболее подходящей для реализации событийного программирования.

Для уточнения понятия состояния, используемого в работе, определимся с принятой в технологии графосимволического программирования [26] концепцией модели алгоритма. Будем выделять следующие три основных типа универсальных алгоритмических моделей:

- первый связывает понятие алгоритма с наиболее традиционными понятиями математики – вычислениями и числовыми функциями. Наиболее известная и изученная модель такого типа – *рекурсивные функции*;

- второй основан на представлении об алгоритме как о некотором детерминированном устройстве, способном выполнять в каждый отдельный момент лишь примитивные операции. Одним из многочисленных представителей этого типа является *машина Тьюринга*;

- третий тип алгоритмических моделей – это преобразование слов в произвольных алфавитах, в которых элементарными

операциями являются подстановки. Среди моделей этого типа наиболее известны *канонические системы Поста*, *нормальные алгорифмы Маркова* и т.д.

Для технологии графосимволического программирования наиболее подходит первый тип формализации понятия алгоритма, когда произвольная программа интерпретируется некоторой вычислимой функцией:

$$A: in(D) \rightarrow out(D), \quad (2.6)$$

где  $in(D)$  – множество входных данных программного модуля  $A$ ;  $out(D)$  – множество выходных (вычисляемых) данных программного модуля  $A$ .

Определим *граф состояний*  $G$  как ориентированный помеченный граф, вершины которого – суть состояния, а дугами отмечаются переходы системы из одного состояния в другое. Каждая вершина графа помечается соответствующей локальной вычислимой функцией  $f_k$ . Одна из вершин графа, соответствующая начальному состоянию, объявляется начальной вершиной, и, таким образом, граф оказывается инициальным. Дуги графа проще всего интерпретировать как *события*. С позиций данной работы *событие* – это изменение состояния объекта  $O$ , которое влияет на развитие процесса обучения.

На каждом конкретном шаге работы алгоритма в случае возникновения коллизии, когда из одной вершины исходят несколько дуг, соответствующее *событие* определяет дальнейший ход развития вычислительного процесса алгоритма. Активизация того или иного события так или иначе зависит от состояния объекта, которое, в свою очередь, определяется достигнутой конкретизацией структур данных  $D$  объекта  $O$ .

Для реализации *событийного управления* на графе состояний  $G$  введем множество предикативных функций  $P = \{P_1, P_2, \dots, P_l\}$ . Под предикатом будем понимать логическую функцию  $P_i(D)$ , которая в зависимости от значений данных  $D$  принимает значение, равное 0 или 1. Дугам графа  $G$  поставим в соответствие предикативные функции. Событие, реализующее переход  $S_i \rightarrow S_j$  на графе состояний  $G$ , инициируется, если модель объекта  $O$  на текущем шаге работы алгоритма находится в состоянии  $S_i$  и соответствующий предикат  $S_{ij}(D)$  (помечающий данный переход) истинен.

В общем случае предложенная концепция (без принятия дополнительных соглашений) допускает одновременное наступление

нескольких событий, в том случае, когда несколько предикатов, помечающих дуги (исходящих из одной вершины), приняли значение истинности. Возникает вопрос: на какое из наступивших событий объект программирования должен отреагировать в первую очередь?

Традиционное решение этой проблемы связано с использованием механизма приоритетов, в связи с чем все дуги, исходящие из одной вершины, помечаются различными натуральными числами, определяющими их приоритеты.

Определим универсальную алгоритмическую модель технологии графосимволического программирования четверкой  $\langle D, \mathfrak{F}, P, G \rangle$ , где  $D$  – множество данных (ансамбль структур данных) некоторой предметной области (для конкретного объекта программирования  $O$  структуры его данных  $D \in D$ );  $\mathfrak{F}$  – множество вычислимых функций некоторой предметной области;  $P$  – множество предикатов, действующих над структурами данных предметной области  $D$ ;  $G$  – граф состояний объекта  $O$ .

Таким образом, в технологии графосимволического программирования в качестве универсальной алгоритмической модели предлагается использовать абстрактную модель  $\langle D, \mathfrak{F}, P, G \rangle$ , основанную на *графе состояний*.

Граф в данном случае заменяет текстовую (вербальную) форму описания алгоритма программы, при этом:

1) реализуется главная цель – представление алгоритма в визуальной (графосимволической) форме;

2) происходит декомпозиционное расслоение основных компонент описания алгоритма программного продукта. Так, структура алгоритма представляется графом  $G$ , элементы управления собраны во множестве предикатов  $P$  и, как правило, значимы не только для объекта  $O$ , но и для всей предметной области. Спецификация структур данных, а также установка межмодульного информационного интерфейса по этим данным пространственно отделена от описания структуры алгоритма и элементов управления.

Предложенная алгоритмическая модель  $\langle D, \mathfrak{F}, P, G \rangle$  в конечном счете описывает некоторую вычислимую функцию  $f_G(D)$  и в этом смысле может служить «исходным материалом» для построения алгоритмических моделей других программ. Последнее означает, что технология ГСП допускает построение иерархических алгоритмических моделей. Уровень вложенности граф-моделей в ГСП не ограничен.

Структура алгоритмической модели  $\langle D, \mathfrak{Z}, P, G \rangle$  во многом зависит от выбранного способа декомпозиционного расслоения объекта обучения на множество состояний  $S$  и множество событий, определяемых предикативными функциями  $P$ . В каждой конкретной предметной области эта задача решается индивидуально и, как правило, не вызывает затруднений.

Основной задачей декомпозиции является разделение целого на части. При необходимости этот процесс повторяется, что приводит к иерархическим древовидным структурам, которые определяют отношения концептуальной модели как связи ее элементов с соответствующими подэлементами на каждом уровне иерархии модели. Для разных структур моделей предметной области и степени формализации знаний существуют различные подходы к построению концептуальной модели. Одним из таких подходов является функционально-целевой подход (ФЦП), развитый для класса задач с древовидными моделями предметной области [66]. Исходная посылка функционально-целевого подхода – управление через целеполагание (формирование многоуровневой древовидной системы целей управления). В ФЦП эта иерархия целей используется не только как обычное средство наглядного структурного описания, но и как инструмент структурно-алгоритмического проектирования системы, обеспечивающий учет особенностей структуры предметной области. Модели, разработанные с помощью ФЦП, основаны на двухоперационных алгебрах целей и действий. Функционально-целевой подход вводит соответствие между целями различных уровней концептуальной модели по принципу: каждой цели соответствуют функции, обеспечивающие ее достижение, которые, в свою очередь, являются целями, достигаемыми на следующем, более низком уровне иерархии модели. Использование этих моделей обеспечивает формальную основу синтеза систем, в структурно-алгоритмической организации которых отражена структура целей моделирования. Для задач с древовидными моделями предметной области доказана теорема о покрытии, которая заключается в следующем: система, построенная из подсистем, покрывающих подзадачи основной целевой задачи системы, покрывает основную целевую задачу системы [67].

При проведении системных исследований для формирования совокупности целей и задач, которые должны быть решены в интересах рассматриваемой проблемы, строится типовое дерево целей, которое содержит следующие уровни:

– верхний уровень, который может быть представлен как соответствующая парадигма или исходная концептуальная схема постановки проблемы;

– средний уровень – концепция как руководящая идея, ведущий замысел или конструктивный признак в различных видах деятельности;

– нижний уровень – цели как составные элементы поведения и сознательной деятельности человека, которые характеризуют предвосхищение в мышлении результата деятельности и путей его реализации с помощью определенных средств; к этому же уровню можно отнести задачи как поставленные конкретизированные цели, которые стремятся достигнуть.

Иерархические модели достаточно просты и наглядны, обычно они хорошо отражают реальные взаимосвязи предметной области. Кроме этого, построение модели сложного объекта в виде иерархической многоуровневой системы наиболее естественно согласуется с общепринятым в настоящее время модульным принципом программирования. Использование модульности целесообразно и при интеграции уже созданных моделей элементов исследуемой предметной области. Как уже говорилось, иерархическая система лучше адаптируется к изменениям решаемой задачи и обладает большей надежностью (ошибка в какой-либо подмодели не всегда распространяется на всю систему).

Концептуальная модель (КМ) (*conceptual model*) – это определенное множество понятий и связей между ними, являющихся смысловой структурой рассматриваемой предметной области. В качестве предметной области в данной работе рассматривается некоторая система профессионального образования, элементами которой являются обучаемые, преподаватели, представленные в компьютерном виде дидактические материалы и тесты для проверки их усвоения, база данных для регистрации групп обучаемых и фиксации результатов учебного процесса и т.п. Эти элементы находятся во взаимодействии. В частности, то, что делает обучаемый, зависит от действий преподавателя, а имеющиеся средства обучения оказывают влияние на действия преподавателя. При системном подходе к организации учебной работы, которому старается следовать автор, необходимо учитывать все возможные взаимодействия. В частности, требуется учитывать не только влияние средств обучения на преподавателя, но и влияние преподавателя на средства обучения, т.е. дидактические материалы должны сис-

тематически пересматриваться и совершенствоваться в соответствии с тем, как на них реагируют обучаемые, использующие их. Это обуславливает необходимость использования гибкой формы представления дидактических материалов, позволяющей оперативно вносить изменения и дополнения в них. Наиболее эффективный способ решения указанной проблемы заключается в использовании электронной формы представления дидактических материалов. Заметим, что применение компьютерных технологий для представления дидактических материалов обуславливает необходимость формального определения синтаксиса и семантики используемых для этого данных. В излагаемом подходе это делается посредством определения концептуальной модели виртуального курса и операционной семантики этой модели.

Концептуальная модель в настоящей работе базируется на представлении объекта моделирования в виде древовидного И-ИЛИ графа, отображающего декомпозицию структурных элементов этой предметной области (ПО) в соответствии с их организационными связями. Объекты ПО атрибутированы наборами входных и выходных ресурсов (ими могут быть некие характеристики объектов, данные и т.п.) и наборами процессов, осуществляющих преобразование одних ресурсов в другие. Подчиненные элементы ПО доминируются элементами вышележащего уровня – суперобъектами, что индуцирует отношение частичного строгого порядка, лежащее в основе любой иерархии. Декомпозиция некоторого элемента по типу И определяет необходимые для его функционирования подобъекты, декомпозиция по типу ИЛИ (она предусмотрена и для процессов, точнее, для наборов порождаемых этими процессами ресурсов) позволяет ввести в модель альтернативные варианты, подлежащие сопоставлению в ходе исследования объекта моделирования. Элементам КМ различных уровней иерархии при необходимости назначаются исполнители, которые должны обеспечить их реализацию в компьютере. Иерархическое описание, естественно, вносит некоторые ограничения на структуру отображаемых объектов, но зато позволяет существенно повысить конструктивность процедур исследования объекта на различных уровнях описания, а также облегчить формальный анализ самой модели. Наиболее наглядным представлением иерархических моделей является графическое. Следовательно, для поддержки начальных этапов организации моделирования необходимо наличие графического редактора, предоставляющего возможность построения древовидной структуры с указанием типа декомпозиции каж-



дой конкретной вершины графа. С помощью аппарата типизации элементов ПО поддерживается ее корректность и консистентность, а также автоматизируются выборка исходных данных для расчетов и генерация баз данных для хранения результатов моделирования.

При работе над сверхзадачей необходимо ее разбить, для чего выявить главную задачу и ряд подзадач, даже еще более мелких подзадач. Система должна откликаться на разнородность главных задач, и тем самым появляется возможность повышения эффективности применения систем обучения (сверхзадача – система, подзадачи – обучение технологов, конструкторов, экономистов, организаторов производства и т.п.).

Таким образом, состав ИКОС включает в себя:

- информационно-поисковую систему, отвечающую на вопросы обучаемого;
- объединение автоматизированного обучения с автоматизированным обслуживанием пользователя, причем под обслуживанием понимается режим программного управления работой пользователя по уточнению формулировки задачи, конструированию и тестированию программы ее решения, подготовки и вводу исходных данных, выполнению вычислений;
- сочетание самостоятельной работы пользователя в режиме разделения времени с автоматизированным обучением и (или) обслуживанием.

## 2.4. Синтез рекуррентного алгоритма параметрического синтеза математической модели системы обучения

В процессе обучения принимает участие широкий круг специалистов с различной социальной ориентацией и различными приложениями в системе. Они работают с различными областями знаний, применяют разные приемы при анализе и решении задач, принятии решений. Различна их роль в организации обучения: методисты на основе анализа моделей изучаемых предметных областей формулируют задачи системе обучения и определяют основные направления проводимых работ; инженеры-программисты проводят непосредственно настройку системы и анализируют результаты ее работы; специалисты в области педагогики определяют необходимую структурно-алгоритмическую организацию ИКОС, выбирают соответствующие технические средства; инже-

неры по радиоэлектронике разрабатывают и настраивают недостающие специфические элементы технических систем (например, сопряжение ЭВМ с АЦПУ), запускают систему в эксплуатацию, поддерживают ее работоспособность; программисты в соответствии с алгоритмом обучения создают программное обеспечение системы обучения. Таким образом, организация ИКОС требует привлечения специалистов с различной профессиональной ориентацией.

Рассмотрим граф  $G$ , в котором множество вершин  $V$  отождествляется с действиями участников, а множество дуг  $E$  определяет связи между действиями и порядок их выполнения [68]:

$$G = (V, E), \quad (2.7)$$

где

$$V = (V_1, V_2, \dots, V_N); E = (E_1, E_2, \dots, E_M). \quad (2.8)$$

Установим следующее смысловое значение вершин графа  $G$ :

ПЗ – постановка задачи обучения;

АП – построение алгоритма обучения;

ТС – выбор технических средств;

НС – создание новых технических средств;

АУ – построение алгоритмов управления;

ПО – отладка программного обеспечения;

ОР – обработка результатов;

ПМ – построение моделей;

ПП – построение модели предметной области обучения;

КП – получение конечного результата.

Модель организации ИКОС представлена на рис. 8.

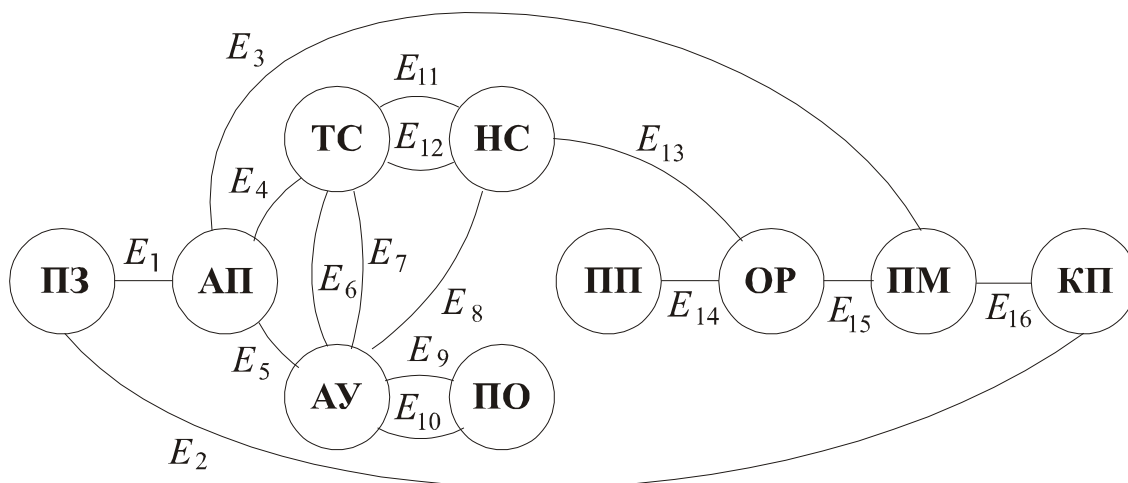


Рис. 8. Модель организации процесса обучения

Процесс создания новых элементов аппаратного обеспечения может оказать влияние на проведенный выбор технических средств и даже приводить к частичному изменению согласованной вначале номенклатуры технических средств ( $E_5$ ).

Построение алгоритма обучения (АО) и отладка программного обеспечения (ПО), возможно, приведут к изменению состава и функций технических средств ( $E_7, E_{12}$ ).

После окончания настройки программно-аппаратных средств системы проводят процесс обучения, в результате которого получают результат обучения, для устранения недочетов в котором может потребоваться коррекция некоторых программ ( $E_{16}$ ).

В случае неудовлетворительного результата может потребоваться коррекция поставленных задач ( $E_{20}$ ).

Процесс обучения характеризуется непрерывным изменением целей управления ИКОС, изменчивостью условий функционирования систем обучения, зависящих от внешних возмущающих условий и от состояния ИКОС, требования к действиям по управлению ИКОС постоянно изменяются и уточняются.

Управление ИКОС с точки зрения детерминированности может характеризоваться показателями вариативности как некоторый технологический процесс сбора, обработки и представления информации. Процесс управления ИКОС представляет собой некоторое действие из множества возможных действий  $A$ , направленных на реализацию управляющих воздействий. Каждое действие ИКОС определяется состоянием ее элементов и поданными на эти элементы управляющими воздействиями, т.е. каждому объекту множества сопоставима пара объектов, таких, что один из них принадлежит множеству состояний элементов ИКОС, а другой – множеству управляющих воздействий.

Таким образом, множество  $A$  определяется декартовым произведением множества  $U$  возможных воздействий на исполнительные элементы ИКОС и множества  $S$  возможных состояний системы,  $A = U \otimes S$ .

Для решения задачи структурно-алгоритмического синтеза ИКОС необходимо построить модель данной предметной области и соответствующую ей в определенном смысле модель ИКОС на основе функционально-целевого подхода, задать критерии эффективности функционирования системы, определить механизм по-

строения эффективных систем на базе предложенных моделей и выбранного критерия. Формальные рекуррентные модели предметной области ИКОС основаны на иерархической структуре задач управления системой обучения.

ИКОС является организованной совокупностью множества задач. Эти задачи образуют классы  $G_i$  объектно ориентированных задач:

$$G = \{G_i\}, i = 1, \dots, N, \quad (2.9)$$

где  $N$  – число классов. Каждый из представителей классов, в свою очередь, разбивается на совокупность методоориентированных процессов.

Процесс обучения в рассматриваемой предметной области представляется деревом декомпозиции целей обучения. Система строится из таких подсистем, которые обеспечивают покрытие соответствующих подзадач основной целевой задачи многоуровневой системы.

Пусть в результате проведенной декомпозиции задачи построено дерево действий автоматизированной системы обучения и определен набор примитивов:

$$T_{ij}, i = \left[ \overline{1, N_j} \right], \quad (2.10)$$

где  $N_j$  – число классов эквивалентных действий на нижнем  $j$ -м уровне дерева действий.

Построение виртуальной микроструктуры ИКОС производим «снизу вверх», в направлении, обратном декомпозиции задачи. Предполагаем, что нижний уровень системы реализован из элементов макроструктуры – некоторых виртуальных модулей, составляющих алфавит  $M$ . Элемент макроструктуры в общем случае характеризуется состоянием  $S$ , управляющим воздействием  $U$ , входной информацией  $W$  и выходной информацией  $V$ :

$$V = M_j(U, S, W). \quad (2.11)$$

Таким образом, атомарная функциональная операция  $L_j$  задается тройкой:

$$L_j = M_i(U, S). \quad (2.12)$$

Следовательно, алфавит функциональных атомов задается декартовым произведением алфавита модулей на пространстве их управлений и состояний:

$$L = M \otimes U \otimes S. \quad (2.13)$$

Будем считать, что атомарная операция  $L_j$  реализуема в системе, если

$$\exists M_i \in M, \exists u_i \in U, \exists s_i \in S, \quad (2.14)$$

то  $L_j(W) = M_i(u, s, W) \forall W$ .

Цепочка  $F$  функциональных атомов реализуема в системе, если реализуемы все составляющие ее атомы в заданной ею последовательности и обеспечены механизмы последовательного и параллельного запуска, соответствующие операциям  $\oplus$  и  $\otimes$ .

Рекуррентное применение понятия реализуемости в системе приводит к следующему общему утверждению: формула  $f^k \in S^k$  реализуема в системе тогда и только тогда, когда реализуемы в системе все входящие в нее формулы  $f^{k+1} \in S^{k+1}$  в последовательности, определяемой  $f$ , и обеспечены механизмы, соответствующие  $\oplus$  и  $\otimes$ .

Данное утверждение есть не что иное, как требование гомоморфизма  $\Gamma$  модели предметной области  $k$ -го уровня детализации  $A^k$  на  $k$ -й иерархический уровень системы  $C^k: \Gamma_k: A^k \rightarrow C^k$ , что в свою очередь влечет за собой требование гомоморфизма полной модели  $A^k$  комплексной предметной области на автоматизированную систему  $C^k$ . Такую систему  $C^k$  будем называть системой, покрывающей предметную область  $A^k$ .

В любой покрывающей  $A^k$  системе  $C^k$  можно выделить подсистему  $C_0^k$  (возможно, виртуальную), изоморфную  $A^k$ :

$$\forall C^k: A^k \rightarrow C^k, \exists \tilde{N}_0 \in \tilde{N}^k; \Phi \underset{\Gamma}{\leftrightarrow} C_0^k. \quad (2.15)$$

Такую систему  $C_0^k$  будем называть системой, адекватной проблемной области (или адекватной системой). Адекватная система является минимальной из всех покрывающих систем: если покрывающая система не тождественна адекватной, то в ней существует одна или несколько подсистем, не участвующих в покрытии  $A^k$ .

Следовательно, анализ комплексной предметной области обучения и построение ее модели определяют и оптимальную (адекватную) структуру автоматизированной системы в этой области.

Элемент макроструктуры  $ME_{ij}$ ,  $i = \overline{1, N}$ , нижнего  $j$ -го уровня, покрывающий примитивы  $T_{ij}$ -го уровня декомпозиции задачи, характеризуется состоянием  $S_i$ , управляющим воздействием  $U_i$ , входной информацией  $W_i$ , выходной информацией  $V$ . Тогда элемент макроструктуры  $ME_i$  ( $j-1$ )-го уровня имеет следующие характеристики:

$$\begin{aligned}
 U_i^{j-1} &= \bigcup_i U_i^j; i = \overline{1, N}; \\
 S_i^{j-1} &= \bigcup_i S_i^j; i = \overline{1, N}; \\
 W_i^{j-1} &= \bigcup_i W_i^j; i = \overline{1, N}; \\
 V_i^{j-1} &= \bigcup_i V_i^j; i = \overline{1, N}.
 \end{aligned} \tag{2.16}$$

Получили, что элемент макроструктуры следующего уровня имеет векторные характеристики.

Предположим, что построено гомоморфное отображение виртуальной макроструктуры  $ME_i^{j-1}$  на реальную программно-аппаратную реализацию исполнительных элементов нижнего уровня автоматизированной системы:

$$\Gamma: ME_i^{j-1} \rightarrow P_k^L. \tag{2.17}$$

Тогда в соответствии с условием покрытия различных элементарных задач действиями исполнительных элементов модуль  $P_k^L$ , адекватный виртуальному макроэлементу  $ME_i^{j-1}$ , должен иметь следующий набор характеристик:

$$P_k^L = \left\{ \begin{array}{l} U_1, \dots, U_N \\ S_1, \dots, S_N \\ W_1, \dots, W_N \\ V_1, \dots, V_N \end{array} \right\}. \tag{2.18}$$

Таким образом, предложенный подход к моделированию позволяет достичь оптимальных параметров систем управления ИКОС.

Для количественной характеристики алгоритмов управления вводятся параметры, характеризующие качество этих алгоритмов. Определяются принципы и способы построения параметров алгоритмов для любого уровня организации системы по известным параметрам атомарных алгоритмов. Задание критерия качества позволяет выбирать алгоритмы из одного класса эквивалентности на основе анализа показателей качества.

Организация взаимодействия исследователей с автоматизированной системой, выбор средств постановки задачи – один из кардинальных вопросов разработки систем, ориентированных даже на одну предметную область [69]. Если же система ориентирована на комплексную предметную область, проблема выбора средств взаимодействия с системой по своей значимости становится сравнимой с проблемой организации самой системы. Постановка задачи управления ИКОС осложняется следующими характерными аспектами:

- в системе одновременно присутствуют несколько понятийных аппаратов (пропорционально числу групп обучаемых, педагогов, экспертов и т.д.), зачастую слабо связанных между собой [70];

- представители отдельных групп, как правило, в совершенстве знают свою предметную область либо даже ее часть, а в смежных областях их знания носят весьма общий характер, следствием этого является неизбежная множественность центров принятия решения и, следовательно, точек взаимодействия человека с системой;

- вследствие обширности комплексной предметной области практически невозможно, да и нецелесообразно априори полностью определять понятийный аппарат в какой-либо отдельной предметной области и, следовательно, в комплексной области в целом, поэтому система понятий должна быть открытой.

Рекуррентная декомпозиция целей управления ИКОС и действий соответствующей автоматизированной системы на основе функционально-целевого подхода позволяет достаточно легко формализовать задачу структурного синтеза системы управления ИКОС, адекватной по структуре задачам соответствующей предметной области, что обеспечивает практическую реализацию ква-

зиадекватных автоматизированных систем, рассматриваемых в работе [71].

Формальная рекуррентная модель организации действий (и, следовательно, алгоритмов управления проектированием) в многоуровневых автоматизированных системах управления ИКОС представляет собой совокупность элементов множества  $\Sigma^k$ , две алгебраические операции  $\otimes$  и  $\oplus$  и систему отношений эквивалентности действий по выполнению целевой задачи системы. Таким образом, для множества классов эквивалентности имеется множество операций над представителями классов:

$$\left\{ \left\{ z_i^k \right\}_{l=1}^N \right\}_{k=1}^K \leftrightarrow \left\{ \left\{ Q_{i,i+1}^k \right\}_{i=1}^{N_k-1} \right\}_{k=1}^{K-1}, \quad (2.19)$$

где  $N_k$  – число классов эквивалентности на  $k$ -м уровне. Введем понятие формулы управления, которое определяется следующим образом. Формула управления  $k$ -го уровня детализации есть графическая запись соответствующей цепочки из  $\Sigma^k$ . Пусть некоторый  $i$ -й класс эквивалентности на  $k$ -м уровне иерархии  $z_i^k$  является объединением классов эквивалентности нижнего уровня  $k+1$ :

$$z_i^k = z_{i,1}^{k+1} \cup z_{i,2}^{k+1} \cup \dots \cup z_{i,N_k}^{k+1} \dots \quad (2.20)$$

Тогда  $i$ -й алгоритм  $\psi_i^k$  выполнения процесса управления на  $k$ -м уровне выразится как выполнение операций  $Q_{l,l+1}$  над представителями классов нижнего уровня иерархии:

$$\psi_i^k = z_{i,1}^{*k+1} Q_{i1,i2}^{*k+1} z_{i,2}^{*k+1} Q_{i2,i3}^{*k+1} z_{i,3}^{*k+1} \dots \quad (2.21)$$

В общем случае операции  $Q_{i,i+1}$  могут быть разными для разных уровней, т.е.  $Q_{i,i+1}$  принадлежат некоторому множеству  $Q_k$  операций для данного уровня  $k$ :

$$Q_{i,i+1}^k \subset Q^k \forall k. \quad (2.22)$$

Рассмотрим дерево рекуррентной структуры автоматизированной системы управления ИКОС (рис. 9). В общем случае на каждом  $j$ -м уровне иерархии для каждого класса эквивалентности имеется набор операндов, которыми являются представители под-



классов эквивалентности нижнего  $(j + 1)$ -го уровня, две алгебраические операции  $\otimes$  и  $\oplus$  и дискриминатор, т.е. правило выбора операнда или выражения из данного класса  $j$ -го уровня. В качестве операндов дискриминатора  $j$ -го уровня выступают предикаты эквивалентности нижнего  $(j + 1)$ -го уровня, поскольку внутри рассматриваемого класса объекты являются эквивалентными.

Совокупность операций, операндов и дискриминатора представляет собой типичный макропроцессор, причем операнды и выражения являются макросами, а дискриминатор фактически определяет тип макровызова. Таким образом, ссылка на данный класс эквивалентности некоторого  $j$ -го уровня есть макровывод. Дискриминатор данного класса – «скелет» макропроцессора, его системная часть. Выражения и операнды представляют собой возможные макросы, один из которых актуализируется дискриминатором.

Структура таких макропроцессоров (рис. 10) идентична на любом уровне иерархии организации многоуровневой ИКОС. Введение понятия макропроцессора обеспечивает логическую основу процессов синтеза исполнимых программ управления обучением по рекуррентным описаниям действий в многоуровневой ИКОС.

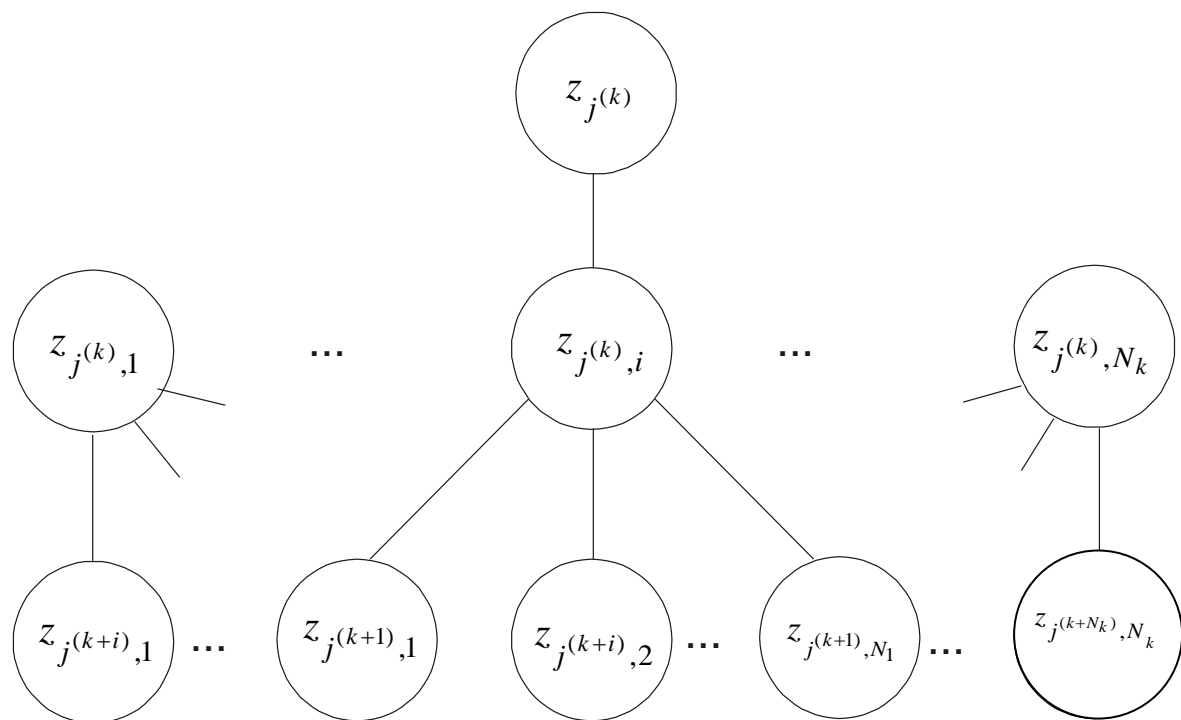


Рис. 9. Иерархия классов эквивалентности

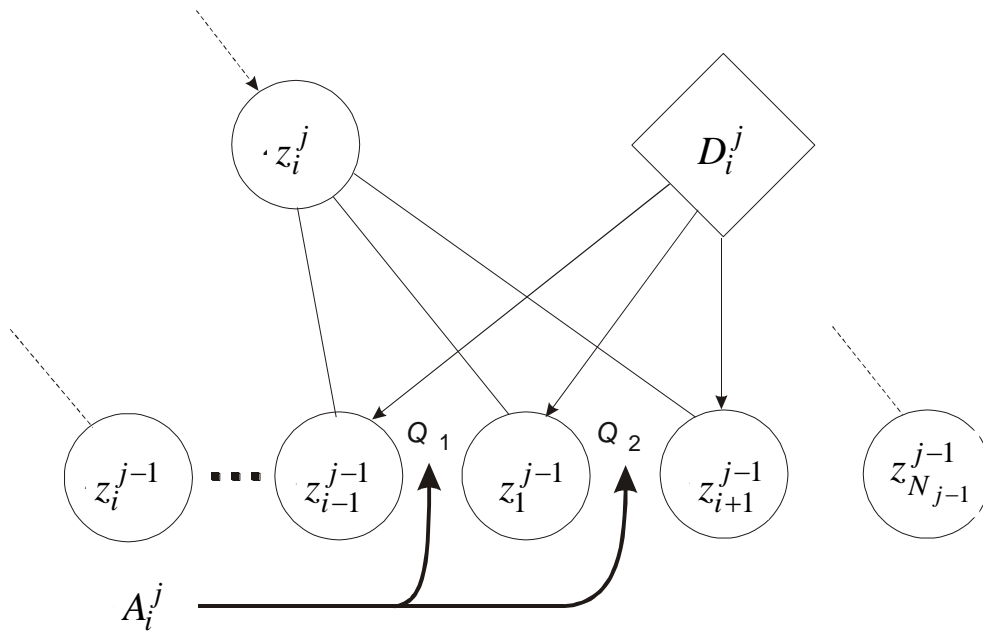


Рис. 10. Структура макропроцессора  $j$ -го уровня декомпозиции

Рассмотрим процедуру построения представителей некоторого класса эквивалентности на определенном уровне организации системы. Пусть задана рекуррентная модель многоуровневой автоматизированной системы управления ИКОС в виде следующих наборов:

1. Набор атомов:

$$L = \{L_i\}, i = \overline{1, N_L},$$

где  $N_L$  – длина исходного атомарного алфавита.

2. Набор отношений эквивалентности:

$$\left\{ \{R_i^k\}_{i=1}^{N_k} \right\}_{k=1}^K, \quad (2.23)$$

где  $N$  – количество классов эквивалентности на  $k$ -м уровне;  $K$  – количество уровней иерархии.

3. Набор формул построения процесса из subprocessов:

$$\left\{ \{\Psi_i^k\}_{i=1}^{N_k} \right\}_{k=1}^K. \quad (2.24)$$

4. Набор дискриминаторов:

$$\left\{ \{D_i^k\}_{i=1}^{N_k} \right\}_{k=1}^K. \quad (2.25)$$

Заданный набор отношений  $R_i^k$  определяет набор классов эквивалентности

$$\left\{ \{z_i^k\}_{i=1}^{N_k} \right\}_{k=1}^K. \quad (2.26)$$

Дискриминатор  $k$ -го уровня выбирает одного представителя  $\dot{z}_i^k$  из множества вариантов алгоритмов  $i$ -го класса эквивалентности.

Пусть на некотором  $k$ -м уровне имеется  $N_k$  классов эквивалентности, смежных одному классу эквивалентности более высокого уровня  $z_i^{k+1}$ . Классы эквивалентности  $z_i^k$  уровня  $k$  имеют следующие множества своих представителей:

$$\begin{aligned} & \begin{array}{ccc} * & * & * \\ z_1 = \{z_{11}, z_{12}, \dots, z_{1M_1}\}, & & \\ & \dots & \\ & \begin{array}{ccc} * & * & * \\ z_N = \{z_{N1}, z_{N2}, \dots, z_{NM_N}\}, \end{array} & & \end{array} \end{aligned} \quad (2.27)$$

где  $M_I$  – число представителей в  $I$ -м классе эквивалентности  $k$ -го уровня.

Процесс построения представителей некоторого  $i$ -го класса эквивалентности  $(k - 1)$ -го уровня задается следующей процедурой:

1) выбирается один из возможных представителей каждого класса эквивалентности  $k$ -го уровня;

2) выполняется над представителями заданная операция  $\otimes$  или  $\oplus$ . Рассмотрим выполнение этой процедуры на примере. Пусть имеется некоторый фрагмент дерева действий, адекватного декомпозиции целевой задачи предметной области (рис. 11). Для каждого уровня этого дерева запишем формулу управления процессом обучения [72]:

$$\begin{aligned} & \begin{array}{cccc} * & * & * & * \\ z = z_1 \cup z_2 \cup z_3; A: z = z_1 \otimes (z_2 \oplus z_3); z_1 = z_{11} \cup z_{12}; \\ & * & * & * & * & * & * \\ z_2 = z_{21} \cup z_{22}; A_1: z_1 = z_{11} \otimes z_{12}; A_2: z_2 = z_{21} \otimes z_{22}; \\ & * & * & * \\ z_3 = z_{31} \cup z_{32}; A_3: z_3 = z_{31} \otimes z_{32}. \end{array} \end{aligned} \quad (2.28)$$

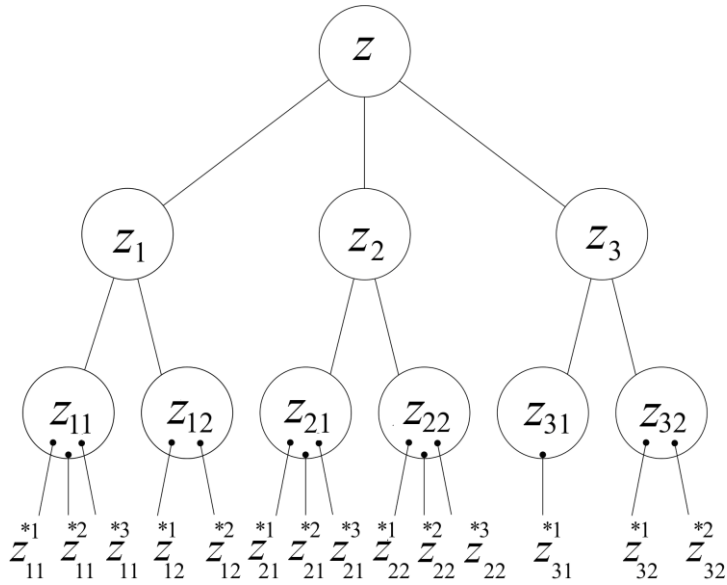


Рис. 11. Фрагмент дерева действий

Пусть исходный алфавит имеет следующий набор символов:

$$L = (A, B, C, D, E, F).$$

Пусть классы эквивалентности нижнего уровня в этом примере имеют следующие наборы представителей:

$$z_{11} = (ABC, CBA, BAC), M_{11} = 3;$$

$$z_{12} = (ABCA, ACA), M_{12} = 2;$$

$$z_{21} = (DEF, FDE, FEA), M_{22} = 3;$$

$$z_{22} = (FD, ACF, CBF), M_{22} = 3;$$

$$z_{31} = (FCFA), M_{31} = 1;$$

$$z_{32} = (DECAF, FCA), M_{32} = 2, \quad (2.29)$$

где  $M_{ij}$  – число представителей.

Пусть в результате селекции представителей для организации алгоритма обучения на нижнем уровне выбраны последние цепочки. Тогда в соответствии с формулами построения алгоритмов более высокого уровня совокупная цепочка имеет вид

$$z = BAC \otimes ACA \otimes ((FEA \otimes CBF) \oplus (FCFA \otimes FCA)). \quad (2.30)$$

Определим количество представителей в классах эквивалентности на каждом уровне:

$$M_1 = M_{11} \cdot M_{12} = 3 \cdot 2 = 6; \quad M_2 = M_{21} \cdot M_{22} = 3 \cdot 3 = 9;$$

$$M_3 = M_{31} \cdot M_{32} = 1 \cdot 2 = 2; \quad M = M_1 \cdot M_2 \cdot M_3 = 6 \cdot 9 \cdot 2 = 108. \quad (2.31)$$

В рассматриваемом примере получено, что один из вариантов алгоритма обучения верхнего уровня реализуется с помощью цепочки действия  $z$ , а всего существует 108 различных вариантов алгоритмов обучения.

Определим общее число вариантов построения алгоритмов управления обучением.

Поскольку число вариантов выбора представителей из каждого класса на  $k$ -м уровне равно числу членов этого класса, количество представителей в классе эквивалентности  $z_i^{(k-1)}$  ( $k-1$ )-го уровня определится как произведение числа представителей каждого класса  $k$ -го уровня, смежного с классом  $z_i^{(k-1)}$ :

$$M_i^{k-1} = M_1 \cdot M_2 \cdot \dots \cdot M_N = \prod_{l=1}^N M_l. \quad (2.32)$$

Двигаясь по дереву функциональной организации алгоритмов управления ИКОС (см. рис. 11) «снизу вверх», получаем, что на нижнем уровне иерархии для каждого класса эквивалентности  $z_{il}^j$  число вариантов выбора элементов алгоритма управления равно количеству представителей в данном классе эквивалентности. Для каждого класса  $z_i^{(j-1)}$  более высокого ( $j-1$ ) уровня число альтернатив выбора вариантов построения алгоритма существенно больше и определяется произведением числа вариантов выбора в классах уровня ( $j$ ), смежных с классом  $z_i^{(j-1)}$ .

Общее число альтернатив выбора варианта организации алгоритма управления в многоуровневой системе автоматизированного обучения определяется произведением числа альтернатив выбора вариантов по всем классам эквивалентных действий нижнего уровня иерархии:

$$M = \prod_{i=1}^{N_j} M_i, \quad (2.33)$$

где  $M_i$  – число альтернатив выбора вариантов в  $i$ -м классе эквивалентности нижнего уровня;  $N_j$  – число классов эквивалентности нижнего уровня. Для оценки числа альтернатив выбора вариантов

организации алгоритмов на верхнем уровне иерархии предположим, что в каждом классе эквивалентности нижнего уровня имеется одинаковое число представителей, равное  $R$ , а число таких классов равно  $N$ . Тогда общее число вариантов выбора алгоритма обучения для многоуровневой системы будет равно  $M = R^N$ ; для  $R = 10$  и  $N = 6$  получаем 106 различных реализаций процесса обучения.

Таким образом, алгоритм управления в сложной многоуровневой автоматизированной системе управления ИКОС можно реализовать довольно большим числом вариантов. Выбор варианта управления в ИКОС основан на получении Парето-оптимального решения.

Процесс обучения будем представлять как преобразование множества знаний эксперта предметной области  $P$  во множество новых знаний в голове обучаемого  $B$  (рис. 12), полученное на основе имеющихся знаний о предметной области. Обозначим эту группу преобразований через  $F$ . Задача формулируется таким образом: надо найти неизвестную группу преобразований  $F$ , изоморфно переводящую множество  $P$  во множество  $B$ .

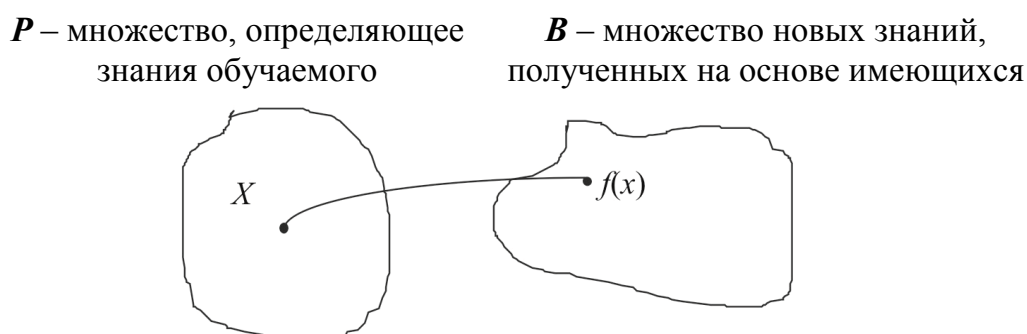


Рис. 12. Группа преобразований при обучении

Вид этого преобразователя не известен. Однако именно в задании оптимального преобразования  $F$  заключается умение педагога построить индивидуальный процесс обучения.

Разработка стратегий автоматизированного обучения непосредственно связана с разработкой методик традиционного обучения. Опытный педагог в зависимости от индивидуальности обучаемого может выбрать адекватную реакцию, т.е. указать и разъяснить ошибку, напомнить аналогичную задачу, предложить более простую задачу, решение которой поможет обучаемому найти

ошибку, вернуться к доучиванию или продолжить диалог для выяснения сути ошибки.

Нами в структуру ИКОС заложена стратегия обучения (управления), которую можно рассматривать как оптимальный путь достижения цели (стратегию должен задавать учитель, либо она автоматически вырабатывается в самой системе обучения). Заданная стратегия управления суть системы обучающихся (управляющих) процедур, выполняемых последовательно или параллельно, описываемых системой примитивов, связанных некоторыми отношениями подчиненности, иерархичности и т.п. В этом случае имеем объективно лучшую стратегию поступательного движения в области создания базы знаний обучаемого.

## 2.5. Структурная модель ИКОС с внешним объектом исследования

Создание ИКОС, способной эффективно передавать знания, формировать умения и навыки современного специалиста, требует обязательной проработки методологической основы организации процесса обучения.

Педагогическая психология как отрасль психологической науки возникла во второй половине XIX в. Ее развитие шло в неразрывной связи с развитием психологии в целом и определялось прежде всего теоретико-методологическими основами последней. В настоящее время психологическая наука развивается по нескольким принципиально разным теоретическим направлениям. В области педагогической психологии следует остановиться на следующих типах теорий учения [26–28]:

- ассоциативно-рефлекторная теория обучения;
- теория поэтапного формирования умственных действий и понятий;
- теория проблемно-деятельностного обучения;
- теория содержательного обобщения В. В. Давыдова, Д. Б. Эльконина (развивающее обучение);
- бихевиористская теория научения;
- гештальттеория усвоения.

Современное состояние психологической науки может быть охарактеризовано как сосуществование различных исследовательских парадигм. Отличия между теориями определяются тем, как понимается природа процесса учения, что в нем выделяется в ка-

честве предмета изучения, в каких единицах ведется анализ этого процесса.

В рамках создания ИКОС, ориентированной на передачу знаний, формирования навыков и умений, во многом зависящих от познавательной активности обучаемых и накопления ими конкретных приемов и способов профессиональной деятельности, выбрана теория поэтапного формирования умственных действий и понятий [29], обладающая следующими достоинствами:

- ведет обучаемого самым коротким путем к достижению учебной цели, что экономит время на поиск решения задачи и позволяет алгоритмизировать мыслительную деятельность. Высокий результат в обучении возможен, прежде всего, за счет четкого и обобщенного показа образца: как нужно выполнять конкретные действия;

- осуществляет жесткое управление процессом овладения знаниями, своевременным исправлением ошибок, организацией самоконтроля со стороны обучаемого по прохождению каждого этапа освоения профессионального действия;

- четкая ориентировка в выполнении того или иного действия способствует формированию у обучаемых уверенности в своих силах, что особенно важно для тех учеников, которые теряются в обычных условиях и не могут справиться с решением учебных задач;

- определяет основные средства обучения для каждого этапа, что позволяет сформировать полный набор СО для ИКОС.

Основными положениями теории поэтапного формирования умственных действий и понятий являются:

1. Идея о принципиальной общности строения внутренней и внешней деятельности человека. Умственное развитие, как и усвоение знаний, навыков, умений, происходит поэтапным переходом «материальной» (внешней) деятельности во внутренний, умственный план. В результате такого перехода внешние действия с внешними предметами преобразуются в умственные. При этом они подвергаются обобщению, вербализуются, сокращаются, становятся готовыми к дальнейшему развитию, которое может превышать возможности внешней деятельности.

2. Всякое действие представляет собой сложную систему, состоящую из нескольких частей:

- ориентировочной (управляющей);



- исполнительной (рабочей);
- контрольно-ориентировочной.

Ориентировочная часть действия обеспечивает отражение всех условий, необходимых для успешного выполнения данного действия. Исполнительная часть осуществляет заданные преобразования в объекте действия. Контролирующая часть отслеживает ход выполнения действия и при необходимости обеспечивает коррекцию как ориентировочной, так и исполнительной части действия. В различных действиях все перечисленные части обязательно присутствуют и имеют различный удельный вес.

3. Качество приобретаемых знаний, навыков и умений, понятий, развитие умственных способностей, зависящее от правильности создания ориентировочной основы деятельности (ООД). ООД – текстуально или графически оформленная модель изучаемого действия и система условий его успешного выполнения. Примером наиболее простой ООД являются инструкция по эксплуатации какого-либо прибора, операционная карта и т.д. Выделяют несколько типов ориентировочной основы.

Первый тип характеризуется неполной ООД. В ней указывается лишь исполнительная часть решения и образец конечного результата действия. Например: провести настройку режима работы усилительного каскада. При этом сам путь достижения результата (технология настройки) не указывается. Обучаемые самостоятельно методом проб и ошибок настраивают режим работы усилительного каскада. Усвоение порядка и правильности настройки приобретает затяжной, неосознаваемый характер и может найти применение только при решении аналогичных задач.

Второй тип ООД включает в себя все необходимые для выполнения действия ориентиры. В отличие от приведенного выше примера обучаемым точно указывается, что и в какой последовательности нужно задействовать, чтобы настроить работы усилительного каскада в заданном режиме. Это значительно сокращает время на обучение и достижение нужного результата, однако способствует формированию стереотипных действий, которые в изменившихся условиях не будут давать соответствующего эффекта.

Третий тип ООД отличается тем, что в нем все ориентиры деятельности представлены в обобщенном виде, характерном для целого класса явлений. Такой тип ООД иногда называют инвариантным, поскольку он отражает всю сущность профессиональной деятельности и ориентирует в наиболее общем способе решения

профессиональных задач. Пользуясь таким типом ориентировочной основы деятельности, обучающийся самостоятельно создает более частную ООД для выполнения конкретного действия, тем самым учится применять наиболее общие методы профессиональной деятельности к решению частных учебных и практических задач. В рамках инвариантной ООД обучаемому предоставляется возможность проявить творчество, инициативу, нестандартный подход к выполнению учебного действия.

4. Рассматривая процесс усвоения знаний как учебно-познавательную деятельность обучаемого, которая осуществляется в виде четко различимых по форме действий (материальная, речевая, умственная), состоящих из психических операций в каждом упражнении и следующих друг за другом в строго определенной последовательности и системе, процесс обучения разбит на ряд этапов, каждый из которых предназначен для решения конкретной дидактической задачи по формированию определенного навыка [30].

Высокий уровень развития современных компьютерных технологий делает необходимым переработку этапов формирования профессиональных навыков с точки зрения применимости средств обучения. Так, современные компьютеры, обладая богатым набором мультимедийных компонентов, успешно заменяют обычные доски и плакаты, демонстрируют учебный видео- и аудиоматериал. Это дает возможность реализовать начальный этап обучения с помощью мультимедийных СО.

Рассмотрим особенности формирования и отработки навыков действий с помощью тренажеров. В зависимости от решаемых задач тренажеры можно разделить на четыре группы:

1) функциональные тренажеры (ФТ), предназначенные для формирования наиболее простых и завершенных навыков работы с определенным устройством, органом управления и/или индикации;

2) процедурные тренажеры (ПТ), предназначенные для формирования навыков индивидуальных действий по управлению определенным технологическим процессом в штатных, нештатных или аварийных ситуациях;

3) комплексные тренажеры, предназначенные для отработки навыков сложных действий в составе одной бригады в различных ситуациях;

4) групповые тренажеры, предназначенные для отработки взаимодействия нескольких подразделений (групп, бригад, отделов и т.д.) в различных ситуациях.

Применение комплексных и групповых тренажеров ориентировано на отработку навыков сложных действий в составе одной бригады или взаимодействия нескольких подразделений. Таким образом, для рассматриваемой ИКОС актуально применение только функциональных и процедурных тренажеров.

Навыки базируются на знаниях, полученных на этапе теоретического обучения, но формируются в основном на тренажерах [31]. Процесс формирования знаний и навыков требует единой стратегии управления и контроля, поэтому программные средства обучения и тренажеры нужно рассматривать не как самостоятельные обучающие единицы, а как части единой ИКОС. Исходя из этого, в табл. 4 представлены этапы формирования профессиональных навыков и используемые СО, реализованные в данной ИКОС.

Выделение этапов формирования профессиональных навыков с точки зрения применимости СО позволило выделить следующие средства, необходимые ИКОС для эффективной передачи знаний, формирования умений и навыков: мультимедиа средства, функциональные и процедурные тренажеры.

*Таблица 4*

**Этапы формирования профессиональных навыков в ИКОС**

| Название этапа  | Основные задачи этапа  | Объект изучения   | Средства обучения                             |
|-----------------|--|-------------------|---|
| 1. Начальный    | Мотивация, целеполагание, общая ориентировка                                   | Описание          | Мультимедиа средства под управлением ИКОС     |
| 2. Ключевой     | Передача теоретических знаний (создание схемы ориентировочной основы действий) |                   |   |
| 3. Материальный | Формирование навыков практических действий                                     | Физический объект | Функциональные тренажеры под управлением ИКОС |
| 4. Речевой      | Умения решать стандартные производственные задачи                              | Модель            | Процедурные тренажеры под управлением         |

|               |   |  |      |
|---------------|---|--|------|
| 5. Умственный | Умения решать нестандартные производственные задачи |  | ИКОС |
|---------------|---|--|------|

В качестве примера ФТ рассмотрим использование АЛК. Достоинством такого процесса обучения является то, что АЛК используется не только на стадии контроля полученных знаний, умений и навыков, но и на стадии объяснения изучаемого материала.

Информация о степени усвоения и закрепления обучаемым изучаемых материалов, а также о приобретенных умениях и навыках, полученная с АЛК, используется ИКОС для более детальной проработки сложных для понимания обучаемым вопросов и выработки эффективных стратегий дальнейшего представления учебного материала.

В качестве ПТ целесообразно использовать САПР, так как именно они нужны для формирования навыков индивидуальных действий по управлению сложными действиями (например управление определенным технологическим процессом в штатных, нештатных или аварийных ситуациях).

Таким образом, организация процесса обучения с помощью ИКОС на основе теории поэтапного формирования умственных действий и понятий позволяет эффективно объединять процессы обучения и тренинга под управлением единой ИКОС, а также сформировывать необходимый набор СО.

Использование результатов применения новых информационных технологий, теории коммуникации и методологии теории поэтапного формирования умственных действий и понятий позволило разработать структурную модель ИКОС с внешним ОИ (рис. 13) [32].

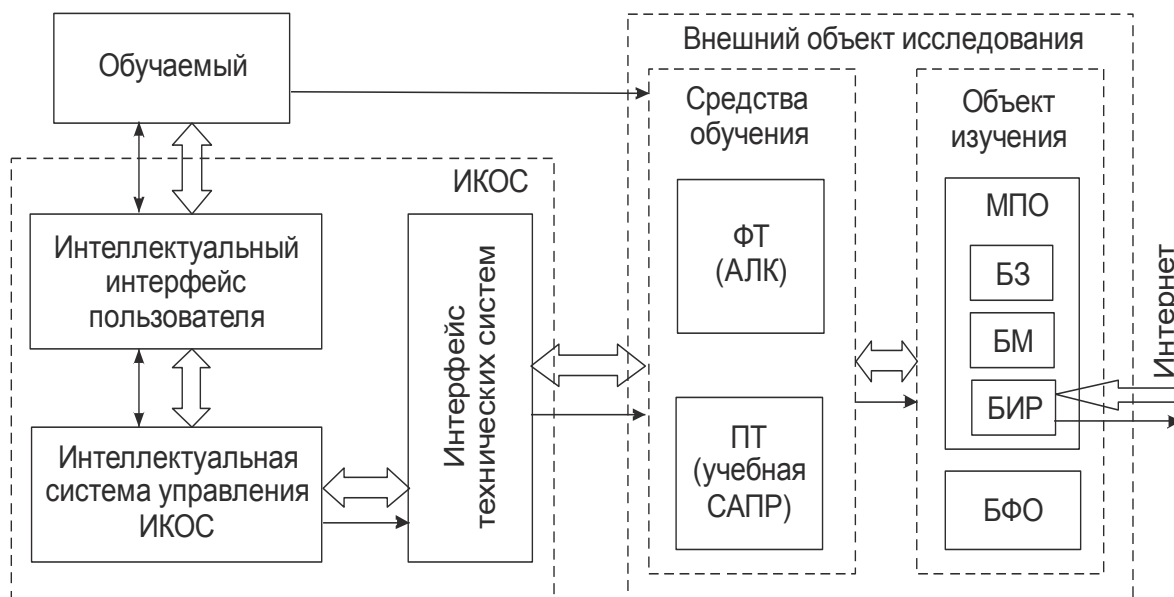


Рис. 13. Структурная модель ИКОС с внешним объектом исследования

Отличием данной структурной модели является использование концепции внешнего ОИ с открытой архитектурой, благодаря чему система получает возможность быстрой адаптации к изменениям в конкретной предметной области, что является очень актуальным, так как быстрые темпы развития науки влекут за собой постоянные изменения в сфере профессиональных знаний, умений и навыков современных специалистов.

Сделать вывод о необходимости выделения объекта изучения и соответствующих ему средств обучения во внешний ОИ позволил анализ процесса коммуникации обучающей системы и обучаемого (рис. 14), показавший важную роль коммуникативной среды в организации процесса обучения.

ОИ информационно обособлен от системы обучения, реализующей управление процессом формирования знаний и умений у обучаемого. Взаимодействие ОИ и ИКОС осуществляется через интерфейс технических систем (ИТС).

Внешний объект исследования состоит из наборов СО и набора объектов изучения. Набор СО сформирован на основе принятой методологии организации процесса обучения и состоит из функциональных и процедурных тренажеров. Мультимедийные средства обучения содержат интеллектуальный интерфейс пользователя (ИИП), поэтому их наличие во внешнем объекте нецелесообразно.

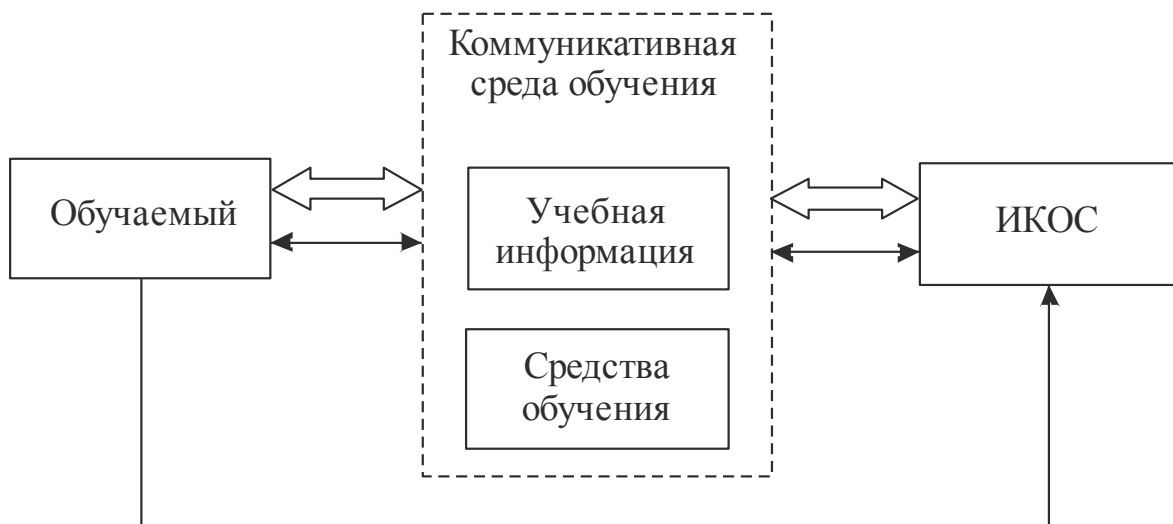


Рис. 14. Процесс передачи знаний, формирования умений и навыков

Набор объектов изучения сформирован на основе анализа процесса коммуникации обучающей системы и обучаемого и состоит из модели предметной области (МПО) и базы физических объектов (БФО). МПО состоит из базы знаний (БЗ), базы моделей (БМ) и базы интернет-ресурсов (БИР).

Вывод учебной информации осуществляется с помощью ИИП, АЛК или САПР в соответствии с этапами обучения в ИККОС.

Интеллектуальный интерфейс пользователя ИККОС отвечает за организацию диалога с пользователем, оптимальным образом приводя к достижению цели общения человека и ИККОС. Через него обучаемый получает учебный материал в виде текста, мультимедиа.

АЛК – один из перспективных видов организации лабораторных занятий, рекомендуемый для самостоятельного обучения в системе открытого технического образования [33–35].

Лабораторное оборудование и программно-методические средства этого типа позволяют по индивидуальному заданию обучаемого выбирать объект изучения из предлагаемого множества альтернатив, настраивать его параметры, конфигурировать заданную схему и режимы проведения эксперимента, обрабатывать результаты эксперимента и проводить их строгую математическую оценку. Здесь в полном объеме реализуется комплекс образовательных функций, возложенных на лабораторный практикум.

В последнее время с развитием и внедрением в процесс обучения виртуальных лабораторных практикумов активно обсуждается вопрос о необходимости сохранения традиционной формы выполнения лабораторных работ на физических лабораторных стендах. Особенно это обсуждается для простых объектов, для которых имеющиеся математические модели адекватно описывают изучаемые процессы. Однако именно на простых объектах обучаемый должен овладеть умением постановки эксперимента, грамотно применять это умение в своей практической деятельности при создании новых объектов, для которых модельное описание либо отсутствует, либо оно неточное. В этом случае главным в постановке эксперимента является определение либо уточнение структуры и параметров математической модели по экспериментальным данным.

Использование средств автоматизации в лабораторном оборудовании освобождает учащихся от рутинных операций на всех стадиях (управление объектом, съем показаний, обработка результатов и составление отчетов). Именно эти операции занимали большую часть времени при проведении эксперимента (лабораторной работы). Благодаря автоматизации стало возможно организовать новый путь развития у обучающегося индивидуальных творческих способностей, без увеличения длительности эксперимента.

Для успешной конструкторской работы нужен опыт, без которого трудно рассчитывать на успех. Цена, конкурентоспособность и другие потребительские свойства изделия в значительной степени зависят от технологии проектирования и качества принятия конструкторских решений. Иными словами, коммерческий успех во многом определяется человеческим фактором, т.е. зависит от уровня компетентности разработчиков и от их профессионального опыта.

Обучения проектированию – завершающий этап подготовки, где практически применяются знания фундаментальных дисциплин и смежных курсов, понимание технологии изготовления и т.д. На этом этапе подготовки специалистов видны все пробелы в знаниях, полученных на более ранних этапах обучения. Конструкторская подготовка требует много времени, и для того чтобы ускорить обучение, необходимо искать новые методики обучения и совершенствовать традиционные технологии [36–40].

Поэтому в процессе обучения в качестве ПТ целесообразно использовать САПР, так как именно они формируют навыки прак-

тических действий в реальных условиях или в максимально приближенных к реальным.

БИР предназначена для получения дополнительной информации, не содержащейся в модели предметной области. Информационные и коммуникационные технологии, включая Интернет, постепенно вытесняют традиционные формы коммуникаций. Рост числа находящихся в индивидуальном пользовании компьютеров с одновременным повышением их мощности, расширением и увеличением пропускной способности каналов связи, увеличением объема информации, в том числе и образовательного характера, создание программных продуктов, облегчающих ее поиск и получение, делают Интернет важным фактором информационного взаимодействия.

Целью включения интернет-модуля в состав внешнего объекта изучения является приобретение учащимися знаний о коммуникациях, адекватное понимание медиатекстов, использование средств коммуникации в профессиональных целях. Также это дает возможность включить дополнительную информацию в контекст общей базовой учебной информации.

У обучаемого должно сформироваться умение находить, подготовить, передавать и принимать требуемую информацию, в том числе и с использованием современных информационных технологий.

При работе в Интернете есть специфика интеграции. С одной стороны, Интернет выступает как источник информации, с другой – Интернет выступает как инструмент получения информации.

Таким образом, использование Интернета как средства массовой коммуникации в образовательных целях выполняет следующие функции: подача информации (как развлекательного, так и учебного характера) и овладение умениями использования технических средств, новых технологий поиска, переработки и представления информации. Благодаря этому обучаемые развивают способности восприятия информации с экрана, декодируя визуальный образ в вербальную систему, позволяющую анализировать сообщения и ориентироваться на понимание скрытого смысла информации (интерпретация скрытого, оценка скрытого, принятие личностной позиции по отношению к скрытому).

Исходя из этого можно представить набор требований, умений, показывающий готовность обучаемого к дальнейшей работе с



информацией в Интернете и жизни в высокотехнологическом обществе:

- умение пользоваться программными средствами (IE, OE и т.д.);
- умение пользоваться поисковыми системами и каталогами;
- умение целенаправленно находить нужную информацию;
- умение критически осмысливать информацию;
- умение перерабатывать и представлять информацию;
- умение использовать информацию в повседневной жизни.

Если человек обучен целенаправленному поиску информации, то он работает в Сети осознанно, а не спонтанно. В таком случае полнее раскрывается потенциал Интернета.

Таким образом, разработанная структурная модель ИКОС с внешним ОИ обладает следующими возможностями:

- объединенными процессами обучения и тренинга, за счет включения в архитектуру ИКОС модулей АЛК и САПР;
- методологией обучения, позволяющей эффективно передавать профессиональные знания, формировать навыки и умения, базирующейся на теории поэтапного формирования умственных действий и понятий;
- открытой архитектурой, позволяющей расширять, модернизировать и масштабировать ИКОС по мере необходимости;
- применением современных информационных технологий (технологии мультимедиа, гиперссылок, модуля работы с Интернетом).

---

### 3. Синтез системы управления компьютерным обучением

---

#### 3.1. Методы адаптивного управления системой обучения

Разрабатываемую нами систему обучения определяют как фрагмент среды через некоторую абстрагируемую модель и, естественно, состояние системы, причем состояние меняется, т.е. система движется. Изменение состояния системы определяется целью движения, т.е. критерием как мерой удовлетворения поставленных перед системой обучения задач. Процесс согласования движения с целью производится путем организации воздействия на систему, т.е. управления. Путь познания движения системы обучения базируется на шести понятиях: модель, состояние, движение, цель, критерий, управление [35].

Рассмотрим последнюю категорию системы обучения – это управление. Назначением процесса управления является обеспечение решения задачи, т.е. максимально эффективного обучения.

Однако достижением цели не исчерпывается перечень требований к системе обучения. Пользователь будет только тогда удовлетворен, когда при этом будет гарантировано высокое (соответствующее) качество процессов обучения, что измеряется назначенным показателем. Следует отметить, что, чем сложнее система, чем шире состав выполняемых ей функций, тем более разнообразные формы может принимать управление. Развитость системы обучения, большая степень ее свободы увеличивают диапазон возможных воздействий на нее, но только некоторые из них могут контролироваться целенаправленно. Схематично это представлено на рис. 15.

За базовый квалификационный признак построения управления системой обучения, определяющий ее облик и потенциальные возможности, в работе принят способ организации контура управления.

В работе используются наиболее конструктивные и ориентированные на практическое применение принципы адаптивных и самонастраивающихся систем, которые имеют дополнительную информацию о состоянии системы обучения и ее взаимодействии со средой в процессе управления с последующей перестройкой структуры системы и изменением ее характеристик (параметров) при отклонении от условий работы. При этом цель трансформации состоит в приближении характеристик системы обучения к априорным, которые использовались при синтезе управления. Таким образом, адаптация ориентирована на сохранение гомеостаза системы в условиях возмущений. Приведенный анализ можно интерпретировать схемой, представленной на рис. 16.

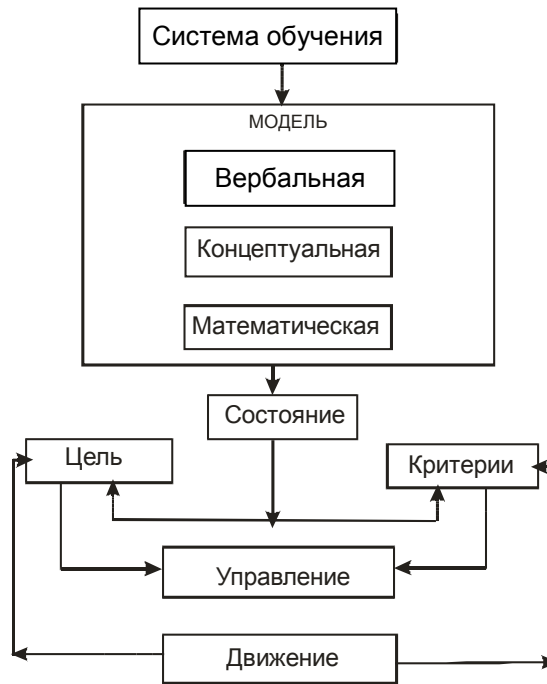


Рис. 15. Схема взаимодействия понятий системы обучения

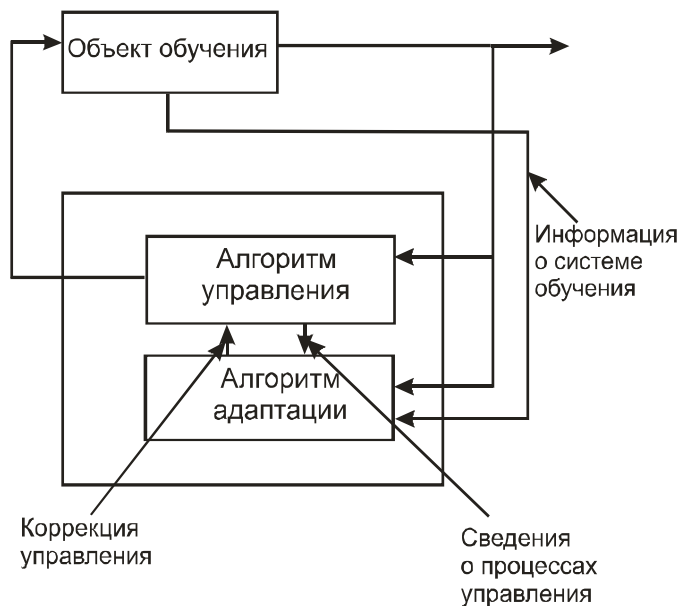


Рис. 16. Адаптивное управление системой обучения

Одним из главных вопросов в данной задаче является получение сведений о состоянии среды функционирования, без чего затруднительно проводить адаптацию.

Изучение и анализ динамики управления системой обучения будем проводить методом, предложенным А. А. Фельбаумом. Суть метода состоит в том, что на объект системы управления, кроме команд управления, подаются специальные тестирующие сигналы, реакция на которые заранее установлена для априорной модели.

По отклонению реакции системы от заранее установленной будем судить о взаимодействии системы обучения со средой.

В классе самонастраивающихся систем управления в процессе адаптации производится настройка на экстремум качества. Реализация адаптации и самонастройки управления в системе обучения в большей степени определяется назначением и техническим воплощением. Другой путь в преодолении априорной недостаточности состоит в совмещении процесса управления с процедурой его синтеза. Можно считать, что алгоритм управления есть результат синтеза, базирующегося на допущении детерминированного описания модели движения. Однако отклонения в движении принятой модели сказываются на точности движения объекта и на качестве обучения, т.е. приводят к отклонению параметров от экстремума критерия. Значит, следует строить управление как терминальное, производя анализ траектории в реальном времени и обновляя информацию о модели системы обучения и условий функционирования на весь оставшийся интервал управления по мере приближения к цели.

Задача принятия решений (ПР) возникает, когда присутствует несколько вариантов действий (альтернатив) для достижения заданного или желаемого результата. При этом требуется выбрать наилучшую в определенном смысле альтернативу [36].

Общую постановку задачи принятия решений, понимаемой нами как задача выбора из некоторого множества, можно сформулировать следующим образом.

Пусть  $X$  – множество альтернатив,  $Y$  – множество возможных последствий (исходов, результатов) ( $X$  и  $Y$ , вообще говоря, произвольные абстрактные множества). Предполагается существование причинной связи между выбором некоторой альтернативы  $x_i \in X$  и наступлением соответствующего исхода  $y_i \in Y$ . Кроме того, предполагается наличие механизма оценки качества такого выбора – обычно оценивается качество исхода. В некоторых случаях целесообразно полагать, что мы имеем возможность непосредственно оценивать качество альтернативы  $x_i$ , а множество исходов, по существу, выпадает из рассмотрения. Требуется выбрать наилучшую альтернативу, для которой соответствующий исход имеет наилучшую оценку качества.

Важным моментом является определение характера связи альтернатив с исходами. Эта связь может быть детерминистской

(или, как часто говорят, детерминированной), вероятностной или определяться разными видами неопределенности.

При этом первом случае на рис. 17 соответствует ПР в условиях определенности; точками на оси  $y$  обозначены исходы, соответствующие выбору альтернатив  $x_1, x_2, x_3$  (три альтернативы и три определенных исхода). Случай 2 характеризует задачу ПР в условиях неопределенности: после выбора любой из альтернатив  $x_1, x_2$  или  $x_3$  может быть указан лишь интервал расположения соответствующего исхода  $y$ . Случай 3 отражает ситуацию выбора в условиях риска. Показаны графики соответствующих плотностей распределения вероятностей наступления события  $y$  в зависимости от выбора альтернативы  $x_1, x_2$  или  $x_3$ .

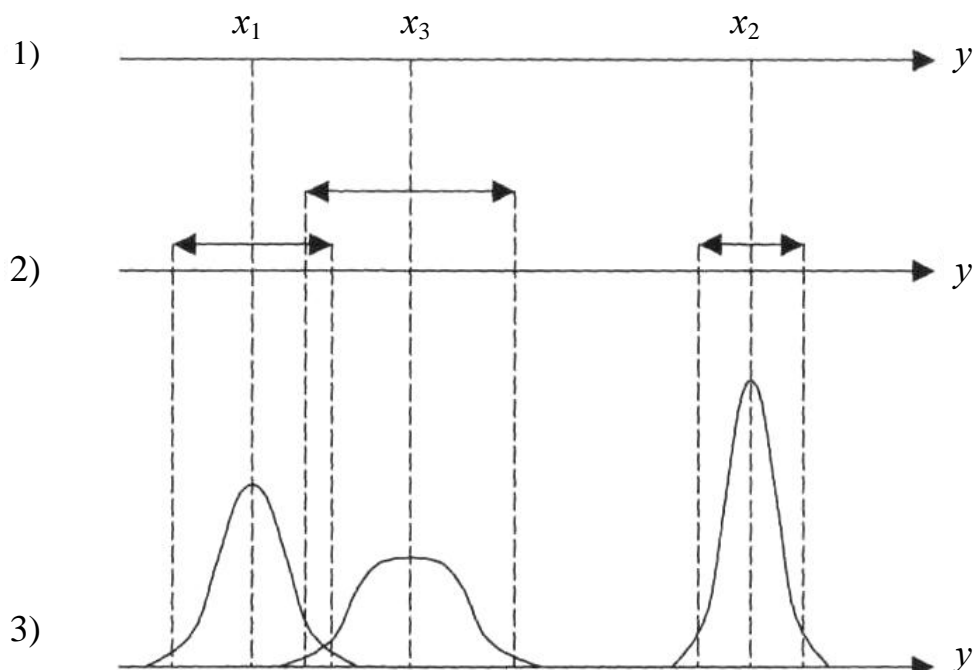


Рис. 17. Связь альтернатив с исходами при разных типах неопределенности

Заметим, что в каждом из рассмотренных случаев может дополнительно присутствовать свой механизм оценки качества исхода, не связанный непосредственно с механизмом появления  $y$  по заданному  $x$ .

Второй важный момент в общей задаче ПР состоит в изучении (задании) системы предпочтений лица, принимающего решение (ЛПР). Существенно, что второй момент, по сути, никак не связан с первым, и различные способы задания системы предпочтений

тений могут быть реализованы для каждого вида связи альтернатив с исходами.

В некотором смысле простейшая ситуация возникает, когда каждый исход можно оценить конкретным вещественным числом в соответствии с некоторым заданным отображением:

$$f : Y \rightarrow R. \quad (3.1)$$

В этом случае сравнение исходов сводится к сравнению соответствующих им чисел, например, исход  $y_j$  может считаться более предпочтительным, чем  $y_i$ , если  $f(y_j) > f(y_i)$  (задача максимизации). Исходы эквивалентны, если  $f(y_j) = f(y_i)$ .

Такая функция  $f$  называется целевой функцией, критериальной функцией, функцией критерия оптимальности или даже просто критерием оптимальности. Последнее название не вполне корректно, ибо критерий оптимальности – это, вообще говоря, некоторое правило, позволяющее отличать «оптимальные» решения (исходы) от «неоптимальных» и сравнивать исходы между собой. В данном случае это правило связано с заданием целевой функции  $f$ . Как известно из математики, однозначное отображение произвольного множества на множество вещественных чисел называется функционалом. Поэтому целевые функции будем называть целевыми функционалами.

Если предположить, что связь между множеством альтернатив и множеством исходов детерминистская:

$$y = \varphi(x), \quad (3.2)$$

то функция  $f$ , заданная на множестве  $Y$ , трансформируется в некоторую функцию  $J$ , заданную на  $X$  и являющуюся суперпозицией  $\varphi$  и  $f$ :

$$J : X \rightarrow R, \quad J = f \circ \varphi. \quad (3.3)$$

В этом случае задача выбора оптимального исхода сводится к задаче выбора оптимальной альтернативы на множестве  $X$  и решается непосредственно методами теории оптимизации.

Более реалистичной часто оказывается ситуация, когда в отличие от предыдущего случая «качество» или «полезность» исхода  $y$  оцениваются не одним числом  $f(y)$ , а несколькими. Иначе говоря, предполагается, что существует несколько показателей качества решения (критериев), описываемых функциями

$$f_k : Y \rightarrow R, \quad k = 1, 2, \dots, m, \quad (3.4)$$

причем каждую из частных целевых функций требуется максимизировать. Понятно, что в случае многокритериальных оценок исходов возникают существенно более сложные математические модели ситуации выбора, чем в однокритериальном случае. Критерии обычно противоречивы и, как правило, достигают максимумов в различных точках  $y \in Y$ . Следовательно, возникают не только алгоритмические трудности по решению соответствующих оптимизационных задач, но и чисто концептуальные трудности: что понимать под оптимальным решением в этом случае? Кроме того, здесь уже появляются и несравнимые по векторному критерию  $f = (f_1, \dots, f_m)$  варианты  $y_i, y_j$ . Более подробно многокритериальные модели принятия решений будут рассмотрены далее.

Ограничиваясь указанными выше тремя способами связи альтернатив с исходами и двумя способами описания предпочтений ЛПР на критериальном языке, получим таблицу основных задач выбора (рис. 18).

| Один критерий | Много критериев |                  |
|---------------|-----------------|------------------|
| $z$           | $Z$             | Определенность   |
| $\tilde{z}$   | $\tilde{Z}$     | Неопределенность |

Рис. 18. Основные задачи выбора

На рис. 18

$$z = f(y), f : Y \rightarrow R; \quad (3.5)$$

$$Z = f(y), f = (f_1, \dots, f_m), f_k : Y \rightarrow R, k = 1, 2, \dots, m.$$

Волна сверху означает наличие неопределенности в задаче ПР.

Необходимо отметить, что в настоящее время в приложениях часто применяется именно критериальный язык описания предпочтений, поэтому следующая важнейшая группа проблем – это формирование критериев и целевых функций (функционалов). Эти проблемы, как будет показано, решаются в тесной связи с методами преодоления различных видов неопределенностей на основе тех или иных гипотез.

Язык бинарных отношений – второй, более общий, чем критериальный, язык описания системы предпочтений ЛПР.

Предполагается:

1) отдельный исход сам по себе не оценивается и критериальные функции не вводятся;

2) каждая пара исходов  $y_i, y_j$  может находиться в одном из следующих отношений:

- $y_i$  предпочтительнее (строго доминирует)  $y_j$ ;
- $y_j$  предпочтительнее  $y_i$ ;
- $y_i$  не менее предпочтителен (не строго доминирует), чем  $y_j$ ;
- $y_j$  не менее предпочтителен, чем  $y_i$ ;
- $y_i$  эквивалентен  $y_j$ ;
- $y_i$  эквивалентен  $y_j$ ;
- $y_i$  и  $y_j$  не сравнимы между собой.

Будем далее полагать, что свои предпочтения пользователь устанавливает в некотором множестве  $A$ . В стандартном случае это множество исходов:  $A = Y$ . Однако при детерминистской связи  $X$  с  $Y$  возможно  $A = X$  или при многокритериальной оценке исходов  $A = f(Y)$ ,  $f = f_1, \dots, f_m$ . В последнем случае предполагается, что система предпочтений ЛПР задается непосредственно в пространстве векторных оценок исходов. При необходимости можно полагать, что это пространство и есть пространство исходов. В рассматриваемом случае система предпочтений пользователя задается с помощью соответствующего бинарного отношения  $R$  на  $A$ . Бинарным отношением на множестве  $A$  называется произвольное подмножество  $R$  множества  $A^2$ , где  $A^2$  – множество всех упорядоченных пар вида  $(a_i, a_j)$ , где  $a_i, a_j \in A$ . Имеем, следовательно,  $R \subseteq A^2$ , в том числе  $A^2 \subseteq A^2$ .

При синтезе интеллектуальных компьютерных обучающих систем предполагается, что существует несколько показателей качества управления, описываемых частными целевыми функциями:

$$f_k : Y \rightarrow R, \quad k = 1, 2, \dots, m, \quad (3.6)$$

которые требуется максимизировать.

В теории многокритериальных задач обычно используются следующие отношения доминирования:



$$(y_i, y_j) \in R_p \leftrightarrow \forall k : [f_k(y_i) \geq f_k(y_j)] \wedge [f_k(y_i) \neq f_k(y_j)]; \quad (3.7)$$

$$(y_i, y_j) \in R_s \leftrightarrow \forall k : [f_k(y_i) > f_k(y_j)]. \quad (3.8)$$

Здесь  $f = (f_1, f_2, \dots, f_m)$ . Отношение доминирования  $R_p$  называется отношением Парето,  $R_s$  – отношением Слейтера. Употребляется также запись

$$(y_i, y_j) \in R_p \leftrightarrow y_j \succ y_i, t = P, S. \quad (3.9)$$

Если для некоторой точки  $y^0 \in Y$  не существует более предпочтительной по Парето точки, т.е. такой точки  $y$ , что  $(y, y^0) \in R_p$ , то тогда точка  $y^0$  называется эффективным или Парето-оптимальным решением многокритериальной задачи  $f_k(y) \rightarrow \max$ ,  $k = 1, 2, \dots, m$ ;  $y \in Y$ .

Множество, включающее в себя все эффективные элементы множества  $Y$ , обозначается  $P_f(Y)$  или просто  $P(Y)$  (если ясно, о каком векторном критерии идет речь) и называется множеством Парето для векторного отношения

$$f : Y \rightarrow R^m, f = (f_1, \dots, f_m). \quad (3.10)$$

Очевидно,  $P(Y) \subseteq Y$ . Образ множества  $P(Y)$  в пространстве критериев  $R^m$  обозначается  $P(f)$ . Множество  $P(f) = f(P(Y))$  называется множеством эффективных оценок. Множество эффективных оценок называется также множеством Парето в пространстве критериев.

Смысл введенного понятия эффективного решения состоит в том, что оптимальный исход будем искать только среди элементов множества недоминируемых элементов  $P(Y)$  (принцип Парето). В противном случае всегда найдется точка  $y \in Y$ , оказывающаяся более предпочтительной с учетом всех частных целевых функций  $f_i(y)$ .

Целью решения данной многокритериальной задачи оптимизации выбора управляющих воздействий в ИКОС является получение экстремума функционала

$$f_k(y) \rightarrow \max_{y \in Y} \quad (3.11)$$

и выделение множества Парето  $P(Y)$ . При отсутствии дополнительной информации о системе предпочтений пользователя большего сделать нельзя.

Точно так же, как и в однокритериальных задачах выбора, цель решения многокритериальной задачи может быть сформулирована как задача построения ядра отношения доминирования  $R_p$  (отношения Парето). Легко доказать, что в этом случае

$$D(Y) = \max_{R_p} Y \quad (3.12)$$

с выполнением свойства внешней устойчивости множества Парето.

Таким образом, видим, что задание целевых функций для оценки качества исходов как в однокритериальном, так и многокритериальном случаях может порождать различные системы предпочтений, выраженные на языке бинарных отношений. При этом задача построения ядра оказывается эквивалентной либо задаче построения множества максимизаторов скалярной целевой функции, либо задаче построения множества Парето для векторной целевой функции.

### 3.2. Целеполагание в системах управления

В основе системно-кибернетического подхода лежат три фундаментальных принципа кибернетики:

1) *информационный*, поскольку любой процесс управления и развития неразрывно связан с передачей и обработкой информации, требующей затрат времени (причем затраты времени существенно различаются в разные исторические эпохи). Так, удастся ввести фактор времени и реализовать принцип историзма;

2) *управленческий*, позволяющий учитывать целеполагание, функционирование и направленность процессов развития;

3) *организационный*, учитывающий меру упорядоченности структуры и позволяющий объяснить необратимость процессов развития.

Новым в системно-кибернетическом подходе является то, что составляющие его аспекты рассматриваются в динамическом единстве. При этом организация и управление выступают как единое целое благодаря информации.

Информационный подход к проблеме ускорения научно-технического прогресса объективно выводит на измерение, оценку времени циркуляции информации в механизме управления, при-

чем последний выступает своего рода объединяющим фактором при исследовании поставленной проблемы.

*Развитие*, в широком философском смысле этого слова, не есть просто изменения вообще, присущие каждому движению, а изменения, связанные с процессом отображения, сопровождаемые упорядочением связей, накоплением информации, возникновением новых структур, их усложнением и детерминацией. Это процесс самоорганизации, в котором большое значение имеет генезис механизма управления [42].

Процессы развития складываются из великого множества контуров управления и (или) самоуправления. Каждый такой контур (будь то управление транспортным средством, заводом и т.п.) представляет собой целенаправленный информационно-управленческий процесс, состоящий из управляемого объекта и управляющего субъекта (управляющего звена), замкнутых прямой и обратной информационными связями. Каковы бы ни были отличия в частностях (многоуровневость, специфика конкретных областей деятельности и т.п.), структура этого механизма едина и может быть представлена в виде обобщенной модели, представленной на рис. 19.

Объектом научного рассмотрения являются в основном открытые системы (объекты). Воздействие внешней среды вызывает отклонение параметра объекта от нормы. Возникает информация для управления, замыкается обратная связь, что, в конечном счете, формирует замкнутые контуры и функциональные системы. Упорядоченность любого типа возникает в результате какого-то воздействия окружающей среды на систему, которая, приспосабливаясь к изменяющимся условиям, накапливает полезную для себя информацию, повышает уровень своей организации.

Следует отметить, что обратная связь может служить источником как стабилизации, так и неустойчивости. Уменьшение неустойчивости и усиление стабилизации – оптимальная стратегия управления. Стратегия управления, обеспечивающая устойчивость и оптимальность, своя для каждого объекта и воздействия. По этой причине изменение параметров объекта в процессе функционирования может привести к потере оптимальности или устойчивости.

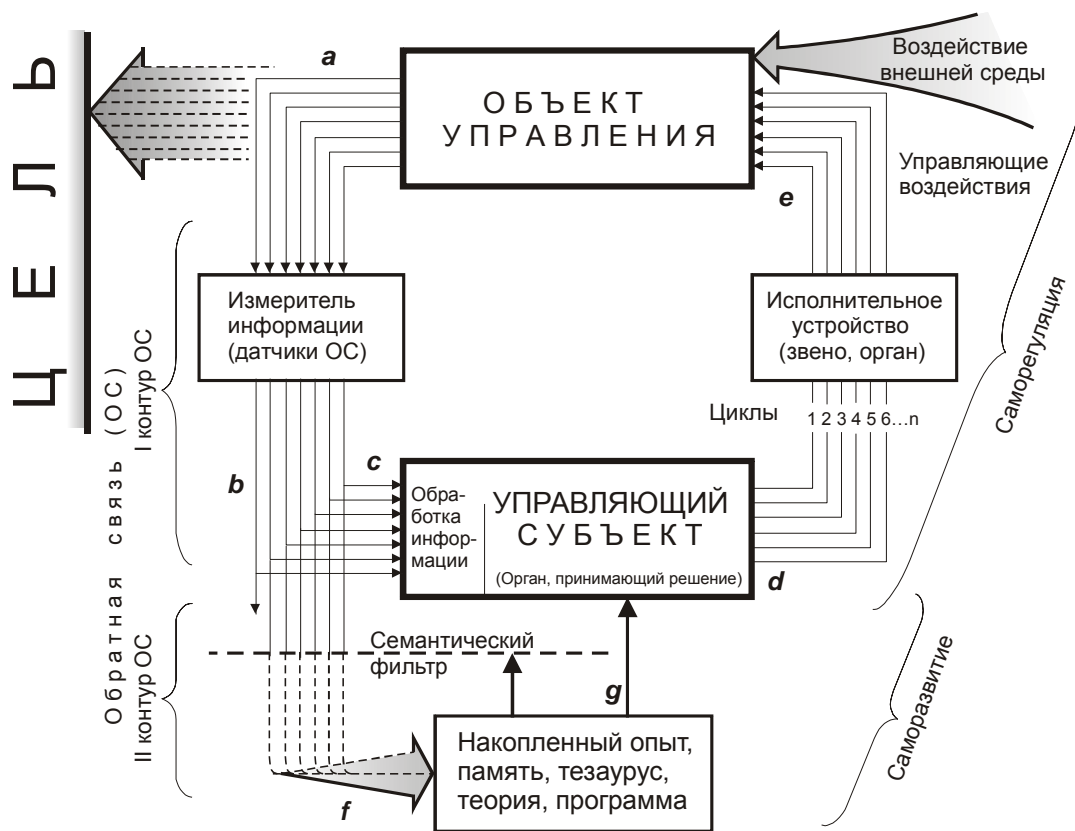


Рис. 19. Обобщенная модель механизма управления для самоорганизующихся систем

Истоки активности системы связаны с исходными моментами любого управленческого процесса – с целевой функцией и отклонением. Цель выступает как способ объединения различных действий в некоторую последовательность или систему, которую называют операцией.

Таким образом, целью данного раздела является развитие системно-кибернетического подхода к управлению ИКОС, анализ информационных характеристик и робастности систем управления, а также синтез событийной модели функционирования технологических процессов производства средств связи.

Введение управлений в сложные системы не только возможно, но и необходимо. Если рассматривать процессы деградации как обратные к эволюции, то, следовательно, и такими процессами возможно управлять [107]. Необходимость же управления деградационными процессами часто диктуется соображениями безопасности или даже выживания человека (экстремальные условия экологических катастроф, лечебные воздействия на больной организм и т.д.) [108, 109]. Поэтому сформулируем условия и принципы введения управления в сложные системы [110, 111].

Само понятие управления в сложных системах существенно отличается от понятия управления в классической теории автоматического управления, которое подразумевает компенсацию отклонения выходных координат от заданных значений (управление по отклонению) либо компенсацию возмущающих воздействий (управление по возмущению), либо и того, и другого (комбинированное управление) по принципу обратной связи. При этом критериями управления являются устойчивость системы по Ляпунову, выполнение ограничений на время переходных процессов (быстродействие) и достигаемая точность.

Под управлением в сложных системах будем понимать обеспечение достижения системой некоторого заданного аттрактора. Такой подход не противоречит известным вариантам постановки задачи синтеза управлений в различных системах.

Таким образом, целью управления в сложных системах является достижение системой некоторого заданного состояния. Это желаемое состояние системы определяется заданным аттрактором, а задачей управления является соответственно «проведение» системы из произвольного состояния к заданному аттрактору. Основным требованием при этом является неразрушение системы и обеспечение эффективности ее функционирования.

*Цель управления* – значения (соотношения значений) координат процессов в объекте управления или их изменения во времени, при которых обеспечивается достижение желаемых результатов функционирования объекта. Без отклонения нет информации для управления и самого процесса управления, нет развития. Система вне среды не может быть активной, ибо только ее взаимодействия со средой, возникающие при этом отклонения, противоречия создают необходимое условие активности системы, ее самодвижения в направлении самосохранения.

В соответствии с принятой концепцией математического моделирования динамики сложных систем произвольное состояние системы есть многообразие  $P_0(x^i)$ .

Система есть поле кососимметричных тензоров (форм объема фазового пространства  $\omega(p_i, g_j)$ ). Динамика системы изображается фазовым потоком. Динамические свойства системы оцениваются по скорости сжатия фазового потока при перемещении изображающей области фазового пространства в некотором заданном направлении (векторное поле  $i$ ) по величине производной Ли

$\mathcal{L}\omega(p_i, g_j)$ . Показано, что для диссипативных систем  $\mathcal{L}\omega(p_i, g_j) < 0$ . При достижении аттрактора  $\mathcal{L}\omega|_A = 0$ .

Проведем анализ полученной модели динамики с точки зрения решения задачи управления. Во-первых, будем использовать тот факт, что сужение производной Ли от формы объема на аттракторе равно нулю. Этот факт можно использовать как для идентификации имеющихся у системы аттракторов, так и для конструирования заданного. Так как  $\mathcal{L}\omega(p_i, g_j) = d[\omega(\zeta)]$ , т.е. производная Ли также есть форма, причем точная форма, то задача отыскания аттракторов сведется к отысканию подмногообразий, на которых форма является замкнутой. Таким образом, каждый аннулятор производной Ли  $\mathcal{L}\omega(p_i, g_j)$  является аттрактором системы. В соответствии с теоремой Фробениуса набор  $\{\alpha_i, i = 1, \dots, m\}$  полей линейно-независимых форм в открытой области  $U$   $n$ -мерного многообразия  $M$  замкнут тогда и только тогда, когда существуют функции  $\{P_{ij}, Q_j, i, j = 1, \dots, m\}$  такие, что

$$\alpha_i = \sum_{j=1}^m P_{ij} dQ_j.$$

В силу леммы Пуанкаре о локальной точности замкнутых форм такое разложение на аттракторе должно существовать всегда.

Таким образом,  $\mathcal{L}\omega(p_i, g_j) = d[\omega(\zeta)]$  равна нулю всюду, где  $\omega(\zeta)$  замкнута, т.е. на всех подмногообразиях  $Q_j$ , удовлетворяющих соотношению

$$\omega(i) = \sum_{j=1}^m P_{ij} dQ_j.$$

Следовательно, определение подмногообразий  $Q_i$  (гиперповерхностей) есть определение аттракторов системы. Соответственно, задание гиперповерхностей  $Q_j$  есть задание аттракторов системы. Рассмотрим, какова природа самоорганизации в диссипативных системах. Известно, что в консервативных системах имеет место сохранение фазового объема при эволюции системы во времени. Это явление сформулировано как теорема Лиувилля. Даже в системах с хаотическим движением при сохранении фазового объема часть потока испытывает сжатие, а часть – растягивается (системы с перемеживанием, модели которых известны как «преобразование пекаря» и «подкова»). Однако эволюционируя во времени, эти части фазового потока перемешиваются, в результате чего фа-

зовый поток равномерно заполняет некоторую область фазового пространства. При этом наступает состояние равновесия, а информация о начальном состоянии полностью утрачивается. Очевидно, для отбора состояний системы в соответствии с некоторым критерием требуется определенное количество энергии и информации. В фазовом пространстве это будет соответствовать сосредоточению состояний системы в некоторой ограниченной области. Глубина такого отбора может характеризовать уровень организованности системы. Равномерное распределение («растекание») фазового потока по области фазового пространства соответствует усреднению, выравниванию состояний и соответственно уменьшению уровня организованности системы.

В диссипативных системах в результате эволюции из состояний системы отбираются лишь те, которые соответствуют аттрактору, т.е. по сравнению с исходным уровень организованности системы возрастает. Поскольку движение к аттрактору происходит благодаря сжатию фазового потока, обусловленного диссипацией, то основой механизма самоорганизации следует считать процессы диссипации. Происходящее сжатие фазового потока можно рассматривать при этом как эквивалентное воздействие на поле форм фазового объема некоторого векторного поля, с которым свертывается форма объема. Для возможности связи необходимо повторение индексов у компонент форм и компонент векторов деформирующего поля. Поскольку диссипативные процессы, как правило, недетенированы, то высокая вероятность совпадения индексов может быть обеспечена лишь при большой размерности компонент. Это положение согласуется с принципом необходимого разнообразия, сформулированным Эшби [43].

Выполняя требование неразрушения системы, в ней управление должно иметь ту же природу, что и внутренние процессы управления, т.е. внешнее управление сложной системой должно представлять векторное поле, изменяющее объем фазового потока заданным образом.

В терминах теории управления и общей теории систем сигналы, которыми обмениваются объекты, обычно могут интерпретироваться как возмущающие воздействия, рассматриваемые либо как побочные (нежелательные) результаты функционирования процессов, либо как управления, используемые для формирования желаемого поведения объекта.

Как показали исследования, оптимальный закон управления обладает интересными свойствами. Управляющие воздействия

стремятся привести выходной сигнал к требуемому значению, но они также вводят возмущение (зондирование), когда параметры не определены, что улучшает качество оценок и последующих управлений [46].

Развиваться с качественными изменениями, с возрастанием уровня организации способны лишь открытые системы, в которых каждый процесс представляется как противоречивое единство самообусловленности и внешней обусловленности, единство внутренних и внешних противоречий. Соотношение и роль их в контексте «источника развития» должны быть пересмотрены с выходом на концепцию открытых систем.

Функциональные системы возникли под воздействием внешней среды благодаря качественному упорядочению связей: информация как отражение, как сигнал отклонения стала образовывать (в виде отрицательной обратной связи) замкнутые контуры саморегуляции – гомеостазис.

К гомеостазису относится и иммунитет как система защиты организма от всего генетически чужеродного (микробов, чужих клеток, тканей) или генетически изменившихся собственных клеток. Иммунитет осуществляет контроль за внутренним постоянством организма.

Формирование механизма управления в основном завершается образованием II контура ОС (на рис. 19 показан пунктиром). Этот контур называется контуром отбора и накопления информации, опыта, контуром адаптации, самообучения и, следовательно, саморазвития.

Сущность процесса развития заключается в целенаправленном накоплении информации с последующим ее упорядочением, структуризацией. Но в потоке информации, циркулирующей в I контуре ОС, в каждом цикле управления бывает много разнообразной информации (избыточной, повторяющейся), в том числе и «информационного шума». Поэтому на входе II контура ОС имеется так называемый семантический фильтр, который осуществляет отбор информации с учетом преемственности и ценности новых «порций» информации для целевой функции системы, для ее целостности.

Число таких порций информации от цикла к циклу непрерывно растет, и они начинают складываться в определенную структуру (гипотезы, теории, программы, изобретения и т.п.). Именно целенаправленное собирание, интегрирование информации является предпосылкой, основным условием появления новой организации, новой структуры.



Если структуру системы можно рассматривать как некоторую предварительно отсортированную и переработанную, связанную, внутреннюю информацию, то происходящая во II контуре ОС структуризация и есть процесс возникновения новой (структурной) информации в результате циркуляции в системе оперативной информации, а это уже и есть процесс саморазвития.

Кибернетика научно обосновала единство процессов управления и связи в живой природе, технике, обществе и мышлении. Идея Н. Винера о единстве законов управления в живых организмах и машинах, положенная в основу кибернетики, сыграла важную роль в развитии технических систем. Однако попытки использования этой логики для управления в системах другой природы не увенчались такими же успехами. Причина этого заключается в некорректности рассмотрения живых систем как замкнутых, что было доказано Л. фон Берталанфи.

Сложные системы, главным образом живые, демонстрируют на разных уровнях организации множество принципов и алгоритмов управления, основная часть которых не только не используется в техногенных системах, но и вообще не изучена. В технике автоматического регулирования доминируют только два принципа управления: по отклонению и по возмущению. Гомеостатический, координирующий, логико-оптимальный, ситуационный и другие принципы управления являются объектами интенсивного изучения с целью их применения в различных областях техники, медицины, экономики и др., но эффективного практического использования в настоящее время не нашли. Непосредственное применение классического принципа обратной связи в сложных системах во многих случаях не только не приводит к желаемым результатам, но и часто служит причиной ошибок.

Таким образом, практическая потребность в изучении сложных систем определяет актуальность исследования принципов управления как в плане методологии, так и их математического описания.

Процесс познания схематично изображен на рис. 20, где I контур ОС – многократные циклы испытаний, наблюдений, сбора информации (область эмпирического знания); II контур – отбор и обобщение информации, попытки выявить некоторую относительную истину. Здесь может возникнуть научная гипотеза. Если она подтвердится при очередном эксперименте, то может стать основой новой теории, закрепиться в формулах, теоремах. Это уже теорети-

ческая область. Другими словами, в первом контуре ОС воспринимается явление, а во втором – познается его сущность, причем постижение сущности углубляется в ходе осуществления все более целенаправленного воздействия на объект, все более тонких экспериментов.

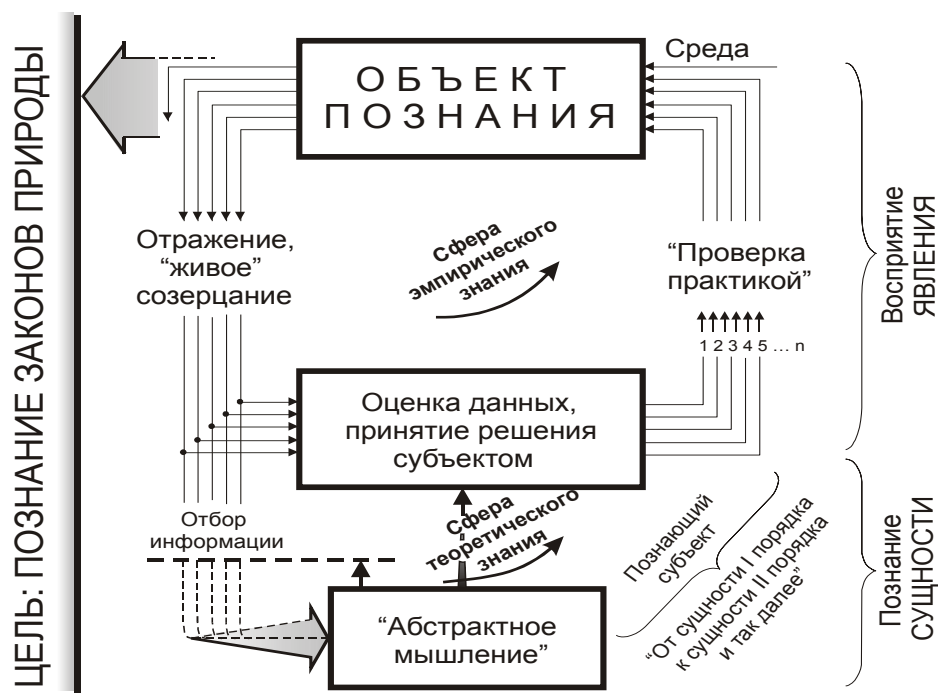


Рис. 20. Двухконтурная структура диалектического пути познания

На рис. 20 представлена двухконтурная структура. Эта схема является обобщенной моделью механизма управления, так как она задана на уровне наиболее существенных признаков управления. Она едина для всех сфер, охватываемых кибернетикой, и раскрывает системоорганизацию, «негэнтропийную» функцию управления во всех этих сферах.

Рассмотрим связь закона отрицания с *целеполаганием* в природе и обществе, а также целеполагание в аспекте его роли в развитии технических систем [71].

В процессах организации живой природы и ноосферы *цель* выступает как некоторое опережающее отражение действительности, как выражение потребности кибернетической системы. Анализ истории развития науки и техники показывает, что *чем актуальнее* целевая функция, *тем активнее, быстрее* идет процесс добывания и внедрения новой информации (например, ход работ по расщеплению атомного ядра, созданию ЭВМ, ракетно-космических систем,

лазеров и т.п.). В то же время структуры, имеющие менее актуальную целевую функцию (менее потребные, пользующиеся меньшим спросом), в большей мере подвержены отрицанию, иначе говоря, *оттесняются* более актуальными структурами.

*Решение задачи* – поиск человеком ответа на конкретный вопрос, возникший в условиях объективно сложившейся обстановки. Всякое решение есть переход от неизвестного к известному, от незнания к знанию. Он осуществляется посредством различных мыслительных операций: изучения известных исходных данных, установления возможных диапазонов данных, известных приближенно, сравнения, анализа и синтеза, абстракции, конкретизации, построения и проверки гипотез и другое, причем операции осуществляются последовательно и целенаправленно. Познание сопровождается построением альтернатив (гипотез), способных объяснить явления реальной действительности. Выбор правильной (обоснованной) альтернативы и есть установление закона. Процесс этого выбора аналогичен процессу управления.

Как следует из определения, любой интегрированный производственный комплекс (ИКОС) включает разнообразные технические объекты. Каждый такой объект может представлять собой многоуровневую систему подобъектов, связанных различными сигналами, которые моделируются потоками данных и трактуются как ресурсы, используемые и (или) расходуемые объектами в ходе их деятельности. Изменения ресурсов внутри объектов описываются некоторым набором процедур или функций, именуемых процессами. Для анализа поведения ИКОС и сравнения различных наборов значений ресурсов между собой обычно используется один или несколько критериев качества – функционалов, определенных на тех или иных наборах ресурсов.

Важную роль при решении задач играют ресурсы, которыми располагает система управления. При решении управленческих задач выделяют следующие виды ресурсов: интеллектуальные, информационные, управляющие, операционные, коммуникационные.

Решение конкретной задачи требует определенных затрат ресурсов на приобретение и освоение системы поддержки принятия решений либо на решение ее собственными силами.

Структура и поведение сложных систем зависят от воли человека, в том числе лица, принимающего решения, особенно когда это касается улучшения деятельности таких объектов.

Управление техническими объектами исследуется преимущественно на уровне принятия решений об изменении (или сохранении) их структуры в зависимости от общего состояния и имеющихся тенденций развития ИКОС. Аналогичные подходы в настоящее время развиваются для систем поддержки принятия решений (СППР) в чрезвычайных [115] и нештатных [116] ситуациях. СППР такого типа отличаются от описываемой далее системы тем, что из-за особенностей предметной области, во-первых, основной акцент делается на ликвидацию последствий уже реализовавшейся ситуации и, во-вторых, преимущественно ориентируются на сетевые приложения разрабатываемых СППР. Задача же принятия решений по результатам моделирования ИКОС более традиционна для теории управления, неформально она может быть поставлена как выбор (из набора альтернативных вариантов) предпочтительной структуры реализации технических объектов, обеспечивающей требуемые характеристики их функционирования. Состояние технических объектов может оцениваться однотипными в математическом смысле критериями, семантические значения которых описывают степень реализации цели создания и (или) функционирования объекта.

Решение задач целеполагания – прерогатива человека. Это связано с трудностью, а зачастую и с невозможностью задания целевой функции управления в явном виде, неоднозначностью понятия «оптимальное решение» и т.д. [47].

С точки зрения общей теории систем ИКОС в настоящей работе рассматриваются как неупреждаемая причинная временная система. По терминологии работ [118] ИКОС относятся к гибким дискретным системам (ГДС), т.е. системам, способным функционировать в условиях изменения целей, ситуаций и критериев и описываемым в ходе моделирования дискретными множествами моментов времени и значений параметра. Необходимость дискретизации любых величин перед вводом их в компьютер очевидна. Акцент же на дискретность объекта моделирования при анализе систем управления ИКОС делается с целью отойти от оптимизационных стратегий поддержки принятия решений (точнее, вывести их внутрь компонентов объекта исследования, обладающих некоторой «свободой воли»), и прийти к применению средств искусственного интеллекта на основе дискретного управляемого перебора вариантов. С этой же точки зрения в работе выбрана ориентация на применение географических информационных систем, так как в

рамках предлагаемого подхода в дополнение к требованиям дискретности по времени и по состояниям (предъявляемым к обычным ГДС) для моделирования ИКОС необходима дискретность их моделей по географическому пространству, т.е. возможность сопоставить с каждым компонентом объекта некоторое конечное множество географических элементов стандартной конфигурации, представимых средствами ГИС.

Проблема управления тесно связана с проблемой идентификации параметров. При анализе параметров методом наименьших квадратов (МНК) должны выполняться некоторые необходимые и достаточные условия, получившие наименование условий Гаусса–Маркова [119]. Для задач небесной механики и геодезии они обычно выполнялись. Но для систем управления, точнее, при применении МНК в процессе управления сложным объектом, они не выполняются, и следовательно, идентификации объекта не происходит.

Исследования показали, что в некоторых случаях идентифицируемость параметров не нужна. Был найден класс оптимальных стратегий управления, названных локально-оптимальными управлениями (ЛОУ), для определения которых достаточно неполных сведений, даваемых МНК [120]. Выяснилось, что этот класс включает обычно используемые для линейных систем стратегии управления, основанные на квадратичных интегральных критериях качества, поэтому и для них идентифицируемость необязательна.

*Локально-оптимальные управления шире, чем используемые ранее в теории линейных систем оптимальные стратегии управления, для которых имеется красивая разветвленная и законченная теория.*

В ЛОУ цель управления состоит в том, чтобы все переменные состояния объекта  $x_1, x_2, \dots, x_n$  равнялись нулю. Геометрически это интерпретируется стремлением любой точки  $x (x_1, \dots, x_n)$  в процессе управления к началу координат (нулевой точке). Скорость стремления к нулю служит оценкой качества управления. Расстояние точки  $x$  от начала координат можно оценить положительной квадратичной формой:

$$Y = a_{11}x_1^2 + 2a_{12}x_1x_2 + a_{22}x_2^2 + \dots + a_{nn}x_n^2.$$

Скорость приближения точки  $x$  к началу координат можно оценивать скоростью уменьшения функции. Управление можно считать локально-оптимальным, если на любом такте управления уменьшение функции из любой точки становится максимально возможным.

Проблема неустойчивости, возникшая в процессе применения регуляторов, потребовала разработки теоретических основ ее решения и автоматизированного управления. В исследованиях устойчивости, выполненных Дж. К. Максвеллом и И. А. Вышнеградским, описана теория устойчивости регуляторов и сформулирована математическая проблема, названная позднее проблемой Рауса–Гурвица. Достаточно долго устойчивость оставалась основным требованием, которое предъявлялось к создаваемым регуляторам.

Одна из важнейших задач теории управления – это проблема универсализации стратегии управления. Возможность реализации универсализации зависит от уровня новых информационных технологий и автоматизированных средств управления.

Развитие методов автоматизированного управления привело к необходимости дифференциации устойчивости по степени ее возвращения к нормальному режиму после возмущения. При этом нормальный режим характеризовался неравномерностью (изменением регулируемой величины, отнесенной к изменению нагрузки). Уменьшение неравномерности вызывало неустойчивость. По этой причине концепция построения регуляторов И. А. Вышнеградского была основана на наличии неравномерности. Концепция Максвелла, напротив, исходила из того, что регулятор не должен иметь неравномерности. Полученные им условия устойчивости не могли быть реализованы для регуляторов его времени [121]. Мечта Максвелла об идеальном регуляторе осуществилась спустя значительное время с изобретением нового типа регуляторов, получивших название изодромных.

*Систему управления* представим как гетерогенную структуру с разнообразными связями между частями системы, имеющую некий механизм, на основе которого в этой системе формируются управленческие решения. Для анализа методов и систем поддержки принятия решений необходимо рассмотреть механизм формирования решений в системе управления [122].

Обобщенная схема формирования управляющих решений приведена на рис. 21. Она является общей для обоих вариантов управления.

Схема основана на классическом трехуровневом управлении. На верхнем *стратегическом уровне* определяют проблемы, требующие решения с учетом стратегических целей. Управляющее воздействие на нижний уровень тактического управления формируется в явном и неявном видах.

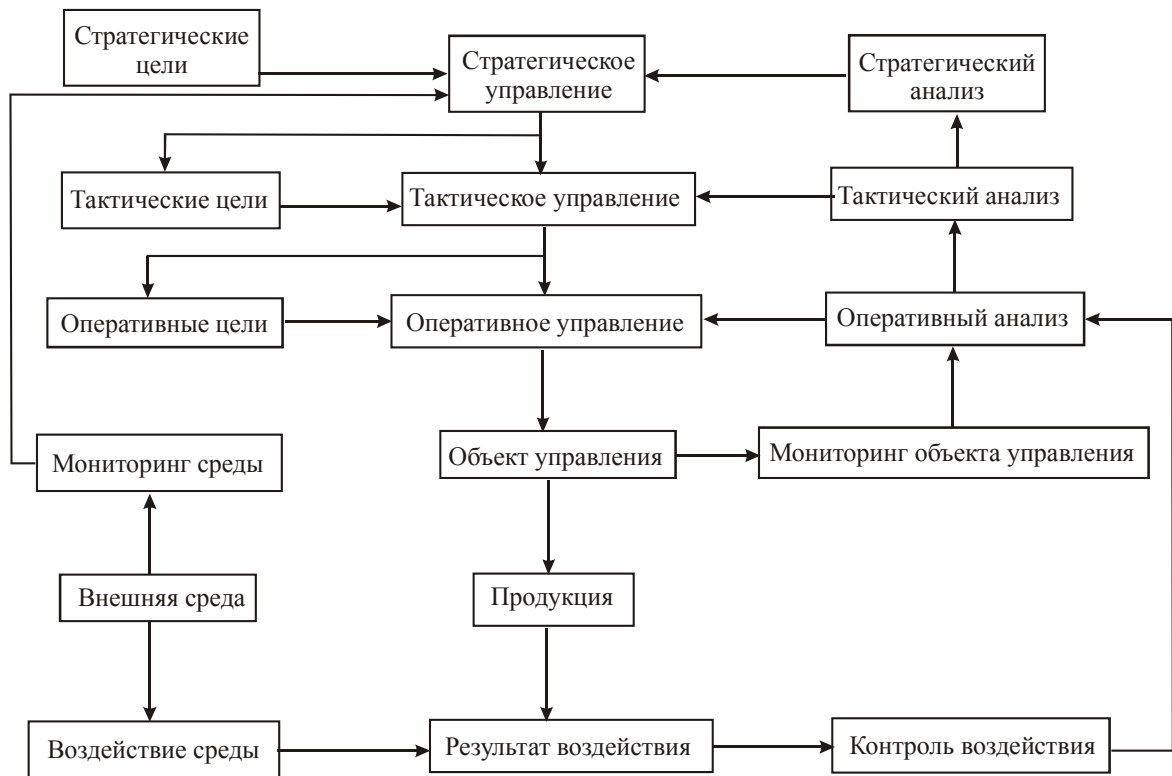


Рис. 21. Схема формирования управляющих решений

В явном виде управляющее воздействие формируется в виде указаний и директив, в неявном – в виде тактических целей.

На *тактическом (среднем) уровне* управления происходит детализация информации, нисходящей с верхнего уровня. Условия решения проблем и тактические цели трансформируются в планы и проекты, которые согласовываются. Решения проблем на основе декомпозиции переводятся в решения задач выработки решений.

После согласования тактические планы преобразуются в оперативные планы, а проекты завершаются подготовкой рабочей документации.

Управляющее воздействие на нижний *оперативный уровень* также формируется в явном и неявном видах. В явном виде управляющее воздействие формируется в виде регламентных решений задач, планов, указаний и директив, в неявном – в виде оперативных целей. Директивы и оперативные цели служат основой для формирования операций нормального функционирования объекта управления.

Поскольку любой управляемый объект в зависимости от уровня его рассмотрения представляет собой систему (для распределенного варианта) или подсистему (для интегрированного вари-

анта управления), то необходимо проводить мониторинг объекта управления. Этот мониторинг включает обратную связь в систему управления и этим создает возможность регулирования между операционным и тактическим уровнями управления.

На данном этапе анализа необходимо подчеркнуть сходство подходов к формированию управленческих решений с верхних уровней управления на низшие уровни в виде целей и директив.

Директивы являются жесткими управляющими решениями для нижестоящих уровней. Формирование целей оставляет за исполнителем возможность маневра и создает определенную свободу при выборе решений. Однако во втором случае большая часть ответственности за принимаемые решения ложится на исполнителя.

На *нижнем оперативном уровне* управляющие решения вырабатываются как операции, которые обеспечивают нормальное функционирование управляемого объекта. Результат деятельности данного объекта является производство, выпуск продукции средств связи.

Поскольку объект находится во внешней среде, то продукция, поставляемая на рынок, испытывает воздействие этой среды. Результат воздействия среды может быть спрогнозирован, а может быть неожиданным. Поэтому осуществляется контроль воздействия внешней среды на выпускаемую продукцию. Этот контроль создает еще одно звено обратной связи. Таким образом предложенная выше двухконтурная схема управления реализуется на производстве средств связи.

Информация о функционировании управляемого объекта и взаимодействии выпускаемой продукции в форме восходящих информационных потоков поступает на уровни управления. Первоначально она в форме первичной информации поступает на оперативный уровень для оперативного анализа.

Главными факторами оперативного анализа являются затраты времени и объем работ по обработке информации. Решения должны приниматься в минимально короткие сроки при обработке больших объемов информации. Это достигается использованием регламентных методов управления, т.е. заранее разработанных методов реакции на соответствующие факторы или их изменения.

Увеличение объемов первичной информации в настоящее время практически исключает полный и комплексный анализы этой информации человеком и требует использования производительных вычислительных систем.



Основными операциями при анализе первичной информации являются:

- регламентное решение возникающих задач;
- выявление аномальных (нерегламентных) ситуаций и передача информации о них на вышестоящие уровни;
- унификация разнородной первичной информации для удобства анализа на вышестоящих уровнях.

Информация, поступающая по звену обратной связи на тактический уровень управления, является унифицированной. Она уже содержит элементы некоего обобщения. Основными задачами анализа на тактическом уровне являются:

- анализ аномальных ситуаций и разработка регламентных методов их решений;
- выявление тенденций в поведении управляемого объекта, среды и взаимодействия продукции со средой;
- обобщение и агрегирование информации для передачи ее на верхний уровень стратегического управления.

Тактический уровень управления обеспечивает передачу информации на нижний оперативный уровень и на верхний. На нижний уровень передаются скорректированные оперативные цели и новые разработанные регламентные методы управления. На верхний уровень передается сжатая информация в обобщенной форме.

Таким образом, основные работы по поддержке принятия решений осуществляются на среднем уровне управления. Именно развитый аналитический аппарат среднего уровня управления (интеллектуальный потенциал, компьютерные системы) определяет качество подготавливаемых решений.

На верхнем стратегическом уровне управления имеют дело с агрегированной информацией, поступающей со среднего уровня, и данными мониторинга внешней среды, поступающей непосредственно в аналитическую группу стратегического управления.

Как следует из рассмотренного, на верхнем уровне управления формально накапливается наиболее полная информация. Однако эта информация обобщена и агрегирована в аналитических группах, поэтому ее достоверность и адекватность определяются качеством работы аналитических групп и правильностью выборов обобщающих показателей.

Задачи стратегического управления, как правило, являются многокритериальными. Особенностью является то, что критерии

могут быть противоречивыми, например, оптимальное решение по времени может быть не оптимальным по затратам. Цель «снижение издержек» противоречит цели «увеличение оплаты труда» и т.д.

При стратегическом управлении многие критерии могут быть взаимно несогласованными и не всегда формализуемыми. Возможны ситуации (особенно при отсутствии прогнозирования и поддержки принятия решений), когда стратегические решения приходится принимать в условиях быстрых качественных изменений ситуации или при неполной и неточной информации.

Можно утверждать, что современная система управления является многоуровневой, сложной системой, включающей несколько звеньев обратной связи, обеспечивающих регулирующие функции. В этой системе осуществляются многоэтапное преобразование и обобщение информации. Обработка информации в современной системе управления невозможна без применения компьютерной техники и современных информационных технологий. Эффективность управления существенно повышается при наличии системы поддержки принятия решений (СППР).

Стратегия разработки структуры систем управления оптимальным проектированием как концепция управления, направленного на изменение в процессе проектирования управляющих воздействий, выбирается на основе результатов исследования моделей. В общем виде эта задача относится к трудно формализуемым. Поэтому лишь часть функций может быть реализована в автоматическом режиме; окончательное решение принимает ЛПР с учетом всей имеющейся информации. По сути дела, здесь речь идет о проблеме организации процесса проектирования РЭС и систем связи, в котором проектные решения принимаются и корректируются на уровне моделей.

Применение инженерии знаний для частичной формализации профессиональных знаний составляет основу смысловой модели предметной области.

Базовые семантические модели предметной области представляются в виде множества понятий предметной области  $P$ , взаимосвязанных некоторым множеством отношений  $R$ .

Понятия представляют собой описания материальных объектов, их свойств, процессов и состояний. Последовательность элементарных актов взаимодействия объектов и исследования их свойств определяются понятием процесс.

Общая модель ИКОС основана на формализации типичной деятельности проектировщиков при организации и проведении ра-

бот по проектированию ТП как процесса целенаправленного пополнения и изменения базы знаний ИКОС.

В настоящее время не существует окончательно сформировавшегося общепринятого определения базы знаний. Здесь мы будем придерживаться определения базы знаний (БЗ) ИКОС как организованной совокупности сведений о предметной области и методах организации автоматизированного проектирования ТП. Накопливаемые в базе знания делятся на три категории:

- *предметное (или фактуальное) знание* – наборы количественных и качественных характеристик конкретных объектов. Часть БЗ, где собраны знания такого рода, называется базой данных (БД);

- *процедурное (алгоритмическое) знание* – методы, способы, алгоритмы и программы выполнения различных действий, приводящих к требуемому результату;

- *понятийное (концептуальное) знание* – совокупность терминов, которые используются в некоторой сфере деятельности и отражают кроющиеся за ними понятия, свойства и взаимосвязи понятий. Эта часть БЗ обычно называется моделью предметной области.

Принципиальным отличием технологии поддержки принятия решений от технологий управления является подготовка информации (моделей), на основе которой впоследствии будет приниматься решение.

На рис. 22 приведена технологическая схема поддержки принятия решений, основанная на применении аналитической информационной системы.

Аналитическая информационная система (АНИС) представляет собой объединение контролирующего органа и системы анализа.

Это объединение не механическое, а технологическое, т.е. обусловлено целями и технологиями обработки информации.

АНИС исследует внешнюю среду и выделяет два класса факторов: *независимые факторы* (НФ), на которые невозможно воздействовать в рамках системы управления; *изменяемые факторы* (ИФ), которые можно изменить, применяя управляющие решения.

АНИС должна содержать базу данных, включающую в себя набор типовых методов принятия решений для так называемых регламентных (известных) ситуаций.

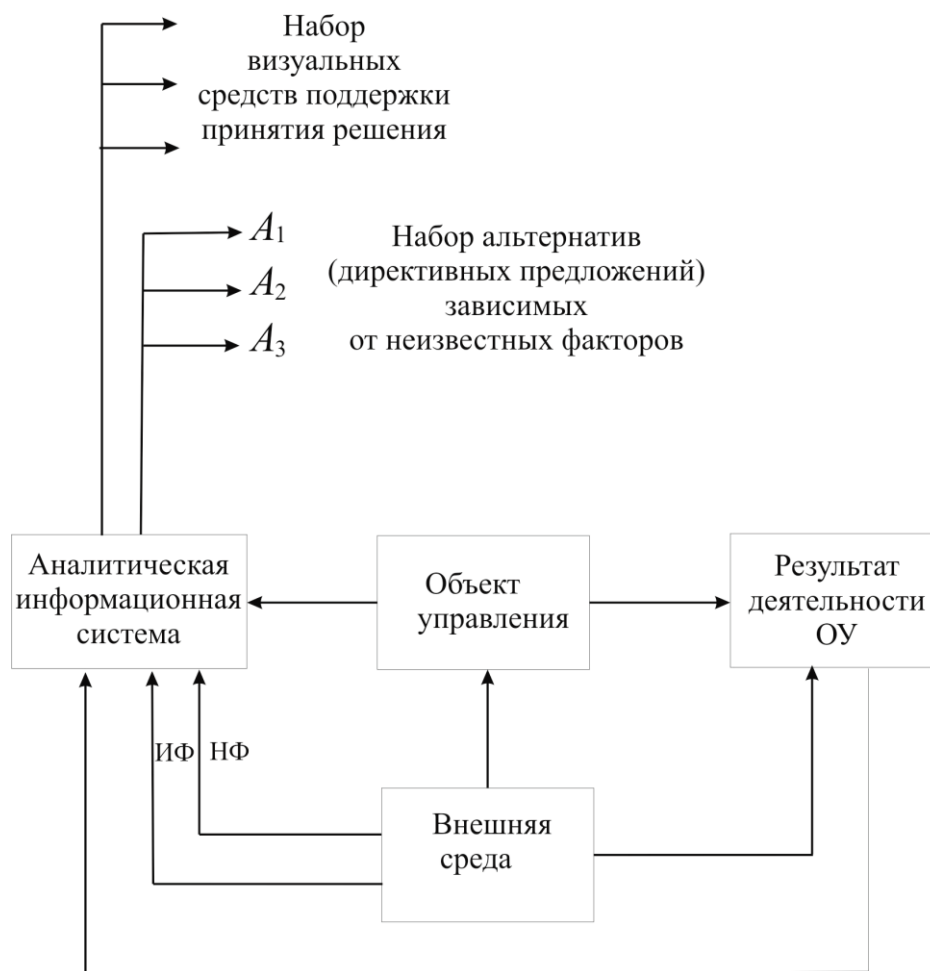


Рис. 22. Технологическая схема поддержки принятия решения

По мере анализа новых ситуаций и получения для них эффективных решений они переводятся в класс регламентных. Наличие независимых факторов, а также неопределенности в состоянии среды исключает возможность однозначного принятия решения.

Уменьшение неопределенности осуществляют разными способами, например, дифференциацией состояний внешней среды и объекта управления. При этом неопределенность уменьшается или исключается путем ввода набора параметров, характеризующих набор состояний, и определения этих параметров на интервальных (от и до) или точечных (ровно) значениях. Набор возможных состояний среды и объекта определяет набор альтернатив [123].

Другим способом является моделирование и получение наборов условных состояний внешней среды. Среди этих возможных состояний выделяют существенные (значимые) и несущественные. Для каждого из значимых состояний среды разрабатывают набор проектов решений.

Таким образом, поддержка принятия решений может быть определена как совокупность технологий:

- сбора, обобщения, анализа информации;
- выявления изменяемых и неизменяемых факторов внешней среды;
- оценки неопределенности ситуации внешней среды;
- уменьшения неопределенности путем моделирования состояний внешней среды;
- использования базы типовых решений для регламентных ситуаций;
- разработки набора альтернатив решений;
- разработки прогнозных оценок.

Наиболее важными среди них являются уменьшение неопределенности путем моделирования (создания набора) ситуаций и разработка прогнозных оценок.

Дополнительные возможности анализа ситуаций предоставляют геоинформационные системы (ГИС).

В отличие от набора альтернатив  $A_1, A_2, A_3, \dots$  (см. рис. 22), которые можно получить в существующих АИС, ГИС дополнительно обеспечивает набор визуальных средств поддержки принятия решений  $B_1, B_2, B_3$ . К числу таких средств относятся тематические карты и планы, содержащие не только изобразительные характеристики, но и метрические. Метрические характеристики служат основой для точных расчетов и соответственно для экономических оценок того или иного решения.

После разработки набора альтернатив может возникнуть задача уточнения или определения параметров состояний среды (определяется на основе сопоставительного анализа альтернатив). В этом случае проводят дополнительные работы для получения достоверной информации, т.е. переход от смоделированной ситуации к реальной. Данная задача, в свою очередь, связана с определением стоимости достоверной информации, которая может быть получена в результате исследований.

ГИС представляет собой инструментальную систему, обеспечивающую общие методы анализа и интерпретации данных. При переходе к задачам управления ГИС представляет собой лишь ядро информационной системы, которое требует создания дополнительной интеллектуальной оболочки.

Из сказанного следует, что ГИС может быть системой поддержки принятия решений, но для повышения эффективности управления на основе ГИС ее интерфейс должен быть дополнен средствами анализа, применяемыми, например, в аналитических и других подобных системах.

Таким образом, с точки зрения поддержки принятия решений управление можно рассматривать как методы и технологии, широко использующие информатику и индуцирующие новые понятия, задачи и проблемы.

Управление с помощью различных систем обратной связи и наборов моделей направлено на достижение необходимых свойств или поведения (реакции) от объектов окружающего мира.

В узком смысле, управление можно рассматривать как построение и использование динамических моделей. В широком смысле, управление – это наука, достигшая высокой степени интеграции с другими науками, имеющая многообразные реализации и приложения.

Оптимальная стратегия управления определяется *показателем качества управления*. Значение показателя качества зависит не только от стратегии управления, но и от структуры объекта и действующих на него возмущений. В силу этого значение критерия качества, которое необходимо оптимизировать, определяется математической моделью (математическим описанием) параметров объекта и внешнего воздействия.

Как было показано выше, построение концептуальной модели (КМ) является непреложным аспектом моделирования. Модели традиционно строятся на основе диалога человек–машина, который организуется с помощью развитого интерфейса с информационной моделью системы [124]. На рис. 23 представлена схема взаимодействия информационной и концептуальной моделей при принятии решения, состоящая из двух контуров обратной связи (ОС). По контуру I ОС поступает информация о состоянии управляемого объекта в данный момент времени; пройдя обработку на ЭВМ, она визуальна отображается на информационной модели.

Информационная модель выступает как важнейшее связующее звено между человеком и техникой. Как упорядоченное внешнее возмущение она стимулирует эффективное функционирование концептуальной модели человека-оператора и способствует интенсификации информационных процессов в акте принятия решения.

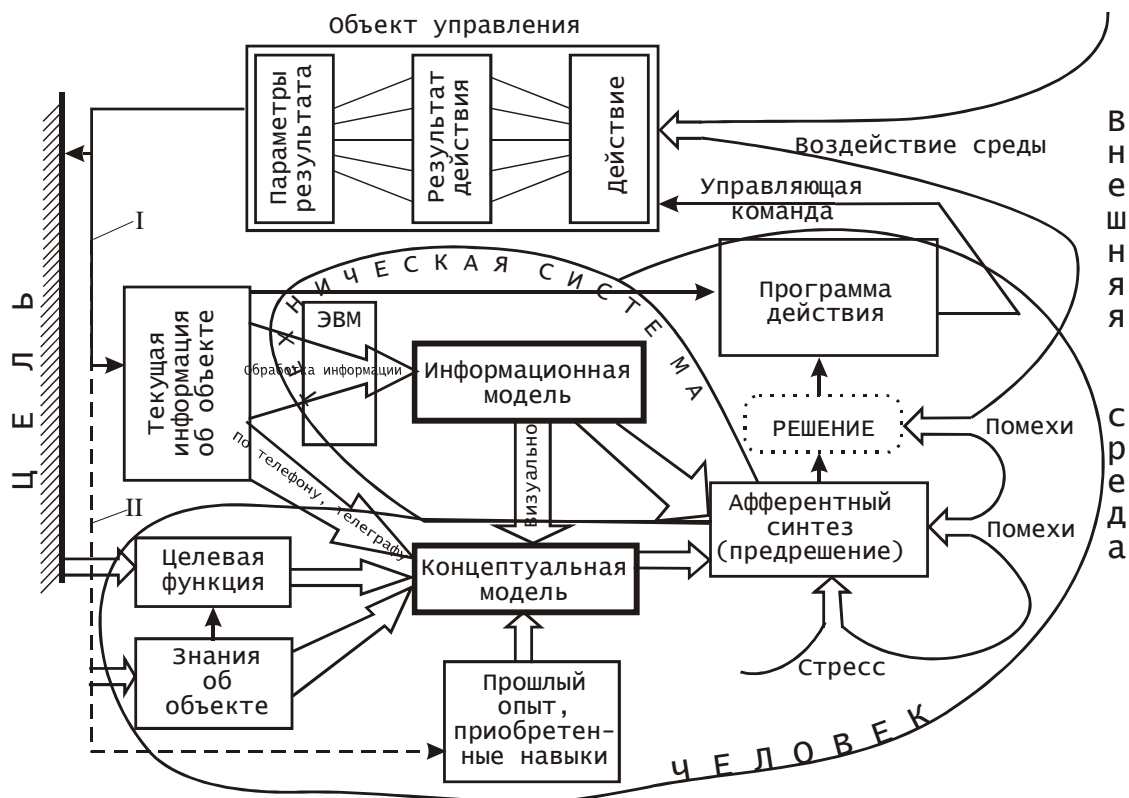


Рис. 23. Схема взаимодействия информационной и концептуальной моделей при принятии решения

Как показали экспериментальные исследования, на каждом нейроне коры головного мозга одновременно обрабатываются возбуждения трех видов: внутренние возбуждения, связанные с формированием той или иной доминирующей мотивации (цели, целевой функции); внешние возбуждения (текущая информация о состоянии управляемого объекта) и возбуждения памяти (прошлого опыта). Только одновременная обработка этих возбуждений (афферентный синтез) и сопоставление всех комбинаций возбуждений с прошлым опытом дают возможность организму принимать то или иное решение для получения полезного результата.

В стадии афферентного синтеза («предрешения») решается главный вопрос формирования поведенческого акта: какой полезный результат должен быть получен в данной ситуации и при данной комбинации указанных возбуждений. Это стадия начала процесса выработки решения, и здесь может быть несколько (теоретически великое множество) вариантов решения. Мозг осуществляет выбор того основного варианта, который наиболее целесообразен с точки зрения цели и может дать полезный эффект в данной конкретной ситуации. При этом извлекаются (непрерывно сканируются) результаты всех прошлых действий в аналогичных

ситуациях и сопоставляются с потребностью данной ситуации до тех пор, пока целевая функция (как эталон для сканирования) не станет вполне соответствовать одному из результатов прошлого. Прошлый опыт, практика, таким образом, выступают в качестве критерия истины.

Выбранное таким образом решение как замысел на предстоящее действие далее оценивается с помощью нейрофизиологического аппарата, получившего название «акцептор результатов действия». В этом акцепторе мысленно прогнозируется результат действия. Этот аппарат, опережающий и предсказывающий свойства будущего результата, в конце каждого элементарного действия немедленно сличает его параметры с параметрами прогнозированного результата, и в случае их совпадения эти результаты являются «санкцией» при формировании следующего этапа поведения. Одновременно происходит так называемое обогащение акцептора результатов действия (самообучение интеллекта) на базе обратных связей.

*Информационная модель* есть организованная в соответствии с определенной системой правил и представляемая оператору с помощью средств отображения совокупность информации о состоянии и функционировании объекта воздействия и внешней среды.

Актуальной является проблема использования экспертных систем для автоматизированного выбора управляющих воздействий. На рис. 24 дана схема выработки управляющих воздействий, в которой роль человека при анализе прошлого опыта, формировании целевой функции, а также знания об объекте переданы экспертной системе.

ЭС содержит и обновляет знания об объекте, цели функционирования, формирует знания на основе прошлого опыта и приобретенных навыков управления. Совокупность знаний позволяет правильно выбрать текущую целевую функцию. Параллельно с этим геоинформационные системы поставляют данные о географическом расположении объектов, их взаимосвязи и влиянии.

Формирование концептуальной модели основано на взаимодействии с информационной моделью объекта управления. Выработка управляющих воздействий осуществляется на более высоком информационном уровне, поскольку по сравнению с системой, представленной на рис. 23, экспертная система позволяет пользоваться гораздо более широким кругом знаний, опытом большого числа экспертов.



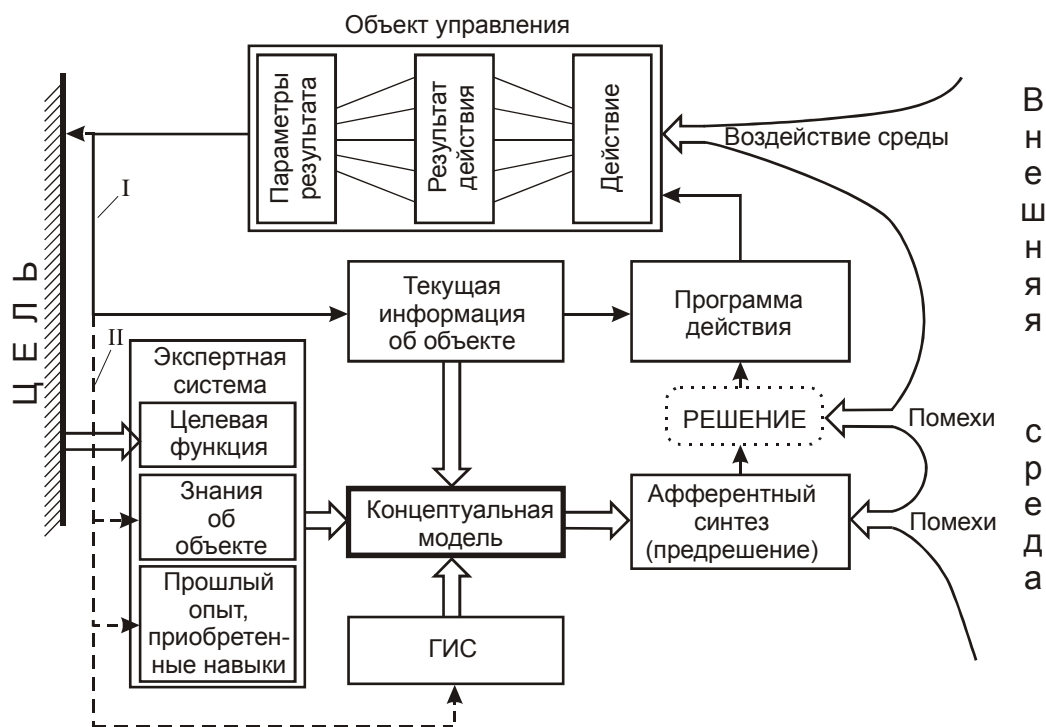


Рис. 24. Экспертная система в системе принятия управляющих решений

Экспертная система обеспечивает вычисление параметров объекта или процесса как аналитическими, так и логическими процедурами.

### 3.3. Адаптивное управление.

#### Анализ робастности системы управления

Характерной особенностью функционирования ИКОС является недетерминированность (неопределенность) и нестационарность (вариативность) производственных условий параметров (вариативность рабочей обстановки, дрейф параметров оборудования, износ, поломка инструмента и т.п.).

В подобных недетерминированных и нестационарных условиях традиционные средства управления приводят к резкому ухудшению качества выпускаемой продукции или к аварийным ситуациям, порождающим частичную или полную остановку производства. Приходится усложнять систему автоматического управления путем введения в нее специальных средств очувствления и адаптации, а также элементов искусственного интеллекта (ИИ).

Таким образом, неизбежная на практике вариативность и неопределенность условий функционирования ИКОС порождают специфические требования к их системе управления, заключающиеся в

том, что эти системы должны быть в меньшей мере адаптивными, а то и интеллектными (обладающими элементами ИИ) [125].

Задача адаптации заключается в синтезе алгоритма адаптации с требуемыми свойствами. Решение этой задачи тесно связано с контролем качества управления. Введем функцию качества вида  $\varphi(\tau, t) = \Phi[u(t), x(t), \tau]$ , значения  $\Phi$  которой могут быть измерены или вычислены в любой момент времени  $t$ . Это требование необходимо для реализуемости алгоритмов адаптации. Цель адаптации – удобно задавать в форме неравенств, связывающих управления  $u$ , состояния  $x$  и оценки  $\tau$ . В качестве таких неравенств можно взять систему неравенств вида

$$\varphi(\tau, t) > 0; t \geq t_0. \quad (3.13)$$

Эти неравенства должны конструироваться таким образом, чтобы их выполнение обеспечивало близость реального состояния и требуемого.

Решение задачи адаптации сводится к синтезу алгоритмов решения неравенств (3.13). Смысл этих алгоритмов заключается в формировании приемлемых оценок  $\tau$  неизвестных параметров  $\xi$ , причем если неравенства (3.13) нарушаются при некотором  $\tau = \tau(t)$ , то это свидетельствует о неудовлетворительности оценки  $\tau(t)$  и о необходимости ее корректировки. Если же неравенства (3.13) выполнены, то это говорит о приемлемости как самих оценок, так и синтезированного на их основе адаптивного закона управления [126].

Характерной чертой неравенств (3.13) является то, что в каждый момент времени  $t$  известно лишь текущее значение функции  $\varphi(\tau, t)$ , но не будущие ее значения. Последние зависят от будущего выбора оценок и управляющих воздействий, поэтому алгоритм адаптации должен находить решение заранее не заданных неравенств (3.13).

Большинство алгоритмов адаптации можно разбить на два класса:

- 1) непрерывные алгоритмы, когда оценка  $\tau(t)$  определяется как решение дифференциального уравнения адаптации;
- 2) дискретные алгоритмы, когда оценка  $\tau(t) = \tau(t_k)$  определяется в дискретные моменты времени  $t_k$ ,  $k = 0, 1, \dots$  по рекуррентным формулам.

Общая схема непрерывных алгоритмов такова: оценка  $\tau(t)$  определяется как решение дифференциального уравнения адаптации вида

$$\tau(t) = A[\tau(t), s(t)], \quad \tau(t_0) = \tau_0, \quad t \geq t_0, \quad (3.14)$$

где  $s(t)$  – текущая информация;  $\tau_0$  – произвольная начальная оценка из множества  $Q_\xi$ ;  $A$  – оператор адаптации (он таков, что оценки  $\tau(t)$  сходятся к идеальному решению  $\xi$  или в некоторую его окрестность).

Дискретные алгоритмы адаптации описываются следующей системой соотношений:

$$\tau(t) = \tau_k; \quad t \in [t_k, t_{k+1}]; \quad t_{k+1} = t_k' + \theta; \quad (3.15)$$

$$\tau_{k+1} = \tau_k + A[s(t_k')], \quad k = 0, 1, \dots, \quad (3.16)$$

где  $\tau_0$  – произвольная начальная оценка;  $t_k'$  – первый момент нарушения неравенств (3.13) при  $\tau = \tau_k$ ,  $t \geq t_k$ ;  $\theta$  – время, необходимое для вычисления новой оценки  $\tau_{k+1}$  в соответствии с алгоритмом (3.15) по имеющейся к моменту  $t_k'$  информации  $s(t_k')$ ;  $A$  – оператор адаптации.

Таким образом, решение задачи адаптации сводится к конструированию непрерывных или дискретных алгоритмов адаптации вида (3.14) или (3.15), которые генерируют траекторию  $\tau(t)$ ,  $t \geq t_0$  или последовательность оценок  $\tau_k$ ,  $k = 0, 1, \dots$ , сходящуюся к некоторому решению неравенств (3.13).

Важнейшими требованиями, предъявляемыми к алгоритмам адаптации, являются:

- 1) конечная сходимость, т.е. конечность общего времени нарушения неравенств (3.13) на траектории алгоритма адаптации;
- 2) помехоустойчивость, т.е. устойчивость алгоритма адаптации по отношению к вычислительным погрешностям;
- 3) простота и реализуемость алгоритма адаптации;
- 4) оптимальность, т.е. выбор оператора адаптации (или его параметров) из некоторого условия оптимальности.

Цель адаптивного управления зависит от режима эксплуатации ИКОС. Цель управления в *режиме стабилизации* заключается в отслеживании траектории движения с заданной точностью  $\varepsilon$  сра-

зу или по прошествии некоторого времени переходного процесса  $T_p \equiv t_p - t_0$ , т.е.

$$\|x(t) - x_p(t)\| \leq \varepsilon \text{ при всех } t \geq t_p(t_0, x_0, \xi, \pi). \quad (3.17)$$

Цель *терминального управления* заключается в переводе ИКОС из начального состояния  $x_0$  в желаемое конечное состояние  $x_1$  за заданное время  $T \equiv t_T - t_0$ , т.е.

$$\|x(t_T) - x_1\| \leq \varepsilon. \quad (3.18)$$

Наконец, цель самонаведения имеет вид (3.18) с той разницей, что траектория и время наведения здесь заранее не фиксируются.

Для выполнения сформулированных целевых условий необходимо синтезировать закон управления  $u = u(t, x, \tau)$  с обратной связью по вектору состояний  $x$  и с самонастройкой параметров  $\tau$ . Этот закон, естественно, не должен зависеть от неизвестных параметров  $\xi \in Q_\xi$  и возмущений  $\pi \in Q_\pi$ . Если синтезированный закон управления и алгоритм адаптации обеспечивают достижение цели управления для любых значений  $\xi$  и  $\pi$  из класса неопределенности  $\{Q_\xi, Q_\pi\}$ , то реализующую их систему управления ИКОС будем называть адаптивной в классе  $\{Q_\xi, Q_\pi\}$ . При синтезе и расчете адаптивных законов управления его структура и параметры должны быть выбраны так, чтобы гарантировать выполнение конструктивных ограничений на состояния и управления на всем рассматриваемом интервале траектории.

Таким образом, адаптивное управление позволяет осуществить управление самыми разнообразными процессами в условиях неполноты априорной и текущей информации относительно характеристик объекта и воздействий внешней среды.

Адаптивные системы относятся к числу наиболее сложных в существующей иерархии систем управления [127]. Их сложность определяется не только собственными особенностями (топологические особенности, структура операторов связей, разнообразие математического аппарата, особенности технической реализации и т.п.). Сложность проблем адаптации в системах управления состоит в глубине самой концепции адаптивного поведения, в ее многоальтернативности, в многообразии характера неопределенности информации об управляемом процессе и внешней среде, в

существовании множества подходов и идей, когда попытка разобраться в существе дела приводит к нелегкой задаче выбора и предпочтения той или иной идеи.

Под робастностью системы управления понимается ее практическая устойчивость при всех видах и значениях неопределенностей, обусловленных конкретной задачей.

Исходной проблемой теории робастного управления является стремление к обеспечению устойчивости не только заданной системы управления, но и всех, не очень отличных от нее систем, т.е. к универсализации стратегий управления по отношению к объектам [46]. Для обеспечения устойчивости управления нужно, чтобы устойчивость системы сохранялась в достаточном диапазоне изменения параметров объекта и регулятора (робастная устойчивость).

Одно из основных направлений исследований в теории робастного управления, связанное с параметрической неопределенностью линейных систем, ведет свое начало от основополагающей работы В. Л. Харитонова [129], который обнаружил, что в некоторых случаях об устойчивости бесконечного множества систем можно судить только по некоторым четырем из них. Это направление применимо, в частности, к системам управления технологическим проектированием.

Более общее решение данной проблемы основано на разработанном ранее методе устойчивости, получившем название  $D$ -разбиения, с привлечением метода условной оптимизации Лагранжа. Это решение позволяет определить меры робастной устойчивости.

Решение задачи о мере робастной устойчивости в рамках своей постановки носит законченный характер. Перспективы заключены в самом факте появления общего решения, в его использовании и применении к разнообразным конкретным задачам и синтезу управляющих систем по совокупности критериев, включая и меру робастной устойчивости.

Обычно реальные значения параметров известны неточно, причем степень неопределенности существенно различна для разных задач. Отличие может возникать из-за неточного знания параметров объекта управления или их «дрейфа» (настолько медленно, что корректна аппроксимация постоянными величинами) либо из-за неучтенных при моделировании, но реально присутствующих в системе быстро изменяющихся во времени возмущений. Математические модели подобных систем описываются характеристическим полиномом, имеющим линейные параметры, большинство из которых являются не до конца определенными [130].

Однако в реальных задачах линейные задачи редки, более часто приходится встречаться с ситуацией нелинейных возмущений. Так, при задании системы управления в виде схемы из элементарных звеньев неопределенности каждого звена проявляются в характеристическом полиноме нелинейным образом. Способ описания системы с помощью уравнений в пространстве состояний также приводит к нелинейным неопределенностям, так как определитель матрицы является нелинейной функцией от ее элементов.

По сравнению с исследованиями проблемы робастной устойчивости линейных систем проблемы нелинейных систем исследованы значительно меньше. Любопытно, что первой работой, в которой затрагивалась эта проблема, была монография Заде и Дезое-ра [131], опубликованная в 1963 г., задолго до возникновения современной теории робастности. Впрочем, в ней дано лишь достаточное условие, а его проверка весьма трудоемка.

Рассмотрим вопрос об устойчивости системы управления, показанной на рис. 25. Она состоит из последовательно соединенных звеньев первого порядка, замкнутых через регулятор обратной связи. Такие системы традиционно были объектами исследования классической теории устойчивости  $D$ -разбиения, разработанной Ю. И. Неймарком.

Однако техника  $D$ -разбиения пригодна для построения области устойчивости по одному или двум параметрам. Нас же будут интересовать ситуации, когда неопределенными являются постоянные времени произвольного количества звеньев.

Характеристический полином системы имеет вид [132]

$$G(s) = kP(s) + Q(s) \prod_{i=1}^m (1 + T_i s), \quad (3.19)$$

где  $k \geq 0$  – коэффициент передачи;  $P(s)$ ,  $Q(s)$  – известные полиномы, описывающие регулятор, а постоянные времени  $T_1, \dots, T_m$  принадлежат заданным отрезкам

$$a_i \leq T_i \leq b_i, \quad (i = 1, \dots, m), \quad (3.20)$$

где  $a_i, b_i$  – константы, определяющие вариации  $T_i$ .

Коэффициент  $k$  либо задан точно, либо имеет нечеткое описание, т.е. принадлежит отрезку  $[0, \bar{k}]$ , где  $k \geq 0$ . Все полиномы вида (3.18), удовлетворяющие условиям (3.19), будем называть допустимыми.

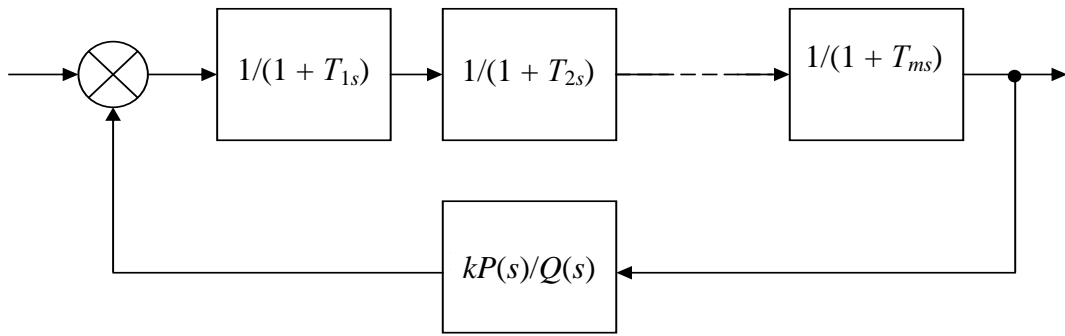


Рис. 25. Представление систем управления ТПП  
в виде цепочки простых звеньев

Система называется робастно устойчивой, если все допустимые полиномы Гурвица, т.е. их корни, лежат в открытой левой полуплоскости. Проблема заключается в проверке робастной устойчивости при фиксированном  $k$  либо при  $k \in [0, \bar{k}]$ . Более общая задача состоит в отыскании наибольшего  $\bar{k}$ , при котором сохраняется робастная устойчивость.

Достаточное условие робастной устойчивости семейства полиномов, полилинейно зависящих от параметров, для задач анализа систем управления формулируется следующим образом.

Возьмем какую-либо вершину  $V$  многомерного параллелепипеда (3.19)  $T_i = a_i, i \in A, T_k = b_k, k \in B, W = A \cup B$ , где  $A, B$  – непересекающиеся множества. Зная, что  $s = j\omega$ , вычислим  $G(j\omega, V)$  – значение  $G(j\omega)$  для такого набора  $T_i$  и возьмем для каждого  $\omega$

$$G(\omega) = \text{co}\{G(j\omega, V), V \in U\}, \quad (3.21)$$

где  $V$  – множество всех вершин параллелепипеда, а  $\text{co}$  означает выпуклую оболочку. Теорема об отображении Заде и Дезоера утверждает, что если какой-либо допустимый полином Гурвица и  $0 \in G(\omega)$  для всех  $0 \leq \omega < \infty$ , то семейство (2.6), (2.7) робастно устойчиво. Однако число вершин  $V$  равно  $2^m$ , так что такой способ весьма трудоемок для больших  $m$ .

Назовем вершину  $V$  правильной, если

$$a_i < b_k \text{ либо } b_k < a_i, \quad (3.22)$$

для всех  $i \in A, k \in B$ . Множество всех правильных вершин обозначим  $U$ . Построим функцию

$$F(\omega) = \text{co}\{G(j\omega, V), V \in U\}. \quad (3.23)$$

В работе [133] доказана следующая теорема: пусть допустимый полином  $G_0(s)$  Гурвица и  $0 \in F(\omega)$  для всех  $0 \leq \omega < \infty$ . Тогда семейства (3.19), (3.20) робастно устойчивы.

Иначе говоря, критерий Заде и Дезоера остается справедливым, если ограничиться лишь правильными вершинами. Число правильных вершин обычно существенно меньше, чем общее число вершин. Однако в неблагоприятных случаях число правильных вершин совпадает с общим. Такая ситуация справедлива для вложенных интервалов:

$$a_1 < a_2 < \dots < a_m < b_m < b_{m-1} < b_1. \quad (3.24)$$

Здесь всякая вершина является правильной и их число равно  $2^m$ .

Описанный выше подход применим для задач с фиксированным  $\bar{k}$ . Небольшая его модификация позволяет найти максимальное  $\bar{k}$ . Вместо  $F(\omega)$  построим

$$H(\omega) = co \left\{ \frac{R(j\omega, V)}{P(j\omega)}, V \in U \right\}, \quad (3.25)$$

где

$$R(s, u) = Q(s) \prod_{i \in A} (1 + a_i s) \prod_{i \in B} (1 + b_i s). \quad (3.26)$$

Следует отметить еще одну теорему [134]. Если  $R(s, V_0)$  Гурвица для некоторого  $V_0 \in V$ ,  $P(j\omega) \neq 0$ , а  $H(\omega)$  не пересекает отрезок  $[-\bar{k}, 0]$  для всех  $0 \leq \omega < \infty$ , то семейства (3.18), (3.19) робастно устойчивы при  $0 \leq k \leq \bar{k}$ .

Однако в некоторых ситуациях существуют и совсем простые достаточные условия. Так, если отрезки  $[a_i, b_i]$  покрывают весь отрезок  $[\alpha, \beta]$ , где  $\alpha = \min a_i$ ,  $\beta = \max b_i$ , то достаточно проверить устойчивость лишь одного однопараметрического семейства

$$G(s, \lambda) = kP(s) + Q(s) \left( \lambda \prod_{i=1}^m (1 + a_i s) + (1 - \lambda) \prod_{i=1}^m (1 + b_i s) \right) \quad (3.27)$$

для  $0 \leq \lambda \leq 1$ . В настоящий момент мы располагаем доказательством этого утверждения лишь для ряда частных случаев.

Заметим, что системы вида (3.19), (3.20) представляют собой весьма частный (но удобный для исследования) случай полилинейных систем.

При рассмотрении ИКОС в виде цепочки простых звеньев полученные результаты позволяют более просто описать устойчивость системы, по сравнению с классическими методами. Особен-



но это проявляется, если в исследованиях используется теорема Харитоновна [135].

### 3.4. Структурная модель интеллектуальной системы управления

Одной из наиболее важных задач компьютерного обучения является создание ИКОС, позволяющей развивать продуктивное творческое мышление, обеспечивающее возможность самостоятельно приобретать новые знания, применять их в многообразных условиях окружающей действительности [41].

Одним из вариантов решения этой задачи является создание ИКОС, способной вести процесс обучения на основе активного взаимодействия обучаемого и системы обучения, так как именно активная позиция обучаемого отвечает направленности его мышления на открытие новых знаний [42].

Согласно принятой методологии теории поэтапного формирования умственных действий и понятий процесс обучения разбит на ряд этапов, предназначенных для решения конкретной дидактической задачи. Поэтому сложность УИ возрастает от одного этапа к другому, внутри этапа тематические блоки расположены так же, в порядке возрастания их сложности.

Каждому тематическому блоку УИ соответствует свое основное СО, посредством которого она передается обучаемому. Для работы с конкретным СО – мультимедийными средствами, функциональными и процедурными тренажерами – необходима соответствующая им коммуникативная стратегия.

Таким образом, каждому этапу обучения ставится в соответствие свое основное СО и соответствующая ему коммуникативная стратегия.

Выбор коммуникативной стратегии обучения определяет особенности коммуникативной среды, построенной с учетом (рис. 26):

- психофизиологических особенностей обучаемого, отражающих его восприимчивость к тому или иному виду информации (текст, графика, м/медиа), являясь параметрами канала коммуникации, которые учитываются в модели обучаемого (МО);

- особенностей предметной области обучения, которые определяются соотношением количества декларативной и процедурной составляющих учебного знания и отражены в модели предметной области [43]. На этом основании применяется то или иное СО, наиболее соответствующее особенностям УИ [44].

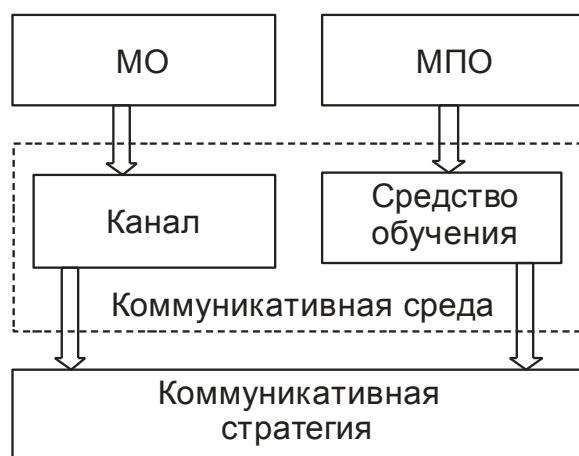


Рис. 26. Общая концепция выбора коммуникативной стратегии обучения

Если в начале обучения параметры канала настроены, то они остаются постоянными (для конкретного обучаемого) на каждом этапе обучения, в то время как средство обучения меняется при переходе с одного этапа на другой, поэтому выбор коммуникативной стратегии обучения напрямую зависит от используемого СО, а ее особенности определяют параметры канала коммуникации.

Коммуникативная стратегия представляет собой способ коммуникации обучаемого и ИКОС, отражающий вид их взаимодействия (информирующий, продукционный или оценочный). Информированная коммуникативная стратегия определяет способ коммуникации, для которого характерно снижение активности действий обучаемого до простого «механического» запоминания, если речь идет о знаниях с ярко выраженной декларативной составляющей, или «натаскивания», если знания в большей степени процедурные. Такой вид коммуникативной стратегии целесообразно применять только во время усвоения учебной информации, содержащей основные определения предметной области и отношений между ними.

Продуктивная коммуникативная стратегия определяет способ коммуникации, для которого характерна высокая степень активности обучаемого. Наибольшая активность проявляется при решении задач, направленных на открытие новых причинно-следственных связей, закономерностей, общих признаков решения целого класса задач. Этот вид коммуникативной стратегии целесообразно применять при формировании практических умений, на основе уже имеющихся теоретических знаний предметной области изучения.

Оценочная коммуникативная стратегия отвечает за предварительный и текущий контроль знаний обучаемого. Назначение предварительного контроля состоит в установлении исходного уровня знаний обучаемого, что позволяет сэкономить время обучения. Текущий контроль необходим для получения информации о ходе процесса обучения, выявления «прироста» знаний, увеличения степени формирования умений и навыков. Важнейшей функцией текущего контроля является функция обратной связи, которая не только предоставляет сведения о действиях обучаемого, но и дает возможность своевременно определить пробелы в усвоении материала, повышая общую эффективность процесса обучения. Итоговый контроль используется для оценки результатов обучения, достигнутых в конце работы над темой или курсом по завершении процесса обучения.

Для повышения эффективности работы ИКОС на каждом этапе обучения разработана структурная модель интеллектуальной системы управления ИКОС, интеллектуальность которой состоит в автоматизированном выборе коммуникативной стратегии, что позволяет повысить эффективность работы ИКОС на каждом этапе обучения (рис. 27).

Выбор коммуникативной стратегии происходит на основе формирования коммуникативной среды обучения с учетом не только индивидуальных особенностей обучаемого, но и особенностей учебной информации (в виде соответствующего ей СО).

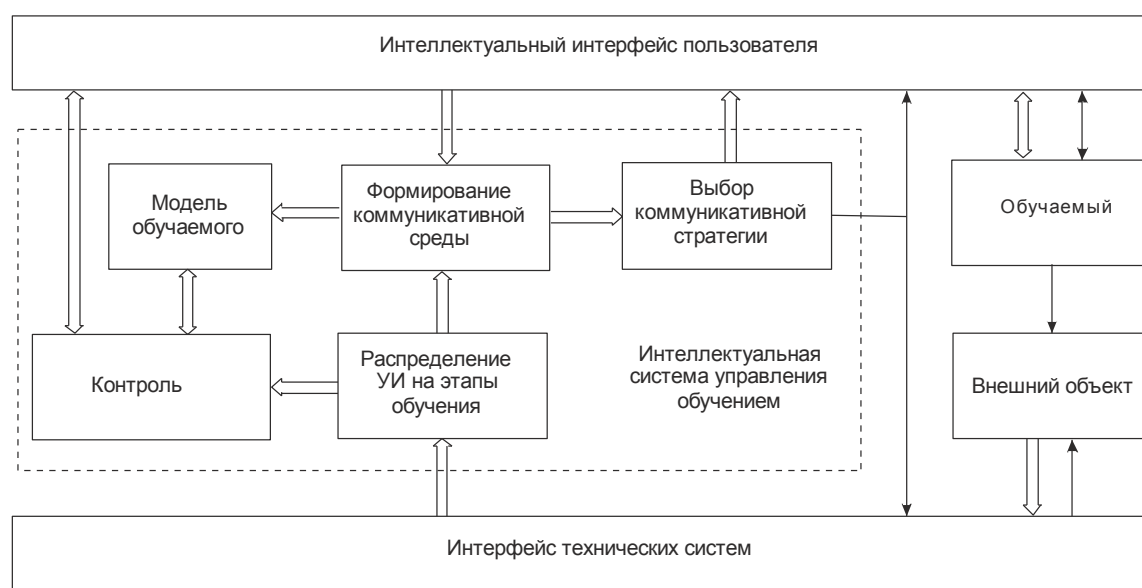


Рис. 27. Структурная модель интеллектуальной системы управления обучением

Кортеж, отражающий особенности коммуникативной среды обучения, имеет вид

$$M = (R, E, S);$$

где  $R$  – тип репрезентативной системы обучаемого;  $E$  – вариант оформления ИИП;  $S$  – вид СО, соответствующего этапу.

Тип репрезентативной системы обучаемого представлен в виде множества:

$$R = \{Audial, Vizual, Digital\};$$

где *Audial* – аудиальная; *Vizual* – визуальная; *Digital* – дискретная.

В качестве эргономических параметров выступает множество:

$$E = \{C1, C2, C3\},$$

где  $C1-3$  – различные варианты оформления ИИП, разработанной ИКОС.

Вид СО содержит инструментальный набор, заложенный в системе:

$$S = \{MM, FT, PT\},$$

где *MM* – аудиовизуальные средства (мультимедиа); *FT* – функциональный тренажер; *PT* – процедурный тренажер.

Наличие в кортеже среды обучения параметра *MM* указывает на информирующий вид коммуникативной стратегии, если параметры *FT* и *PT*, то стратегия продуктивная. Параметры  $R$  и  $E$  являются дополнительными и влияют на особенности коммуникативной стратегии:

– для информирующей стратегии:

$$M = \begin{cases} R \in [Audial, Vizual, Digital]; \\ E \in [C1, C2, C3]; \\ S \in MM]; \end{cases}$$

– для продуктивной стратегии:

$$M = \begin{cases} R \in [Audial, Vizual, Digital]; \\ E \in [C1, C2, C3]; \\ S \in [FT, PT]. \end{cases}$$

Интеллектуальный интерфейс пользователя позволяет изменить параметры канала коммуникации. В качестве параметров канала выбраны:

- особенности репрезентативной системы обучаемого;
- особенности эргономических предпочтений обучаемого.

Репрезентативная система обучаемого – способ получения и обработки информации из окружающего мира. Согласно [45, 46] обучаемые являются визуалами, аудиалами, кинестетиками и дигиталами. Визуал – это человек, который получает наибольшее количество информации через зрение. Аудиал информацию из внешнего мира воспринимает через звуки. Кинестетик воспринимает информацию через прикосновения и ощущения. Дискрет – это человек, работающий, как логическая система, в какой-то момент жизни происходит отделение от ощущений и остается только логика.

Наиболее эффективное взаимодействие обучаемого и системы происходит, когда учебная информация представлена каналом в виде, соответствующем способу получения и обработки информации обучаемым. Интеллектуальность интерфейса пользователя заключается в автоматизированном представлении УИ к виду, соответствующему типу репрезентативной системы обучаемого.

В качестве эргономических параметров обучаемого на основе анализа российского и зарубежного опыта в области дизайна выбраны следующие физиологические особенности восприятия цветов и форм:

С1 – черный шрифт на белом фоне;

С2 – белый шрифт на темно-синем фоне;

С3 – желтый шрифт на синем фоне.

Модель обучаемого реализована в виде базы данных, состоящей из двух частей. В первой хранится информация о типе его репрезентативной системы (аудиал, визуал, дискрет), выбранном эргономическом параметре (С1, С2, С3), уровне обучения (бакалавр, магистр), а также логин и пароль. Во второй части в виде семантической сети фреймов хранится информация о знаниях обучаемого.

Для эффективного управления процессом обучения реализована функция контроля, так как именно с его помощью вводится соответствующая коррекция управления обучением. На основе ответов обучаемого определяется «прирост» знаний, увеличение степени формирования умений и навыков. Результат заносится в МО, происходят сравнение МО с МПО и выбор УИ, подлежащей дальнейшему изучению. Поэтому контроль выполняет функцию обратной связи, предоставляя возможность своевременно определить пробелы в усвоении материала, повышая общую эффективность процесса обучения.

В соответствии с выбранной методологией организации процесса обучения вывод УИ необходимо осуществить в последовательности, соответствующей этапам обучения. Распределение тематических блоков УИ по этапам происходит на основе ее принадлежности к множеству декларативных или процедурных знаний.

Конкретный тематический блок УИ трудно однозначно отнести к множеству декларативных или процедурных знаний, поэтому количественный анализ модели предметной области следует провести на основе теории нечетких множеств.

Таким образом, разработанная структурная модель интеллектуальной системы управления ИКОС, учитывающая психофизиологические особенности обучаемого и предметной области обучения, позволяет повысить эффективность работы ИКОС на каждом этапе обучения.

На основе предложенной структурной модели интеллектуальной системы управления ИКОС разработана соответствующая ей методика управления ИКОС. Особенностью разработанной методики является формирование коммуникативной среды на каждом этапе обучения, что позволяет осуществить выбор коммуникативной стратегии, соответствующей каждому этапу, и в случае необходимости внести коррекцию коммуникативной среды [47–51]. Алгоритм, поясняющий предложенную методику, представлен на рис. 28.

#### 1. Подключение внешнего объекта исследования.

В начале работы следует подключить внешний ОИ. Это необходимо сделать до авторизации пользователя, поскольку вопросы предварительного контроля содержатся в УИ подключаемого объекта.

Подключение внешнего ОИ состоит в копировании базы знаний УИ с DVD-ROM на жесткий диск компьютера (что повысит скорость поиска и обработки информации) и указании места положения служебного файла, находящегося в корневой папке БЗ.

#### 2. Авторизация пользователя.

Во время авторизации происходит настройка параметров канала коммуникации. Обучаемый должен указать тип своей репрезентативной системы и физиологические особенности восприятия цветов и форм. В случае затруднения ИИП позволяет провести тестирование, на основании которого проводит автоматизированный выбор типа репрезентативной системы, наиболее соответствующей обучаемому.

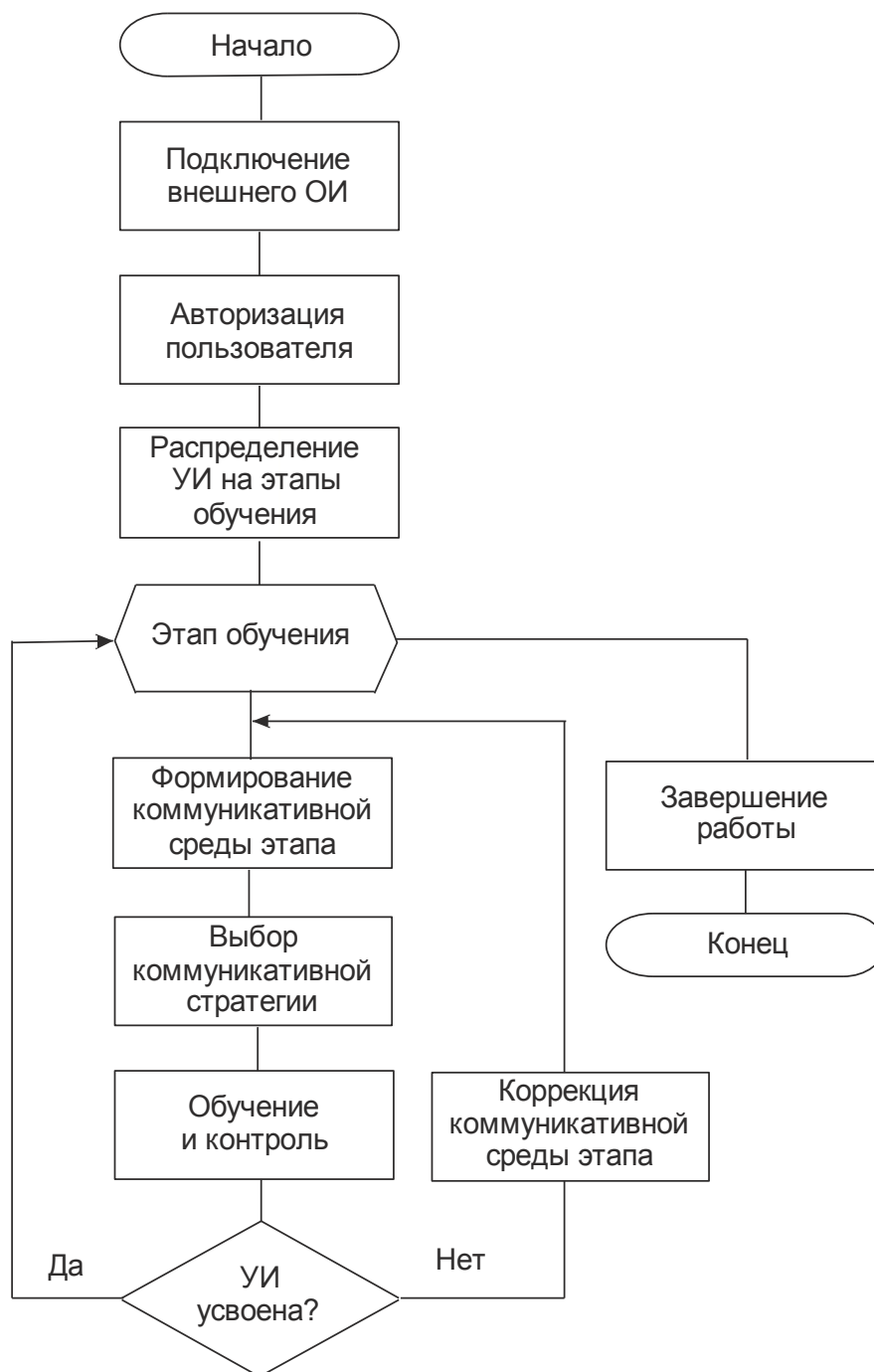


Рис. 28. Разработанный алгоритм методики управления обучением ИКОС

Таким образом, на этом этапе происходит адаптация канала коммуникативной среды в соответствии с индивидуальными особенностями обучаемого.

### 3. Распределение учебной информации по этапам обучения.

Согласно принятой методологии последовательность тематических блоков УИ зависит от их сложности, определяемой соотношением декларативной и процедурной составляющих. Чем больше процедурной части в тематическом блоке УИ, тем выше ее сложность и тем дальше она расположена.

Каждому тематическому блоку УИ ставится в соответствие свое основное СО:

– *мультимедийные средства*. Прежде всего, это методы и технологии построения систем визуализации и обработки информации – мультимедиа и гипертекста. Использование данных технологий позволяет изменить форму, количество и темпы предоставления информации обучаемым;

– *функциональные тренажеры*. В качестве функционального тренажера рассмотрено использование АЛК. Достоинством такого процесса обучения является то, что АЛК используется не только на стадии контроля полученных знаний, умений и навыков, но и на стадии объяснения изучаемого материала;

– *процедурные тренажеры*. В качестве процедурного тренажера использована САПР, так как именно она является генератором информации для формирования навыков по управлению сложными действиями (например, управление определенным технологическим процессом в штатных, нештатных или аварийных ситуациях).

Таким образом, тематические блоки УИ выстраиваются в последовательности, соответствующей принятой методологии – мультимедийные средства, затем функциональные, а потом процедурные тренажеры.

#### 4. Формирование коммуникативной среды.

На этом этапе ИКОС приводит внешний вид ИИП в соответствие типу репрезентативной системы обучаемого, а УИ – к виду, соответствующему физиологическим особенностям восприятия цветов и форм обучаемого. Кроме того, определяется активное на данном этапе СО, формируется кортеж параметров коммуникативной среды этапа.

#### 5. Выбор коммуникативной стратегии.

На основе кортежа параметров коммуникативной среды на каждом этапе обучения осуществляется выбор соответствующей коммуникативной стратегии, которая представляет собой способ коммуникации обучаемого и ИКОС, отражающий вид и особенности их взаимодействия (информирующая, продуктивная и оценочная).

#### 6. Обучение и текущий контроль.

На этом этапе оценивается эффективность обучения, что позволяет принимать решение о целесообразности внесения коррекции в управление обучением. Обучение ведется с помощью информирующей или продуктивной коммуникативной стратегии, выбранной ранее на основе параметров коммуникативной среды.



Алгоритм информирующей стратегии основан на применении системы репродуктивного сообщающего обучения и предназначен для передачи теоретических знаний (доминирует декларативная составляющая) (рис. 29,а).

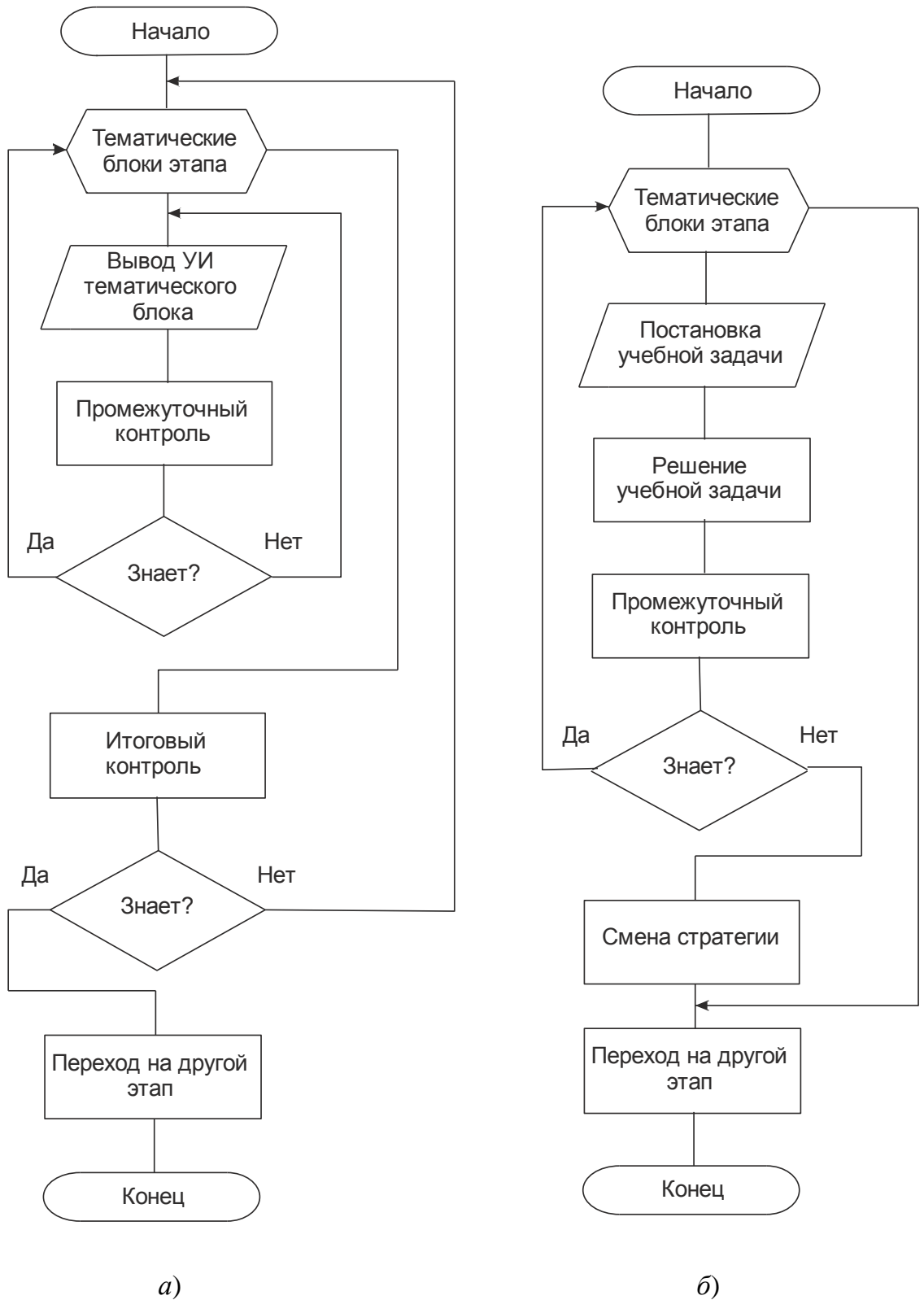


Рис. 29. Алгоритмы информирующей (а) и продуктивной (б) коммуникативной стратегий

УИ, разделенная на тематические блоки, выводится последовательно. После вывода одного тематического блока УИ проводится промежуточный контроль, состоящий из несложных вопросов, оценка не выставляется. По результатам промежуточного контроля делается вывод о том, усвоена УИ или нет. Если не усвоена, то продолжается обучение тому же тематическому блоку; если усвоена, то осуществляется переход к следующему тематическому блоку УИ.

По завершении обучению всех тематических блоков этапа проводится итоговый контроль с выставлением оценки за весь этап. В случае неудовлетворительной оценки предлагается повторить обучение, иначе переходим к следующему этапу обучения.

Алгоритм продуктивной стратегии основан на применении системы проблемного обучения и предназначен для формирования навыков и умений (доминирует процедурная составляющая) (рис. 29,б). Отличием данного алгоритма от предыдущего является постановка проблемной задачи в начале обучения и самостоятельное решение ее обучаемым. Если в результате промежуточного контроля выясняется, что обучаемый не смог решить задачу, то происходит смена стратегии обучения на информирующую и обучение той УИ, знание которой подразумевает ее решение.

Таким образом, применение различных методик обучения на разных этапах передачи знаний, формирования умений и навыков позволит повысить эффективность всего процесса обучения в целом.

#### 7. Коррекция коммуникативной среды.

Коррекция коммуникативной среды этапа проводится в два этапа. Если применена коммуникативная стратегия обучения, то ИКОС меняет ее на информирующую. Если изначально применена информирующая стратегия обучения, то ИКОС переходит ко второму этапу – предлагает изменить параметры канала коммуникации (вариант оформления ИИП, соответствующий типу репрезентативной системы, и вариант передачи УИ, соответствующий физиологическим особенностям восприятия цветов и форм обучаемого).

#### 8. Завершение работы.

Прервать обучение можно в любой момент, при этом необходимо сохранить следующие используемые параметры обучения:

- вариант оформления ИИП;
- вариант передачи УИ;
- уровень текущих знаний.

Выполнение сохранения параметров обучения позволит начать следующий сеанс обучения с того же места.

Таким образом, разработанная структурная модель интеллектуальной системы управления обучением реализует следующие функции:

- распределение последовательности тематических блоков УИ по этапам процесса обучения согласно принятой методологии;
- организация процесса обучения с применением коммуникативной обучающей стратегии, соответствующей особенностям предметной области обучения.

Схема процесса обучения состоит из последовательности тематических блоков УИ и контроля. В случае отсутствия результатов предварительного контроля и успешного прохождения обучения на каждом этапе (нет возвращения к уже изученному материалу) схема последовательности организации процесса обучения является полной и не нуждается в корректировке. Полная схема последовательности процесса обучения, показанная на рис. 30, содержит все пять этапов передачи профессиональных знаний, формирования навыков и умений. Первый этап предназначен для создания мотивации, целеполагания и общей ориентировки обучаемого в предметной области, поэтому контроль на этом этапе не применен.

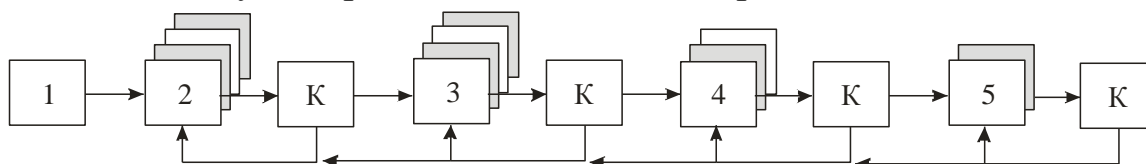


Рис. 30. Полная схема последовательности организации процесса обучения

При выявлении имеющихся некоторых базовых знаний на этапе прохождения предварительного контроля или обнаружении неполноты знаний, умений, навыков (особенно важно на четвертом и пятом этапах – формирование умений применить знания и навыки) во время обучения схема последовательности процесса обучения соответствующим образом корректируется (рис. 31).

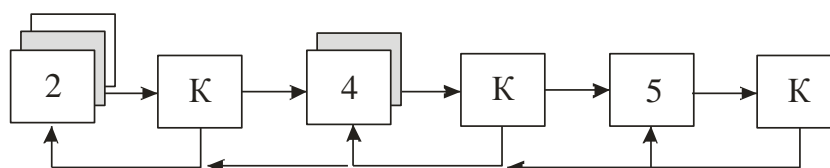


Рис. 31. Возможный вариант схемы организации процесса обучения

Такое сокращение этапов процесса обучения позволяет уменьшить время процесса обучения, кроме того, своевременная подача нового учебного материала (без ненужных повторений) обеспечивает поддержку активности и познавательного интереса обучаемого.

Таким образом, разработанная методика управления ИКОС, соответствующая предложенной структурной модели интеллектуальной системы управления ИКОС, позволяет повысить эффективность ее работы на каждом этапе обучения.

### 3.5. Контроль знаний обучаемого

Эффективность управления процессом обучения в значительной мере зависит от качества организации процесса контроля знаний, так как именно с его помощью вводится соответствующая коррекция процесса стратегии управления обучением.

Вне зависимости от вида контроля знаний (предварительный, текущий, итоговый) методики организации компьютерного контроля знаний делятся на три класса [52]:

- неадаптивные;
- частично адаптивные;
- полностью адаптивные.

Общим для всех неадаптивных методик является то, что контрольные вопросы формируются заранее, это позволяет выдавать задания двумя способами: по одному или списком. В последнем случае студент сам может выбрать последовательность выполнения заданий. Недостатком неадаптивных методик является отсутствие использования информации о МО и МПО.

Частично адаптивные методики во время формирования набора контрольных вопросов предполагают использование информации о МО и/или МПО, т.е. в методиках данной группы признаки адаптации присутствуют.

Адаптивное обучение и адаптивный тестовый контроль в своем единстве представляют собой современный компьютерный вариант реализации принципа индивидуализации обучения. Адаптивное обучение позволяет:

- использовать оценки, полученные при предварительном адаптивном тестовом контроле для выбора исходных тематических блоков учебной информации, с которой начинается адаптивное обучение;

– открыть возможности свободного выбора траектории обучения, обеспечивая выдачу учебного материала на оптимальном уровне сложности, так как легкие материалы не обладают заметным развивающим потенциалом, а трудные задания снижают учебную мотивацию обучаемых;

– обеспечить передачу знаний, формирование умений и навыков без пробелов, получая требуемую структуру и желаемый уровень знаний, умений, навыков.

Целесообразность адаптивного контроля вытекает из соображений рационализации традиционного процесса тестирования, где всем обучаемым дается одинаковый набор заданий. Нет необходимости давать легкие задания обучаемому с высоким уровнем знаний из-за высокой вероятности их правильного решения. Из-за высокой вероятности неправильного решения нет смысла давать трудные задания слабому обучаемому. Использование заданий, соответствующих уровню подготовленности, существенно повышает точность измерений и минимизирует время индивидуального тестирования.

В настоящее время существуют три варианта проведения адаптивного тестирования [53]:

1) пирамидальное тестирование – обучаемому дается задание средней сложности, затем в зависимости от правильности ответа дается задание легче или сложнее. На каждом шаге применяется правило деления шкалы сложности заданий пополам. Например, если в тесте имеется двадцать одно упорядоченное по трудности задание, тестирование начинается с одиннадцатого. Если обучаемый действовал правильно, ему предъявляется шестнадцатое задание и в случае успеха девятнадцатое. Аналогично, неподготовленный обучаемый после неудачи на одиннадцатом задании пробует силы на шестом и далее по тому же принципу до момента стабилизации на близких по трудности заданиях;

2) Flexilevel – контроль начинается с любого уровня трудности, а потом происходит постепенное приближение к реальному уровню подготовленности;

3) Stradaptive – тестирование проводится на основе базы сложности заданий, где все задания предварительно разделены на уровни сложности. После верного выполнения следующее задание берется из более высокого уровня трудности, после неверного – наоборот. Это требует предварительного определения трудности всех заданий.

Адаптивный контроль позволяет рационализировать традиционное тестирование. В рамках адаптивного контроля эффективно выбираются и используются те задания, которые соответствуют уровню подготовленности обучаемого, что позволяет существенно повысить точность измерений и минимизировать время тестирования.

С точки зрения порядка прохождения тестовых заданий существуют два подхода к созданию адаптивных тестов. Во-первых, существуют адаптивные тесты с постоянной адаптацией (детерминированно ветвящейся), когда принятие решения об изменении порядка следования тестовых вопросов производится на каждом шаге тестирования (рис. 32).

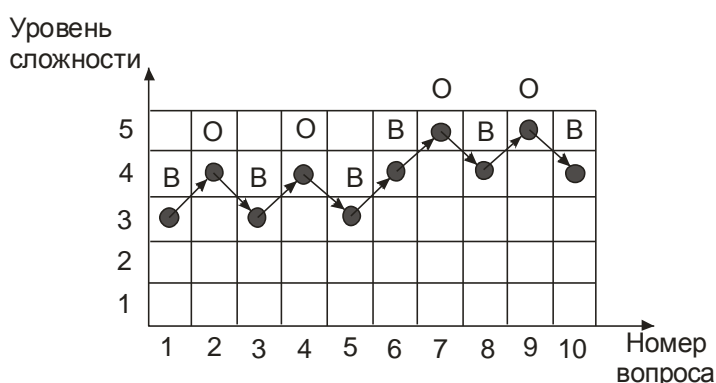


Рис. 32. Схема следования заданий при постоянной адаптации (О – ошибочный ответ; В – верный ответ)

Во-вторых, существуют адаптивные тесты с блочной адаптацией (варьирующей ветвящейся стратегией), когда принятие решения об изменении порядка следования заданий осуществляется после анализа результатов обработки некоторого специального блока заданий (рис. 33).

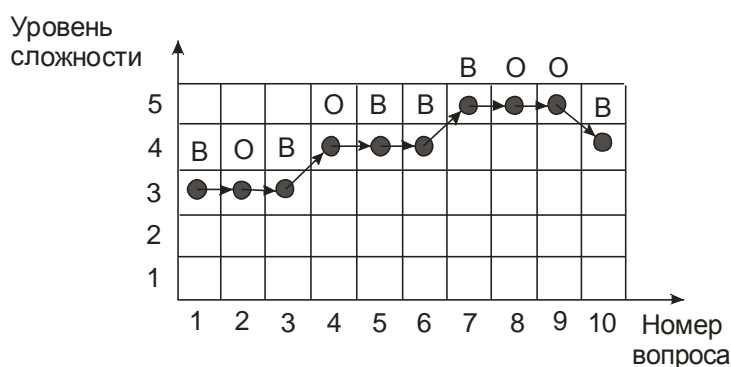


Рис. 33. Схема следования заданий при блочной адаптации (О – ошибочный ответ; В – верный ответ)

Учебная информация предметной области обучения представлена ИКОС хранится в виде тематических блоков. Переход

от одного блока к другому возможен только после полного усвоения содержащейся в нем УИ. Поэтому принято решение разработать методику контроля обучаемого на основе пирамидального тестирования с блочной адаптацией.

В соответствии с принятой методологией процесс обучения состоит из пяти этапов различной сложности. Первый этап предназначен для создания мотивации, целеполагания и общей ориентировки обучаемого в предметной области, поэтому контроль на этом этапе не проводится. В силу того, что четвертый и пятый этапы используют одно и то же средство обучения, целесообразно присвоить их заданиям один уровень сложности. Поэтому тематические блоки УИ по степени сложности разделены на три уровня (табл. 5).

Таблица 5

**Соответствие уровней сложности учебной информации средствам обучения этапов**

| Номер этапа         | 1                    | 2        | 3                        | 4                     | 5          |
|---------------------|----------------------|----------|--------------------------|-----------------------|------------|
| Название этапа      | Начальный            | Ключевой | Материальный             | Речевой               | Умственный |
| Средства обучения   | Мультимедиа средства |          | Функциональные тренажеры | Процедурные тренажеры |            |
| Уровни сложности УИ | 1                    |          | 2                        | 3                     |            |

Актуальность адаптивности состоит не только в экономии времени, но и в информационной безопасности. Чем меньше тестовых заданий и ситуаций предъявляется обучаемому, тем меньше вероятность их многократного повторения.

Предложенная схема проведения пирамидального тестирования с блочной адаптацией представлена на рис. 34.

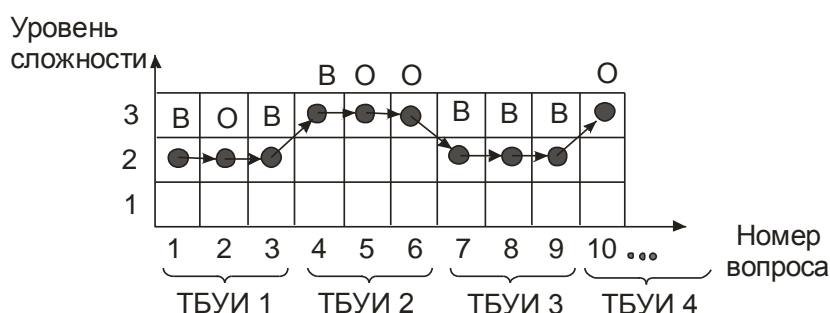


Рис. 34. Разработанная схема следования заданий пирамидального тестирования с блочной адаптацией (О – ошибочный ответ; В – верный ответ; ТБУИ – тематический блок учебной информации)

Одним из ключевых вопросов при компьютерном адаптивном тестировании является вопрос о том, когда следует прекратить тестирование. При создании тестов время является одним из основных по значимости факторов, определяющих качество всей системы тестирования и качество результатов, получаемых в процессе тестирования.

При разработке и проведении тестов важным фактором является время, так как одна из основных задач, заложенных в основу создания тестов, – получение инструмента, способного быстро и относительно точно оценивать уровень знаний обучаемого. К тому же уменьшение или превышение оптимального времени снижает качественные показатели теста [8, 9].

Некоторые разработчики стремятся включить в тест как можно больше заданий. Такое положение диктуется двумя обстоятельствами: чем больше количество заданий, тем более надежный результат. С другой стороны, чем больше количество заданий, тем более продолжительной и утомительной становится процедура тестирования.

Между результатами, которые может показать обучаемый, и продолжительностью тестирования существует достаточно простая связь. Время тестирования не может быть чрезмерно долгим. Увеличение времени тестирования приводит к утомлению обучаемого, что в свою очередь снижает результаты тестирования.

Таким образом, необходимо найти оптимальное время, которое отражало бы баланс между временем выполнения теста (количеством заданий) и утомлением испытуемых.

На основе деления тестовых заданий на три уровня сложности, как было показано выше, разработан алгоритм пирамидального тестирования с блочной адаптацией (рис. 35).

После первой пятерки заданий среднего уровня программа сразу же подсчитывает процент правильных ответов. Если решены 4–5 заданий, то обучаемому предлагаются вопросы высокого уровня сложности. Если решены только 1–3 задания, то программа переводит испытуемого на низкий уровень сложности. На втором этапе программа применяет подобную логику. В результате обучаемому ставится в соответствие не оценка, а тот уровень знаний, которому он соответствует.



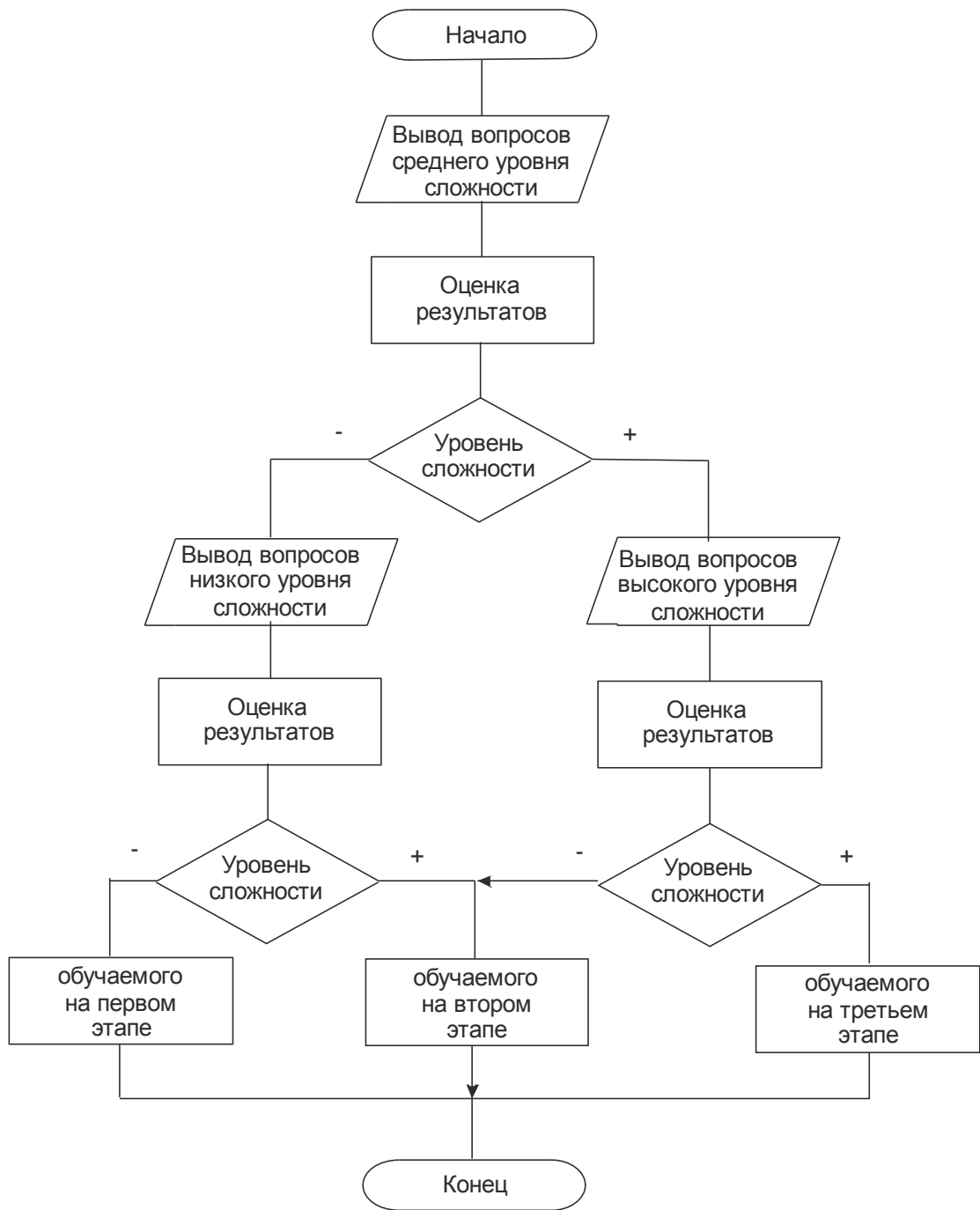


Рис. 35. Разработанный алгоритм пирамидального тестирования с блочной адаптацией

Таким образом, реализованная в ИКОС методика контроля обучаемого на основе пирамидального тестирования с блочной адаптацией позволяет корректировать процесс управления обучением, повышая его общую эффективность.

---

## 4. Взаимодействие ИКОС с внешним объектом исследования

---

### 4.1. Моделирование знаний в предметной области ИКОС

Сохранение и передача знаний особенно важны в связи с тем, что во всем мире наблюдается снижение количества специалистов среднего возраста, работающих в технических отраслях. В России эта проблема наиболее остра, поэтому возрастает актуальность быстрого и эффективного процесса передачи профессиональных знаний, формирования умений и навыков [53–55].

Организация быстрого и эффективного процесса передачи знаний требует проведения концептуального анализа характера человеческого знания как специфического объекта передачи, осуществляемой в процессе обучения.

Процесс обучения, в котором знания передаются напрямую от эксперта, затруднен отсутствием у него педагогических навыков и знаний методов дидактики. Педагог же знает, как правильно преподавать и эффективно использовать различные СО, но не всегда имеет достаточно знаний в нужной предметной области. Привлечение высококвалифицированного специалиста, совмещающего знания эксперта и педагога является выходом из этой ситуации, позволяя организовать эффективный процесс передачи знаний (рис. 36).

Организация быстрого процесса передачи знаний достигается за счет применения ИКОС (рис. 36,б), обеспечивающих индивидуальный подход к каждому обучаемому, в то время как один эксперт-педагог может обучать ограниченное число лиц.

При этом важной задачей является создание МПО, отражающей специфику человеческого знания (эксперта), позволяющей обучаемому овладеть ими в результате обучения.

С точки зрения ассоциативно рефлексорной концепции усвоения (И. П. Павлов, И. М. Сеченов) результатом обучения являются знания, навыки и умения, физиологической основой которых выступают ассоциативные связи (ассоциации), возникающие в коре головного мозга обучаемого [56].

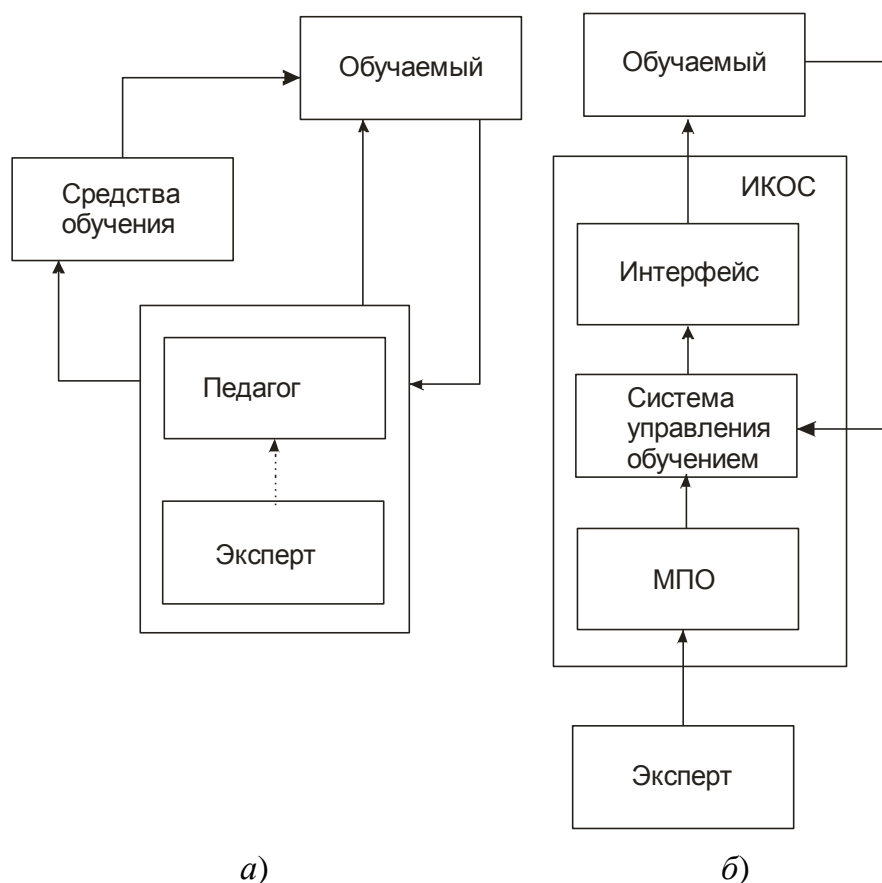


Рис. 36. Схема процесса передачи знаний:  
 а) без участия ИКОС; б) с участием ИКОС

Наиболее распространенное определение знаний следующее: знания – это проверенный общественно-исторической практикой и удостоверенный логикой результат процесса познания действительности; адекватное ее отражение в сознании человека в виде представлений, понятий, суждений, теорий. Знания фиксируются в форме знаков естественного и искусственного языков [57].

Научное знание представляет собой систематизированные обобщенные разряды знаний, формирование которых основано не только на опытных, эмпирических, но и на теоретических формах отражения мира и закономерностей его развития. В своих абстрактных формах научное знание не всем и не всегда доступно, поэтому оно предполагает такие изменения формы его презентации, которые обеспечивают адекватность его восприятия, понимания и усвоения, т.е. учебное знание [58].

Таким образом, учебное знание является производным от научного и в отличие от последнего есть познание уже известного или познанного. Согласно В. И. Гинецинскому [59], учебное знание существует в трех формах:

- в форме учебной дисциплины;
- в виде учебного текста;
- в форме учебной задачи.

Знания составляют основу обучения. Знания являются основой нравственных убеждений, эстетических взглядов, мировоззрения. Именно по ним у обучающихся формируются умения, навыки, умственные и практические действия.

Соотношения между умениями и навыками не уточнены до сих пор. Большинство психологов и педагогов считают, что умение – более высокая психологическая категория, чем навыки. Педагоги-практики придерживаются обратной точки зрения [60, 61].

Наиболее интересен, по мнению авторов, взгляд профессора Е. П. Ильина, предполагающий динамику изменения умений. «Когда человек читает книгу, контролируя смысловое и стилевое содержание ее, то считывание букв и слов происходит автоматически. Когда же он читает рукопись для выявления в ней опечаток, то контроль направлен уже на восприятие букв и слов, а смысловая сторона написанного уходит на второй план. Но в том и другом случае человек умеет читать, и это умение у него доведено до уровня навыка» [60].

Согласно труду С. Л. Рубинштейна «Основы общей психологии» [61], определения умений и навыков следующие.

Умение – это промежуточный этап овладения новым способом действия, основанным на каком-либо правиле (знании) и соответствующим правильному использованию знания в процессе решения определенного класса задач, но еще не достигшего уровня навыка. Умение обычно соотносят с уровнем, выражающимся на начальном этапе в форме усвоенного знания (правила, теоремы, определения и т.п.), которое понято учащимися и может быть произвольно воспроизведено.

Навыки – это автоматизированные компоненты сознательного действия человека, которые вырабатываются в процессе его выполнения. Навык возникает как сознательно автоматизируемое действие и затем функционирует как автоматизированный способ его выполнения. То, что данное действие стало навыком, означает, что индивид в результате упражнения приобрел возможность осуществлять данную операцию, не делая ее выполнение своей сознательной целью.

Таким образом, совершая в процессе формирования способности какое-либо действие, оно выполняется с выделением промежуточных шагов, а значит, способность выполнять действие вначале формируется как умение.

По мере тренировки и выполнения этого действия умение совершенствуется, промежуточные шаги этого процесса перестают осознаваться, действие выполняется полностью автоматизированно – у обучаемого образуется навык в выполнении этого действия, т.е. умение переходит в навык.

Если действие элементарное, то его выполнение формируется обычно как навык, например, навык письма, счета и т.д.

В случае когда действие сложное и его выполнение состоит из большого числа промежуточных шагов, то при любом совершенствовании действия оно может так и остаться умением, не превращаясь в навык.

Таким образом, если последовательность действий обучаемого не доведена до автоматизма и в процессе решения задачи он обращается к соответствующим правилам (декларативным знаниям), то конечным результатом обучения является умение. В обратном случае конечным результатом обучения является навык (рис. 37).

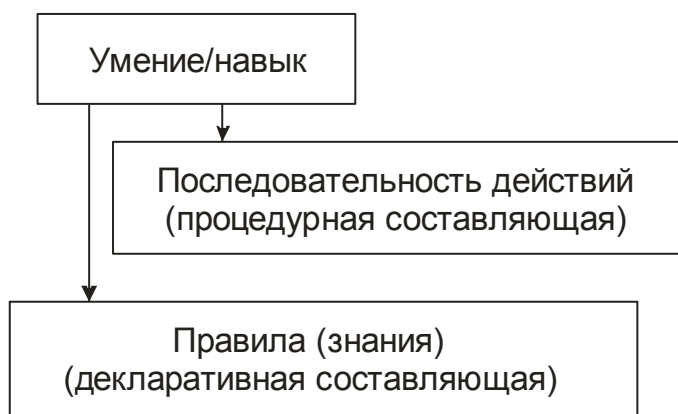


Рис. 37. Структурная схема умения/навыка

Знание субъективно по форме своего существования, и поэтому его нельзя механически передать «из головы в голову». Именно своей субъективностью научное или учебное знание отличается от научной или учебной информации, представляющей собой объективную форму знания.

В идеале МПО в ИКОС должна использовать именно УИ, вследствие ее объективности. На практике же знание МПО также

субъективно в силу принадлежности тому или иному носителю знания, преподавателю, эксперту и т.д.

Отражением специфики научного знания специалиста, его умений и навыков является учебное знание, формализованное ИКОС в виде УИ МПО.

УИ предметной области – множество всех предметов, свойства которых и отношения между которыми рассматриваются в научной теории. Вследствие этого МПО представляет собой сложную систему (рис. 38), имеющую элементы системы и связи между ними (внутренние связи системы), а также связи между ними и внешней средой. Сложные системы могут включать в себя в качестве подсистем и многократно «вложенные» друг в друга сложные системы следующих уровней предметной детализации рассматриваемого объекта.

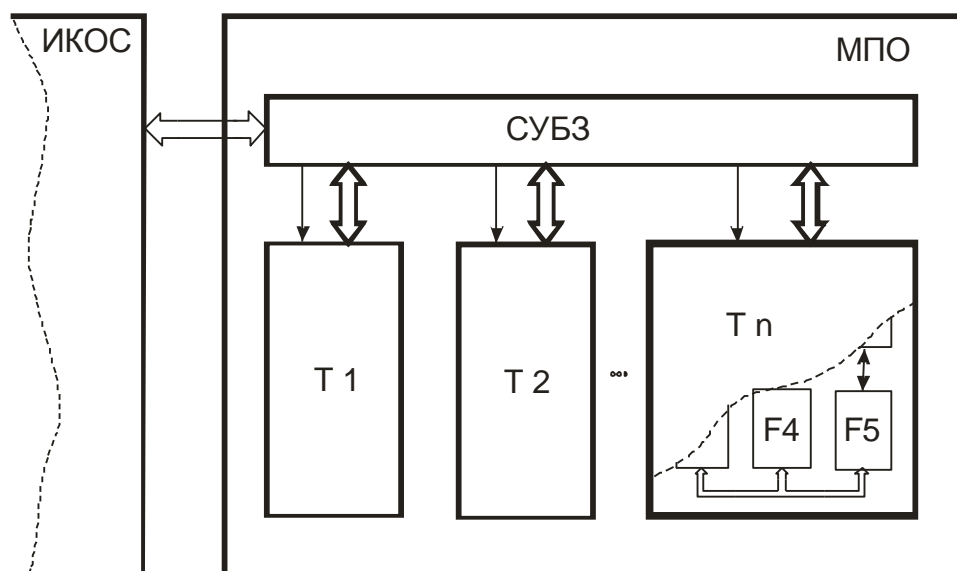


Рис. 38. Структурная схема сложной системы

Таким образом, при моделировании простых и сложных систем обнаруживаются два присущих этим типам систем способа интеграции знаний о моделируемом объекте:

- в рамках отдельных предметных областей («по глубине»);
- в границах междисциплинарных проблемных областей («по широте»).

Если в первом случае необходимо организовать знания из какой-то одной области науки или практики, то во втором случае возникают проблемы выявления, отбора и объединения фрагмен-

тов знания, принадлежащего к качественно различным научным дисциплинам или отраслям практической деятельности.

Научные дисциплины, имеющие различные фрагменты знания, обладают, как следствие, различным соотношением декларативной и процедурной компонент и требуют различного подхода к организации процесса обучения.

Решением этой задачи является организация сложной МПО в виде модели фреймов, узлами которой являются крупные, содержательно завершённые фрагменты знаний (терминалы), объединённые семантическими связями. Кроме того, фреймовая модель предоставления знаний отражает концептуальную основу организации памяти человека, а также её гибкость и наглядность [62].

Каждый фрейм сети имеет специальный слот, заполненный наименованием сущности, которую он представляет. Другие слоты заполнены значениями разнообразных атрибутов или процедурами, ассоциирующимися с моделируемым объектом, тем самым совмещая во фрейме декларативную и процедурную компоненты знания.

Интеграция знаний о моделируемом объекте по глубине достигается за счёт иерархической структуры терминалов, основанной на степени абстрактности содержащихся в нём фреймов, в то время как семантическая связь терминалов обеспечивает интеграцию знаний о моделируемом объекте по ширине.

Важнейшим свойством теории фреймов является заимствованное из теории семантических сетей наследование свойств. Помимо экономии памяти, это свойство даёт возможность неявно наследовать, т.е. переносить значения аналогичных слотов из фреймов различных терминалов.

Организация учебной информации МПО с учётом процедурной и декларативной составляющих в виде модели фреймов позволяет организовать процесс хранения и передачи не только профессиональных знаний эксперта, но также его умений и навыков.

## 4.2. Разработка понятийной модели предметной области

Множества **Р** и **В** в ИКОС представлены семантическими сетями, которые содержат учебные материалы данной предметной области. Процесс обучения как перенос знаний в голову обучаемого завершается при изоморфном отображении (взаимно однознач-

ном гомоморфном отображении, т.е. отображении, сохраняющем операции) множества **P** в **B**. При этом начальное наполнение множества **B** фиксируется в персональной модели обучаемого в ходе промежуточного контроля (тестирования).

Наиболее общим подходом к созданию моделей предметной области, нашедшим практическое воплощение в существующих экспертных системах, является абстрагирование от реального мира, выделение его существенных элементов и постулирование взаимосвязей между ними. Рассмотрим базовые компоненты описания предметной области обучения, служащие основой для построения смысловой модели данной предметной области и отражавшие ее предметный и операционный аспекты.

Предметная область (ПО) в задачах обучения представлена совокупностью учебных материалов (УМ), с которыми имеет дело обучаемый. Для ее описания построим формальную систему абстрактных понятий (концептов), на основе анализа которой осуществляются распознавание, обобщение и структурирование информации, создаваемой в системе обучения.

«Понятие» представляет собой фрагмент знаний, интерпретированный в терминах естественного языка и представляющий обобщенную модель класса учебных материалов предметной области, в которой оперирует система обучения. Указанная модель предназначена для выполнения операций распознавания и генерации моделей конкретных квантов учебной информации предметной области.

В основе системы понятий лежат понятия учебного материала и свойства. Понятие «учебный материал» обозначает отдельный квант учебной информации совокупности учебных материалов, относящихся к предметной области. Понятие «свойство» определяет характерную черту, особенность, внутренне присущую УМ и влияющую на понимание и изучение.

Каждому конкретному свойству при обучении сопоставляется множество его значений, которые могут быть представлены одним из трех основных типов:

– метрические, позволяющие дать количественную оценку тому или иному значению, а также проводить полное количественное сравнение различных значений между собой, основанное на измеримой базовой переменной;

– лингвистические, которые имеют качественный характер, но при этом упорядочены друг относительно друга, образуя ранго-



вую (порядковую) шкалу с неизмеримой базовой переменной; сравнение значений этого типа производится на основе нестрогой ранжировки;

– бессистемные, т.е. не наделенные никакой структурой и имеющие вид качественных описаний, характеризующих наличие свойства у рассматриваемого учебного материала.

В практике автоматизированного обучения одно из центральных мест занимает понятие «обобщенное описание» учебных материалов предметной области.

**Определение.** Обобщенное описание учебного материала есть конечное множество его свойств  $Q_x = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ , где  $n$  – мощность множества.

Обобщенное описание предметной области (ПО) обучения сводится к конкретному описанию ПО путем отображения  $\varphi: q_i \rightarrow z$ , где  $z$  – множество значений свойства  $q_i$ .

С понятием описания учебного материала ПО тесно связано понятие класса учебных материалов обучения.

**Определение.** Класс учебных материалов обучения с классообразующим свойством  $q_k \in Q_x$  есть понятие, характеризуемое конкретным описанием  $Q_x^i$  УМ ПО, таким:

$$1) Q_x = Q_x^1 \cup Q_x^2 \cup \dots; \quad (4.1)$$

$$2) Q_x^i \cap Q_x^j = 0 \text{ при } i \neq j, \quad (4.2)$$

причем УМ каждого класса являются между собой эквивалентными по свойству  $q_k$ , т.е. неразличимыми.

Использование понятий описания УМ ПО и класса учебных материалов ПО позволяет получить ряд важных практических результатов при построении формальной системы понятий.

### 1. Конкретизация описаний УМ и образование классов.

Пусть задано обобщенное описание  $Q_x$  некоторого класса учебных материалов  $X$ :

$$Q_x = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}. \quad (4.3)$$

Выделим в множестве  $Q_x$  свойство  $q_k^1$ , по которому необходимо конкретизировать заданное описание:

$$\begin{aligned} Q_x &= \{q_k^1, Q_x^1\}, \\ Q_x^1 &= Q_x / q_k^1. \end{aligned} \quad (4.4)$$

В результате отображения свойства  $q_k^1$  в множество его значений  $\varphi: q_k^1 \rightarrow z^1$ ,  $z^1 = \{z_i^1(q_k^1)\}$ ,  $i = \overline{1, n_1}$ , где  $n_1$  – возможное количество значений  $q_k^1$ , получаем множество конкретизированных описаний  $Q_x = \{q_k^1\}$  класса  $X$  по свойству  $q_k^1$ :

$$Q_x(q_k^1) = \{z^1(q_k^1), Q_x^1\}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (4.5)$$

или, что то же самое, множество классов учебных материалов, конкретизирующих класс  $X$  по свойству  $q_k^1$ .

Необходимо отметить, что  $Q_x^1$  является обобщенным описанием каждого из полученных классов учебных материалов.

Последовательно выделяя в  $Q_x^j$  свойство  $q_k^j$  и осуществляя отображение

$$\varphi^j: q_k^j \rightarrow z^j, \quad z^j = \{z_i^j(q_k^j)\}, \quad i = \overline{1, n_j}, \quad (4.6)$$

где  $n_j$  – возможное количество значений  $q_k^j$ , получим  $n_1 n_2 \dots n_j$  конкретизированных описаний класса учебных материалов  $X$  по свойствам  $q_k^1, q_k^2, \dots, q_k^j$ .

## 2. Идентификация УМ.

Пусть задано описание  $Q_u(q_k^1, \dots, q_k^t)$  УМ  $X_{\hat{e}}$ , которое необходимо идентифицировать с одним из существующих классов учебных материалов ПО  $X_{\hat{y}}$ , характеризуемым описанием

$$Q_{\hat{y}}(q_k^1, \dots, q_k^m). \quad (4.7)$$

Очевидно, что УМ  $X_{\hat{e}}$  относится к классу учебных материалов  $X_{\hat{y}}$  в том и только в том случае, если совпадают  $m$  первых элементов кортежей значений классообразующих свойств описаний.

## 3. Определение сходства учебных материалов между собой.

Определение сходства (различия) учебных материалов со своими описаниями основано на определении близости между объектами в  $r$ -мерном пространстве свойств, имеющих конкретные значения. В зависимости от типа значений (количественные или качественные) используются следующие характеристики сходства (различия) учебных материалов [77]:

а) расстояние между УМ. Расстоянием (метрикой) между УМ  $x, y$  в пространстве свойств учебных материалов  $x, y, z$  называется такая величина  $d_{xy}$ , которая удовлетворяет аксиомам:

$$1) d_{xy} > 0, d_{xx} = 0; \quad (4.8)$$

$$2) d_{xy} = d_{yx}; \quad (4.9)$$

$$3) d_{xy} + d_{yz} \geq d_{xz} \text{ (неравенство треугольника)}. \quad (4.10)$$

Наиболее употребительными метриками количественных шкал являются линейная

$$d_{xy} = \sum_{i=1}^r |x_i - y_i| \quad (4.11)$$

и Евклида:

$$d_{xy} = \left( \sum_{i=1}^r |x_i - y_i|^2 \right)^{1/2}; \quad (4.12)$$

б) мера близости. Мерой близости  $\mu_{xy}$  учебных материалов  $x$  и  $y$  называется такая величина, которая удовлетворяет следующим аксиомам:

$$1) \mu_{xy} \text{ непрерывна};$$

$$2) \mu_{xy} = \mu_{yx};$$

$$3) \mu_{xy} \in [0, 1], \mu_{xy} = 1 \Leftrightarrow x = y.$$

Наиболее распространенными являются меры близости Хэмминга:

$$\mu_{xy}^H = P_{xy} / r$$

и Рао:

$$\mu_{xy}^R = P'_{xy} / r,$$

где  $P_{xy}$  – число совпадающих значений свойств;  $P'_{xy}$  – число совпадающих свойств.

По смысловому содержанию различают два основных вида описаний учебных материалов ПО, являющихся общими для задач обучения: функциональное и атрибутивное.

Учебный материал может быть описан совокупностью элементарных свойств в функциональном пространстве  $Q^F$ , опреде-

ляющих исходные параметры УМ. Совокупность функциональных характеристик  $Q^F = \{q_1^F, \dots, q_n^F\}$  представляет собой множество записей на определенном языке, содержащих количественные и признаковые меры качества УМ в форме его свойств, функций, критериев и ограничений.

Наряду с функциональным УМ в задачах обучения представляется атрибутивным описанием  $Q^A = \{q_1^A, \dots, q_m^A\}$ , содержащим множество записей на заданном языке о структурных единицах, компонентах УМ, их неотъемлемых признаках и композиционных отношениях между ними, необходимых и достаточных для изучения этого УМ.

Основная задача обучения заключается в отображении функционального описания УМ  $Q^F$  в область атрибутивного пространства  $Q^A$  с определением значений  $|q_j^A|$  каждого свойства  $q_j^A$ ,  $i = \overline{1, m}$ . Причем функциональные характеристики  $Q_j^F$ , соответствующие полученному атрибутивному описанию  $Q_i^A$ , должны быть не хуже исходных.

При выработке требований на обучение предельные значения отдельных функциональных характеристик могут быть заданы одним из четырех способов:

– строгим ограничением

$$|q_j^F| > z_j^F, |q_j^F| < z_j^F, |q_j^F| = z_j^F, |q_j^F| \neq z_j^F; \quad (4.13)$$

– нестрогим ограничением

$$|q_j^F| \leq z_j^F, |q_j^F| \geq z_j^F; \quad (4.14)$$

– интервалом

$$z_j^{F1} \leq |q_j^F| \leq z_j^{F2}; \quad (4.15)$$

– максимизацией (минимизацией) значения

$$|q_j^F| \rightarrow \max, |q_j^F| \rightarrow \min, \quad (4.16)$$

где  $(z_j^F, z_j^{F1}, z_j^{F2}) \in z^F$  – множество значений  $j$ -го функционального параметра, либо в виде лингвистических значений термножеств:

$$\mu(q_j^F) \geq z_j^{F\sim}, \quad (4.17)$$

где  $\mu(q_j^F)$  – функция принадлежности  $|q_j^F|$  к нечеткому множеству  $z^{\sim}$ , принимающая значение на интервале  $[0, 1]$ .

Таким образом, описание предметной области обучения осуществляется на основе концептуализации знаний о предметной области и построении понятийного аппарата, включающего понятия учебных материалов и свойства и служащего для формирования классов учебных материалов и их описаний.

Структурная адаптация ИКОС заключается в определении стратегии обучения, которая позволяет в наиболее полной мере перенести знания к обучаемому по конкретному учебному материалу. Для этого необходимо установить соответствие между классами учебных материалов предметной области, обеспечивающее высокое качество процесса обучения.

Как показано ранее, рекуррентные модели предметной области и системы обучения основаны на иерархической структуре задач обучения. Такая структура заложена в самом понятии сложной системы, глобальная цель функционирования которой разбивается на подцели, рассматриваемые как единое понятие, включающее в себя совокупность подцелей. Процесс обучения представляет собой иерархическую совокупность целей и задач, решаемых совокупностью методов. Рассмотрим процесс обучения в некоторой предметной области. На рис. 38 представлена общая структура детализации понятия «обучение в предметной области». Процесс обучения  $G$  является организованной совокупностью подпроцессов формирования знаний о предмете, формирования знаний обучаемого, обучающих стратегией. Эти процессы образуют классы  $G$  ( $G = \{G_i\}$ ,  $i = 1, N$ ), где  $N$  – число классов. Каждый из представителей классов, в свою очередь, разбивается на совокупность подпроцессов  $S_{ij}^l$ . Задачи, решаемые в подпроцессах, в свою очередь, разбиваются на подзадачи. Такое разбиение возможно вплоть до достижения неделимых с точки зрения обучения подзадач. Приведенная декомпозиция имеет общий характер разукрупнения процесса обучения.

Таким образом, процесс последовательной детализации задачи обучения в заданной предметной области представляется «деревом» декомпозиции целей обучения (рис. 39). Следуя древовидной модели, в работе создана структура многоуровневой ИКОС, обеспечивающей достижение этих целей обучения.

Рассмотрим аппарат проектирования алгоритмов обучения. Каждая задача определяется так:

$$Z = (K, K_{\text{акт}}, K_{\text{тр}}), \quad (2.81)$$

где  $K$  – предметная область задачи, которая, в свою очередь, является также тройкой  $(\{A\}, \{w\}, \{R\})$ ;  $\{A\}$  – множество предметов;  $\{w\}$  – множество операций на  $\{A\}$ ;  $\{K\}$  – множество отношений (предикатов) на  $\{A\}$ ;  $K_{\delta\delta}^*$  – модель требуемого состояния  $K_{тр}$  предметной области;  $K_{акт}$  – актуальные, т.е. имеющиеся в рассматриваемый момент состояния предметной области задачи;  $K_{\delta\delta}^*$  принимается за некоторое описание требуемого состояния предметной области.

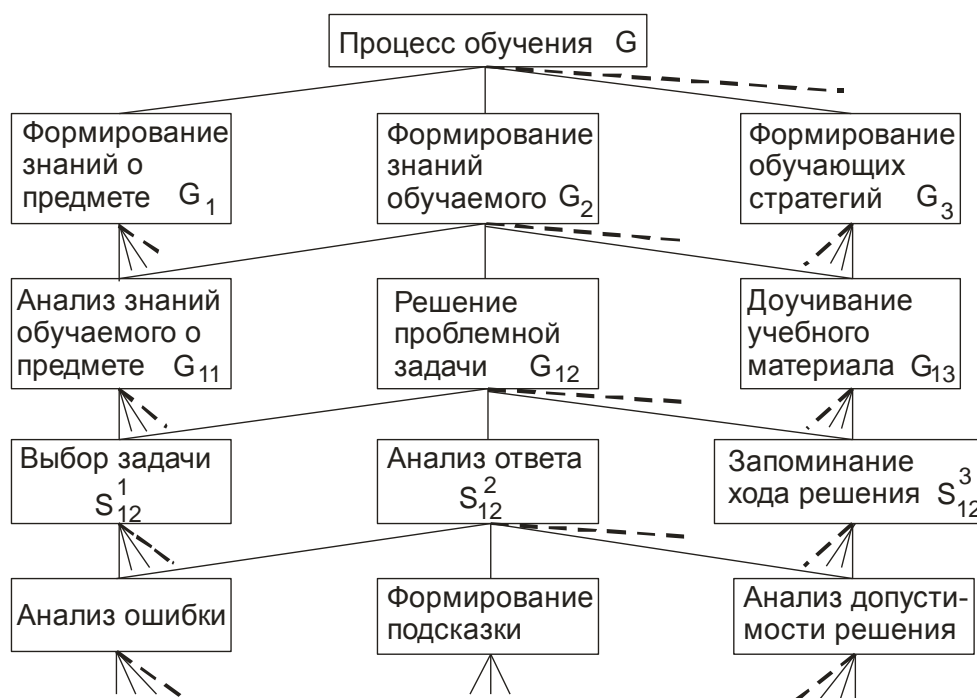


Рис. 39. Часть «дерева» декомпозиции задачи обучения

Для решения задачи  $Z_k$  определенной предметной области человек имеет:

- подсистему  $v_1^*$  знаний, включающую множество  $\{K^*\}$  моделей предметных областей, множество моделей процедур решения и др.;
- операции  $\{w_k\}$  первого рода или исполнительные, осуществляющие непосредственное изменение  $K_{акт}$  в требуемое  $K_{тр}$ ;
- операции  $\{v\}$  второго рода, обеспечивающие формирование модели  $\Omega_k^*$  процедуры решения  $Z_k$  из моделей операций  $\{w_{k,1}^*\}$ .

Выделены пять основных классов режимов взаимодействия пользователя и ЭВМ при обучении. Каждый из них не зависит от задачи и определяется целью взаимодействия:

- передать задачу партнеру;
- выполнить решение задачи, переданной партнером;
- решить задачу совместными усилиями;
- усовершенствовать свои знания и умения за счет усвоения знаний партнера;
- обучить партнера своим знаниям и умениям.

В целях повышения точности решения задач структурной адаптации математического и программного обеспечения ИКОС к процессу обучения человека предлагается метод, основанный на комбинации традиционных средств распознавания образов, базирующийся на кластерном анализе, и рабочих моделей инженерии знаний, содержащих формализованную информацию о свойствах учебного материала.

Основными характеристиками процедур обучения являются качество обучения и время работы, что определяет необходимость учета указанных характеристик в процессе адаптации. При этом следует учесть, что выбор альтернативных стратегий обучения (СО) осуществляется лишь с учетом параметров обучения, выражающих качество обучения согласно принятому нами критерию В. П. Беспалько. Автоматическое же обучение, построенное на активном диалоге обучаемого с ЭВМ, требует по возможности более высокого качества результатов автоматических стратегий обучения и меньшего времени их работы для поддержания приемлемого для пользователя темпа взаимодействия, в связи с чем для решения задач структурной адаптации в ИКОС необходим учет как качественных, так и временных характеристик программного обеспечения.

Таким образом, в работе выбор алгоритма обучения представлен в качестве многокритериальной задачи (задачи векторной оптимизации). В основе решения задач этого типа лежит свертка векторных критериев в единственный комплексный скалярный критерий, представляющий собой функционал, который затем максимизируется (минимизируется).

Сформулируем функционал  $F$ , на основе анализа которого будем осуществлять выбор одного алгоритма на множестве альтернативных с учетом их качественных и временных характеристик:

$$F = F(K, T);$$

$$K = K(p_i); T = T(p_i); p_i \in P, \quad (4.19)$$

где  $K = K(p_i)$  – параметр, описывающий качественные характеристики алгоритма обучения  $p_i$ ;  $T = T(p_i)$  – параметр, описывающий временные характеристики алгоритма обучения  $p_i$ ;  $P$  – конечное множество алгоритмов обучения.

Выбор критерия оптимизации и соответственно вида функционала  $F$  является сложной задачей, что обусловлено противоречивыми целями, преследуемыми при обучении, поскольку достижение высокого качества обучения и снижение временных затрат не могут осуществляться одновременно. Рассмотрим возможность использования критериев оптимизации, применяемых в задачах обучения, а именно: максиминного (минимаксного), мультипликативного, адаптивного.

Учитывая, что качественные и временные факторы играют различную роль в обучении, введем коэффициенты, характеризующие степень важности составляющих функционала. Для коэффициентов, характеризующих степень влияния на выбор алгоритма (стратегии) обучения качества его работы и времени исполнения, введем соответственно обозначения  $A$  и  $B$ , причем  $A + B = 1$ . Эти коэффициенты либо задаются учителем в начале обучения, либо определяются экспериментально для каждого класса учебных материалов.

Принцип максимина используется, когда необходимо максимизировать частные критерии оптимизации. Учитывая, что условиями выбора алгоритма являются

$$K(p_i) \rightarrow \max,$$

$$T(p_i) \rightarrow \min,$$

функционал качества будет иметь вид

$$F = \frac{\max}{i} \min\{A K(p_i), B/T(p_i)\}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (4.20)$$

где  $n$  – количество элементов множества  $P$ .

Однако при условиях  $A = 0$ ,  $B = 1$  (учитывается только время работы алгоритма) или  $B = 0$ ,  $A = 1$  (учитывается только качество получаемых результатов) значение  $F$  для всех алгоритмов будет равно нулю, вследствие чего выбор алгоритма становится невозможным. Этот факт делает невозможным использование максиминного критерия в качестве выбора алгоритма (стратегии) обучения. Аналогичные выводы несложно сделать и для минимаксного критерия.



## Применение мультипликативного критерия

$$F = \frac{K(p_i)}{T(p_i)}$$

возможно в случае, когда

$$T(p_i) \neq 0, \quad K(p_i) \neq 0.$$

Первое неравенство очевидно вследствие невозможности выполнять обучение за время, равное нулю. В то же время, в общем случае, не исключена возможность, когда

$$\forall p_i \mid K(p_i) = 0,$$

т.е. среди множества алгоритмов не найдется такого, который позволил бы обучить конкретного обучаемого с заданным качеством. Такая ситуация может сложиться при переходе к обучению в новой предметной области. В этом случае необходим либо переход к интегрированному режиму работы, либо осуществление выбора алгоритма, который позволил бы получить некоторое начальное качество обучения.

Учесть указанные выше недостатки максиминного и мультипликативного критериев позволяет адаптивный критерий

$$F = A K(p_i) - B T(p_i), \quad (4.21)$$

максимум которого определяет наиболее приемлемый алгоритм обучения  $p_i$ . Знак минус учитывает возможность минимизации  $T(p_i)$  для достижения максимума функционала.

Рассмотрим способы определения параметров  $K$  и  $T$ .

Пусть имеется конечное множество алгоритмов  $P = \{p_i\}$ ,  $i = \overline{1, n}$ , каждый из которых оптимизирует определенное множество  $Q_p^i$  целевых показателей качества процесса обучения  $p_i = f(Q_p^i)$ , так что  $Q_p^i = \{q_{pj}^i\}$ ,  $j = \overline{1, m}$  ( $n$  и  $m$  – соответственно количество алгоритмов и количество оптимизируемых  $i$ -м алгоритмом показателей). Из множества  $P$  необходимо выбрать алгоритм, позволяющий провести процесс обучения учебному материалу в соответствии с его функциональным описанием (ФО)

$$Q_u = \{q_{uj}\}, \quad j = \overline{1, l},$$

где  $l$  – количество свойств ФО.

Критерием соответствия выбранного алгоритма и требований функционального описания предмета изучения примем, учитывая наличие ранговых переменных в ФО изучаемого учебного материала

ла, меру близости по Хэммингу в связи с тем, что для ее вычисления нужно, чтобы совпадал состав свойств сравниваемых описаний. Примем в качестве необходимого для сравнения условие

$$Q_p^i \cap Q_c = Q_c, \quad (4.22)$$

где  $Q_c$  – сравниваемое с  $Q_p^i$  описание. В случае выполнения условия (4.17) алгоритм  $p_i$  будет удовлетворять условиям ФО при

$$\mu_{Q_p^i}^H \rightarrow \max,$$

где  $\mu_{Q_p^i}^H$  – мера близости по Хэммингу описаний учебного материала предметной области и описания, сформированного в голове обучаемого ( $Q_p^i$  и  $Q_c$ ). Проанализируем типичные случаи, возникающие при использовании рабочих моделей свойств в процессе определения алгоритма  $p_i$ , соответствующего  $Q_u$ .

1. Если выполняется условие

$$\exists p_i \mid Q_p^i \cap Q_u = Q_u, \quad (4.23)$$

т.е. найдется такой алгоритм  $p_i$ , что множество оптимизируемых им параметров включает множество параметров ФО, то с помощью этого алгоритма возможно обучение требуемому учебному материалу предметной области, учитывая лишь приемлемость для учителя значения критерия близости Хэмминга.

Однако, как правило, условие (4.17), где  $Q_u = Q_c$ , не выполняется вследствие трудности решения многокритериальной задачи обучения (на практике  $m = 1-3$ ) и большего количества критериев функционального описания учебного раздела предметной области ( $l = 10-20$ ). Для обоснованного принятия решения в соответствии с ФО алгоритму необходима дополнительная информация, позволяющая поставить в соответствие  $Q_u$  множество свойств  $Q' \subset Q_u$ , для которого выполнялось бы условие (4.17) и из которого можно получить исходное описание  $Q_u$ . Используем для получения этой информации рабочие модели учебных материалов данной предметной области.

2. При невыполнении условия (4.17) сопоставим ФО  $Q_u = \{q_{u1}, \dots, q_{ul}\}$  и модель качества обучения  $M^K = \langle Q, R_{цч}^T \rangle$ .

Выделим в ФО свойство  $q_{ui} \in Q_u$ , соответствующее  $k$ -му уровню иерархии свойств в модели качества  $M^K$  (рис. 40). Если найдется подмножество  $Q_{ui} \subset Q_u$ , содержащее свойства, соответствующие  $(k - 1)$ -му уровню иерархии в модели качества и полностью определяющие  $q_{ui}$ , т.е.

$$\forall R_{цч}^T(q^K, q_j^{K-1}) \exists R_{цч}^T(q_{ui}, q_{uj}) | (q^K, q_j^{K-1}) \in Q_u, q_{uj} \in Q_{ui}, \quad (4.24)$$

то из этого следует вывод, что описание  $Q_u$  является избыточным.

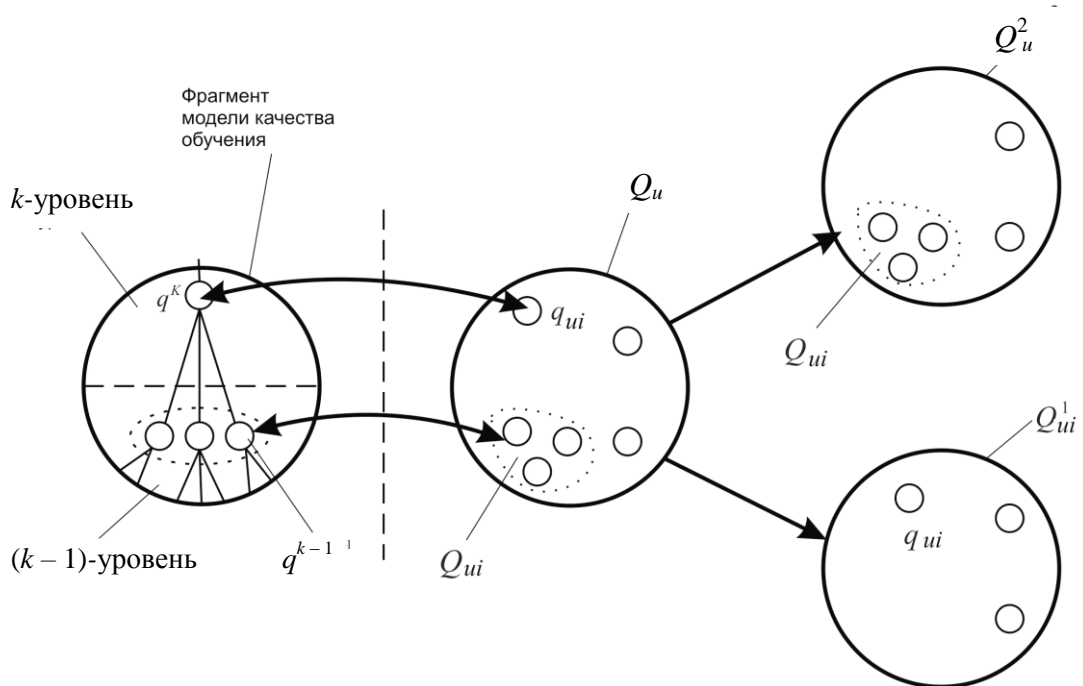


Рис. 40. Устранение избыточности ФО на основе модели качества обучения

Избыточность ФО позволяет сформулировать важный практический результат, а именно: появляется возможность осуществить проверку непротиворечивости значений его свойств. Для этого используем вычислительную модель учебного материала

$$M^B = \langle Q, R^L, R^A \rangle.$$

Вычислив значение свойства  $q_{ui}$  по значениям свойств множества  $Q_{ui}$  и сравнив полученный результат со значением, заданным в ФО, можно сделать вывод о корректности задания значений исходного описания. В случае несовпадения значений необходимо либо изменить исходные требования к обучаемому, либо дополнить рабочие модели знаний предметной области.

В случае корректного задания ФО по свойствам  $q_{ui}$  и  $Q_{ui}$  имеем три эквивалентных описания –  $Q_u$ ,  $Q_u^1 = Q_u \setminus q_{ui}$ ,  $Q_u^2 = Q_u \setminus Q_{ui}$ . Последовательно выделяя аналогичным образом в  $Q_u^1$  и  $Q_u^2$  эквивалентные группы свойств, получим конечное множество  $\hat{O} = \{Q_u^i\}$  избыточных корректных описаний учебных материалов предметной области.

Проверив для каждого из них выполнение условия (4.22), выделим множество  $O \subset \hat{O}$  описаний, пригодных для последующего анализа.

3. Если ни для одного из элементов множества  $O$  не выполняется условие (4.22), воспользуемся корреляционной моделью свойств. Исходя из нее, существует множество пар, удовлетворяющих следующим условиям:

- $u_i = (q_i, z_i), u_j = (q_j, z_j)$ ;
- $u_i$  и  $u_j$  связаны нечетким отношением «причина–следствие»;
- каждой паре соответствует величина  $\mu(u_i, u_j) \in [0, 1]$ .

Задавшись значением  $\varepsilon \in [0, 1]$ , выделим в множестве  $Q_u^i \in O$  пары свойств, удовлетворяющих условию  $|1 - \mu(u_i, u_j)| \leq \varepsilon$ . В случае существования такой пары возможно исключение из описания  $Q_u^i$  свойства следствия  $q_j$  и получение описания  $Q_u^{i \sim}$ , эквивалентного исходному ФО со степенью риска  $\varepsilon$  (рис. 41).

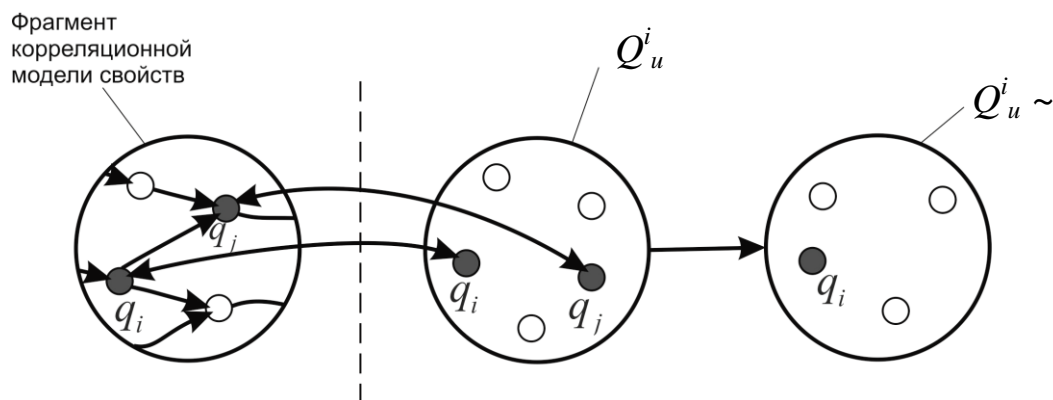


Рис. 41. Сокращение количества свойств в ФО на основе корреляционной модели свойств

После получения на основании описанной процедуры множества  $O_{\sim}$  описаний учебных материалов предметной области при заданном  $\varepsilon$  и проверки для каждого описания условия (4.17) делается вывод о возможности выбора того или иного алгоритма обучения.

4. Если при заданном  $\varepsilon$  не удалось определить приемлемый алгоритм, исходя из знаний, заложенных в модели предметной области, воспользуемся способом определения алгоритма, имеющего максимальную близость к одному из полученных описаний множества  $O_{\sim}$  по критерию Рао. Этот критерий, однако, обеспечивает меньшую точность в связи с тем, что фиксирует лишь разницу в наличии тех или иных свойств, не учитывая их значений.

Те свойства ФО, которые принадлежат  $Q_{u\sim}^i$  и не принадлежат  $Q_p^i$ , в ходе обучения контролируются учителем с помощью средств формальной оценки свойств.

На основе рассмотренных типовых случаев определения алгоритма, приемлемого для обучения данного учебного материала с заданным ФО  $Q_u$  с учетом качественных характеристик, предлагается процедура, укрупненная схема которой представлена на рис. 42.

Одним из наиболее распространенных подходов к задаче учета временных характеристик при оценке альтернативных обучающих процедур является имитационное моделирование. В результате сравнительного анализа результатов моделирования делается вывод о предпочтительности того или иного алгоритма. В то же время имитационное моделирование имеет ряд недостатков.

Предлагается способ учета временных характеристик обучающих процедур на основе информации, полученной на этапе исследования предметной области обучения.

На основе анализа работы процедуры  $p_i$  получаем зависимость времени ее работы от номера  $n$  шага процесса обучения (шаг – предоставление одного кванта учебной информации, контрольный вопрос, тест и т.д.):

$$t_p^i = f_i(n).$$

Суммарное время работы  $p_i$  на  $N$  шагов есть

$$T_p^i = \sum_{n=1}^N f(i).$$

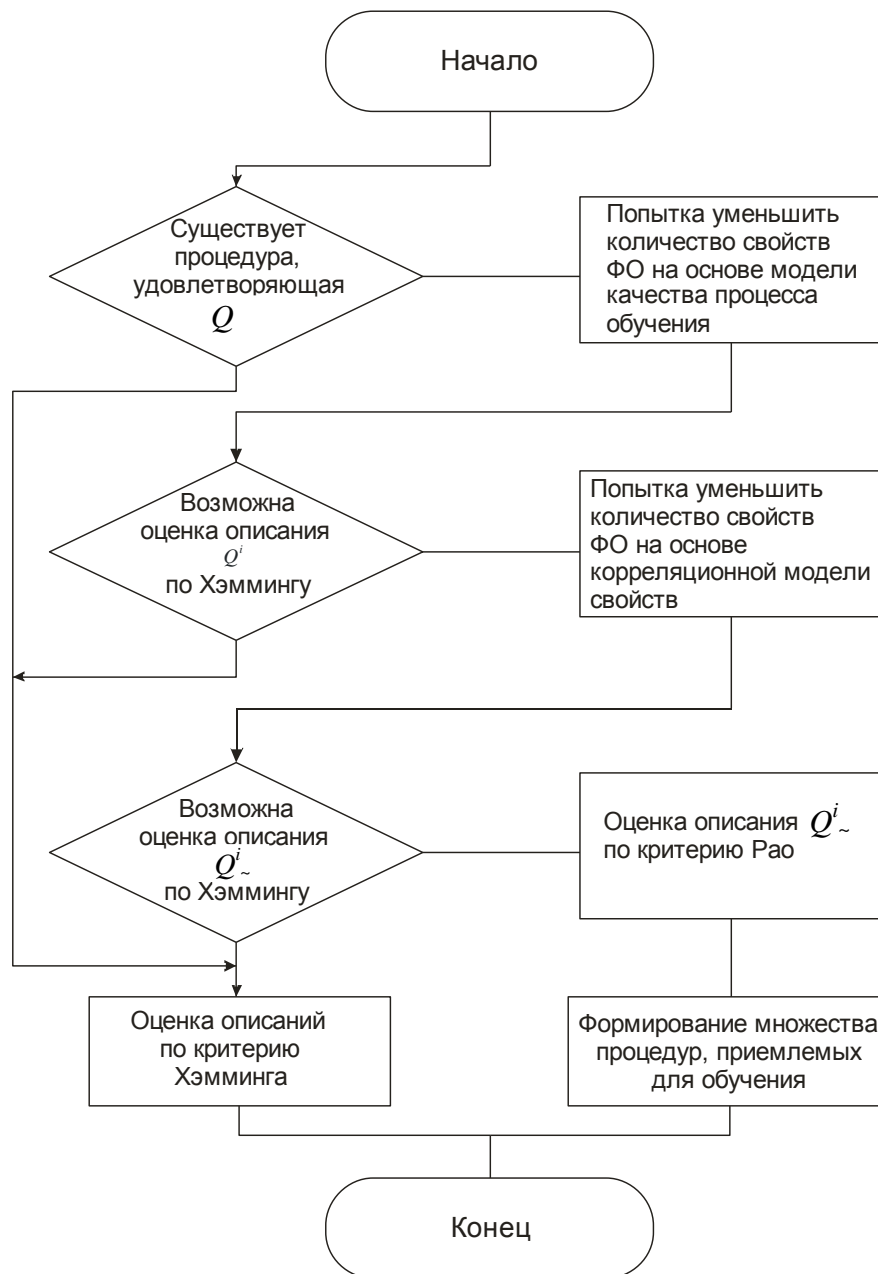


Рис. 42. Процедура формирования множества алгоритмов обучения с учетом критериев качества

Учитывая, что априорный показатель качества обучающих алгоритмов есть безразмерная величина, введем в качестве временного параметра в  $F$  относительный показатель, характеризующий время выполнения  $i$ -й процедуры  $T_p^i$  по отношению ко времени работы процедуры, имеющей максимальную продолжительность  $T_p^{\max}$ :

$$T = \frac{T_p^i}{T_p^{\max}}.$$

Применение интегральных временных характеристик  $T_p^i$  и  $T_p^{\max}$  позволяет оценить общее время работы процедур и выбрать одну из них в начале процесса обучения, однако не дает возможности отразить динамику работы процедур. Для более точной оценки временных характеристик обучающих процедур в процессе их работы предлагается использовать вместо  $T_p^i$  и  $T_p^{\max}$  временные зависимости для каждого шага обучения  $t_p^i$  и  $t_p^{\max}$  соответственно.

Таким образом, искомый функционал  $F$ , позволяющий оценивать приемлемость обучающих процедур с учетом их качественных и временных характеристик, имеет вид

$$F = A\mu \frac{H}{Q_p^i Q_u^i} - B \frac{t_p^i}{t_p^{\max}}. \quad (4.25)$$

Предложенный метод выбора алгоритма обучения с учетом экспертных знаний, предоставленных в моделях предметной области, отличается от применяющихся в настоящее время подходов тем, что адаптирует алгоритмическое и программное обеспечение ИКОС не к классу учебных материалов, а непосредственно к конкретной теме, разделу предметной области, причем возможность выбора новой обучающей процедуры существует на каждом шаге процесса обучения. Эти особенности представляют возможность гибкой смены обучающих стратегий в зависимости от изменения ситуации обучения, усталости обучаемого, различных отвлекающих факторов и т.п.

Таким образом, доказана актуальность данной работы, связанной с достижением компромисса между преимуществами ситуационного подхода и ограничениями со стороны его практической реализуемости на стандартном аппаратном обеспечении за счет дополнения традиционного набора атрибутов составных частей объекта атрибутами, поддерживающими функционирование концептуальной модели объекта, и разработки методов анализа и синтеза программного обеспечения задачи моделирования в рамках полученной формализации. При этом не рассматриваются вопросы реализации прямых и обратных связей между моделью и исследуемым объектом, поскольку специфика управления существенно дифференцирована для различных предметных областей.

Предложено совместное хранение фактов и пользовательских правил в общей концептуальной памяти. Общий список констант, на основе которого строятся факты и правила концептуальной памяти, объединяет обозначения понятий, их экземпляров и введенных пользователем бинарных отношений. Атомарный элемент хранения в концептуальной памяти – это либо константное значение отношения (заданного в языке или пользователем), либо предикат отношения в том или ином правиле пользователя. Правила операционной семантики отношений в виде образцов, независимых от конкретного наполнения базы знаний, хранятся в отдельной семантической памяти. Построение конкретных правил на основе образцов и их последующее применение осуществляются в процессе доказательства запроса к базе знаний. Возможность применения этих правил определяется фактами концептуальной памяти. Уровни подробности учебного материала введены в модель для того, чтобы обеспечить несколько вариантов представления обучающей страницы для обучаемых с различными уровнями подготовки.

На основе функционально-целевого подхода (ФЦП) иерархия целей используется не только как обычное средство наглядного структурного описания, но и как инструмент структурно-алгоритмического проектирования системы, обеспечивающий учет особенностей структуры предметной области. Модели, разработанные с помощью ФЦП, основаны на двухоперационных алгебрах целей и действий. Функционально-целевой подход вводит соответствие между целями различных уровней концептуальной модели по принципу: каждой цели соответствуют функции, обеспечивающие ее достижение, которые, в свою очередь, являются целями, достигаемыми на следующем, более низком уровне иерархии модели. Использование этих моделей обеспечивает формальную основу синтеза систем, в структурно-алгоритмической организации которых отражена структура целей моделирования. Таким образом, ИКОС является организованной совокупностью, предназначенной для решения множества задач, которые образуют классы  $G_i$  объектно ориентированных задач ( $G = \{G_i\}, i = 1, \dots, N$ ), где  $N$  – число классов. Каждый из представителей классов, в свою очередь, разбивается на совокупность методо-ориентированных процессов.

Разработана методика построения алгоритмов оценивания параметров, не требующих априорной информации о статистических свойствах элементов последовательности. В связи с тем, что параметры исследуемой системы являются нестационарными, для



получения положительных результатов следует применить настраиваемую модель.

Предлагается алгоритм оценивания параметров после его настройки на конкретном объекте либо на выборке, полученной на конкретном объекте впоследствии. Этот алгоритм может давать оценки приемлемой точности в любой момент  $S$ . Решающим достоинством предполагаемой модификации обычных рекуррентных алгоритмов идентификации является ненужность дополнительных, как и вообще каких бы то ни было предположений, относительно свойств помех. Благодаря этому алгоритм идентификации при нестационарных помехах и скорость его сходимости не зависят от их свойств. Подобные алгоритмы могут оказаться полезными в том случае, когда вероятностные свойства помех изменяются с ростом  $S$ . Кроме этого, они представляются универсальными, одинаково пригодными в случае как постоянных, так и дрейфующих параметров.

Разработана формальная рекуррентная модель организации действий (и следовательно, алгоритмов управления обучением) в многоуровневых ИКОС, которая представляет собой совокупность элементов множества  $\Sigma^k$ , две алгебраические операции  $\otimes$  и  $\oplus$  и систему отношений эквивалентности действий по выполнению целевой задачи системы. Таким образом, общая модель ИКОС основана на формализации процесса обучения как процесса целенаправленного пополнения аппарата понятий и совершенствования базы знаний обучаемого. Модель представляет собой граф, множество вершин которого отождествлено с действиями учителя в процессе организации и реализации процедуры обучения, а множество ребер определяет связи между действиями и порядок их выполнения.

Проведен анализ различных способов представления знаний и на основе его результатов предложена организация смысловой модели предметной области обучения в виде набора моделей учебных разделов, тем и т.д., организованных на основе определенных семантических отношений и описывающих отдельные предметные области и связи между ними, которая позволяет обеспечить соответствие предметной области в ИКОС семантическому содержанию знаний обучаемого. В целях повышения адаптационных возможностей ИКОС к различным психофизиологическим типам обучающихся, к изменяющимся условиям обучения, к помехам во время обучения разработан способ структурной адаптации программного обеспечения к данной предметной области с учетом

качественных и временных характеристик операционных компонентов, базирующийся на использовании информации, хранящейся в моделях учебных материалов предметной области, и позволяющий осуществлять гибкую смену стратегий обучения с учетом особенностей конкретного обучаемого.

#### 4.3. Методика количественного анализа соотношения декларативных и процедурных знаний в предметной области обучения

Динамичное развитие современной науки влечет за собой быстрые изменения в сфере профессиональных знаний, умений и навыков современных специалистов. Поэтому на сегодняшний день важной задачей является ускорение процесса подготовки и постоянная поддержка их высокого профессионального уровня.

Одной из эффективных возможностей решения этой задачи является применение интеллектуальных компьютерных обучающих систем (ИКОС). Поэтому разработка ИКОС, объединяющих процессы обучения и тренинга, обладающих эффективной стратегией управления обучением, является актуальной задачей.

Решение задачи комплексного применения различных СО с единой БЗ затруднено сложностью анализа конкретной предметной области с точки зрения соотношения двух основных аспектов человеческого знания – декларативного и процедурного. Первый характеризует существующие факты и закономерности и носит повествовательный характер, второй связан с описанием способов и процедур решения задач.

Согласно принятой методологии каждому тематическому фрагменту УИ в зависимости от соотношения декларативной и процедурной составляющих соответствует свое место в последовательности вывода учебного материала. Для повышения эффективности стратегии управления обучением разработана методика количественного анализа соотношения декларативных и процедурных знаний в предметной области обучения.

В силу того, что какой-либо крупный фрагмент знаний (тематический блок УИ) трудно однозначно отнести к множеству декларативных или процедурных знаний, проведем анализ МПО с позиций теории нечетких множеств [63–65].

Методика распределения УИ по этапам обучения заключается в переборе всех тематических блоков учебной информации предметной области и присвоении каждому из них степени принадлеж-

ности к процедурному виду знания. Затем проводится их распределение в порядке возрастания степени принадлежности. Таким образом, в итоге получаем ряд тематических блоков УИ, в котором первыми будут блоки с содержанием теоретических (декларативных) знаний, а затем все более тяготеющие к практическому (процедурному) знанию.

Тематический блок учебной информации (терминал) состоит из декларативной и процедурной частей. Декларативная часть содержит фреймы «описания». Каждый фрейм «описание» содержит в себе описание какого-либо факта (закономерности). Сумма фреймов «описаний» терминала – декларативная емкость терминала ( $n$ ).

Процедурная часть содержит фреймы «ситуации». Каждый фрейм «ситуация» содержит в себе пошаговое выполнение какой-либо процедуры (алгоритма). Сумма шагов всех фреймов «описаний» терминала – декларативная емкость терминала ( $SP$ ).

Тогда емкость тематического блока учебной информации (терминала) равна

$$T = \{ SD, SP \}.$$

Относительная процедурная емкость тематического блока учебной информации (терминала) равна:

$$\tilde{o} = \frac{S_P}{S_D + S_P}.$$

Относительная декларативная емкость тематического блока учебной информации (терминала) равна

$$y = \frac{S_D}{S_D + S_P}.$$

Множество значений относительной и процедурной емкостей тематического блока учебной информации (терминала) находится в промежутке от 0 до 1. Поэтому при условии  $SD \neq 0$  и  $SP \neq 0$ ,  $SD + SP = 1$ .

Введем лингвистическую переменную с именем «Знание», обозначенную как  $Z$ , принимающую значения «Декларативное» и «Процедурное», обозначенные соответственно  $D$  и  $P$ :

$$Z = \{D, P\}.$$

Значение лингвистической переменной  $P$  опишем нечетким множеством:

$$P = \{x, \mu P(x) \mid x \subset U\};$$

где  $x$  – значение относительной процедурной емкости тематического блока учебной информации (терминала);  $\mu P(x)$  – функция принадлежности, характеризующая степень принадлежности  $x$  значению лингвистической переменной  $P$ ;  $U$  – множество значений относительной и процедурной емкостей тематического блока учебной информации (терминала).

Значение лингвистической переменной  $D$  опишем нечетким множеством:

$$P = \{y, \mu D(y) \mid y \subset U\},$$

где  $y$  – значение относительной процедурной емкости тематического блока учебной информации (терминала);  $\mu D(y)$  – функция принадлежности, характеризующая степень принадлежности  $y$  значению лингвистической переменной  $D$ ;

В качестве функции принадлежности, характеризующей степень принадлежности  $x$  значению лингвистической переменной  $P$ , выбрана функция  $S$  симметричного вида (рис. 43), описываемая формулой

$$\mu_P(x) = \begin{cases} 1 - \frac{b-x}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ 0 - \hat{a} \hat{m} \hat{o} \hat{d} \hat{e} \hat{i} \hat{u} \hat{i} \hat{o} \quad \hat{n} \hat{e} \hat{o} \hat{d} \hat{a} \hat{y} \hat{o}. \end{cases}$$

Лингвистическая переменная «Знание» принимает значение «Процедурное» на отрезке от 0 до 0,3 и «Декларативное» – на отрезке от 0,7 до 1.

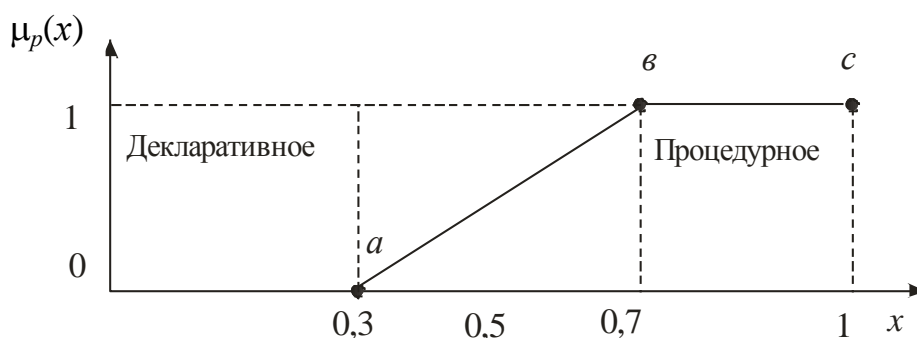


Рис. 43. Вид функции  $S$  симметричного вида

На основе проведенного количественного анализа соотношения декларативных и процедурных знаний в предметной области обучения получена табл. 6.

**Соответствие степени принадлежности учебной информации  
этапам обучения**

| Название этапа  | Средства обучения                             | Коммуникативная стратегия   | Z               |
|-----------------|---|---|-----------------|
| 1. Начальный    | Мультимедиа средства под управлением ИКОС     | Информирующая +<br>+ оценочная                                    | «Декларативное» |
| 2. Ключевой     |   |   |                 |
| 3. Материальный | Функциональные тренажеры под управлением ИКОС | Продуктивная +<br>+ оценочная<br>(информирующая +<br>+ оценочная) | –               |
| 4. Речевой      | Процедурные тренажеры под управлением ИКОС    | Продуктивная +<br>+ оценочная                                     | «Процедурное»   |
| 5. Умственный   |   |   |                 |

Таким образом, разработанная методика количественного анализа соотношения декларативных и процедурных знаний в предметной области обучения на основе теории нечетких множеств позволяет автоматизировать распределение тематических блоков учебной информации по этапам обучения.

#### 4.4. Интерфейс технических систем

Развитие информационных технологий создало необходимую основу для перехода компьютерных средств обучения из информационного приложения в новое средство обучения, радикально изменяющее технологию подготовки современных специалистов, развивая у них способность к исследованию, решению нестандартных задач, работе с реальными приборами и лабораторным оборудованием. Для этого обучаемого необходимо вовлечь в специально организованный учебный научно-познавательный процесс, который выступает в роли реального процесса научного познания, что требует от систем обучения управления различными видами средствами обучения.

В качестве внешнего объекта исследования могут выступать БЗ, САПР или АЛК, а значит, задача совместимости является одной из наиболее актуальных. Поэтому за основу ИТС систем ИКОС следует взять модель взаимодействия открытых систем (Open System Interconnection, OSI). Изначально модель OSI была

разработана для стандартизации взаимодействия компьютеров и другого сетевого оборудования в вычислительных сетях, она замечательно подходит для описания взаимодействия ИКОС с внешним объектом исследования.

Организация взаимодействия между двумя устройствами является сложной задачей. Как известно, для решения сложных задач используется универсальный прием – декомпозиция, т.е. разбиение одной задачи на несколько задач-модулей. Декомпозиция состоит в четком определении функций каждого модуля, а также порядка их взаимодействия (интерфейсов). В результате достигается логическое упрощение задачи, а кроме того, появляется возможность модификации отдельных модулей без изменения остальной части системы.

При декомпозиции часто используют многоуровневый подход. Он заключается в следующем:

- все множество модулей, решающих частные задачи, разбиваются на группы и упорядочивают по уровням, образующим иерархию;

- в соответствии с принципом иерархии для каждого промежуточного уровня можно указать непосредственно примыкающие к нему соседние вышележащий и нижележащий уровни (рис. 44);

- группа модулей, составляющих каждый уровень, должна быть сформирована таким образом, чтобы все модули этой группы для выполнения своих задач обращались с запросами только к модулям соседнего нижележащего уровня;

- результаты работы всех модулей, отнесенных к некоторому уровню, могут быть переданы только модулям соседнего вышележащего уровня.

Такая иерархическая декомпозиция задачи предполагает четкое определение функции каждого уровня и интерфейсов между уровнями. Интерфейс определяет набор функций, которые нижележащий уровень предоставляет вышележащему. В результате иерархической декомпозиции достигается относительная независимость уровней, а значит, возможность их автономной разработки и модификации.

Средства решения задачи организации взаимодействия между устройствами представлены в виде иерархически организованного множества модулей. Например, модулям нижнего уровня можно поручить вопросы, связанные с надежной передачей ин-

формации между узлами, а модулям следующего, более высокого уровня – транспортировку сообщений в пределах всей вычислительной системы. Очевидно, что последняя задача – организация связи двух любых, не обязательно соседних, узлов – является более общей и поэтому ее можно решить посредством многократных обращений к нижележащему уровню.

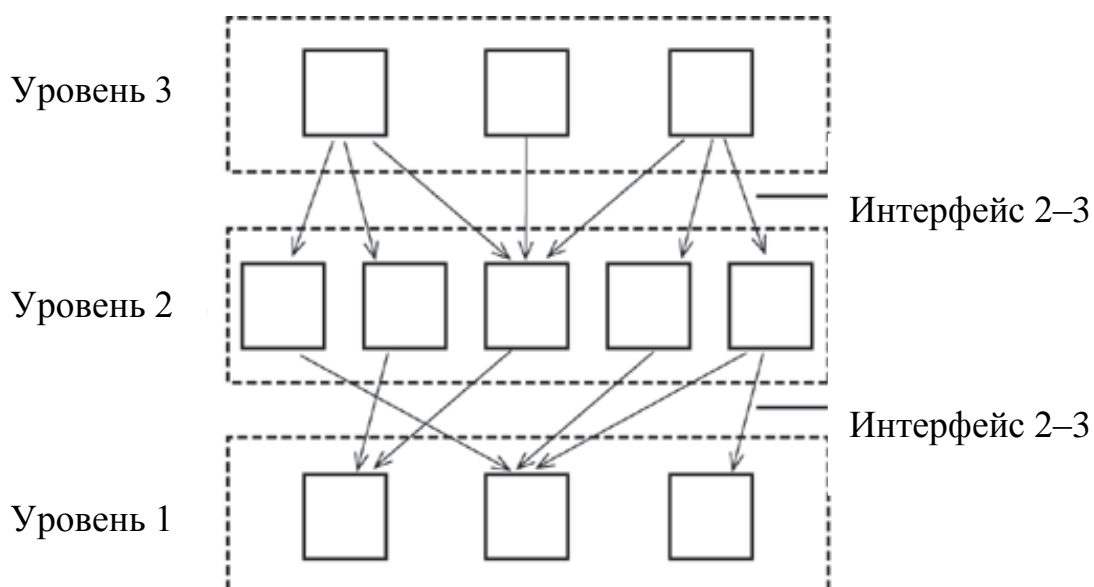


Рис. 44. Многоуровневый подход – создание иерархии задач

### Декомпозиция задачи связывания произвольной пары узлов

#### на более частные задачи связывания пар соседних узлов

Так, связывание узлов А и Б может быть сведено к последовательному связыванию пар промежуточных смежных узлов. Таким образом, модули вышележащего уровня при решении своих задач рассматривают средства нижележащего уровня как инструмент.

Многоуровневое представление средств сетевого взаимодействия имеет свою специфику, связанную с тем, что в процессе обмена сообщениями участвуют две стороны, т.е. в данном случае необходимо организовать согласованную работу двух «иерархий», работающих на разных компьютерах. Оба участника сетевого обмена должны принять множество соглашений. Например, они должны согласовать уровни и форму электрических сигналов, способ определения длины сообщений, договориться о методах кон-

троля достоверности и т.п. Другими словами, соглашения должны быть приняты для всех уровней, начиная от самого низкого – уровня передачи битов – до самого высокого, реализующего сервис для пользователей сети.

На рис. 45 показана структурная модель взаимодействия двух узлов. С каждой стороны средства взаимодействия представлены четырьмя уровнями. Процедура взаимодействия этих двух узлов может быть описана в виде набора правил взаимодействия каждой пары соответствующих уровней обеих участвующих сторон.

Формализованные правила, определяющие последовательность и формат сообщений, которыми обмениваются компоненты, лежащие на одном уровне, но в разных узлах, называются протоколом.

Модули, реализующие протоколы соседних уровней и находящиеся в одном узле, также взаимодействуют друг с другом в соответствии с четко определенными правилами с помощью стандартизированных форматов сообщений. Эти правила принято называть интерфейсом.

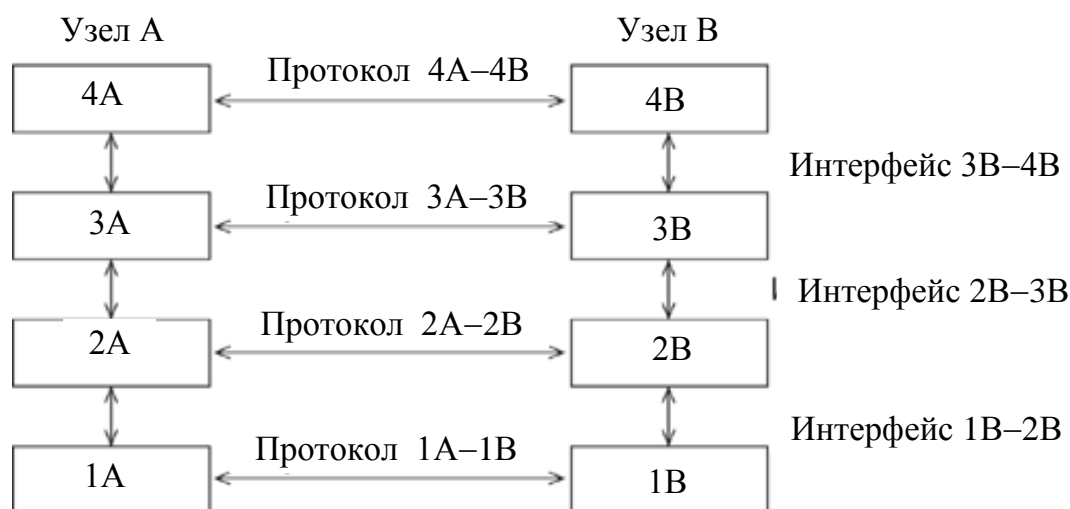


Рис. 45. Структурная модель взаимодействия двух узлов

Интерфейс определяет последовательность и формат сообщений, которыми обмениваются компоненты, лежащие на соседних уровнях в одном узле. Интерфейс определяет набор услуг, предоставляемый данным уровнем соседнему уровню.

В сущности, протокол и интерфейс выражают одно и то же понятие, но традиционно за ними закреплены разные области действия: протоколы определяют правила взаимодействия модулей



одного уровня в разных узлах, а интерфейсы – модулей соседних уровней в одном узле.

Средства каждого уровня должны отрабатывать, во-первых, собственный протокол, а во-вторых, интерфейсы с соседними уровнями.

Иерархически организованный набор протоколов, достаточный для организации взаимодействия узлов в сети, называется стекком коммуникационных протоколов.

Коммуникационные протоколы могут быть реализованы как программно, так и аппаратно. Протоколы нижних уровней часто реализуются комбинацией программных и аппаратных средств, а протоколы верхних уровней – как правило, чисто программными средствами.

Программный модуль, реализующий некоторый протокол, часто для краткости также называют протоколом. При этом соотношение между протоколом как формально определенной процедурой и протоколом – программным модулем, реализующим эту процедуру, – аналогично соотношению между алгоритмом решения некоторой задачи и программой, решающей эту задачу.

Понятно, что один и тот же алгоритм может быть запрограммирован с разной степенью эффективности. Точно так же и протокол может иметь несколько программных реализаций. Именно поэтому при сравнении протоколов следует учитывать не только логику их работы, но и качество программных решений. Более того, на эффективность взаимодействия устройств в сети влияет качество всей совокупности протоколов, составляющих стек, в частности, то, насколько рационально распределены функции между протоколами разных уровней и насколько хорошо определены интерфейсы между ними.

Протоколы реализуются не только компьютерами, но и другими устройствами – объектами исследования (как правило, содержащими встроенный микроконтроллер и, возможно, даже операционную систему). В зависимости от типа устройства в нем должны быть встроенные средства, реализующие тот или иной набор протоколов.

В модели OSI (рис. 46) средства взаимодействия делятся на семь уровней: прикладной, представительный, сеансовый, транспортный, сетевой, канальный и физический. Каждый уровень имеет дело с определенным аспектом взаимодействия устройств.



Рис. 46. Взаимодействие открытых систем ISO/OSI

Модель OSI описывает только системные средства взаимодействия, реализуемые операционной системой, системными утилитами и аппаратными средствами. Модель не включает средства взаимодействия приложений конечных пользователей. Собственные протоколы взаимодействия приложения реализуют, обращаясь к системным средствам. Поэтому необходимо различать уровень взаимодействия приложений и прикладной уровень.

Итак, пусть приложение обращается с запросом к прикладному уровню, например с запросом текущей температуры объекта исследования. На основании этого запроса программное обеспечение прикладного уровня формирует сообщение стандартного формата. Обычное сообщение состоит из заголовка и поля данных. Заголовок содержит служебную информацию, которую необходимо передать прикладному уровню прибора-адресата, чтобы сообщить ему, какую работу надо выполнить. В нашем случае заголовок, очевидно, должен содержать информацию о типе операции, которую необходимо выполнить. Поле данного сообщения может быть пустым или содержать какие-либо данные, например, интервал времени, по прошествии которого прибор должен сам сообщить температуру объекта исследования. Но для того, чтобы доставить эту информацию по назначению, предстоит решить еще много задач, ответственность за которые несут нижележащие уровни.

После формирования сообщения прикладной уровень направляет его вниз по стеку представителю уровня. Протокол представительного уровня на основании информации, полученной из заголовка прикладного уровня, выполняет требуемые действия и добавляет к сообщению собственную служебную информацию – заголовок представительного уровня, в котором содержатся указания для протокола представительного уровня прибора-адресата. Полученное в результате сообщение передается вниз сеансовому уровню, который в свою очередь добавляет свой заголовок, и т.д. (Некоторые протоколы помещают служебную информацию не только в начале сообщения в виде заголовка, но и в конце, в виде так называемого «концевика»). Наконец, сообщение достигает нижнего, физического уровня, который, собственно, и передает его по линиям связи прибору-адресату. К этому моменту сообщение «обрастает» заголовками всех уровней (рис. 47).

Когда сообщение по сети поступает на прибор-адресат, оно принимается его физическим уровнем и последовательно перемещается вверх с уровня на уровень. Каждый уровень анализирует и обрабатывает заголовок своего уровня, выполняя соответствующие данному уровню функции, а затем удаляет этот заголовок и передает сообщение вышележащему уровню.

Наряду с термином сообщение (message) существуют и другие термины, применяемые сетевыми специалистами для обозначения единиц данных в процедурах обмена. В стандартах ISO для обозначения единиц данных, с которыми имеют дело протоколы

разных уровней, используется общее название протокольный блок данных (Protocol Data Unit, PDU). Для обозначения блоков данных определенных уровней часто используются специальные названия: кадр (frame), пакет (packet), дейтаграмма (datagram), сегмент (segment).

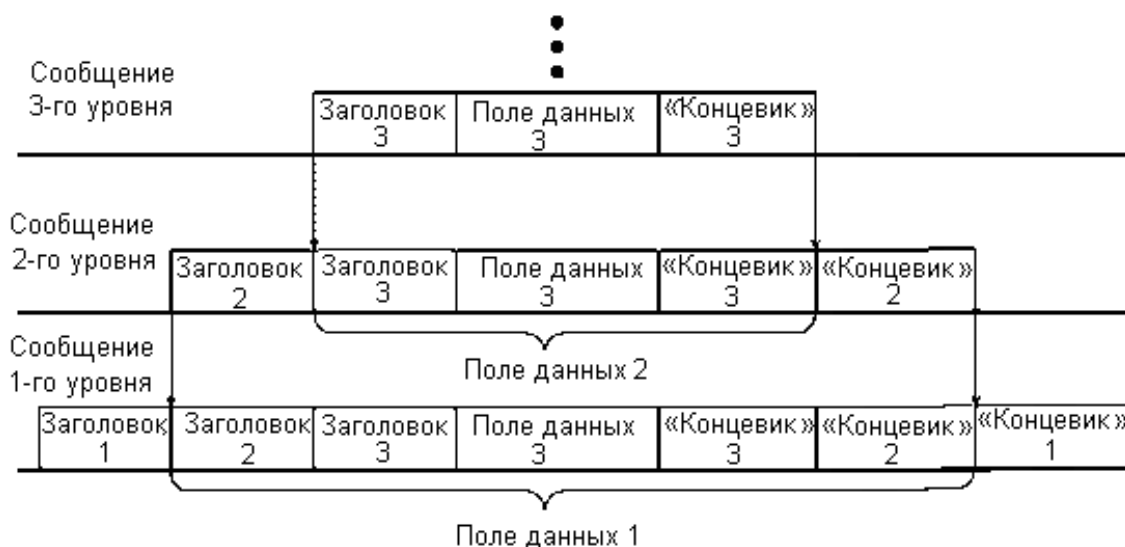


Рис. 47. Вложенность сообщений различных уровней

### Физический уровень

Физический уровень (Physical layer) имеет дело с передачей битов по физическим каналам связи, таким как USB, RS-232, Fire-Wire, Bluetooth, Wi-fi и др. К этому уровню имеют отношение характеристики физических сред передачи данных, такие как полоса пропускания, помехозащищенность и др. На этом же уровне определяются характеристики электрических сигналов, передающих дискретную информацию, такую как крутизна фронтов импульсов, уровни напряжения или тока передаваемого сигнала, тип кодирования, скорость передачи сигналов. Кроме того, здесь стандартизируются типы разъемов и назначение каждого контакта.

Физический уровень:

- передача битов по физическим каналам;
- формирование электрических сигналов;
- кодирование информации;
- синхронизация;
- модуляция.

Реализуется аппаратно.

Функции физического уровня реализуются во всех устройствах, подключенных к сети. Со стороны компьютера функции физического уровня выполняются USB-хостом, последовательным портом, параллельным портом, PCI- или PCIE-интерфейсом.

Примером протокола физического уровня может служить спецификация USB2.0 или Ethernet. И хотя она может делиться на уровни по модели OSI, для нашего объектного интерфейса она является физическим уровнем.

### Канальный уровень

На физическом уровне просто пересылаются биты. При этом не учитывается, что в тех сетях, в которых линии связи используются (разделяются) попеременно несколькими парами взаимодействующих компьютеров, физическая среда передачи может быть занята. Поэтому одной из задач канального уровня (Data Link layer) является проверка доступности среды передачи. Другая задача канального уровня – реализация механизмов обнаружения и коррекции ошибок. Для этого на канальном уровне биты группируются в наборы, называемые кадрами (frames). Канальный уровень обеспечивает корректность передачи каждого кадра, помещая специальную последовательность бит в начало и конец каждого кадра, для его выделения, а также вычисляет контрольную сумму, обрабатывая все байты кадра определенным способом, и добавляет контрольную сумму к кадру. Когда кадр приходит по сети, получатель снова вычисляет контрольную сумму полученных данных и сравнивает результат с контрольной суммой из кадра. Если они совпадают, кадр считается правильным и принимается. Если же контрольные суммы не совпадают, то фиксируется ошибка. Канальный уровень может не только обнаруживать ошибки, но и исправлять их за счет повторной передачи поврежденных кадров. Необходимо отметить, что функция исправления ошибок для канального уровня не является обязательной, поэтому в некоторых протоколах этого уровня она отсутствует, например в Ethernet и frame relay.

### Функции канального уровня

Надежная доставка пакета:

- между двумя соседними станциями в сети с произвольной топологией;
- между любыми станциями в сети с типовой топологией;
- проверка доступности разделяемой среды;

- выделение кадров из потока данных, поступающих по сети;
- формирование кадров при отправке данных;
- подсчет и проверка контрольной суммы.

Реализуются программно-аппаратно.

В протоколах канального уровня заложены определенная структура связей между устройствами и способы их адресации. Хотя канальный уровень и обеспечивает доставку кадра между любыми двумя устройствами, он делает это только в сети с определенной топологией связей, именно той топологией, для которой он был разработан. К таким типовым топологиям, поддерживаемым протоколами канального уровня, относятся «точка-точка», «общая шина», «кольцо» и «звезда», а также структуры, полученные из них с помощью мостов и коммутаторов. Примерами протоколов канального уровня являются протоколы Ethernet, USB, RS-232.

В целом канальный уровень представляет собой весьма мощный набор функций по пересылке сообщений между устройствами. В некоторых случаях протоколы канального уровня оказываются самодостаточными транспортными средствами, и тогда поверх них могут работать непосредственно протоколы прикладного уровня или приложения без привлечения средств сетевого и транспортного уровней.

Тем не менее для обеспечения качественной транспортировки сообщений в сетях любых топологий и технологий функций канального уровня оказывается недостаточно, поэтому в модели OSI решение этой задачи возлагается на два следующих уровня – сетевой и транспортный.

Канальный уровень обеспечивает передачу пакетов данных, поступающих от протоколов верхних уровней, узлу назначения, адрес которого также указывает протокол верхнего уровня. Протокол канального уровня имеет локальный смысл, он предназначен для доставки кадров данных, как правило, в пределах сетей с простой топологией связей и однотипной или близкой технологией.

### Сетевой уровень

Сетевой уровень (Network layer) служит для образования единой транспортной системы, объединяющей несколько сетей, причем эти сети могут использовать различные принципы передачи сообщений между конечными узлами и обладать произвольной структурой связей. Функции сетевого уровня достаточно разнообразны. Рассмотрим их подробнее.

Если отказаться от сетевого уровня и использовать только канальный, для каждого физического интерфейса компьютера, как то: USB, RS-232, Fire-Wire, пришлось использовать свой интерфейс для взаимодействия между компьютером и прибором. Таким образом, сетевой уровень абстрагирует конкретный интерфейс и позволяет единообразно работать с различными интерфейсами.

На сетевом уровне сам термин «сеть» наделяют специфическим значением. В данном случае под сетью понимается совокупность устройств, соединенных между собой с помощью стандартных физических интерфейсов и использующих для передачи данных один из протоколов канального уровня, определенный для этого интерфейса.

Сетевой уровень – доставка пакета:

- между любыми двумя узлами сети с произвольной топологией;
- между любыми двумя сетями в составной сети;
- сеть – совокупность устройств, использующих для обмена данными единую сетевую технологию.

### Транспортный уровень

На пути от отправителя к получателю пакеты могут быть искажены или утеряны. Хотя некоторые приложения имеют собственные средства обработки ошибок, существуют и такие, которые предпочитают сразу иметь дело с надежным соединением. Транспортный уровень (Transport layer) обеспечивает приложениям или верхним уровням стека – прикладному и сеансовому – передачу данных с той степенью надежности, которая им требуется. Модель OSI определяет пять классов сервиса, предоставляемых транспортным уровнем. Эти виды сервиса отличаются качеством предоставляемых услуг: срочностью, возможностью восстановления прерванной связи, наличием средств мультиплексирования нескольких соединений между различными прикладными протоколами через общий транспортный протокол, а главное – способностью к обнаружению и исправлению ошибок передачи, таких как искажение, потеря и дублирование пакетов.

Выбор класса сервиса транспортного уровня определяется, с одной стороны, тем, в какой степени задача обеспечения надежности решается самими приложениями и протоколами более высоких, чем транспортный, уровней, а с другой стороны, зависит от того, насколько надежной является система транспортировки дан-

ных в сети, обеспечиваемая уровнями, расположенными ниже транспортного – сетевым, канальным и физическим. Так, например, если качество каналов передачи связи очень высокое и вероятность наличия ошибок, не обнаруженных протоколами более низких уровней, невелика, стоит воспользоваться одним из облегченных сервисов транспортного уровня, не обремененных многочисленными проверками, квитированием и другими приемами повышения надежности. Если же транспортные средства нижних уровней изначально очень ненадежны, то целесообразно обратиться к наиболее развитому сервису транспортного уровня, который работает, используя максимум средств для обнаружения и устранения ошибок: с помощью предварительного установления логического соединения, отслеживания доставки сообщений по контрольным суммам и циклической нумерации пакетов, установления тайм-аутов доставки и т.п.

Транспортный уровень – обеспечение доставки информации с требуемым качеством между любыми узлами сети:

- разбивка сообщения сеансового уровня на пакеты, их нумерация;
- буферизация принимаемых пакетов;
- упорядочивание прибывающих пакетов;
- адресация прикладных процессов;
- управление потоком.

Как правило, все протоколы, начиная с транспортного уровня и выше, реализуются программными средствами конечных узлов сети – компонентами их сетевых операционных систем.

Протоколы четырех нижних уровней обобщенно называют сетевым транспортом или транспортной подсистемой, так как они полностью решают задачу транспортировки сообщений с заданным уровнем качества в составных сетях с произвольной топологией и различными технологиями. Остальные три верхних уровня решают задачи предоставления прикладных сервисов на основании имеющейся транспортной подсистемы.

### Сеансовый уровень

Сеансовый уровень (Session layer) обеспечивает управление диалогом: фиксирует, какая из сторон является активной в настоящий момент, предоставляет средства синхронизации. Последние позволяют вставлять контрольные точки в длинные передачи, чтобы в случае отказа можно было вернуться назад к последней



контрольной точке, а не начинать все сначала. На практике немногие приложения используют сеансовый уровень, и он редко реализуется в виде отдельных протоколов, хотя функции этого уровня часто объединяют с функциями прикладного уровня и реализуют в одном протоколе.

Сеансовый уровень – управление диалогом объектов прикладного уровня:

- установление способа обмена сообщениями (дуплексный или полудуплексный);
- синхронизация обмена сообщениями;
- организация «контрольных точек» диалога.

### Представительный уровень

Представительный уровень (Presentation layer) имеет дело с формой представления передаваемой по сети информации, не меняя при этом ее содержания. За счет уровня представления информация, передаваемая прикладным уровнем одной системы, всегда понятна прикладному уровню другой системы. С помощью средств данного уровня протоколы прикладных уровней могут преодолеть синтаксические различия в представлении данных или же различия в кодах символов, например в кодах ASCII и EBCDIC. На этом уровне могут выполняться шифрование и дешифрование данных, благодаря которому секретность обмена данными обеспечивается сразу для всех прикладных служб. Так же, например, здесь можно менять порядок следования байтов с little-endian на big-endian, и наоборот.

Уровень представления согласовывает представление (синтаксис) данных при взаимодействии двух прикладных процессов:

- преобразование данных из внешнего формата во внутренний;
- шифрование и расшифровка данных.

### Прикладной уровень

Прикладной уровень (Application layer) – это в действительности просто набор разнообразных протоколов, с помощью которых пользователи получают доступ к разделяемым ресурсам, таким как нагреватель или термометр. Единица данных, которой оперирует прикладной уровень, обычно называется сообщением (message).

Прикладной уровень – набор всех сетевых сервисов, которые предоставляет система конечному пользователю:

- идентификация, проверка прав доступа;
- управление объектами исследования, удаленный доступ.

В нашем случае для взаимодействия объекта изучения с ИКОС следует использовать Модель DOD (англ. Department of Defense – Министерство обороны США) – стек протоколов TCP/IP использует упрощенную модель OSI. Модель DOD состоит из четырех уровней – уровня сетевого интерфейса (Network Access), соответствующего первым двум уровням модели OSI, межсетевого уровня (internet), соответствующего «Сетевому» уровню модели OSI, транспортного уровня (Host-to-Host), соответствующего «Транспортному» уровню модели OSI, и уровня приложений (Process/Application), соответствующего трем верхним уровням модели OSI.

Каждый из четырех уровней модели DOD выполняет свои функции.

Прикладной уровень. Верхний уровень модели, включающий протоколы, обрабатывающие данные пользователей и осуществляющие управление обменом данными между приложениями. На этом уровне стандартизируется представление данных.

Транспортный уровень. Содержит протоколы для обеспечения целостности данных при сквозной передаче. Обеспечивает управление инициализацией и закрытием соединений.

Межсетевой уровень. Содержит протоколы для маршрутизации сообщений в сети; служит для размещения данных в дейтаграмме.

Уровень сетевого доступа. Нижний уровень модели. Содержит протоколы для физической доставки данных к сетевым устройствам. Этот уровень размещает данные в кадре.

Таким образом, использование стандартных моделей взаимодействия открытых систем позволяет использовать концепцию открытой архитектуры внешнего ОИ и сократить время разработки обучающих систем.

#### 4.5. Интеллектуальный интерфейс пользователя

Развитие и широкое внедрение современных информационных технологий в учебный процесс делают актуальными вопросы построения оптимальной обучающей среды на базе персональных компьютеров. Дизайн программ оказывает самое непосредственное влияние на мотивацию обучаемых, скорость восприятия материала, утомляемость и ряд других важных показателей.

Особенности развития дизайна ИКОС позволяют говорить о нем как об особом виде творческой деятельности, основная часть которой – функциональная организация коммуникативной среды обучения. Коммуникативная среда с точки зрения теории коммуникации характеризуется параметрами канала коммуникации и особенностями предметной области изучения, выраженными в виде конкретного СО.

В разработанной ИКОС мультимедийные средства обучения представлены ИИП, позволяющим адаптировать вид учебной информации канала коммуникации к особенностям обучаемого.

В качестве параметров канала коммуникации выбраны:

- особенности репрезентативной системы обучаемого;
- особенности эргономических предпочтений обучаемого.

Репрезентативная система обучаемого – способ получения и обработки информации из окружающего мира. В обучающей системе реализованы следующие типы репрезентативных систем: визуальная, аудиальная и дискретная, т.е. с их помощью обучаемые получают наибольшее количество информации через зрение, звуки и логические умозаключения соответственно.

Анализ российского и зарубежного опыта в области дизайна [66–73] позволил выработать следующие положения, реализованные в разработанном ИИП:

1) структура и содержание основных учебных элементов.

Требование лаконичности – одно из исходных при построении обучающих программ, кроме этого, выделены следующие требования к структуре и содержанию учебной информации:

– сжатость и краткость изложения текста, максимальная информативность (так как достаточно утомительно читать большой текст с экрана компьютера);

– использование слов и сокращений, знакомых и понятных обучаемому;

– тщательное структурирование учебной информации: объединение отдельных семантически связанных информационных элементов в целостно воспринимающиеся группы (принцип структурности);

– наличие кратких и «емких» заголовков, маркированных и нумерованных списков [67];

– вся наиболее важная информация находится в левом верхнем углу экрана и доступна без скроллинга;

– каждому положению (каждой идее) отведен отдельный абзац текста;

– основная идея абзаца находится в самом начале [68];

– таблицы помещаются на один экран без скроллинга, большие таблицы разбиты на несколько более мелких;

– графика должна органично дополнять текст; динамика взаимоотношений визуальных и вербальных элементов и их количество определены функциональной направленностью и, следовательно, видом учебного материала;

– пояснения к графическим иллюстрациям располагаются как можно ближе к ним, это создает целостность образной и вербальной информации и повышает степень восприятия;

– учтен принцип использования ассоциаций и стереотипов, который основан на преимущественном применении в обучающих программах символов, ассоциирующихся с обозначаемыми объектами, процессами и явлениями, взамен абстрактных условных знаков;

– вся вербальная информация тщательно проверена на отсутствие орфографических, грамматических и стилистических ошибок;

– производительность обучения значительно повышается, если одновременно задействованы зрительный и слуховой каналы восприятия информации. Поэтому для текста и графических изображений использовано звуковое сопровождение. Известно, что можно добиться существенного повышения объема кратковременной зрительной памяти не только длительной тренировкой, но и перекодированием части зрительной информации в слуховую, учитывая тот факт, что слуховая память стирается медленнее [69];

2) организация систем поиска, навигации и гиперссылок:

– пользователям нужны функция «Поиск»; правильно расставленные мета-теги с ключевыми словами, элементами содержания [70];

– гиперссылки содержат подробную информацию о том, куда они ведут и четко обозначены;

– текст помещается на один-два экрана; слишком длинные тексты – на несколько экранов, что заставляет пользователя читать начало на первом экране и в лучшем случае конец на последнем;

– в конце каждого раздела есть кнопки: возврата в начало; перехода к оглавлению; перехода к следующему разделу;

– исключено выделение текста подчеркиванием там, где нет гиперссылок;

– наличие четкой логической обусловленности каждого последующего шага в цепочке гиперссылок;

3) учет физиологических особенностей восприятия цветов и форм.

В отличие от ощущения в восприятии отражаются не отдельные свойства, а предмет в целом (в совокупности его свойств). Оно формируется на основе совместной деятельности ряда анализаторов человека, объединенных в функциональную систему. Это, конечно, не исключает того, что какой-либо из них может играть (и обычно играет) ведущую роль. Поэтому восприятие многомерных сигналов не является простой суммой параллельно разворачивающихся процессов различения. Существует определенная последовательность различения разных признаков сигнала. Например, прежде всего различаются положение и яркость сигнала (по отношению к фону), а затем его цветовые характеристики и только впоследствии – форма [71].

При проектировании обучающих программ рекомендуется учитывать следующие физиологические особенности восприятия цветов и форм:

– стимулирующие (теплые) цвета способствуют возбуждению и действуют как раздражители (в порядке убывания интенсивности воздействия): красный, оранжевый, желтый;

– дезинтегрирующие (холодные) цвета успокаивают, вызывают сонное состояние (в том же порядке): фиолетовый, синий, голубой, сине-зеленый, зеленый;

– нейтральные цвета: светло-розовый, серовато-голубоватый, желто-зеленый, коричневый;

– при выборе шрифтов для вербальной информации учтено следующее [66,71] : прописной шрифт воспринимается тяжелее, чем строчной; лучше воспринимаются цифры, образованные прямыми линиями; отношение толщины основных штрихов шрифта к его высоте ориентировочно составляет 1:5; отношение величины шрифта к промежуткам между буквами: наиболее удобочитаемы от 1:0,375 до 1:0,75;

– при начертании букв русского алфавита различными шрифтами существует следующая последовательность шрифтов по легкости их чтения [72]:

а) для заглавных букв – зубчатый, академический, стандартный, промышленный, зодчего, архитектурный, романский;

б) для строчных букв – академический, стандартный, романский, архитектурный, зодчего;

– наиболее хорошо воспринимаемые сочетания цветов шрифта и фона: белый на темно-синем, лимонно-желтый на пурпурном, черный на белом, желтый на синем;

– белое пространство признается одним из сильнейших средств выразительности, малогарнитурный набор – признаком стиля [73].

На основании этого в качестве эргономических параметров обучаемого выбраны следующие физиологические особенности восприятия цветов и форм:

С1 – черный шрифт на белом фоне;

С2 – белый шрифт на темно-синем фоне;

С3 – желтый шрифт на синем фоне.

Разработанный ИИП, адаптирующий УИ к виду, наиболее соответствующему особенностям обучаемого (типу репрезентативной системы и физиологическим особенностям восприятия цветов и форм), позволяет сделать процесс обучения менее утомительным и более эффективным.

## 5. Информационные особенности процессов управления сложными системами

### 5.1. Анализ эффективности внедрения компьютерных технологий в профессиональное образование

Концептуальная схема обучающей системы [2] выглядит следующим образом (рис. 48).

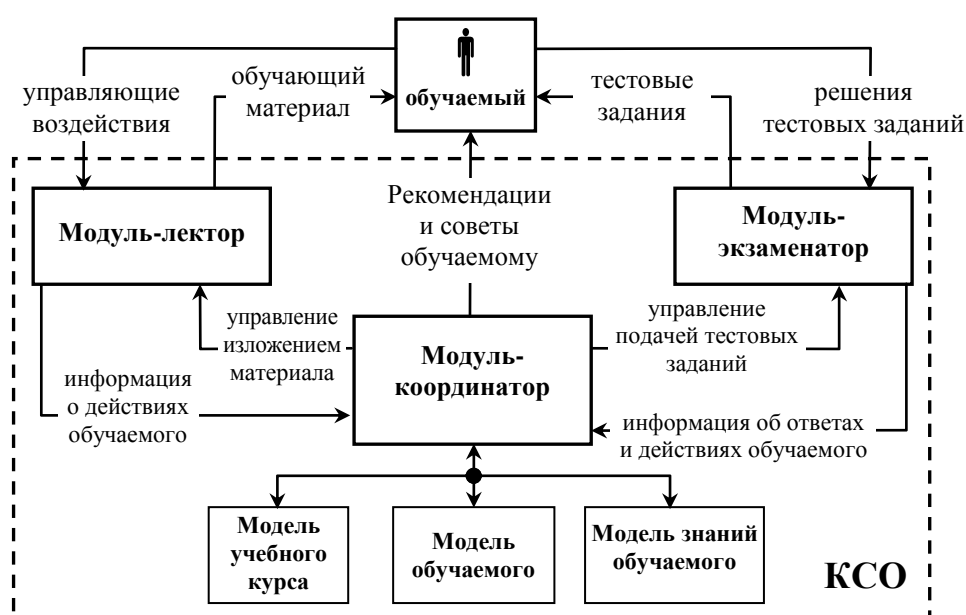


Рис. 48. Концептуальная схема обучающей системы

В состав обучающей системы входят три макромодуля.

1. «Модуль-лектор», отвечающий за изложение теоретического материала. В данном модуле реализовываются механизмы, направленные на эффективное изложение теоретического материала в текстовой, образной и звуковой форме.

2. «Модуль-экзаменатор», или контролирующий (тестирующий) модуль. С помощью данного модуля производится контроль степени усвоения излагаемого материала. Основная задача модуля – организовать процедуру тестирования знаний инженера, которые он приобрел, используя «модуль-лектор».

3. «Модуль-координатор». Наиболее сложный и интеллектуальный модуль системы. Его задача – координация работы всей

системы в целом и управление каждым из модулей. Данный модуль производит анализ состояния и принимает решение о дальнейшем ходе обучения. Ядром модуля являются математические модели: *Модель учебного курса (УК)*; *Модель обучаемого*; *Модель знаний обучаемого*.

Несмотря на то, что любой человек обладает своей уникальной совокупностью черт характера и особенностей поведения, психологи установили, что с определенной степенью достоверности каждый индивид может быть отнесен к некоторой категории. Адаптация означает, что учебный процесс и учебные материалы должны «подстраиваться» под требования каждой категории.

В работе [11] развивается идея единства процессов приобретения, организации и использования знаний. Знание представляется в виде совокупности понятий, объединенных в единую структуру. Структуризация начинается с выбора совокупности понятий, позволяющих проинтерпретировать входное описание (рис. 49).



Рис. 49. Перцептивный цикл

Далее система организует исследование описания с целью установления соответствия между понятиями и отдельными частями описания. Выделяются отдельные объекты, их свойства и отношения между ними. При этом понятия выступают как элементы формируемого Ф-описания. Рисунок 50 представляет принцип активного знания [11].

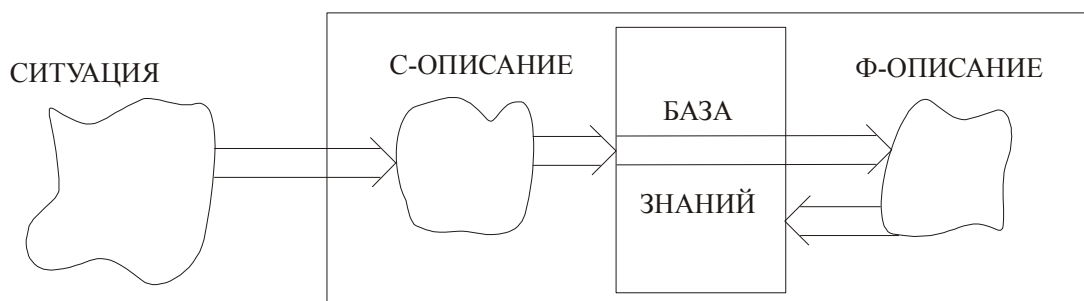


Рис. 50. Принцип активного знания

Система представления знаний должна включать целый спектр средств, позволяющих адекватно отображать ситуацию на



различных уровнях, начиная с «рецептурного» и кончая уровнем формальной логики и естественного языка.

Наибольшее распространение получили базы знаний (БЗ), представляемые множеством правил продукций. Достоинствами таких БЗ являются локальность представления знаний, независимость от наличия других правил, удобство корректировки БЗ и легкость восстановления хода решения по дереву вывода. Когда взаимосвязь между объектами предметной области достаточно сложна, целесообразно представить БЗ в виде семантической сети или фреймовой структуры. Фреймовые и сетевые структуры призваны облегчить поиск релевантной информации в процессе решения за счет группировки сведений по определенному признаку.

Для облегчения понимания процесса решения в БЗ вводятся специальные метаправила. Не являясь необходимыми при выводе решения, они используются при объяснении последовательности вывода правил БЗ. Это объясняется тем, что механизмы выбора правил продукции являются синтаксически ориентированными, в то время как объяснение процесса решения должно опираться на семантику задачи.

В большинстве интеллектуальных КОС используются три режима работы – обучение, идентификация и интерпретация. В первом случае система формирует понятия, соответствующие элементам текстовых описаний. При этом на вход системы поступает описание геометрии отдельных объектов и отношений между ними (С-описание) и описание ситуации на упрощенном естественном языке (Т-описание).

Во втором режиме система воспринимает С-описание ситуации и строит соответствующее ему Т-описание (рис. 51).

В третьем режиме по входному Т-описанию система генерирует соответствующее Ф-описание ситуации, которое представляет обобщенное описание ситуации.

Ф-описание строится из С-описаний путем введения дополнительных уровней, описывающих ситуацию с меньшей степенью подробности за счет опускания отдельных деталей. Т-язык – это подмножество упрощенного естественного языка, Ф-описание ограждает последовательный переход С-описания в Т-описание.

Построение интеллектуальной компьютерной обучающей системы – это анализ и моделирование всей предметной области, охватывающей все виды деятельности, обеспечивающие процесс обучения. Это путь к созданию более совершенных, чем адаптивные, самообучающихся систем.

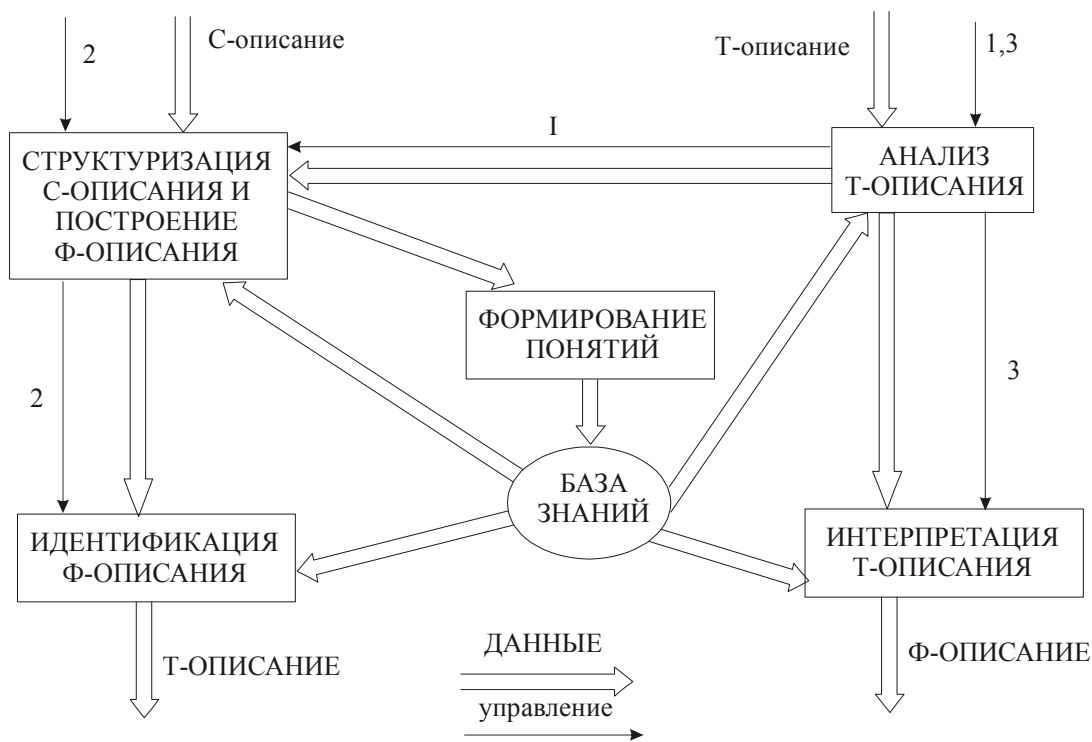


Рис. 51. Принцип действия ИКОС

Наличие подсистем объяснения, применяемых при выводе, вызвало попытки использовать экспертные системы для обучения решению задач. Обучаемый должен был учиться на примерах решения, используя сведения о порядке применения правил вывода системы. Недостаток такого применения экспертных систем в том, что в них отсутствуют средства управления работой обучаемого, а также локальный характер объяснения решения, не содержащего описания плана решения, обсуждения возможных методов и т.п.

Таким образом, ИКОС должны включать блок решения задач и базу знаний, блок обучения, модуль обучаемого и блок организации диалога.

Механизм вывода решения задачи и получения объяснения связан не только со структурой БЗ, но и с ее семантикой, что препятствует обобщению результатов и использованию их в последующих системах.

Создание методологии формирования моделей предметной области сходной структуры и принципов описания механизмов вывода позволит разработать технологию проектирования инструментальных интегрированных ИКОС.

Исходя из вышеизложенного делаем вывод об актуальной необходимости синтеза интегрированных ИКОС, т.е. ИКОС, которые представляют собой объединение компонентов с возможно-

стью повторного использования. Будут сформулированы требования для интегрированных ИКОС и разработан прототип архитектуры ИКОС, ориентированной на интеграцию.

Основное требование к интегрированной ИКОС: интегрированная система должна быть не просто суммой, а фактической интеграцией ее компонентов. В работе [11] рассмотрены два аспекта реальной интеграции. Во-первых, необходимо, чтобы один из компонентов мог использовать возможности другого компонента, а также обмениваться с ним данными или совместно их использовать. Во-вторых, во время работы обучаемых с любым из компонентов результаты его работы должны учитывать другие компоненты для адаптации к уровню знаний и индивидуальным особенностям каждого отдельного обучаемого. Например, во время работа с гипермедийным компонентом обучаемый может узнать что-то новое. Обучающий компонент должен учесть это во избежание повторной подачи уже изученного материала. Первый аспект мы называем технической интеграцией, а второй – понятийной интеграцией.

Для того, чтобы добиться понятийной интеграции, нужна некоторая центральная модель обучаемого, которая бы собирала и интегрировала информацию о нем из всех компонентов системы. Центральная модель может использоваться интеллектуальными и неинтеллектуальными компонентами для адаптации их работы к текущему статусу обучаемого.

В работе [12] предлагается проект архитектуры ИКОС как совокупности независимых повторно используемых модулей, связанных с центральной моделью обучаемого (рис. 52,*a*). Модули разделяются на два типа: основанные на знаниях модули или агенты (например, модуль планирования курса обучения), которые содержат различные виды знаний и обеспечивают интеллектуальность системы, и интерфейсные модули или инструментальные средства, которые взаимодействуют непосредственно с пользователем. Оба вида модулей должны иметь возможность взаимодействия с другими модулями.

В данной работе говорится об ориентированной на интеграцию архитектуре, компоненты которой могут являться различными отдельными приложениями, включая коммерческие пакеты. Важный вклад данной работы – это централизованная архитектура с гибким взаимодействием между компонентами, основанными на каком-нибудь протоколе связи между приложениями, например Apple Events и DDE. Выделим два аспекта данной архитектуры:

независимый от приложений язык общения семантического уровня и центр контроля, который собирает и доставляет все межкомпонентные сообщения.

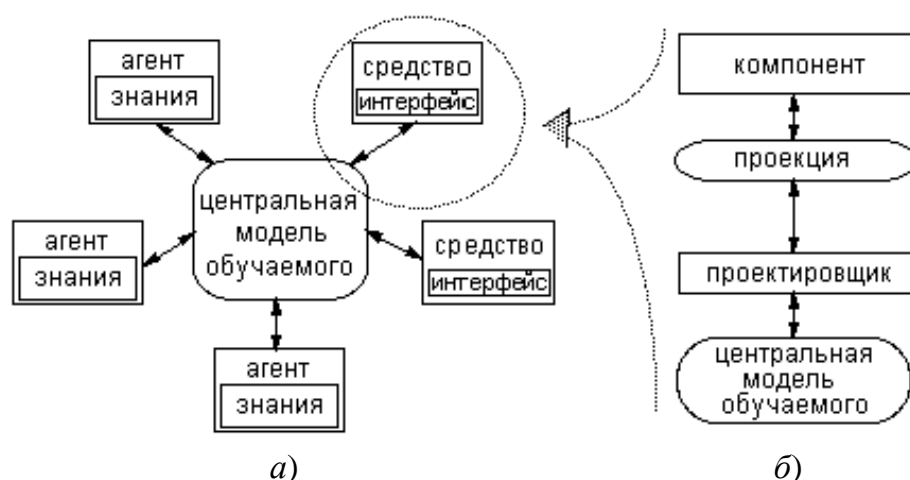


Рис. 52. Вариант ИКОС с архитектурной интеграцией:

*а* – архитектура интегрированной ИКОС;

*б* – возможные связи между компонентом и центральной моделью обучаемого

В работах по различным оболочкам ИКОС говорится о проблемах родовых компонентов, основанных на знаниях. В них приведены хорошие примеры различных компонентов для контроля за обучением, основанным на педагогическом знании [13]. Менее изученной областью являются оболочки поддержки решения задач, основанные на анализе предметной области [14].

К вопросу централизованного моделирования обучаемого обращаются авторы исследования по моделированию обучаемого и оболочкам моделирования пользователей [15]. Все эти оболочки разработаны для сбора информации о пользователе из различных источников и для обслуживания запросов от различных приложений о пользователе. Следует отметить, что большая часть работы по адаптивным интерфейсам [16] была сделана вне традиционной области ИКОС.

Данная работа сосредоточена вокруг двух проблем создания интегрированной ИКОС: проблемы полной адаптации и проблемы понятийной интеграции. Эти проблемы тесно связаны друг с другом. ИКОС полностью адаптивна, если все ее компоненты могут динамически адаптироваться к отдельному обучаемому. Большинство ИКОС могут адаптировать свою работу (обучение) к заданному обучаемому, однако очень немногие среды программирования и гипермедийные компоненты могут это делать. Нашей целью

являлось создание адаптивных сред программирования и гипермедийных компонентов ИКОС [17].

Понятийная интеграция предполагает, что результаты работы обучаемых с любым компонентом во время занятий должны быть приняты во внимание другими компонентами для того, чтобы адаптировать свои параметры к изменившемуся уровню знаний определенного обучаемого. Наш подход к понятийной интеграции заключается в идее центральной модели обучаемого. Данная модель должна собирать всю информацию об обучаемом и должна быть доступной для всех компонентов ИКОС. Мы будем использовать архитектуру ИКОС с центральной моделью обучаемого [18], которая может считаться развитием архитектуры, ориентированной на интеграцию, относительно аспектов передачи информации между компонентами и центральной моделью обучаемого (рис. 52,б).

Модель обучаемого разделена на две части: центральную модель обучаемого и ее проекции. Центральная модель обучаемого находится в центре среды и собирает из разных источников информацию о данном студенте. Модель студента получает сообщения о взаимодействии студента с каким-либо из компонентов, представленные в виде стандартных событий понятийного уровня. Например: «В момент времени  $T$  студент посещает гиперузел понятия  $C$  в течение  $S$  секунд». Отмечается время этих стандартных событий, и они сохраняются в модели. С тем чтобы предотвратить потерю важной информации, дальнейшая обработка данных не производится. Главная модель обучаемого – это хранилище всей информации о нем, которую можно использовать для адаптации.

Модель обучаемого в классических ИКОС – это всего лишь одна из локальных проекций, та, которая используется обучающим компонентом. Другие компоненты системы (такие как гипермедийные компоненты) могут использовать совершенно другие проекции. Центральная модель обучаемого более сложна, чем традиционный «архив», но меньше формализована, чем классическая оверлейная модель. Скорее, это *структурированный архив*. Дальнейшую обработку данных и проецирование к более традиционной форме наложения проектировщики делают отдельно в соответствии с требованиями различных компонентов.

Использование проекций и правил обеспечивает открытую архитектуру с хорошей степенью гибкости. Поскольку характеристики компонента зависят от проекции, то для определенного при-

менения следует настроить характеристики путем изменения правил проектировщика (или даже самой проекции) без влияния на другие компоненты. Новый компонент можно с легкостью интегрировать в среду, разработав набор правил, по которым центральная модель с данным компонентом соединяется с локальным представлением обучаемого. Если новому компоненту необходимы новые виды взаимодействия, которые нельзя спроецировать в существующий набор стандартных событий, этот набор можно расширить. Например, событие «в момент времени  $T$  обучаемый услышал изложение понятия  $C$  из мультимедийной записи» можно спроецировать в событие «в момент времени  $T$  обучаемый прочитал описание понятия  $C$ » или записать как новый вид события. Если определенному модулю для лучшей адаптации нужно принять во внимание новый вид события, его проектировщика можно обновить. Таким образом, использование проекций и правил обеспечивает как раз тот уровень гибкости, который требуется для ориентированной на интеграцию архитектуры.

В основе механизма саморегулирования учебного процесса в среде лежит прямая и обратная связь в системе «преподаватель–ИКОС–студент». ИКОС рассматривается как комплекс компонентов (блоков), который обеспечивает системную интеграцию в процесс обучения (см. рис. 52). Составной частью ИКОС являются обучающиеся, преподаватели и «внешние» участники учебного процесса, взаимодействие которых осуществляется с помощью современных телекоммуникационных средств. Информационно-знаниевые потоки (входящие, исходящие и внутрисредовые) представляют собой самую динамичную часть, объединяющую различные компоненты этой антропоцентрической системы в единое целое. Эти связи должны носить открытый, диалогический характер и обеспечивать взаимодействие участников учебного процесса между собой и с внешней средой [19].

Основным условием, определяющим успешное функционирование всей системы учебной деятельности в ИКОС, является готовность участников учебного процесса к взаимодействию в новой среде. Под готовностью подразумевается ряд психолого-педагогических условий, составляющих основу реализации ИКОС.

Таким образом, цель создания интеллектуальных компьютерных обучающих систем заключается в том, чтобы интеллектуализацией преподавания добиться такой же эффективности в ходе решения задач, какая достигается при обучении с преподавателем [38–42].

При этом требуются новые критерии структурирования учебных курсов, пересмотр принципа последовательности изложения по сравнению с традиционными курсами, выявление новых типов связей между частями и разделами содержания, повышение меры общности изложения.

Следует отметить степень автоматизации функций контроля и управления процессов обучения, а также синтез и хранение модели этого процесса. Это проблема определения возможностей и целесообразности опредмечивания и усиления приемов и компонентов педагогической деятельности. Эффективность решения этих вопросов зависит от возможности создания модели процесса обучения, адекватной реальному процессу. В рамках кибернетического подхода к моделированию обучения как к управляемому процессу полагается, что педагог, располагая определенным ресурсом обучающихся (управляющих) воздействий и руководствуясь заданной целью, оценивает обученность оператора и сформировывает обучающие (управляющие) стратегии.

Итак, требуется решить актуальную научно-практическую задачу синтеза архитектуры ИКОС, позволяющей интегрировать различные компоненты известных обучающих программ, а также произвольные разделы коммерческих пакетов прикладных программ (ППП), что позволяет значительно упростить создание новых ИКОС, повысить эффективность компьютерного обучения, приблизив ее к эффективности индивидуального обучения с учителем. Для этого необходимо провести анализ структурных методов адаптации ИКОС.

## 5.2. Информационные особенности многоэкстремальных функций для описания показателей функционирования систем управления

ИКОС представляют собой комплексы для приема, переработки и передачи информации, т.е. в этом смысле являются информационными системами. Для реализации процесса проектирования используются разнообразные системы, различающиеся характером решаемых задач, используемых методов измерений, структурой программно-алгоритмического обеспечения и аппаратной поддержки. Все эти системы, несмотря на свое различие, выполняют некоторые общие функции: сбор информации, управление процессом проектирования, обработку данных по некоторому алгоритму, представление выходной информации пользователю в

удобном для него виде, в том числе передачу информации выше-стоящей автоматизированной системе управления для дальнейшего использования. Информационный характер процесса проектирования определяет целесообразность анализа информационных характеристик ИКОС и использования этих характеристик при структурно-алгоритмическом синтезе систем.

Рассмотрим возможности элементарных многоэкстремальных функций (ЭМЭФ) и их свойства [136].

Неявным образом ЭМЭФ были введены еще в 1973 г. [137]. Исходным классом функций для конструирования ЭМЭФ выберем класс функций  $\Psi$ , являющихся положительными, бесконечно дифференцируемыми, четными, имеющими максимум лишь в нуле (равный единице), лишь два нуля второй производной и интегрируемых с квадратом на всей вещественной оси.

На основе функций  $\psi \in \Psi$  можно получать два вида наиболее простых (назовем их элементарными) многоэкстремальных функций (МЭФ):

$$C [\psi; x] = c \sum_{n=-\infty}^{+\infty} (-1)^n \psi [\beta (x - n\pi)]; \quad (5.1)$$

$$S [\psi; x] = c \sum_{n=-\infty}^{+\infty} (-1)^n \psi \left[ \beta \left( x - \frac{\pi}{2} - n\pi \right) \right], \quad (5.2)$$

где  $c$  – константа, которую определим так:

$$c = C^{-1} [\psi; 0] = \left[ \sum_{n=-\infty}^{+\infty} (-1)^n \psi (\beta n\pi) \right]^{-1}. \quad (5.3)$$

Рассмотрим некоторые свойства этих функций. Прежде всего, очевидно, что для любой функции  $\psi \in \Psi$  ряды (5.1), (5.2) равномерно сходящиеся, т.е. действительно определяют некоторые функции. Далее ясно, что они имеют период  $2\pi$  и

$$C \left[ \psi; x - \frac{\pi}{2} \right] = S [\psi; x].$$

Из выражений (5.1), (5.2) и условия (5.3) следует, что  $C [\psi; x]$  и  $S [\psi; x]$  имеют те же экстремумы и нули, что и соответственно функции  $\cos(x)$  и  $\sin(x)$ .

Нетрудно получить для элементарных МЭФ (очевидно, сходящихся) ряды Фурье. Имеем



$$C[\psi; x] = c \frac{2}{\beta} \sum_{k=0}^{\infty} \tilde{\psi} \left( \frac{2k+1}{\beta} \right) \cos [x(2k+1)]; \quad (5.4)$$

$$S[\psi; x] = c \frac{2}{\beta} \sum_{k=0}^{\infty} \tilde{\psi} \left( \frac{2k+1}{\beta} \right) \sin [x(2k+1)], \quad (5.5)$$

где  $\tilde{\psi}(x)$  – преобразование Фурье-функции  $\psi(x)$ .

Пределы при  $\beta \rightarrow 0$  в (5.4) и (5.5) дают соответственно

$$\cos x = \frac{1}{2c} \lim_{\beta \rightarrow 0} \beta \tilde{\psi}^{-1} \left( \frac{1}{\beta} \right) C[\psi; x]; \quad (5.6)$$

$$\sin x = \frac{1}{2c} \lim_{\beta \rightarrow 0} \beta \tilde{\psi}^{-1} \left( \frac{1}{\beta} \right) S[\psi; x]. \quad (5.7)$$

Таким образом, оба класса ЭМЭФ, индуцированных пространством  $\Psi$ , имеют по единственной предельной (относительно предела  $\beta \rightarrow 0$ ) точке, которые являются соответственно  $\cos(x)$  и  $\sin(x)$ . Этот факт можно рассматривать как еще одно экстремальное свойство тригонометрических функций.

Для функций  $Q_1(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k) = \sum_{l=1}^{k-1} \sum_{t=l+1}^k d_{lt} \sin(\alpha_s - \alpha_t)$  и

$\psi(x) = e^{-\frac{x^2}{2}}$  ряд (5.1) с использованием сумм Абеля [138] получает соответственно замкнутый вид ( $\sigma = \beta^{-1}$ ):

$$C \left[ \left( 1 + \beta^2 x^2 \right)^{-1}; x \right] = \frac{\text{sh}^2 \sigma \cos x}{\text{ch}^2 \sigma - \cos^2 x}; \quad (5.8)$$

$$C \left[ e^{-\frac{x^2 \beta^2}{2}}; x \right] = \frac{\theta_2 \left( \frac{x}{\pi}; \frac{2}{\pi} \sigma^2 \right)}{\theta_2 \left( 0; \frac{2}{\pi} \sigma^2 \right)}, \quad (5.9)$$

где  $\theta_2(x; a)$  – эллиптическая тэта-функция.

Соотношение (5.9) показывает, что не для всякой  $\psi \in \Psi$  ЭМЭФ есть элементарная функция.

Для равной метрики и метрики  $L_1$  из (5.8) можно получить соответственно

$$\varepsilon_{\max} = \|\cos x - C\| \sim \frac{8}{9} \sqrt{3} e^{-2\sigma};$$

$$\varepsilon_1 = \|\cos x - C\|_{L_1} = 1 - \operatorname{sh} \sigma \operatorname{arctg}(\operatorname{sh}^{-1} \sigma).$$

Так, например, при  $\sigma = \pi$  будет

$$\varepsilon_{\max} \approx 0,00288; \quad \varepsilon_1 \approx 0,00246. \quad (5.10)$$

Оценки (5.10) показывают быструю сходимость ЭМЭФ по параметру  $\beta \rightarrow 0$  к тригонометрическим функциям.

Систему  $\varphi_{1m}(x), \varphi_{2m}(x), \dots, \varphi_{Km}(x)$  назовем асимптотически  $\varepsilon$ -ортогональной на  $[a, b]$ , если

$$\sup_{i, j} \left( \lim_{m \rightarrow \infty} \int_a^b \varphi_{im} \varphi_{jm} dx \right) = \varepsilon, \quad i \neq j. \quad (5.11)$$

Конструировать асимптотически  $\varepsilon$ -ортогональные системы будем на базе неполных ЭМЭФ [61], а именно, в виде

$$\varphi_{kN}^{(1)}(x) = C \sum_{i=-N}^N (-1)^i \psi \left[ \beta (xk - i\pi) \right] \quad (5.12)$$

и

$$\varphi_{kN}^{(2)}(x) = C \sum_{i=-N-1}^{N-1} (-1)^i \psi \left[ \beta \left( xk - \frac{\pi}{2} - i\pi \right) \right]. \quad (5.13)$$

Рассмотрим свойства систем четных функций (для нечетных они аналогичны). Определим число  $\varepsilon$ , участвующее в определении всего класса  $\varepsilon$ -ортогональных систем на базе элементарных многоэкстремальных функций (ЭМЭФ). Исходя из представления в виде ряда Фурье функции  $C[\psi, x]$  имеем

$$\int_0^{2\pi} C[\psi, nx] C[\psi, mx] dx =$$

$$= \frac{4C^2}{\beta^2} \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{j=0}^{\infty} \tilde{\psi} \left( \frac{2k+1}{\beta} \right) \tilde{\psi} \left( \frac{2j+1}{\beta} \right) \times$$

$$\times \int_0^{2\pi} \cos[nx(2k+1)] \cos[mx(2j+1)] dx.$$

Для интеграла в правой части имеем

$$\int_0^{2\pi} \cos[nx(2k+1)] \cos[mx(2j+1)] dx = \begin{cases} 0 & \text{дè } n(2k+1) \neq m(2j+1) \\ \pi & \text{дè } n(2k+1) = m(2j+1) \end{cases}.$$

Пусть  $n \neq m$ , но  $j$  – целое, то  $\frac{n}{m} = 2\nu + 1$ ;  $\nu = 1, 2, \dots$

Следовательно, имеем

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \int_0^{2\pi} C[\psi; nx] C[\psi; mx] dx = \\ &= \frac{4\pi C^2}{\beta^2} \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{\nu=1}^{\infty} \tilde{\Psi}\left(\frac{2k+1}{\beta}\right) \tilde{\Psi}\left[\frac{(2\nu+1)(2k+1)}{\beta}\right]. \end{aligned} \quad (5.14)$$

Рассмотрим примеры конкретных  $\varepsilon$ -ортогональных систем.

**Пример 1.** Для  $\psi(x) = \frac{1}{1+x^2}$  имеем

$$\begin{aligned} \varepsilon(\beta) &= \frac{4\pi^3 C^2}{\beta^2} \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{\nu=1}^{\infty} l^{-\frac{2k+1}{\beta}} l^{-\frac{(2\nu+1)(2k+1)}{\beta}} = \\ &= 2\pi \operatorname{sh} \frac{1}{\beta} \left( \operatorname{sh}^{-1} \frac{4}{\beta} + \operatorname{sh}^{-1} \frac{6}{\beta} + \operatorname{sh}^{-1} \frac{8}{\beta} + \dots \right). \end{aligned} \quad (5.15)$$

**Пример 2.** Для  $\psi(x) = l^{-\frac{x^2}{2}}$  будет

$$\begin{aligned} \varepsilon(\beta) &= \frac{\pi^2 c^2}{\beta^2} \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{\nu=1}^{\infty} l^{-\frac{(2k+1)}{2\beta^2}} l^{-\frac{(2\nu+1)^2(2k+1)^2}{2\beta^2}} = \\ &= \frac{4\pi}{\theta_2\left(0; \frac{2}{\pi \beta^2}\right)} \left( l^{-\frac{8}{\beta^2}} + l^{-\frac{18}{\beta^2}} + l^{-\frac{32}{\beta^2}} + \dots \right). \end{aligned} \quad (5.16)$$

Предположим теперь  $n = m$ , тогда

$$C(\beta) = \|\tilde{N}[\psi; x]\|^2 = \frac{4\pi C^2}{\beta^2} \sum_{k=0}^{\infty} \tilde{\Psi}^2\left(\frac{2k+1}{\beta}\right). \quad (5.17)$$

Для функции  $\psi = \frac{1}{1+x^2}$  имеем

$$C_1 = \left\| C \left[ \frac{1}{1+x^2}; x \right] \right\|^2 = 2\pi \frac{\operatorname{sh}^2 \frac{1}{\beta}}{\operatorname{sh} \frac{2}{\beta}} = \pi \frac{\left( 1 - l^{-\frac{2}{\beta}} \right)^2}{1 - l^{-\frac{4}{\beta}}}; \quad (5.18)$$

при  $\beta = 1; \frac{2}{\pi}; \frac{1}{\pi}$ , получим

$$C_1(1) = 2,3926; C_1\left(\frac{2}{\pi}\right) = 2,8813; C_1\left(\frac{1}{\pi}\right) = 3,1299.$$

Для функции  $\psi = l^{-\frac{x^2}{2}}$ , получим

$$C_1 = \left\| \left[ l^{-\frac{x^2}{2}}; x \right] \right\|^2 = 2\pi \frac{\theta_2\left(0; \frac{4}{\pi\beta^2}\right)}{\theta_2^2\left(0; \frac{2}{\pi\beta^2}\right)} = \pi \frac{1 + l^{-\frac{8}{\beta^2}} + l^{-\frac{24}{\beta^2}} + \dots}{\left( 1 + l^{-\frac{4}{\beta^2}} + l^{-\frac{12}{\beta^2}} + \dots \right)^2}; \quad (5.19)$$

при  $\beta = 1; \frac{2}{\pi}; \frac{1}{\pi}$ , получим

$$C_1(1) = 3,08612; C_1\left(\frac{2}{\pi}\right) = 3,135738; C_1\left(\frac{1}{\pi}\right) = 3,1415.$$

Таким образом, рассмотренные системы функций довольно быстро стремятся к ортонормированной системе.

При аппроксимации функции ортогональными системами, как правило, возникают трудности для нахождения соответствующих коэффициентов разложения. Кроме того, не обеспечивается требуемое поведение аппроксимирующего полинома вне промежутка аппроксимации: разложение по системам, состоящим из периодических функций, задает периодическую функцию на бесконечном промежутке с периодом, равным длине промежутка разложения; разложение по системам ортогональных (на конечном и бесконечном промежутках) алгебраических полиномов при конечном числе членов разложения задает функцию, бесконечно большую на бесконечности. Однако во многих прикладных задачах,

а также теоретических исследованиях необходимо соблюдение определенных требований (например, скорости убывания на бесконечности) к аппроксимирующему выражению. Представление функциональных характеристик в виде комбинаций тригонометрических функций с экспоненциальными множителями затруднительно в смысле нахождения параметров аппроксимирующего выражения и, кроме того, применимо к сравнительно узкому классу характеристик.

Основная идея предлагаемого здесь аппарата состоит в организации таких функций, которые представляют на конечном интервале  $\varepsilon$ -ортогональные системы [71] с требуемым поведением вне промежутка разложения. При этом погрешность аппроксимации конечным числом членов будет включать в себя погрешности, образованные за счет  $\varepsilon$ -ортогональности (при нахождении коэффициентов разложения) и за счет учета лишь конечного числа членов разложения.

Пусть теперь  $f(x)$  – периодическая функция с периодом  $2\pi$ . Формально запишем ряд по  $\varepsilon$ -ортогональной системе функций  $C[\psi; jx], S[\psi; jx], (j = 1, 2, \dots)$ :

$$f(x) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{v=1}^{\infty} \{a_v C[\psi; vx] + b_v S[\psi; vx]\}. \quad (5.20)$$

Интегрируя на  $[-\pi; \pi]$ , получим

$$a_0 = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) dx. \quad (5.21)$$

Умножая на  $C[\psi, jx]$  и вновь интегрируя, будем иметь

$$\int_{-\pi}^{\pi} f(x) C[\psi; jx] dx = a_1 \varepsilon + a_2 \varepsilon + \dots + a_j \int_{-\pi}^{\pi} C^2[\psi; jx] dx + a_{j+1} \varepsilon + \dots$$

Откуда

$$a_j = \frac{1}{C_1 - \varepsilon} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) C[\psi; jx] dx - \frac{\varepsilon A}{C_1 - \varepsilon}, \quad j = 1, 2, \dots \quad (5.22)$$

Аналогично

$$b_j = \frac{1}{C(\beta) - \varepsilon} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) S[\psi; jx] dx - \frac{\varepsilon B}{C(\beta) - \varepsilon}, \quad j = 1, 2, \dots \quad (5.23)$$

В (5.22), (5.23) соответственно

$$A = \sum_{k=1}^{\infty} a_k; B = \sum_{k=1}^{\infty} b_k.$$

Таким образом, коэффициенты формально определяются с точностью до постоянного слагаемого. Подставив в (5.11)  $x = 0$ , получим

$$f(0) = \frac{1}{2} a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} a_k,$$

откуда

$$A = f(0) - \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) dx. \quad (5.24)$$

Заметим, что  $A$  можно, не уменьшая общность дальнейших рассуждений, положить равным нулю, заменив функцию  $f(x)$  на

$$f^*(x) = f(x) + \left[ \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} f(x) dx - f(0) \right] \cos x.$$

Разберем случай четной функции. Будем искать предельные значения частичных сумм:

$$\tilde{S}_n[f] = \frac{1}{2} a_0 + \sum_{v=1}^n a_v C[\psi; vx], \quad (5.25)$$

где  $a_0 = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} f(x) dx$ ,  $a_v = \frac{2}{C_1 - \varepsilon_0} \int_0^{\pi} f(x) C[\psi; vx] dx$ ,  $v = 1, 2, \dots$  (5.26)

Переходя в (5.25) к пределу и подставляя предельное значение интеграла в правой части, получим (учитывая, что  $A = 0$ )

$$\tilde{S}[f] = f(x) + \varepsilon(x), \quad (5.27)$$

где  $\varepsilon(x) = f(0) \frac{C_1 - \pi - \varepsilon_{\beta}}{C_1 - \varepsilon_{\beta}} + f(x) \frac{\varepsilon_{\beta}}{C_1 - \varepsilon_{\beta}} +$   
 $+ \frac{4\pi C^2}{(C_1 - \varepsilon_{\beta})\beta^2} \sum_{\substack{k, j=0 \\ k \neq j}}^{\infty} \tilde{\psi}\left(-\frac{2k+1}{\beta}\right) \tilde{\psi}\left(\frac{2j+1}{\beta}\right) f\left(x \frac{2k+1}{2j+1}\right).$  (5.28)

Здесь по-прежнему

$$C = \left[ \frac{2}{\beta} \sum_{k=0}^{\infty} \tilde{\psi} \left( \frac{2k+1}{\beta} \right) \right]^{-1};$$

$$C_1 = \frac{4\pi C^2}{\beta^2} \sum_{k=0}^{\infty} \tilde{\psi}^2 \left( \frac{2k+1}{\beta} \right);$$

$$\varepsilon_{\beta} = \frac{4\pi C^2}{\beta^2} \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{v=1}^{\infty} \tilde{\psi} \left( \frac{2k+1}{\beta} \right) \tilde{\psi} \left[ \frac{(2k+1)(2v+1)}{\beta} \right].$$

Итак, формулы (5.20), (5.21) решают нашу задачу приближенного представления функции  $\varepsilon$ -ортогональными системами.

Оценим функцию  $\varepsilon(x)$ . Из (5.23) будем иметь

$$\max_{x \in [0, \pi]} |\varepsilon(x)| \leq \left| f(0) \frac{C_1 - \pi - \varepsilon}{C_1 - \varepsilon} \right| + M \frac{\varepsilon}{C_1 - \varepsilon} + M \frac{\pi}{\varepsilon_1 - \varepsilon} \left| 1 - \frac{C_1}{\pi} \right|,$$

где  $M = \max_{x \in [0, \pi]} |f(x)|$ .

Так как  $C_1 = \|C[\psi; x]\| < \pi$ , то

$$\max_{x \in [0, \pi]} |\varepsilon(x)| \leq (M + |f(0)|) \frac{\varepsilon + \pi - C_1}{C_1 - \varepsilon}. \quad (5.29)$$

Или более грубо

$$\begin{aligned} \max_{x \in [0, \pi]} |\varepsilon(x)| &< (M + |f(0)|) \left( \frac{\pi}{C_1} - 1 \right) = \\ &= (M + |f(0)|) \left\{ \frac{\left[ \sum_{k=0}^{\infty} \tilde{\psi} \left( \frac{2k+1}{\beta} \right) \right]^2}{\sum_{k=0}^{\infty} \tilde{\psi}^2 \left( \frac{2k+1}{\beta} \right)} - 1 \right\}. \end{aligned} \quad (5.30)$$

**Пример.** Оценим  $\varepsilon(x)$  при использовании функции  $C \left[ \frac{1}{1+x^2}; x \right]$ . Для нее имеем

$$f(x) = \frac{1}{2} a_0 + \sum_{v=1}^{\infty} a_v C \left[ \frac{1}{1+x^2}; x \right] - \varepsilon(x), \quad (5.31)$$

где согласно (5.8)

$$\max_{x \in [0, \pi]} |\varepsilon(x)| < 2 \left( M + |f(0)| \right) \frac{l^{-\frac{2}{\beta}}}{1 - l^{-\frac{2}{\beta}}}. \quad (5.32)$$

Если нам требуется, чтобы было  $\max_{x \in [0, \pi]} (\varepsilon(x)) (< \varepsilon_1)$ , то ввиду (5.31) должно быть

$$\beta < -\frac{2}{\ln \varepsilon_1 - \ln(2M + 2|f(0)| + \varepsilon_1)}. \quad (5.33)$$

Вопрос об оценке информативности экстремумов многоэкстремальных функций (ИЭ МЭФ) имеет большое практическое значение при численном решении ряда прикладных задач, в частности, при оценке спектральной плотности мощности стационарных случайных процессов, при выборе численного метода приближения МЭФ и т.д. Рассмотрим этот вопрос с трех точек зрения: с точки зрения теории информации, теории аппроксимации и спектральной теории.

1. Рассматривая первую точку зрения, остановимся на  $\varepsilon$ -энтропии на единицу времени стационарных случайных процессов. Получаемый ниже результат есть соединение результата А. Н. Колмогорова [141] с результатом С. О. Райса [142].

Так как большой практический интерес представляют процессы со спектральной плотностью, которая может быть аппроксимирована плотностью при  $A \leq |\lambda| \leq A + W$ , в остальных случаях

$$f_{\xi\xi}(\lambda) = \begin{cases} a^2 \\ 0 \end{cases},$$

и так как  $\varepsilon$ -энтропия достигает максимума для нормальных процессов, то остановимся на таких стационарных процессах. Для них в работе [71] показано, что  $\varepsilon$ -энтропия на единицу времени с большой точностью дается формулой

$$\bar{H}_\varepsilon(\xi) \approx W \log(2Wa^2 / \varepsilon^2). \quad (5.34)$$

Так как для таких процессов среднее число экстремумов (выкладки, например, в [61]) будет  $m = 2W\sqrt{3/5}$ , то получим энтропию на единицу времени:

$$\bar{H}_\varepsilon(\xi) \approx -\frac{1}{2} \sqrt{5/3} m \log(5/3 m a^2 / \varepsilon^2). \quad (5.35)$$



Поскольку далее речь идет о среднем числе экстремумов процесса, то формулу (5.33) можно трактовать как  $\varepsilon$ -энтропию реализации рассматриваемых процессов, являющейся функцией из класса  $F_m$ . Иными словами, формула (4.33) дает практическую возможность оценить количество информации, необходимое, чтобы фиксировать с точностью  $\varepsilon$  реализацию, имеющую  $m$  экстремумов на единичном временном интервале, и это количество информации растет пропорционально числу экстремумов.

Очевидно, что принципиальная новизна формулы (5.33) А. Н. Колмогорова, в отличие от формулы К. Шеннона  $R = W \log(Q/N)$  сохранится и для формулы (5.34). Эта новизна заключается в том, что «теперь видно, почему и в каких пределах (при не слишком малом  $\varepsilon$ ) эта формула (Шеннона) может быть применима к процессам с неограниченным спектром, какими являются все реально интересующие нас в теории передачи сообщений процессы». Заметим также, так как двойная ширина полосы частот  $2W$  в формуле (5.33) играет роль числа измерений, приходящихся на единицу времени [145], и согласно теореме В. А. Котельникова о том, что функция с ограниченным спектром однозначно определяется значениями в точках  $\dots, -\frac{2}{2W}, -\frac{1}{2W}, 0, \frac{1}{2W}, \frac{2}{2W}, \dots$ , можно сделать вывод, что согласно формуле (4.29) и тому, что  $2W = \sqrt{5/3} m$ , реализация процесса может быть фиксирована с точностью  $\varepsilon$  по значениям  $x\left(\frac{k}{\sqrt{5/3} m}\right)$ ,  $k = \overline{1, \pm m}$ .

Так как процесс является узкополосным, то, вообще говоря, нужно делать  $2m\sqrt{5/3}$  отсчетов на период, т.е.  $\approx 2,58$ .

Касаясь не реализаций случайных процессов, а МЭФ вообще, остановимся на наиболее удобном для практических применений классе  $F_1^\Delta(C, L)$  функций, удовлетворяющих условию Липшица, т.е.

$$\begin{aligned} \Delta &= \{x : a \leq x \leq b\}, \\ |f(x)| &\leq, \quad x \in \Delta, \\ |f(x) - f(x_1)| &\leq L|x - x_1|. \end{aligned} \tag{5.36}$$

В работе А. Н. Колмогорова показано, что  $\varepsilon$ -энтропия этого класса функций равна

$$H_\varepsilon(F_1^\Delta(C, L)) = |\Delta|L/\varepsilon + \log(c/\varepsilon) + O(1). \quad (5.37)$$

Очевидно, что в величину  $\varepsilon$ -энтропии данного класса число экстремумов войдет лишь в константу Липшица  $L$ . Попробуем как-то оценить  $L(m)$ . Вероятнее всего, для этих целей лучше всего подойдет функция  $\cos(\pi mx)$ . Тогда

$$\inf_{f \in F_m} L(m) = \frac{1}{\pi m}. \quad (5.38)$$

Следовательно,  $\varepsilon$ -энтропия данного класса функций будет оценена сверху следующим образом:

$$H_\varepsilon(F_1^\Delta(C, L)) \geq |\Delta| \frac{\pi m}{\varepsilon} + \log(c/\varepsilon) + O(1). \quad (5.39)$$

Вот это и есть количество информации (в «битах»), необходимое для фиксирования функции из класса  $F_1^\Delta(C, L)$ .

2. Рассмотрим теперь информативность экстремумов с точки зрения теории аппроксимации. Не углубляясь в тонкий и разносторонний анализ этой проблемы (в пользу аппроксимативной информативности экстремумов), приведем нижеследующее рассуждение.

Пусть  $(x_i, y_i)$ ,  $i = \overline{1, m-1}$  есть экстремумы некоторой целой функции. Будем интерполировать ее полиномом Эрмита  $H_{2m-1}(x)$ , т.е. производить интерполяцию экстремумов. Выберем в качестве узлов интерполяции экстремумы функции. Как известно из [146], для остаточного члена имеет место оценка

$$|f(x) - H_{2m-1}(x)| \leq \frac{M_{2m+1}}{(2m+1)!} \cdot \max_{x \in [0,1]} \{|\omega_{m-1}(x)|\}, \quad (5.40)$$

где  $M_{2m+1} = \sup_{x \in [0,1]} |f^{(2m+1)}(x)|$ ,

$$\omega_{m-1}(x) = (x - x_0)(x - x_1) \cdots (x - x_{m-1}).$$

Варьируя узлы интерполяции на величину  $\varepsilon$  ( $\varepsilon > 0$ ), получим некий полином Эрмита  $H_{2m-1}^*(x)$ , для которого после нескольких громоздких выкладок получим

$$\left| f(x) - H_{2m-1}^*(x) \right| \leq \frac{M_{2m+1}}{(2m+1)!} \left[ \max |\omega_{m+1}(x)| + \varepsilon \max |\omega'_{m+1}(x)| \right].$$

Отсюда очевидно, что минимальное значение оценки погрешности эрмитовой интерполяции будет при  $\varepsilon = 0$ , т.е. интерполяции в экстремумах.

Более тонкий анализ эрмитовой интерполяции с точностью до  $\varepsilon^2$  (где по-прежнему  $\varepsilon$  – отклонение узлов интерполяции от экстремальных) дает

$$H_{2m+1}(x, \varepsilon) = H_{2m+1}(x) + \varepsilon m^2 \pi^2 \omega_n^2(x) \sum_{i=0}^m \frac{(-1)^i}{(x-x_i) \omega'_m(x_i)}.$$

Отсюда опять-таки ясно, что многочлен Эрмита  $H_{2m-1}(x)$ , интерполирующий функцию в экстремумах, есть хороший интерполяционный многочлен.

3. Для небольшого анализа спектральной информативности экстремумов последуем Харкевичу [147], согласно которому амплитудный спектр на основной частоте  $\omega = \Omega$  имеет значение  $|\Phi_t(\omega)|_{\omega=\Omega} = \frac{\pi m}{2 \Omega}$ , где опять-таки  $m$  – число экстремумов реализации на  $[0,1]$  («реализация» в данном случае есть  $\sin \Omega t$ ). После несложных выкладок при сдвиге на величину  $\varepsilon$  от экстремумов получим:  $|\Phi_t^*(\omega)|_{\omega=\Omega} = (1-\varepsilon) \frac{\pi m}{2 \Omega}$ . Иными словами, в смысле выделения основной частоты экстремумы являются достаточно информативными.

### 5.3. Информационный критерий качества алгоритмов управления

Для формирования критерия качества организации алгоритма проектирования технологических систем естественно использовать ее информативность. Под информативностью будем понимать количество информации, поступающей на вход системы в единицу времени, т.е. информативность – это характеристика разрешающей способности автоматизированной системы как некоторого измерительного прибора. Пусть ИКОС может обеспечить получение максимального потока входной информации о проектируемом объекте  $I_0$  (бит/с). Эта информация определяется характером проекти-

руемого процесса и типом инструмента получения входной информации при условии, что все параметры автоматизированной системы соответствуют своему номинальному значению. Например, для входных периферийных устройств ИКОС информативность определяется количеством и производительностью каналов выходной информации. Следует отметить, что введенное понятие информативности является своего рода технической характеристикой АС ТПП и не учитывает характера входной информации в смысле ее новизны для процесса проектирования, зависимости от характеристик проектируемого процесса и т.п.

В общем случае информативность ИКОС есть функция от параметров

$$I = I(s_1, s_2, \dots, s_N), \quad (5.41)$$

где  $s_i$  – параметры ИКОС, влияющие на данный вид обработки входной информации (т.е. на данную функцию автоматизированной системы проектирования). Параметры реальной системы отклоняются от своих номинальных значений в силу различных причин. Например, при вводе информации происходят сбои в работе входных устройств, в системах управления процессом получения входной информации. Наличие этих сбоев приводит к тому, что входная информация искажается. С течением времени ошибки в работе системы управления вводом информации в систему накапливаются, информативность системы снижается.

Введение контроля в процесс получения входной информации позволяет обнаружить и свести искажения информации к минимуму. Таким образом, цепочка, выполняющая некоторый выбранный на «дереве» действий некий процесс (примитив), содержит в себе как атомы, непосредственно участвующие в процессе ввода информации, так и атомы, выполняющие вспомогательные функции, предназначенные для контроля и управления ИКОС. Например, в процессе получения входной конструкторской информации о детали, подлежащей обработке, и регистрации информации в базе данных (БД) ИКОС основными функциями являются: выбор и подключение к системе нужного канала источника информации; внесение данных в буфер устройства ввода, запись информации на твердом носителе.

При выполнении этих основных функциональных атомов возникают потери информативности, которые обусловлены конечной разрядностью аналого-цифрового преобразователя, нестабильностью сетевых параметров системы, ограниченной разре-

шающей способности устройств ввода и т.п. Для качественного выполнения основных атомов могут потребоваться дополнительные действия: определение состояния входного вычислительного устройства; проверка на полноту, достоверность и непротиворечивость полученной информации, управление параметрами приемного устройства.

Основное назначение вспомогательных атомов заключается в сведении существующих потерь информативности к минимуму за счет контроля и поддержания значений параметров ИКОС близкими к номинальным.

Не уменьшая общности рассуждения, для определенности будем считать, что система проектирования построена эвристическим путем. Поскольку перед выбором структуры примитивов алгоритм проектирования уже определен, то определен и весь набор примитивов, которые необходимо реализовать для обеспечения процесса проектирования. Набор базовых программно-аппаратных средств к этому времени тоже известен, т.е. нам задан набор основных и вспомогательных атомов для реализации примитивов. Поэтому для окончательного выбора цепочки, реализующей тот или иной примитив с меньшими потерями информативности, необходимо определить, когда и в каком порядке включать в цепочки наряду с основными атомами дополнительные. Пусть в общем случае все основные атомы цепочек сопровождаются вспомогательными. Это приведет к тому, что каждое основное действие будет сопровождаться корректирующим. Выполнение вспомогательных операций требует определенных затрат материальных ресурсов системы и времени. Например, при циклических процессах может оказаться так, что часть циклов полностью отводится на выполнение вспомогательных атомов. Это может привести к потере некоторой доли информативности процесса.

В дальнейшем будем считать, что условия выбора временно дискрета выполнены. Средняя доля времени, затрачиваемая на выполнение вспомогательных операций, определяется следующим выражением:

$$g_i = f_i t_{ki}, \quad (5.42)$$

где  $f_i$  – частота включения контрольных атомов;  $t_{ki}$  – время выполнения вспомогательных действий.

Условия проведения процесса проектирования накладывают ограничения на время выполнения основных и вспомогательных функциональных процедур. Например, при регистрации данных

существует ограничение сверху на период  $T_d$  дискретизации сигнала, которое вытекает из теоремы Котельникова:

$$T_d < T_{\max}, \quad (5.43)$$

где  $T_{\max}$  – интервал Котельникова.

Очевидно, что реальная длительность одного цикла измерений входных параметров системы состоит из времени измерений и времени выполнения вспомогательных действий:

$$T_d = t_r + t_k, \quad (5.44)$$

где  $t_r$  – время, затрачиваемое на измерение, т.е. время выполнения цепочки основных атомов.

Поскольку считаем, что конфигурация исполнительных компоненты периферийного оборудования системы проектирования определена, время выполнения цепочки основных атомов не может быть меньше некоторой минимальной величины, т.е. имеется следующее ограничение снизу:

$$t_r > t_{r\min}. \quad (5.45)$$

В общем случае исходя из условий существования ограничений сверху и снизу на длительность выполнения цепочки основных атомов получается ограничение на среднее время выполнения вспомогательных атомов:

$$t_k < T_{\max} - t_{r\min}.$$

С учетом вышеприведенных выражений это соотношение можно переписать в виде

$$\sum_{i=1}^{N_d} g_i = \sum_{i=1}^{N_d} f_i t_{ki} < \Delta T_k, \quad \Delta T_k = \frac{T_{\max}}{T_{\max}} - \frac{t_{r\min}}{T_{\max}}, \quad (5.46)$$

где  $\Delta T_k$  – средняя доля времени, затрачиваемого на контроль;  $N_d$  – количество постоянно выполняемых вспомогательных атомов для некоторого примитива.

Потери информативности при выполнении вычислительного процесса, обслуживающего проектирование технологий, являются функциями от частоты выполнения вспомогательных операций. Задача построения цепочки для реализации некоторого заданного примитива сводится к определению частоты  $f_i$  выполнения вспомогательных атомов. Очевидно, что все частоты  $f_i$  удовлетворяют соотношению

$$0 < f_i < \frac{\Delta T_k}{t_k}. \quad (5.47)$$

В частном случае, когда вспомогательные атомы не включены в цепочку выполнения  $i$ -го примитива, частота  $f_i = 0$ . В другом крайнем случае  $f_i = \frac{\Delta T_k}{t_k}$ , т.е. весь цикл измерений тратится на выполнение вспомогательных действий.

Определим оптимальные частоты выполнения вспомогательных атомов исходя из максимума информативности процесса подготовки входных данных процесса проектирования.

Задача определения оптимальных частот  $f_i$  имеет решение на границе допустимого множества значений, определяемого накладываемыми ограничениями. Информационные потери  $f_i$  являются монотонно убывающими функциями частот  $f_i$  (чем короче интервал между моментами выполнения вспомогательных действий, тем меньше потери). Пусть вектор частот находится в некотором положении внутри разрешенной области и имеет значения своих составляющих  $f_1, f_2, \dots, f_n$ . Движение от этой точки к границе области соответствует увеличению значений всех компонент этого вектора, т.е. уменьшению функционала информационных потерь, что и доказывает утверждение о наличии решения на границе. Нахождение решения сводится к задаче минимизации функционала информационных потерь и имеет единственное решение.

В практических приложениях можно вводить наравне с рассмотренным информационным показателем качества алгоритма проектирования и другие показатели качества и оптимизировать затраты времени на проведение процесса подготовки и проектирования, а также материальные затраты и т.п.

Развит системно-кибернетический подход к проблеме управления сложными системами. На основе концептуальной модели и ее взаимодействия с информационной моделью обеспечивается возможность автоматизации управления ИКОС. Доказана актуальность использования экспертных систем для создания «быстрых» моделей в тех случаях, когда настоящая модель еще не разработана.

Определена основная цель работы, которая заключается в решении крупной научной проблемы, имеющей важное народно-хозяйственное значение, – методы и средства обработки информации, системного анализа и управления ИКОС связи, позволившей повысить эффективность управления ИКОС в условиях неопределенности на основе современных ИТ.

Для разработки этой проблемы поставлены и решены задачи теоретического, экспериментального и промышленного характера:

- разработка единого системно-кибернетического подхода к ретроспективному и перспективному анализу и синтезу систем управления ИКОС;

- разработка методов представления и обработки данных и знаний, а также методов и средств постановки, проведения и представления результатов ситуационного моделирования ИКОС;

- разработка структуры системы управления, ее логической организации, создание методов и средств решения проблемы выработки управляющих решений;

- разработка новой методики логического управления производственными процессами систем связи на основе функционально-целевого подхода;

- параметризация концептуальной модели ИКОС и ее основных компонентов, выбор структур данных, стандартов их представления в модели и алгоритмов их обработки в ходе моделирования;

- реализация стратегии интеграции производственных и постпроизводственных фаз жизненного цикла системы обучения;

- интеграция моделей всех этапов жизненного цикла промышленного изделия на базе концептуальной модели предметной области (КМПО) и системы межмодельного взаимодействия;

- разработка итерационного алгоритма синтеза проектного решения, позволяющего согласовывать модели, разработанные в разное время, разными людьми, на основе различных методов и подходов;

- разработка методики организации информационного обмена между различными моделями;

- доведение теоретических предпосылок до конкретных рекомендаций по управлению;

- разработка алгебраического подхода к преобразованию моделей этапов жизненного цикла системы обучения.

Определены проблемы организации управления ИКОС:

- наличие нескольких понятийных аппаратов;

- множественность центров принятия решения;

- открытость системы понятий.

Сделан вывод о наличии структурного и функционального сходства обобщенной модели управления с механизмом эволюции



живой природы и процессами познания. Это доказывает, что при всем многообразии явлений и процессов материального мира формы их организации в своей основе едины.

Дается определение сущности управления, эволюции управления, сходства процессов управления и интеллектуальной деятельности (в частности, познания), а также сходства обобщенной модели управления с механизмом эволюции живой природы. Доказано, что повышение эффективности сознательных решений требует создания специальной теории и соответствующих технических средств усиления интеллектуальных возможностей человека в различных сферах его деятельности.

Показано, что современная система управления является многоуровневой, сложной системой, включающей несколько звеньев обратной связи, обеспечивающих регулирующие функции. В этой системе осуществляется многоэтапное преобразование и обобщение информации. Обработка информации в современной системе управления невозможна без применения компьютерной техники и современных информационных технологий. Эффективность управления существенно повышается при наличии системы поддержки принятия решений (СППР).

Показана актуальность проблемы автоматизированного синтеза алгоритмов управления ИКОС на основе концептуального моделирования предметной области, которое позволяет определить системы понятий и отношений между понятиями.

Обоснована необходимость применения функционально-целевого подхода к анализу сложных систем. Даются основные определения моделирования сложных систем, подробный анализ целеобусловленности системы. Определяются требования к целям.

Разработана схема управления процессами на основе событийных моделей оборудования, потоков и процессов и имитационной модели оператора. Принципиальным отличием предложенной схемы управления от традиционного программно-логического управления является формирование команд управления на основе вычисления отклонения текущего состояния технологической сети от состояния, требуемого процессом. Это позволило вычисление отклонения, формирование команд управления и контроль их исполнения сформулировать в виде стандартных процедур, независимых от конкретного приложения.

Определены особенности адаптивных систем управления. Проведен анализ робастности системы управления.

Проведен анализ информационных характеристик ИКОС и использования этих характеристик при структурно-алгоритмической синтезе систем. Рассмотрены описательные возможности элементарных многоэкстремальных функций и их свойства.

Таким образом, разработаны методы выработки управляющих воздействий ИКОС на всех этапах жизненного цикла системы обучения на базе ИТ, разработка которых позволила значительно упорядочить процесс управления сложными производственными комплексами и добиться существенного снижения непроизводительных расходов, сроков разработок и производства за счет структуризации существующей информации о процессе разработки и производства систем автоматизированного обучения и обеспечения эффективного управления этими процессами, а также информационными потоками, организующими эту работу.

#### 5.4. Интеллектуализация управления слабо формализованными процессами

Развитие теории управления происходит в направлении исследования разных сфер человеческой деятельности – от устройств автоматики до систем управления общественными, социальными, экономическими и другими сложными динамическими объектами [1]. Неизменным остается набор исследуемых характеристик. Это – объект, устройство, цель и критерии качества управления.

Значительный прогресс в области математических методов, появление новых математических моделей, широкое внедрение компьютерных технологий позволили существенно расширить классы исследуемых систем управления. Одним из революционных этапов можно назвать вовлечение в теорию управления моделей и методов искусственного интеллекта (ИИ) и инженерии знаний [48, 49].

Исследование свойств естественного интеллекта обусловило формулировку принципов организации интеллектуальных компьютерных обучающих систем [50]:

- 1) наличие взаимодействия управляющих систем с реальным внешним миром с использованием информационных каналов связи;
- 2) открытость систем с целью повышения интеллектуальности и совершенствования собственного поведения;
- 3) наличие механизмов прогноза изменений внешнего мира и собственного поведения системы в динамически меняющемся внешнем мире;

4) наличие у управляющей системы многоуровневой иерархической структуры, построенной в соответствии с правилом: повышение интеллектуальности и снижение требований к точности моделей по мере повышения ранга иерархии в системе;

5) сохраняемость функционирования (возможно, с некоторой потерей качества или эффективности) при разрыве связей или потере управляющих воздействий от высших уровней иерархии управляющей структуры.

Развитие методов интеллектуального управления СФП основано на привлечении различного рода моделей, отражающих реальные процессы с требуемой в исследованиях точностью. Очевидно, что данные модели должны быть приспособлены к естественному языку для лица, принимающего решения (ЛПР), а также иметь возможность моделировать субъективные методы преобразования информации в СФП. На рис. 53 представлена обобщенная модель систем управления СФП.

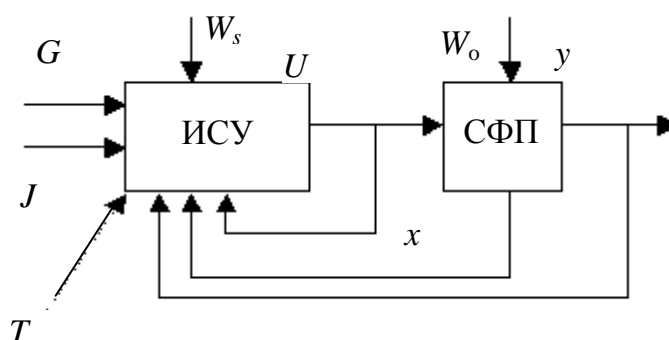


Рис. 53. Обобщенная модель системы управления СФП

Здесь  $X$  – внутреннее состояние объекта управления;  $Y$  – выходные параметры;  $W_s$ ,  $W_o$  – возмущающие воздействия системы управления и объекта;  $G$  – целевые воздействия;  $U$  – управляющие воздействия;  $J$  – показатели качества;  $T$  – возможный учет времени; ИСУ – интеллектуальная система управления.

Управление СФП предполагает решение двух взаимосвязанных задач – задачи анализа СФП с целью построения его модели и задачи синтеза системы управления (СУ). Поскольку СФП является динамическим процессом, то модели СФП и СУ должны отражать динамическое поведение. Ввиду того, что классы исследуемых в ИКОС задач управления относятся, как правило, к дискретным процессам, определим задачи анализа СФП и синтеза СУ в дискретном представлении.

Преимущества использования нечетких множеств в моделировании СФП заключаются в их простоте и общности [51, 52]. С помощью нечеткого представления довольно несложно описать переходы в пространстве состояний, исходя из желаемых свойств функционирования системы. Следует подчеркнуть существенную разницу между классическими методами приближенного анализа сложных систем и подходом, основанным на использовании более абстрактных моделей, к которым можно отнести и модели, основанные на нечетком представлении. В первом случае для упрощения используется та же самая математическая структура, что и сложной модели, а упрощение достигается за счет отбрасывания той части модели, которая признается наименее важной. При втором подходе происходит переход к использованию других математических структур, которые более абстрактны, но тем не менее позволяют рассматривать систему в целом, но на менее детализированном уровне. Упрощение в последнем случае достигается за счет отказа от несущественных деталей, а не за счет желания уменьшить количество исследуемых переменных.

Нечеткие модели являются мостом между двумя подходами – количественным и качественным моделированием – и наиболее приемлемыми для описания СФП.

С помощью нечетких логических систем имеется возможность имитации мыслительных способностей человека при описании управления процессами с использованием сравнительно небольшого количества правил.

В настоящее время наибольший прогресс в проектировании ИКОС достигнут для систем со свойством «интеллектуальности в малом». Это означает, что управляющие системы, структурно не организованные в соответствии с приведенными выше принципами ИКОС, используют при своем функционировании знания (например, в виде правил) как средство преодоления неопределенности входной информации, модели управляемого объекта или его поведения. Известные направления в данном классе ИКОС – нечеткие регуляторы и нейронные сети.

Выбор нечетких дифференциальных или разностных уравнений очевиден ввиду их наибольшего соответствия ИКОС «в малом». При этом использование нечетких моделей обеспечивает относительно простой способ управления сложными системами, которые обладают существенным нелинейным поведением. Обычно нечеткие правила, из которых состоит нечеткий контроллер, пред-

ставляют собой знания или опыт педагога. На рис. 54 представлена общая схема нечеткого регулятора.

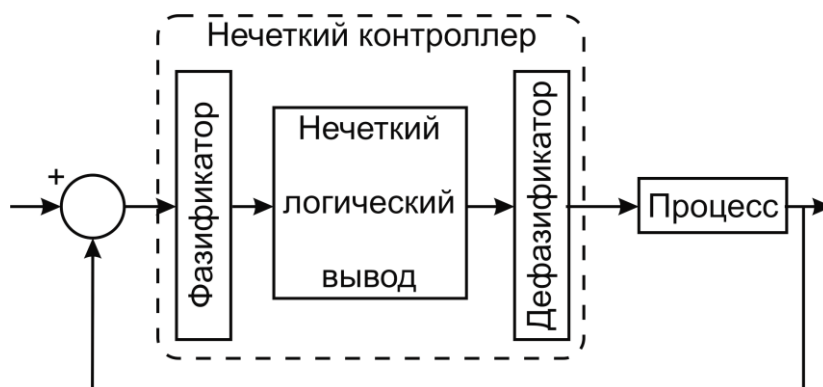


Рис. 54. Нечеткий регулятор как замкнутая система управления

Нечеткие регуляторы с фиксированной базой знаний известны как статические нечеткие регуляторы. Они были разработаны в 1970-е гг. как результат внедрения фундаментальных работ Л. Заде в задачи автоматического управления [53]. Первые публикации и значительные результаты были получены в исследовательских группах, возглавляемых Mamdani E. H., начиная с 1970-х. База знаний контроллера (управляющих правил) формируется путем извлечения знаний педагога, следившего ранее за ходом протекания процесса. Процедура управления представляла собой процедуру моделирования, а окончательное решение принимает педагог.

Следующим шагом в направлении нечетких регуляторов как адаптивных контроллеров является создание самоорганизующихся нечетких логических контроллеров. Впервые они были предложены в работе [54].

Вопросы самоорганизации и самообучения в системах управления с нечеткой логикой исследованы также в работах [55, 56]. Подобные системы широко использовались в управлении процессами, в которых построение модели было затруднено либо ожидалось большие изменения значений параметров в процессе функционирования системы. Данные алгоритмы были успешно применены в построении автопилота морского судна, учитывающего большой разброс в скорости движения судна и волнении моря. Для синтеза комбинированного управления использовалось несколько параллельно включенных нечетких контроллеров. На рис. 55 представлена реализация самоорганизующегося регулятора с квантификаторами, основное назначение которых – настройка базы правил для различных ситуаций, определяемых в блоке условий

переключения. База правил для разных ситуаций может содержать не только различные правила, определяющие особенности управления на различных режимах, но и различные значения характеристик нечетких множеств лингвистических переменных.

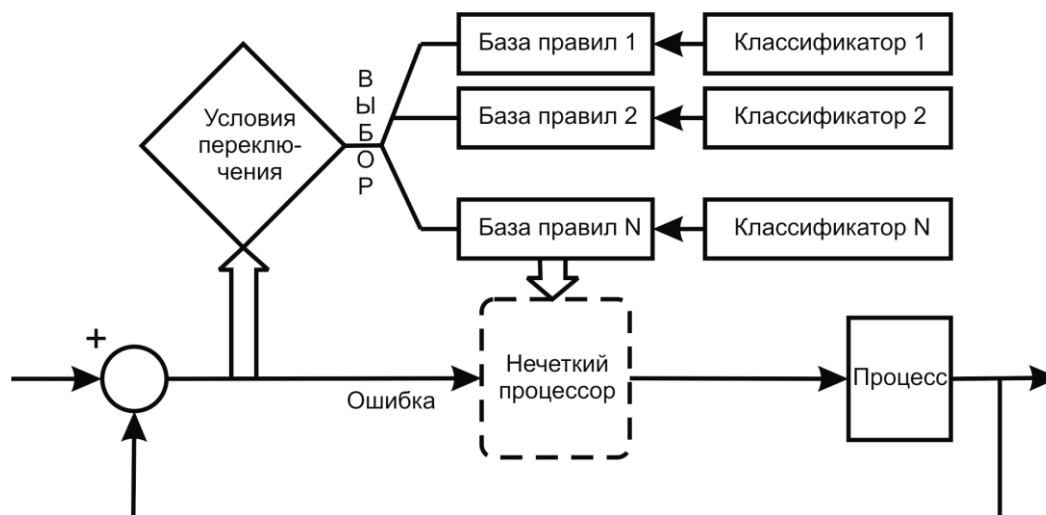


Рис. 55. Самоорганизующийся комбинированный регулятор с квантификаторами

Сами ситуации (условия переключения) определяются экспертом и могут включать не только отклонения выходной координаты от требуемого значения, но и учитывать различные ограничения, касающиеся общего характера функционирования динамической системы.

Например, когда выходная координата «далека» от целевого значения, применяется один набор правил, другой набор правил применяется при более точном управлении и т.д. до достижения требуемой точности. Пусть для грубого управления некоторым процессом начальный диапазон ошибки имеет разрешение  $U_0 = \{-1000 \dots +1000\}$ , универсум  $U_0$  квантифицирован на восемь уровней (лингвистических переменных), точка перехода на тонкое управление – интервал  $U_1 = \{-100 \dots +100\}$ , и в этом универсуме  $U_1$  количество лингвистических переменных равно, например, 5 (пять уровней квантификации). Более того, для каждого уровня управления определены свои таблицы правил. Принятие решений о включении квантификатором той или иной модели управления осуществляется на основании метазнаний, полученных от эксперта.

Наиболее полной представляется самообучаемая схема управления, включающая эвристическую базу знаний в виде набо-

ра таблиц правил нечеткого регулятора, где каждая из таблиц определяется своими правилами включения как в контур управления, так и фактическую базу данных, основное назначение которой – выявление новых закономерностей в практическом управлении процессом [57]. Кроме того, с помощью базы данных осуществляется обучение базы знаний, а также определяются границы интервалов значений лингвистических переменных в квантификаторах. Структура такой системы представлена на рис. 56.

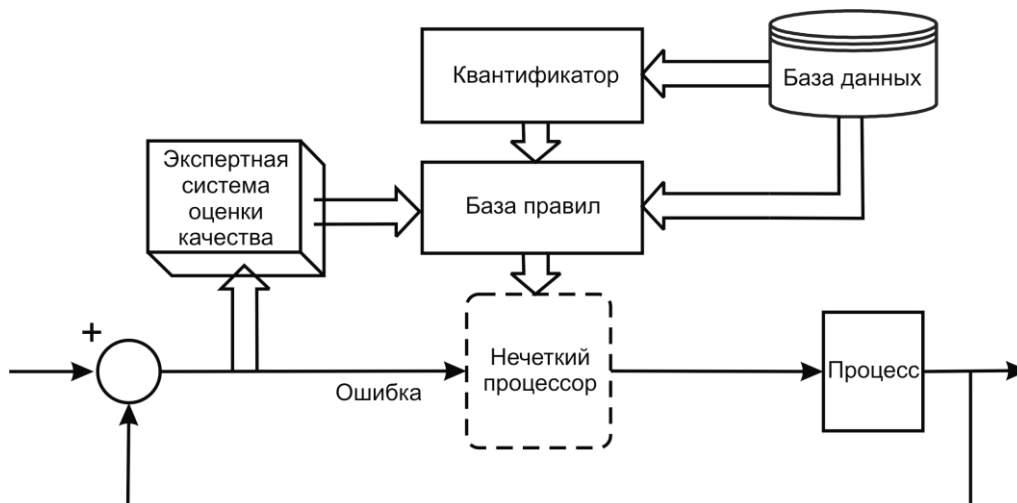


Рис. 56. Самоорганизующийся нечеткий регулятор с самообучением

Данная схема представляет собой наиболее полное соответствие моделирования управленческой деятельности человеком-оператором и включает в себя следующие элементы:

1) экспертная система оценки качества управления процессом, с помощью которой производится интегральная оценка качества на основе как текущего управления, так и предыдущих сеансов управления, имеющих в базе данных;

2) подсистема изменения параметров нечетких множеств и правил базы знаний для каждого квантификационного уровня управления;

3) подсистема поиска знаний в базе данных – KDD (Knowledge Discovery in Databases). Основная задача данной подсистемы – проверка соответствия текущих знаний базы правил с содержимым базы данных и изменение содержимого базы правил в случае нарушения такого соответствия.

Основной проблемой синтеза управления в рассмотренных выше системах являются способы формирования базы правил,

обеспечивающих оптимальное регулирование сложными процессами. Как правило, известные методы синтеза не рассматривают сам процесс при решении данной задачи. Поэтому актуальным представляется создание моделей, описывающих процессы в ИКОС (как правило, слабо формализованные), таким образом, чтобы задача синтеза могла быть решена некими формальными алгоритмами.

Из известных с 70-х гг. XX столетия моделей знаний – логических, продукционных, фреймовых, нейронных и семантических сетей – для описания слабо формализованных процессов наиболее подходят продукционные модели знаний, с помощью которых представляется возможным естественно описать декларативный опыт человека, его интуицию и логику поведения [58].

Поскольку основной моделью представления системы управления в нечетких контроллерах является продукционная модель знаний, определим в качестве базовой математической модели описания слабо формализованных процессов (СФП) также лингвистическую продукционную модель (ЛПМ). Особенностью данной модели является то, что она должна отражать динамические связи между переменными СФП. Как и при описании контроллера, лингвистическое описание СФП задается в виде набора правил вида

$$\begin{aligned} \text{IF } X_k = (x_1 = nb, x_2 = pm, \dots, x_n = ze), \\ \text{AND } U_k = (u_1 = pm, u_2 = nb, \dots, u_m = nm), \end{aligned} \quad (5.48)$$

$$\text{THEN } X_{k+1} = (x_1 = pb, x_2 = ps, \dots, x_n = pb), \quad (5.49)$$

отражающих отношения изменения состояния системы в зависимости от входных воздействий. Кратко такой набор обычно записывают в виде

$$X_{k+1} = X_k U_k, \quad (5.50)$$

где  $X_k = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  – обобщенный вектор состояния системы, а  $U_k = (u_1, u_2, \dots, u_m)$  – обобщенный вектор управляющих воздействий, значения которых представляют собой лингвистические переменные из заданного терм-множества  $S = \{NB, NM, \dots, ZE, \dots, PM, PB\}$ , где NB – negative big, NM – negative middle, ZE – zero, PM – positive middle, PB – positive big представляют собой нечеткие множества с заданными функциями принадлежности.

Как правило, динамическое поведение таких систем описывается в виде таблиц лингвистических правил, связывающих управляющие воздействия  $U$  и выходы (либо состояния) объекта  $X$ :



$$X_{k+1} = R(X_k, U_k), \quad (5.51)$$

$$\text{or } \Delta X_k = R(X_k, U_k), \quad (5.52)$$

где  $X$  – состояние системы;  $\Delta X$  – изменение состояния в следующий момент времени;  $U$  – управляющее воздействие;  $R$  – отношение связи;  $k$  – шаг дискретизации. Пример такого отображения представлен в табл. 7.

Таблица 7

Таблица лингвистических правил СФП  $X_{k+1} = X_k U_k$

| $U_k/X_k$ | <b>NB</b> | <b>NM</b> | <b>ZE</b> | <b>PM</b> | <b>PB</b> |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>NB</b> | NB        | NB        | NB        | NM        | ZE        |
| <b>NM</b> | NB        | NB        | NM        | ZE        | PM        |
| <b>ZE</b> | NB        | NB        | ZE        | PB        | PB        |
| <b>PM</b> | NM        | ZE        | PM        | PB        | PB        |
| <b>PB</b> | ZE        | PM        | PB        | PB        | PB        |

Для формализации задач анализа и синтеза лингвистических динамических систем введем в рассмотрение алгебраическую систему, с помощью которой модель (5.51) либо (5.52) можно заменить некоторой алгебраической структурой. Такая аппроксимация таблицы лингвистических правил (ТЛП) позволит исследовать СФП с точки зрения формальной алгебры, применяя классические методы анализа и синтеза, известные в теории автоматического управления.

В общем виде данные таблицы лингвистических правил представляют собой отображения терм-множества  $S$  на себя, т.е. отображения вида

$$S \times S \rightarrow S. \quad (5.53)$$

Необходимыми операциями, которыми следует наделять множество  $S$ , являются операции сложения элементов из  $S$ , а также умножения на элементы некоторого множества коэффициентов  $\Omega$ . При этом, как и в области евклидовых пространств, в множестве коэффициентов  $\Omega$  необходимо выделить подмножество  $\Omega_{\text{лин}}$ , обеспечивающее свойства линейности конструируемого пространства, а также область устойчивости для линейных систем – подмножество  $W_{\text{уст}}$ , обеспечивающее решение задачи устойчивости для линейных лингвистических моделей, т.е.  $\Omega = \Omega_{\text{лин}} \cup \Omega_{\text{уст}}$ . В работах [59, 60] приведены основные свойства конструируемого пространства.

В табл. 8, 9 приведены реализации законов композиции алгебраической системы для терм-множества  $S = \{NB, NM, ZE, PM, PB\}$ .

Применение алгебраического подхода к моделированию СФП позволяет применить методы анализа и синтеза, свойственные техническим системам, при исследовании динамических процессов в других типах СФП – в социальных, экономических, медицинских системах.

Таблица 8

**Внутренний закон композиции**

| $+: S \times S \rightarrow S$ | <b>NB</b> | <b>NM</b> | <b>ZE</b> | <b>PM</b> | <b>PB</b> |
|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>NB</b>                     | NB        | NB        | NB        | NM        | ZE        |
| <b>NM</b>                     | NB        | NB        | NM        | ZE        | PM        |
| <b>ZE</b>                     | NB        | NM        | ZE        | PM        | PB        |
| <b>PM</b>                     | NM        | ZE        | PM        | PB        | NB        |
| <b>PB</b>                     | ZE        | PM        | PB        |           | NB        |

Таблица 9

**Внешний закон композиции**

| $\times: \Omega \times S \rightarrow S$ | <b>NB</b> | <b>NM</b> | <b>ZE</b> | <b>PM</b> | <b>PB</b> |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>-2</b>                               | PB        | PB        | ZE        | NB        | NB        |
| <b>-1</b>                               | PB        | PM        | ZE        | NM        | NB        |
| <b>-1/2</b>                             | PM        | ZE        | ZE        | ZE        | NM        |
| <b>0</b>                                | ZE        | ZE        | ZE        | ZE        | ZE        |
| <b>1/2</b>                              | NM        | ZE        | ZE        | ZE        | PM        |
| <b>1</b>                                | NB        | NM        | ZE        | PM        | PB        |
| <b>2</b>                                | NB        | NB        | ZE        | PB        | PB        |

Рассмотрим возможность алгебраической аппроксимации СФП и синтез контроллера для задачи управления автоматизированным обучением «Контроллер», в данном случае это педагог-администратор ИКОС, определяющий распределение учебных заданий.

С точки зрения задач анализа и синтеза системы управления (СУ) СФП первым этапом является построение модели СФП, адекватно отражающей все характеристики СФП и их взаимосвязи. Пусть заданы следующие параметры СФП: качество обучения, степень подготовленности к изучению данной предметной облас-

ти (ПО), процент времени изучения основных понятий и определений ко всему времени обучения. На самом деле количество параметров, характеризующих СФП обучения, значительно больше. К ним можно отнести: временные затраты на различные этапы обучения; качество выполнения каждого этапа обучения; качество обучаемого материала, сложность внедрения и сопровождения системы автоматизированного обучения; удобство интерфейса; степень обучаемости индивидуума; процент обновления учебного материала, уровень подготовленности обучаемого по фундаментальным наукам, процент времени изучения каждого вида учебного материала и др.

Процесс проектирования ПО удобно представить в виде причинно-следственных отношений, отражающих взаимодействие наиболее существенных исследуемых параметров во времени.

Для визуализации отношений воспользуемся графовой моделью взаимодействия [61], где каждый из рассматриваемых параметров представляется вершиной графа. От вершины  $u$  к вершине  $v$  проводится дуга, если текущее изменение  $u$  оказывает непосредственное существенное воздействие на будущее значение  $v$ . На рис. 57 представлен граф взаимодействия основных параметров рассматриваемой модели СФП. Причинно-следственные отношения наиболее удобно представлять в виде продукционных правил, отражающих влияние вершин графа друг на друга.



Рис. 57. Граф взаимодействия процесса разработки ПО

Очевидно, что в данном СФП рассматриваемые параметры имеют различную природу, включая качественные и количествен-

ные характеристики. Поэтому для их описания наиболее удобным является представление в форме лингвистических переменных. Эти описания представляют собой знания эксперта, имеющего определенный опыт управления данной системой.

Так, для вершины «Степень подготовленности к изучению данной ПО» можно определить следующие правила  $R_1, \dots, R_N$ .

$R_i$ : ЕСЛИ текущая «степень подготовленности к изучению данной ПО» = «низкая» И текущий «процент времени изучения основных понятий и определений» = «большой», ТО прогнозируемая «степень подготовленности к изучению данной ПО» = «средняя».

Правила данного типа отражают влияние на будущее (прогнозируемое) состояние вершины «Степень подготовленности к изучению данной ПО» ее текущего значения и «процент времени на обучение основным понятиям и определениям», отводимого на будущий сеанс обучения.

Для вершины «Качество обучения» можно определить следующие правила  $Q_1, \dots, Q_M$ .

$Q_j$ : ЕСЛИ текущая «степень подготовленности к изучению данной ПО» = «высокая» И текущий «процент времени изучения основных понятий и определений» = «небольшой» И текущее «качество обучения» = «среднее», ТО прогнозируемое «качество обучения» = «высокое».

Данные отображения являются отображениями перехода текущих состояний в состояния на следующем шаге дискретизации. Единицей времени в данном случае является факт окончания текущего сеанса обучения. Таким образом, данные отношения можно представить в виде импликативных отображений:

–  $R$  («процент времени на обучение»  $i$ , «степень подготовленности к изучению данной ПО»  $i$ )  $\otimes$  «степень подготовленности к изучению данной ПО»  $i+1$ ;

–  $Q$  («качество обучения»  $i$ , «процент времени изучения основных понятий и определений»  $i$ , «степень подготовленности к изучению данной ПО»  $i$ )  $\otimes$  «качество обучения»  $i + 1$ .

С целью формализации моделирования СФП необходимо определить параметры, определяющие переменные состояния и управления. Очевидно, что переменными состояниями являются «качество обучения» и «степень подготовленности к изучению данной ПО», а переменной управления – «процент времени изучения основных понятий и определений». На самом деле классифи-

кация параметров на подмножества переменных состояния, управления, возмущений и выхода является нетривиальной концептуальной проблемой и определяется общими целями исследования СФП.

Далее следует определить универсумы, на которых определены переменные. Поскольку они имеют различную природу, в том числе и неизмеряемую, определим домен лингвистических переменных, с помощью которого можно представить параметры процесса обучения.

Пусть  $S = \{NB, NM, ZE, PM, PB\}$  – множество лингвистических переменных, которые для каждой переменной имеют присущий ей смысл. Например, для переменной «качество обучения» NB означает «очень низкое», NM – «низкое», ZE – «среднее», PM – «высокое» и PB – «очень высокое».

Для переменных «степень подготовленности к изучению данной ПО» и «процент времени на обучение основным понятиям и определениям» NB – около 10 %, NM – около 25 %, ZE – около 50 %, PM – около 60 %, PB – около 75 %.

Обозначим переменные состояния и управления:  $X_1 \in$  «качество обучения»,  $X_2 \in$  «степень подготовленности к изучению данной ПО»,  $U \in$  «% времени изучения основных понятий и определений».

Имплицативные отображения представим в виде ряда таблиц лингвистических правил (табл. 10):

$$K(u(k), x_2(k)) \rightarrow x_2(k + 1); \quad (5.54)$$

$$R(x_2(k), x_1(k)) \rightarrow x_1(k+1) \text{ at } u(k) = NB. \quad (5.55)$$

Аналогично представляются отображения

$$R(x_2(k), x_1(k)) \rightarrow x_1(k + 1); \quad (5.56)$$

– при  $u(k) = NM$ :

$$R(x_2(k), x_1(k)) \rightarrow x_1(k + 1); \quad (5.57)$$

– при  $u(k) = ZE$ :

$$\begin{aligned} R(x_2(k), x_1(k)) &\rightarrow x_1(k + 1) \text{ at } u(k) = ZE, \\ R(x_2(k), x_1(k)) &\rightarrow x_1(k + 1) \text{ at } u(k) = PM, \\ R(x_2(k), x_1(k)) &\rightarrow x_1(k + 1) \text{ at } u(k) = PB, \text{ for,} \end{aligned} \quad (5.58)$$

например,  $R(x_2(k), x_1(k)) \rightarrow x_1(k+1)$  at  $u(k) = \text{PB}$ .

Таблица 10

Таблица лингвистических правил

| $u(k), x_2(k)$  | <b>NB</b> | <b>NM</b> | <b>ZE</b> | <b>PM</b> | <b>PB</b> |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>NB</b>       | NB        | NM        | NM        | NM        | ZE        |
| <b>NM</b>       | NM        | ZE        | ZE        | ZE        | PM        |
| <b>ZE</b>       | NM        | ZE        | ZE        | ZE        | PM        |
| <b>PM</b>       | NM        | ZE        | ZE        | ZE        | PM        |
| <b>PB</b>       | ZE        | PM        | PM        | PM        | PB        |
| $x_2(k)/x_1(k)$ | <b>NB</b> | <b>NM</b> | <b>ZE</b> | <b>PM</b> | <b>PB</b> |
| <b>NB</b>       | ZE        | ZE        | PM        | PB        | PB        |
| <b>NM</b>       | ZE        | PM        | PB        | PB        | PB        |
| <b>ZE</b>       | ZE        | PM        | PB        | PB        | PB        |
| PM              | ZE        | PM        | PB        | PB        | PB        |
| PB              | PM        | PB        | PB        | PB        | PB        |
| NB              | NB        | NB        | NB        | NB        | NM        |
| NM              | NB        | NB        | NB        | NM        | ZE        |
| ZE              | NB        | NB        | NB        | NM        | ZE        |
| PM              | NB        | NB        | NB        | NM        | ZE        |
| PB              | NB        | NB        | NM        | ZE        | PM        |

Доказано, что с помощью алгебраического представления можно определить конечное множество моделей в пространстве состояний, которые изоморфны лингвистическим продукционным отображениям. Ниже приведена одна из полученных моделей в пространстве состояний, аппроксимирующая таблицы лингвистических правил:

$$\begin{aligned} x_1(k+1) &= x_1(k) + 1/2x_2(k) - u(k), \\ x_2(k+1) &= 1/2x_2(k) + 1/2u(k). \end{aligned} \quad (5.59)$$

Операции сложения и умножения понимаются в смысле введенной алгебры. Истинность данных моделей нетрудно проверить, подставив лингвистические значения в правую часть уравнений, воспользовавшись правилами сложения и умножения, приведенными в табл. 10. Например, при  $x_1(k) = \text{ZE}$ ,  $x_2(k) = \text{PB}$ ,  $u(k) = \text{PB}$  из алгебраической модели получим, что  $x_1(k+1) = \text{NM}$ ,  $x_2(k+1) = \text{PB}$ ,

что соответствует таблицам лингвистических правил  $K(u(k), x_2(k)) \rightarrow x_2(k+1)$ ,  $R(x_2(k), x_1(k)) \rightarrow x_1(k+1)$  at  $u(k) = PB$ .

Рассмотрим задачу синтеза оптимального управления для исследуемого СФП. Пусть целью управления является постоянное поддержание на высоком уровне качества обучения ( $x_1 = pb$ ). При этом требования к степени подготовленности к изучению данной ПО имеют второстепенный характер и при выработке управления не учитываются (одна переменная состояния является свободной на правом конце). Задача синтеза заключается в определении закона управления, реализуемого блоком ИСУ (см. рис. 53).

Можно записать, что для любых значений  $x_1(k)$ ,  $x_2(k)$  должно всегда выполняться следующее соотношение:

$$\begin{aligned} PB &= x_1(k) + 1/2 x_2(k) - u(k), \\ x_2(k+1) &= 1/2 x_2(k) + 1/2 u(k). \end{aligned} \quad (5.60)$$

Откуда следует закон управления

$$u(k) = x_1(k) + 1/2 x_2(k) - PB. \quad (5.61)$$

Пусть первый сеанс обучения был оценен со средним качеством, начальная степень подготовленности к изучению данной ПО – средняя. Целью управления является определение такого процента времени изучения основных понятий и определений ПО, которое бы обеспечило наилучшее качество следующего сеанса обучения.

Таким образом,  $x_1(0) = ZE$ ,  $x_2(0) = ZE$ .

Определим  $u(0)$ :

$$u(0) = x_1(0) + 1/2 x_2(0) - PB = ZE + 1/2 ZE - PB = NB. \quad (5.62)$$

Следовательно, перед выполнением следующего сеанса обучения принимается решение, что процент времени изучения основных понятий и определений ПО должен составить около 10 % всего времени, отводимого на обучение.

Определим далее показатели обучения на следующем шаге. В соответствии с моделью СФП получим

$$\begin{aligned} x_1(1) &= x_1(0) + 1/2 x_2(0) - u(0), \\ x_2(1) &= 1/2 x_2(0) + 1/2 u(0). \end{aligned} \quad (5.63)$$

Подставив лингвистические значения управления, запишем

$$\begin{aligned} x_1(1) &= ZE + 1/2 ZE - NB, \\ x_2(1) &= 1/2 ZE + 1/2 NB, \end{aligned} \quad (5.64)$$

т.е.  $x_1(1) = PB$ ,  $x_2(1) = NM$ .

Интерпретируя результаты в терминах их семантики, очевидно, что качество второго сеанса обучения должно быть очень высоким, при этом степень подготовленности к изучению данной ПО ухудшится и станет низкой (поскольку отведенное на обучение время в соответствии с моделью СФП приводит к ухудшению уровня подготовленности обучаемого).

Проведем еще один шаг анализа замкнутой системы управления. Определим управление на следующем шаге:

$$u(1) = x_1(1) + 1/2 x_2(1) - PB = PB + 1/2NM - PB = ZE. \quad (5.65)$$

Следовательно, перед выполнением следующего сеанса обучения принимается решение, что процент времени изучения основных понятий и определений ПО должен составить около 50 % всего времени, отводимого на обучение.

Определим далее показатели качества обучения на следующем шаге. В соответствии с моделью СФП получим

$$\begin{aligned} x_1(2) &= x_1(1) + 1/2 x_2(1) - u(1), \\ x_2(2) &= 1/2 x_2(1) + 1/2 u(1). \end{aligned} \quad (5.66)$$

Подставив лингвистические значения оптимального управления, запишем

$$\begin{aligned} x_1(2) &= PB + 1/2NM - ZE, \\ x_2(2) &= 1/2NM + 1/2ZE. \end{aligned} \quad (5.67)$$

Окончательно получим

$$x_1(2) = PB, \quad x_2(2) = ZE. \quad (5.68)$$

Интерпретируя результаты в терминах их семантики, очевидно, что качество третьего сеанса обучения очень высокое, при этом уровень подготовленности к изучению данной ПО улучшится и станет средним (поскольку отведенное на изучение время приводит к улучшению уровня подготовленности обучаемого).

Итак, с помощью алгебраического подхода решена задача синтеза, т.е. определена последовательность управляющих воздействий, необходимых для поддержания максимального качества обучения за счет варьирования времени изучения основных понятий и определений.

Очевидно, что сделать подобное заключение, исследуя непосредственно таблицы лингвистических правил, описывающих поведение СФП, было бы довольно затруднительно.

В данной работе рассматриваются лишь три переменных, что является сильным упрощением. Однако целью такого упрощения



являлось удобство в восприятии результатов анализа и синтеза. Более сложные закономерности, несомненно, являются более точным отображением процесса обучения, однако их визуализация выходит за рамки данной работы.

Следует подчеркнуть, что одна из целей алгебраической аппроксимации СФП заключается в выборе начального состояния контроллера, для которого в дальнейшем производится оптимизация консеквента, т.е. вектора управляющих воздействий. Такая начальная точка оптимизации, несомненно, более рациональна, нежели случайный выбор и применение генетического алгоритма для синтеза оптимального контроллера. Перспективными направлениями исследований представляется решение задачи оптимизации СУ СФП, основанной на выборе логической системы, методов фазификации и дефазификации, формы функции принадлежности, степени нечеткости. Актуальным является применение алгебраического подхода к аппроксимации закономерностей при решении задач современного направления интеллектуального анализа данных – Data Mining. Использование лингвистических продукционных моделей в задачах многокритериальной оптимизации позволит осуществлять различные методы свертки критериев, кроме того, упрощенная модель сложного оптимизационного расчета позволит определять начальную точку для метода оптимизации значительно быстрее и эффективнее.

---

## 6. Разработка интеллектуальной компьютерной системы обучения

---

### 6.1. Учет репрезентативной системы обучаемого

Репрезентативная система обучаемого – способ получения и обработки информации из окружающего мира. В обучающей системе реализованы следующие типы репрезентативных систем: визуальная, аудиальная и дискретная, т.е. с их помощью обучаемые получают наибольшее количество информации через зрение, звуки и логические умозаключения соответственно.

Настройка параметров коммуникативной среды осуществляется в начале работы с обучающей системой, а также при необходимости их можно изменить во время работы (рис. 58).

The screenshot shows a software window titled "fNewUser" with a blue header bar. The window is divided into four main sections:

- Авторизация (Authorization):** Contains three text input fields labeled "Новый логин" (New login), "Новый пароль" (New password), and "Подтверждение пароля" (Confirm password). Below these fields is a button with a green checkmark and the text "OK".
- Репрезентативная система (Representative system):** Contains three radio button options: "Аудиальная" (Auditory), "Визуальная" (Visual), and "Дискретная" (Discrete). The "Аудиальная" option is selected. Below these options is a button labeled "ТЕСТ".
- Уровень знаний (Knowledge level):** Contains a large, empty rectangular box. Below the box is a button labeled "Пройти тест" (Take test).
- Формлиение интерфейса (Interface styling):** Contains three radio button options: "Вариант С1", "Вариант С2", and "Вариант С3". The "Вариант С1" option is selected.
- Уровень обучения (Learning level):** Contains two radio button options: "Бакалавр" (Bachelor) and "Магистр" (Master). The "Бакалавр" option is selected.

Рис. 58. Окно настройки интеллектуального интерфейса пользователя

Часто обучаемый затрудняется в определении типа своей репрезентативной системы, поэтому интеллектуальность интерфейса пользователя реализована в виде автоматизированного определения репрезентативной системы обучаемого. Определение типа репрезентативной системы проводится на основе стандартной методики тестирования, отличающейся простотой и надежностью полученных результатов [46].

В зависимости от типа репрезентативной системы обучаемого ИИП принимает соответствующий вид.

Дискретному типу соответствует передача УИ в виде текста, формул, графических изображений и табличных данных (рис. 59).

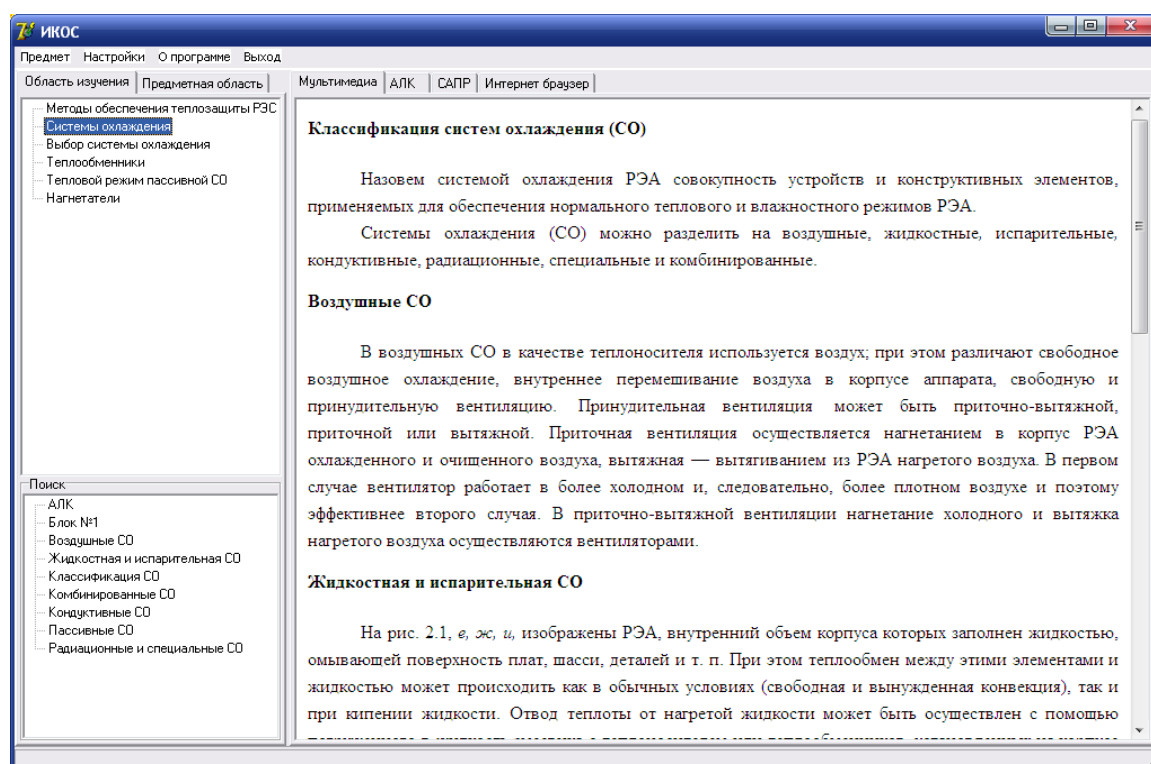


Рис. 59. Вид ИИП, соответствующий дискретному типу репрезентативной системы обучаемого

Аудиальному типу соответствует передача той же самой УИ, но уже в виде аудиозаписи (рис. 60). Визуальному типу соответствует передача той же самой УИ, но уже в виде видеозаписи (рис. 61).

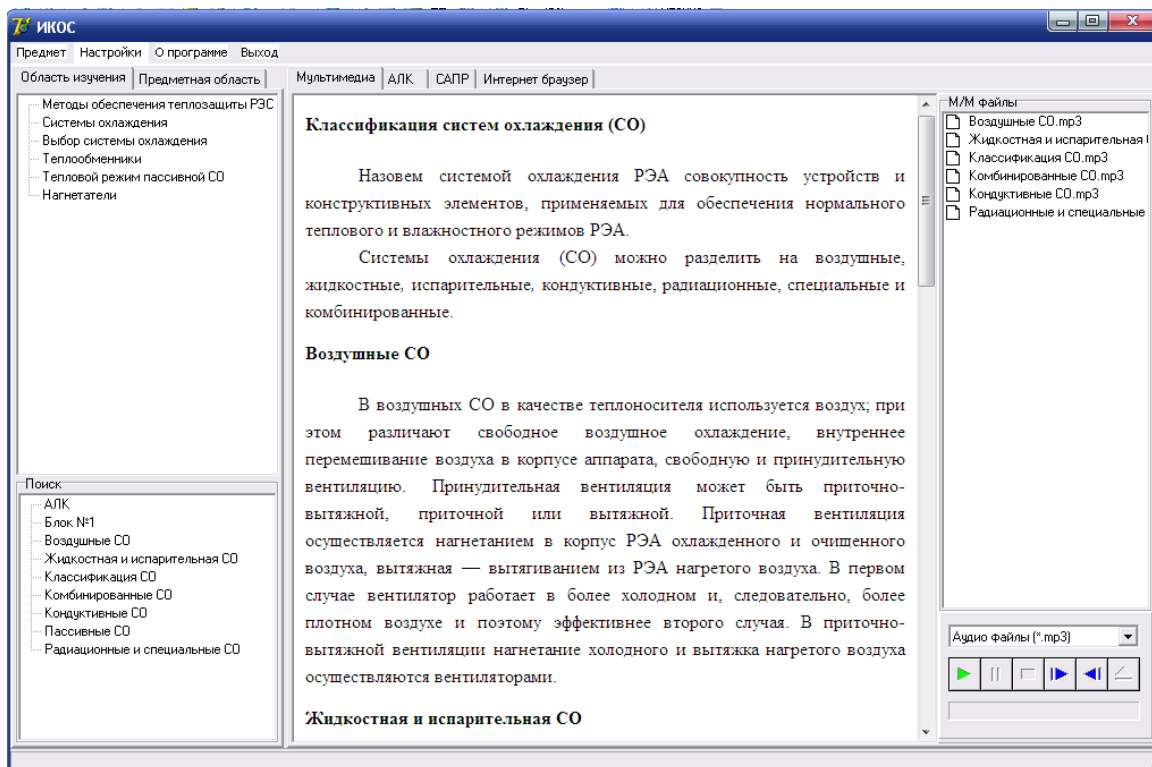


Рис. 60. Вид ИИП, соответствующий аудиальному типу репрезентативной системы обучаемого

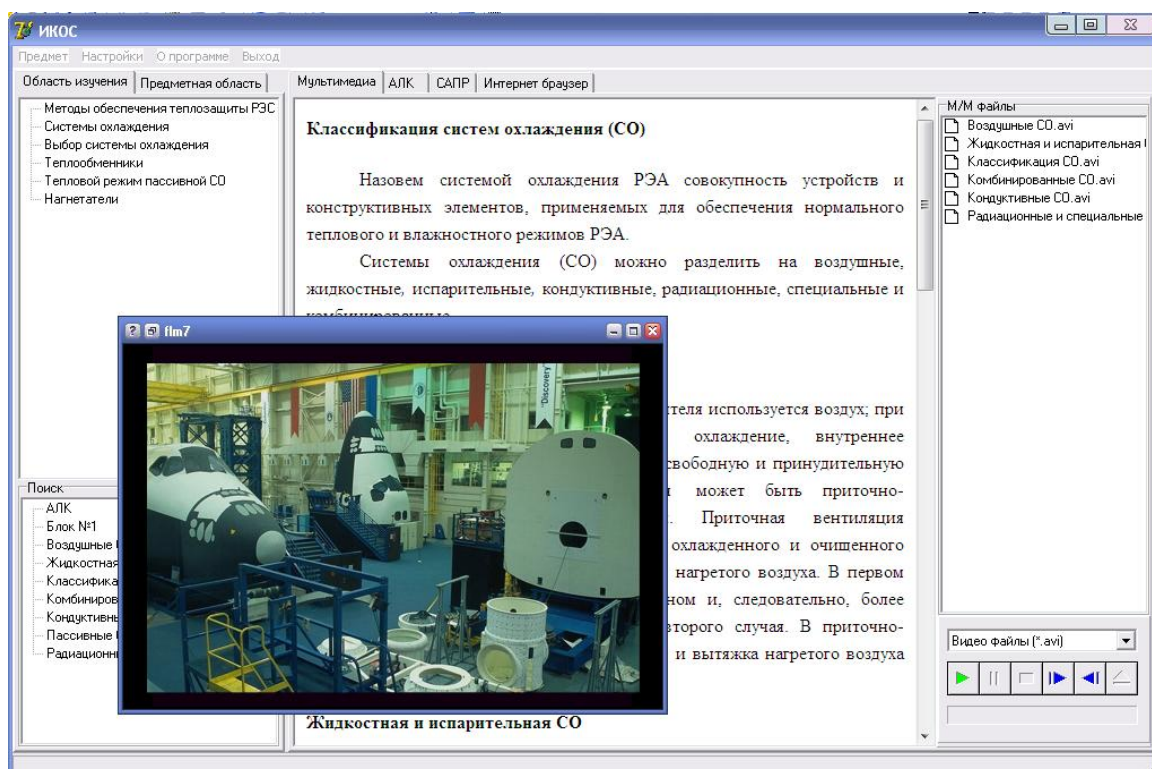


Рис. 61. Вид ИИП, соответствующий визуальному типу

## 6.2. Методика взаимодействия обучаемого с ИКОС

ИКОС представляет собой программу, из главного меню которой можно провести авторизацию пользователя и осуществить навигацию по разделам УИ.

Авторизация проводится с целью хранения индивидуальных настроек каждого пользователя. К их числу относятся:

- логин и пароль обучаемого как идентифицирующие его элементы;
- вариант оформления ИИП. Предлагается просмотреть несколько вариантов оформления ИИП, разработанные с учетом эргономических стандартов качества и выбрать наиболее подходящий;
- вид репрезентативной системы (аудиал, визуал, дискрет). В случае затруднения обучаемого ему предлагается пройти тест, результатом которого будет наиболее соответствующий тип репрезентативной системы;
- данные о степени усвоения УИ. Если авторизация проходит впервые, то предлагается пройти предварительный контроль.

Навигация по разделам реализована в виде окна выбора тем в левой части экрана. Количество тем определяется интеллектуальной системой управления обучением на основе информации о знаниях обучаемого, имеющихся в МО, а последовательность – на основе результата количественного анализа декларативной и процедурной составляющей, в соответствии с последовательностью этапов обучения.

УИ отображается в основной части экрана. В зависимости от применяемого ИО раскрывается одна из следующих вкладок.

*Мультимедиа.* На этой вкладке УИ представлена с помощью мультимедиа средств, ее вывод происходит в соответствии с особенностями репрезентативной системы обучаемого (см. рис. 59–61). Так, если обучаемый – визуал, то основное место на экране занимает графическая (рисунки, графики и видеофрагменты) УИ, если дигитал, то текстовая (в виде текстов, таблиц, формул), если аудиал, то предлагается прослушивание аудиозаписи той же самой УИ. Эта вкладка предназначена для прохождения обучаемым начального и ключевого этапов обучения, получения им мотивации, общей ориентировки в предмете, а также передача теоретической УИ.

*АЛК.* УИ представлена с помощью физического объекта, управление которым сосредоточено на этой вкладке (рис. 62). Здесь

происходит определение либо уточнение структуры и параметров математической модели по экспериментальным данным, что обеспечивает прохождение обучаемым материального этапа обучения, формирования у него навыков практических действий (рис. 63).

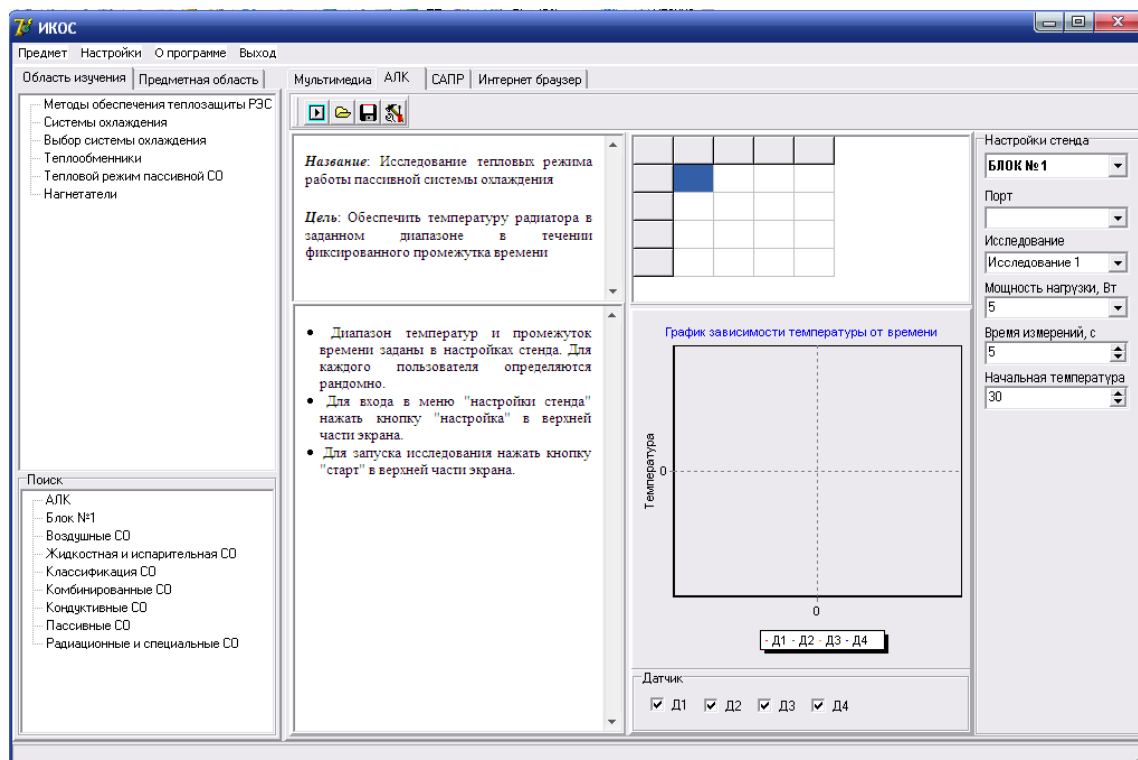


Рис. 62. Вкладка АЛК

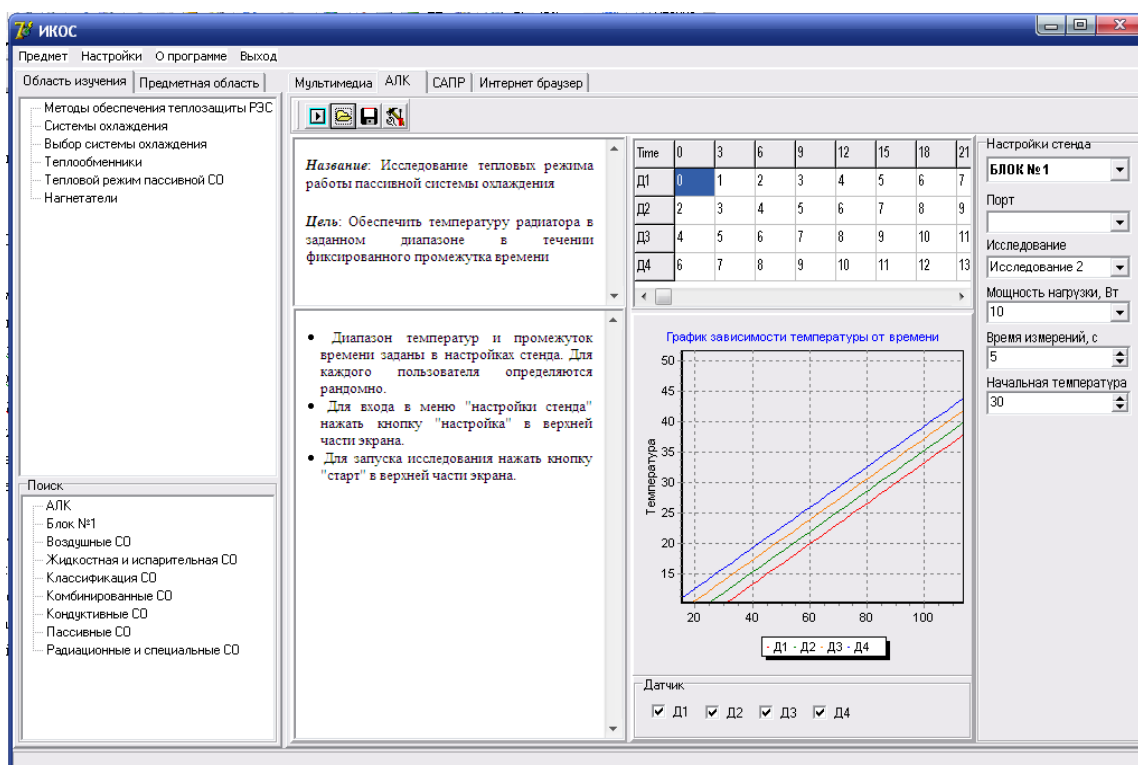


Рис. 63. Вкладка АЛК (во время работы)

САПР. УИ представлена с помощью моделей САПР, так как именно они формируют умения использовать полученные ранее теоретические и практические знания в реальных условиях или в максимально приближенных к реальным (рис. 64).

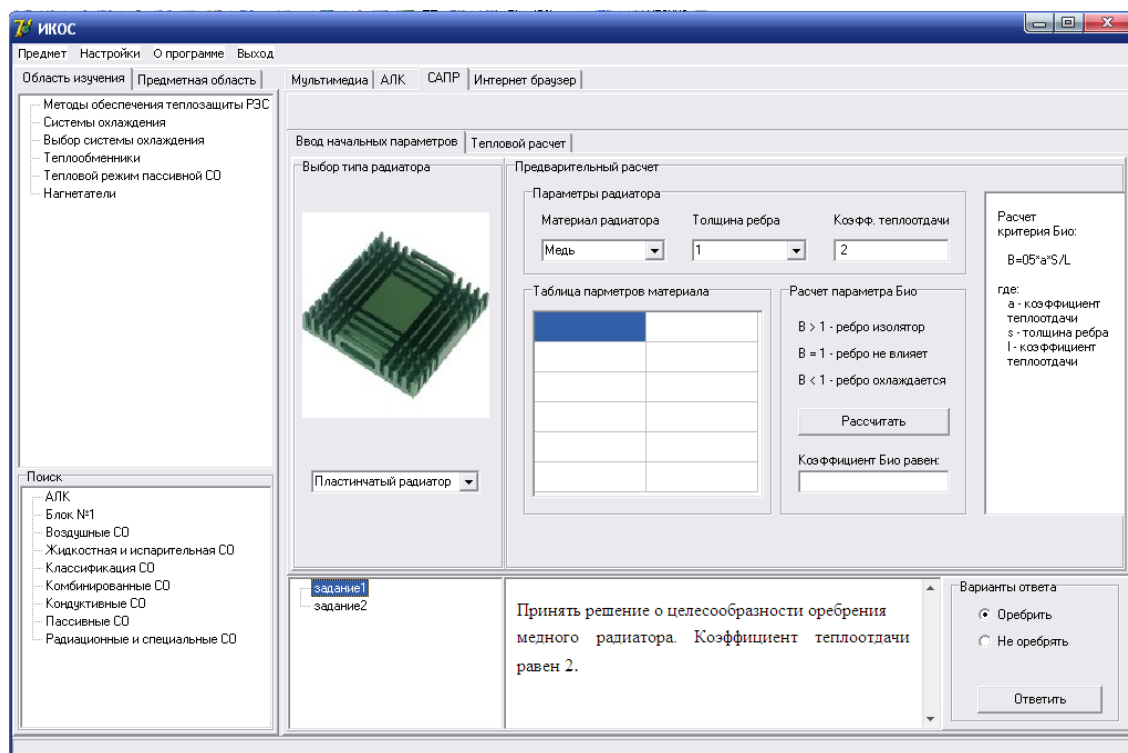


Рис. 64. Вкладка САПР

*Интернет-браузер.* Модуль подключения к Интернету предназначен для получения дополнительной информации, не содержащейся в БЗ (рис. 65). У обучаемого должно сформироваться умение находить, подготовить, передавать и принимать требуемую информацию с использованием современных информационных технологий.

Алгоритм, описывающий разработанную методику обучения с помощью ИКОС, показан на рис. 66 и состоит из следующих пунктов:

1. В начале обучения необходимо прийти авторизацию, после чего в левой части экрана появится список разделов УИ. Авторизация включает логин и пароль обучаемого, вариант оформления интерфейса, вид репрезентативной системы (аудиал, визуал, дигитал) (возможен тест) и данные о степени усвоения УИ (возможен тест).



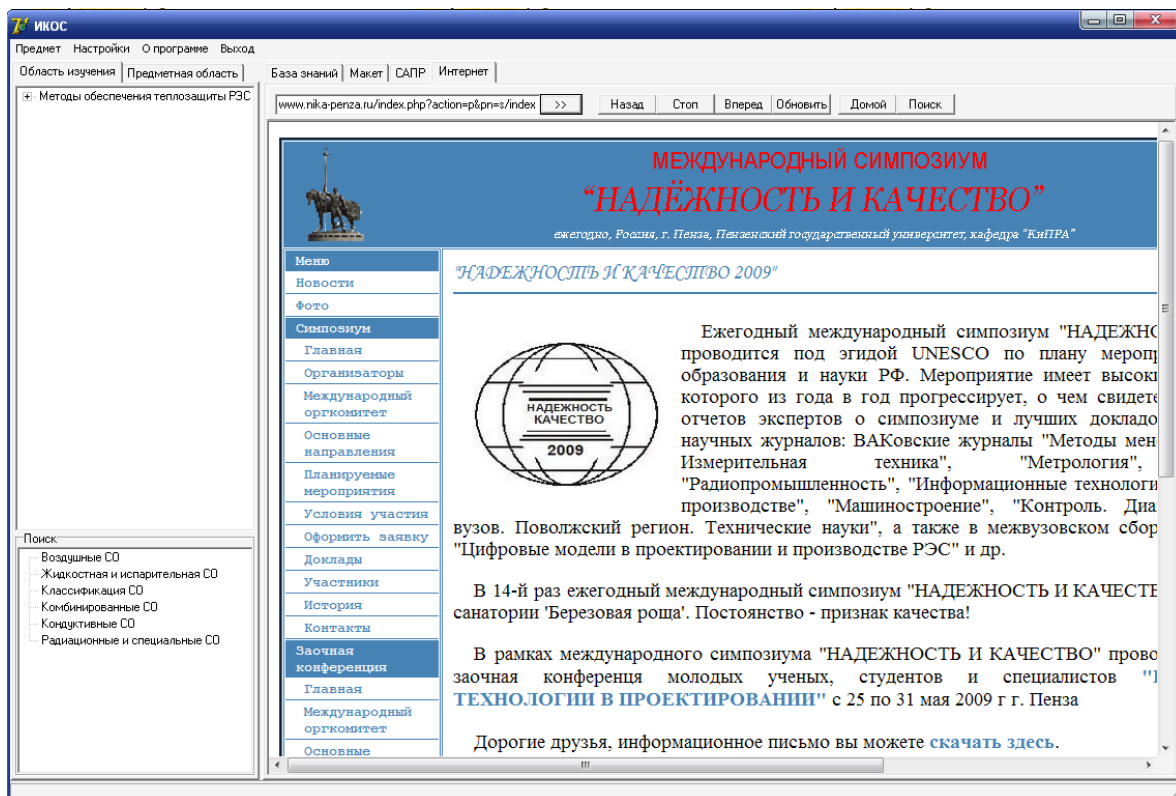


Рис. 65. Вкладка интернет-браузер

2. Далее необходимо выбрать раздел, после чего будет открыта вкладка ИО, соответствующая УИ этого раздела. Для получения наибольшей эффективности в качестве вспомогательного материала в программу включен дополнительный список разделов, содержащий все разделы предмета, вне зависимости от текущего уровня знаний обучаемого.

Таким образом, разработанная методика взаимодействия обучаемого с ИКОС позволяет обучаемому эффективно приобретать знания, формировать навыки и умения.





Рис. 66. Разработанный алгоритм методики взаимодействия обучаемого с ИКОС

### 6.3. Аппаратно-программная реализация ИКОС

В настоящее время все стремительнее растут требования к уровню подготовки специалистов. Поэтому создание интеллектуальных компьютерных обучающих систем (ИКОС) для получения дополнительных знаний является актуальной задачей.

Основу образовательного процесса при использовании обучающих систем составляет целенаправленная и контролируемая интенсивная самостоятельная работа обучаемого, который может учиться в удобное для себя время, по индивидуальному расписанию, имея при себе комплект специальных средств обучения и возможность контакта с преподавателем с помощью современных технических средств, или очно.

Программные средства учебного назначения по принципам использования можно условно разделить на обучающие системы, содержащие знания по конкретной предметной области, и инструментальные системы, предназначенные для наполнения их знаниями по произвольной предметной области с целью создания обучающей системы. Наиболее перспективными с точки зрения соотношения конечного результата и трудозатрат на создание и поддержку являются инструментальные системы, которые принято называть интеллектуальными компьютерными обучающими системами (ИКОС).

К основным достоинствам ИКОС относятся:

- возможность использования преимуществ индивидуального обучения;
- интенсификация обучения;
- возможность индивидуальной адаптации курса обучения к потребностям обучаемых или условиям обучения;
- повышение доступности образования;
- обучение навыкам самостоятельной работы;
- разгрузка преподавателя от ряда рутинных, повторяющихся действий (чтения лекций, проверки контрольных работ и т.д.);
- возможность проведения в рамках дистанционного обучения переобучения и повышения квалификации.

Для оценки качества обучающей системы рассматривается соответствие обучающей системы схеме процесса обучения. Процесс обучения можно трактовать как процесс управления усвоени-

ем знаний. Как и любой процесс управления, реализуемый в замкнутой системе, этот процесс характеризуется целью управления, имеет объект управления (обучаемых), устройство управления и канал обратной связи. На рис. 67 представлена обобщенная схема управления процессом обучения. Критерием качества управления могут служить результаты контроля знаний.

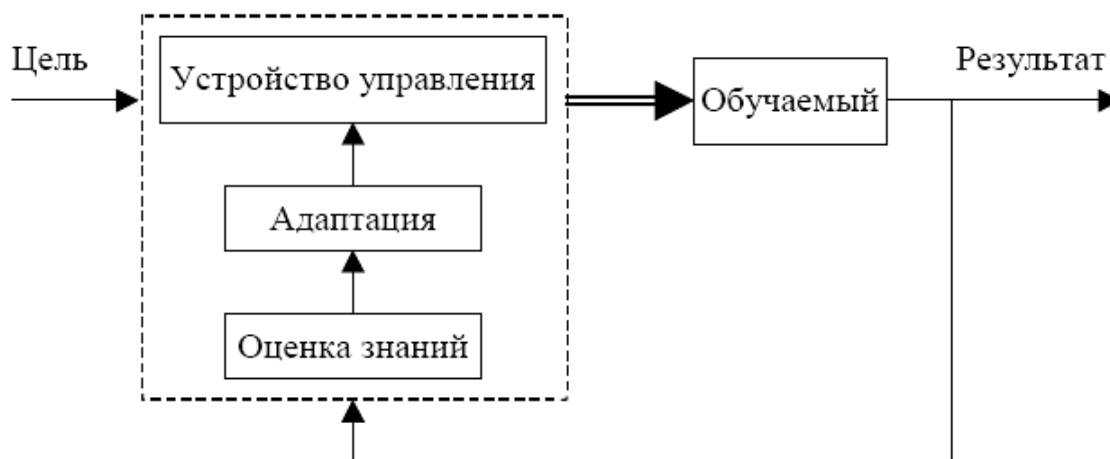


Рис. 67. Обобщенная схема управления процессом обучения

Схема, приведенная на рис. 67, является упрощенной и формальной. Она не учитывает те особенности, которые накладывает на реальный процесс обучения участие в нем человека. В соответствии с целью обучения устройство управления вырабатывает набор управляющих воздействий на обучаемого (например, предъявление учебного материала или контрольного задания). Ответная реакция обучаемого (уточняющий вопрос, ответ и т.п.) по каналу обратной связи передается устройству управления и позволяет ему корректировать управляющие воздействия для достижения желаемого результата.

Сложность задачи по организации обучающей системы заключается в том, что процесс обучения не формализован. Не существует готового набора формальных параметров, с помощью которых можно было бы сформулировать цель обучения и критерии достижения этой цели. Следовательно, в отсутствие формальных моделей управления обучением нужно использовать другие подходы, например, методы инженерии знаний или нечеткую логику, которые предназначены для решения слабо формализованных задач.

Для организации работы обучающая система должна включать знания:

- о предметной области (о предмете изучения).

Если обучающая система является инструментальным средством, то она должна настраиваться на произвольную предметную область;

- о методике обучения (правила формирования управляющих воздействий). Набор этих правил должен базироваться на теории обучения. К сожалению, единой общепризнанной теории обучения не существует. Разные специалисты в области обучения имеют различные представления об эффективных методах преподавания и целесообразности их использования. Отсюда можно сделать вывод: в отсутствие единой теории обучения знания о стратегии обучения должны быть такими же вариативными, как и знания о предметной области, чтобы преподаватель мог вложить в систему свои представления об эффективной методике обучения;
- об обучаемом (об объекте управления).

Информация о цели обучения и о текущем состоянии процесса обучения нужна системе для обеспечения возможности адаптации к обучаемому и определения степени достижения цели.

Однако анализ существующих обучающих систем показывает, что подавляющее большинство их является электронными учебниками, дополненными, в лучшем случае, системами тестового контроля знаний.

Все практические задания в таких системах основаны на решении типовых задач. Для некоторых специальностей этого достаточно, но для тех областей, которые направлены на получение большей доли декларативных знаний, нежели процедурных. Для подготовки инженеров-схемотехников эффективность таких систем мала: важна не только теория, но и практика, которую ни одна из обучающих систем пока не дает.

Исправить данную ситуацию можно введением в обучающую систему дополнительной ветви обратной связи – практического (лабораторного) блока для закрепления и контроля полученных знаний на практике. На рис. 68 представлена структурная схема ИКОС с лабораторным (практическим) блоком.

Обучающая среда воздействует на обучаемого посредством объяснения теоретического материала и проверкой усвоенных знаний на практике. Для проверки теоретических знаний служит аналитический блок, а для практических знаний и навыков – практический (лабораторный) блок.

На рис. 69 представлена структурная схема ИКОС с расписанным лабораторным (практическим) блоком.

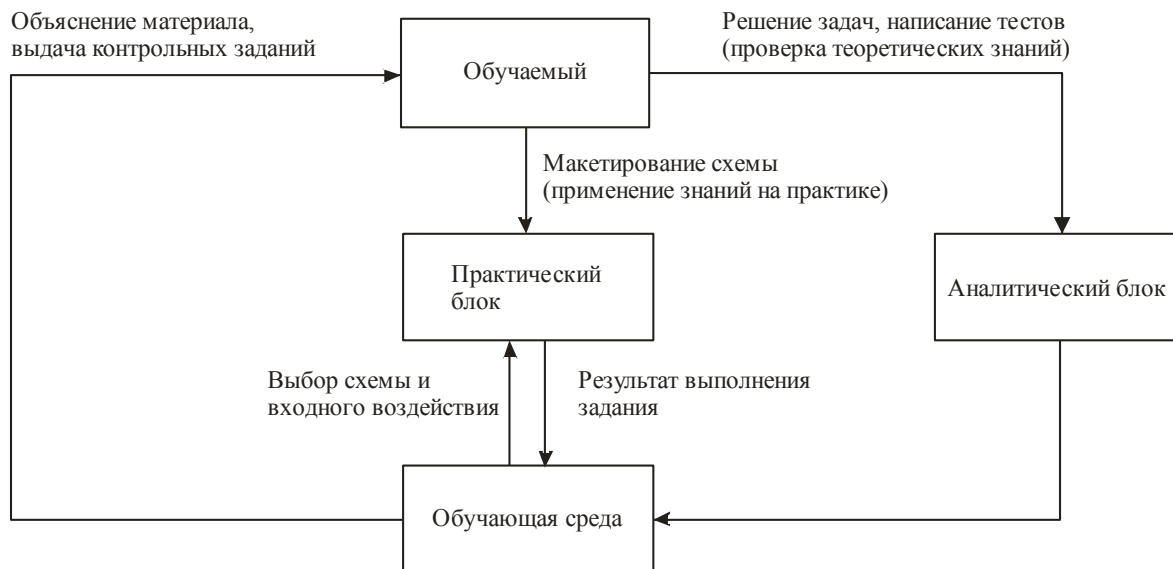


Рис. 68. Структурная схема ИКОС

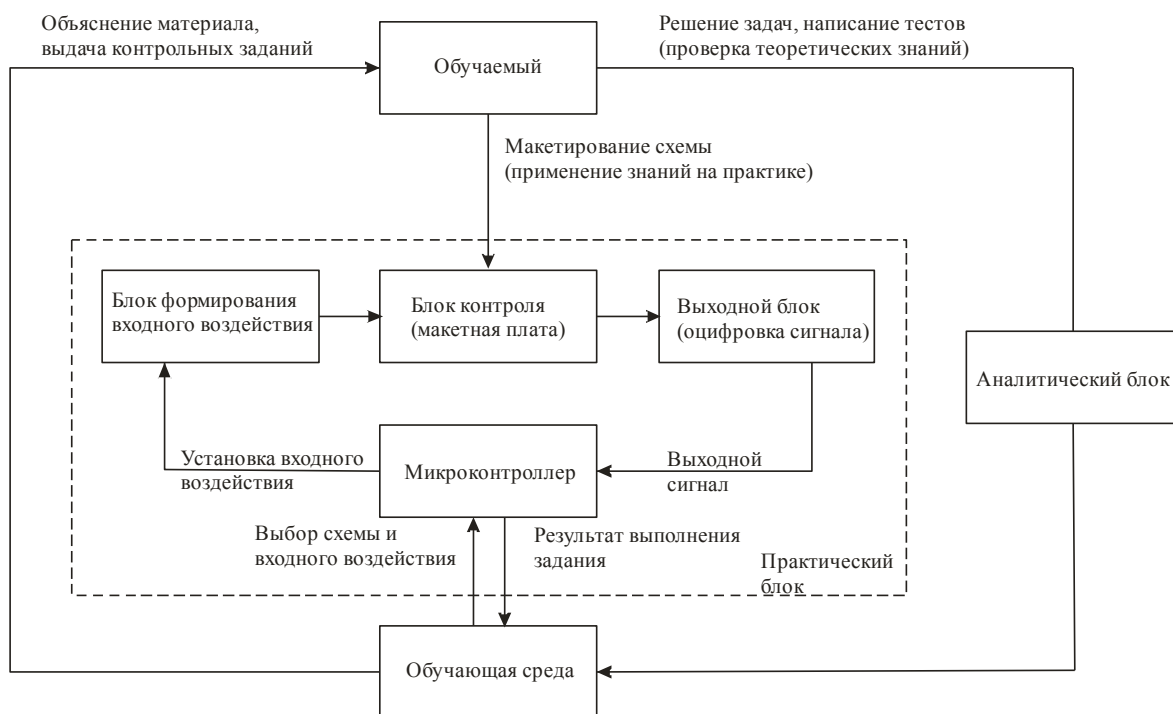


Рис. 69. Структурная схема ИКОС с расписанным лабораторным блоком

Условно в практическом (лабораторном) блоке можно выделить четыре основных блока. Основным из них является микроконтроллер, посредством которого осуществляется управление ла-

бораторным блоком и связь с обучающей средой. Микроконтроллер, управляемый обучающей средой, устанавливает входное воздействие (сигнал) на блок контроля обучаемого (макетную плату). Выходной сигнал подается на выходной блок, в котором оцифровывается и подается в микроконтроллер, в котором будет осуществляться предварительная обработка результата перед выдачей его обучающей среде. На основании полученного результата обучающая среда будет делать вывод о необходимости более глубокого и детального объяснения учебного материала или о необходимости подсказки. Для закрепления учебного материала обучающая среда будет предлагать изменять какой-либо параметр, чтобы обучаемый понимал, какой параметр на что влияет.

Таким образом, введение в ИКОС дополнительной ветви обратной связи дает выигрыш в усвоении и более глубоком понимании обучаемого материала.

За время обучения данной ИКОС обучаемый овладеет не только теоретическими знаниями о предмете, но и получит опыт работы с реальными элементами, что также немаловажно в настоящее время.

#### 6.4. Исследование эффективности применения ИКОС

Задача информатизации обучения заключается в применении принципиально новой организации учебного процесса на более высоком качественном уровне взаимодействия педагогов и обучаемых в условиях использования ИКОС. Создание и внедрение принципиально новой дидактической модели технологии обучения предполагает организацию оптимального взаимодействия человека с компьютером, что позволит повысить эффективность учебного процесса.

Применение ИКОС существенно меняет роль и функции педагога и обучаемых, оказывая значительное влияние на все компоненты учебного процесса обучения: меняется характер, место и методы совместной деятельности педагогов и обучаемых; усложняются программы и методики преподавания различных дисциплин; видоизменяются методы и формы проведения учебных занятий. Схема «человек–компьютер» обладает неизмеримо большими возможностями, способна предложить принципиально новый подход к решению задач учебного процесса, отличный от традиционного [59].

Вместе с усвоением большого объема теоретических знаний у обучаемых должны быть сформированы практические навыки и

умения, позволяющие творчески использовать их в профессиональных целях. Дидактические задачи, решаемые в ходе подготовки обучаемых, разнообразны, имеют профессиональную теоретическую и практическую направленность. Все это требует того, чтобы в целях активизации учебно-познавательной деятельности обучаемых с применением ИКОС комплексно использовались самые различные СО.

Рассмотрим некоторые особенности комплексного применения различного вида СО в рамках ИКОС. Основными являются: демонстрация труднодоступных для непосредственного наблюдения процессов и явлений с помощью математических и физических моделей; исследование объектов, процессов и явлений на различных видах практических занятий и в процессе подготовки к занятиям; решение задач проектирования; формирование навыков и умений различного характера; всестороннее обеспечение игровых форм занятий; самостоятельная работа студентов без регистрации их деятельности с целью изучения учебного материала и самоконтроля полученных знаний и др.

В зависимости от конкретных дидактических задач, решаемых с использованием ИКОС, могут эффективно применяться различные СО или их сочетание. При этом необходимо сознавать, что комплексное их применение может выполнить свою роль в формировании творческой личности только в том случае, если оно будет естественной составной частью всего учебного процесса. Фрагментарное, эпизодическое, не связанное единым замыслом их использование в ИКОС не только не даст необходимого эффекта, но и может привести к обратному результату.

Говоря о комплексном применении СО в составе ИКОС, нельзя не остановиться и на другой проблеме, возникающей параллельно. Речь идет о соединении традиционных форм обучения с компьютерными и построение на этой основе целостной эффективной дидактической системы. В условиях компьютеризации важно создать у обучаемых адекватные психологические установки при работе с КСО, избежать конфликта в содержании и организации различных форм обучения, найти оптимальные виды их применения.

Использование ИКОС в вузах возможно практически во всех традиционных формах организации обучения с различными весовыми соотношениями между традиционным и компьютерным их видами. К организационным формам обучения, которые можно

использовать, относятся лекции, семинары, специальные занятия по расчету и проектированию, курсовые и дипломные работы, научно-исследовательские и лабораторные работы, все виды самостоятельного обучения (аудиторного и внеаудиторного), а также работы в режиме «тренажер».

Важнейшим условием эффективности профессиональной деятельности педагога в этих условиях становится компьютерная культура. Это значит, что преподаватель, использующий в учебном процессе ИКОС, должен:

- знать возможности компьютера в своей предметной области и обладать навыками работы в условиях использования ИКОС;
- уметь подбирать и соответствующим образом компоновать учебный материал исходя из целей обучения;
- писать собственные или в сотрудничестве с программистами обучающие программы;
- уметь разумно сочетать использование ИКОС с другими видами учебной деятельности.

Непременным условием применения ИКОС является заинтересованность педагога в ее использовании. Это означает, что преподаватель должен увидеть, что данная технология помогает ему решать некоторые педагогические задачи обучения более эффективно (например раскрыть значимость изучаемого учебного материала, повысить интенсивность его усвоения, развить и закрепить навыки практической работы, управлять учебной деятельностью, регистрировать результаты усвоения учебного материала, способствовать формированию у обучаемых рефлексии своей деятельности и т.д.), а также может высвободить время за счет автоматизации рутинных этапов педагогической деятельности нетворческого характера (например сообщение начальных сведений по изучаемому разделу, проверка практических работ и т.д.).

Информатизация высшей школы подразумевает ряд новых профессиональных задач, среди которых одной из наиболее значимых является оценка эффективности использования в учебном процессе современных информационных технологий обучения. Решение этой задачи влечет за собой потребность в выборе и обосновании для этих целей критериев дидактической эффективности, позволяющих проводить соответствующие педагогические измерения. К сожалению, в настоящее время единого подхода к данной проблеме не выработано.



Под дидактической эффективностью применения в обучении ИКОС следует понимать эффект деятельности преподавателя по достижению с использованием комплекта компьютерных и информационных средств заранее прогнозируемых целей обучения и воспитания студентов, это – положительное приращение достигнутого при этом результата в настоящем к предыдущему результату с учетом временных, технических, дидактических и психофизиологических затрат [75]. В таком случае измерение и оценку дидактической эффективности применения ИКОС можно с достаточной степенью достоверности производить по количественно-качественным показателям образовательного процесса путем обобщения и сравнения одних статистических данных с другими.

Методы оценки дидактической эффективности применения ИКОС, сложившиеся к настоящему времени в вузах, можно подразделить на две основные группы. В первую из них входят те, в которых используются критерии, отражающие различные технико-экономические показатели этого процесса. С их помощью делаются попытки определить минимально возможные затраты на создание оптимального по составу дидактического комплекта, предназначенного для достижения определенных образовательных целей. При решении задачи стоимостной оценки необходимой вычислительной и информационной техники определяются наиболее экономичные пути создания соответствующей учебно-материальной базы или доведения показателей качества наличествующих средств до оптимальных значений. Это позволяет производить ее комплектование аппаратурой, обладающей требуемыми дидактическими возможностями и в то же время имеющей наименьшую стоимость. Ко второй группе относятся методы, в которых используются критерии, позволяющие оценивать чисто дидактические составляющие процесса использования ИКОС.

Внедрение дорогостоящей вычислительной и информационной техники, несомненно, требует расчетов ее экономической эффективности. Однако перенасыщение методик оценки технико-экономическими показателями, расширяющими за счет этого математический аппарат, чрезмерно усложняет их и вызывает нежелание использовать. При этом следует учитывать, что необходимость применения ИКОС уже не нуждается в доказательствах, поэтому в дальнейшем нет необходимости продолжать обосновывать полезность и целесообразность их применения, ставя во главу угла экономические показатели, хотя разработка новых ИКОС, вклю-

чающих применение современной дорогостоящей вычислительной техники, несомненно, требует таких расчетов. Вместе с тем в соотношении экономической и дидактической эффективности ИКОС приоритет должен быть отдан последней.

В педагогической теории и практике в настоящее время сложились два подхода к оценке эффективности применения ИКОС. Первый из них связан с использованием качественных, а второй – количественных ее показателей. При этом первые базируются на основном критерии учебного процесса – качестве обучения и его составляющих. К ним следует отнести условные характеристики, выражающиеся в понятиях: объем знаний, навыков и умений, их полнота, системность, осмысленность, прочность, действенность, результативность, качество, познавательная активность обучаемых, мотивация обучения и т.п.

Делаются попытки ввести дифференцированные критерии, зависящие от форм и методов, применяемых в ИКОС: возможность индивидуализации и профессиональной направленности обучения, использование компьютерной техники при подготовке специалистов различных профилей, достоверность и точность моделирования расчетов, степень разгрузки обучающихся и обучаемых от трудоемких, рутинных операций по контролю обучения, расчетам и др.

Определяя качественные показатели по результатам решения определенных заданий путем оценки ответов на вопросы и т.д., используя показатели важности, стоимости, весомости и т.п., исследователи устанавливают заданные критерии эффективности применения ИКОС. Однако таким образом весьма сложно объективно и достоверно оценить знания, приобретенные за счет использования компьютерной и информационной техники, и прежде всего их творческое умение использовать ее, учесть при этом не только прямые, но и косвенные показатели качества обучения. Эти оценки зачастую чрезмерно субъективны и недостаточно точны и последовательны. Оценивая эффективность применения ИКОС таким образом, преподаватели не получают полной информации о действительном состоянии сформированных знаний, навыков и умений у обучаемых, а тем более о процессах их приобретения. Этот подход не позволяет определить количественные показатели эффективности процесса обучения, использование которых имеет ряд своих преимуществ и особенностей. Кроме того, наблюдается стремление специалистов опираться на сложный математический

аппарат, что делает расчеты громоздкими и трудно применимыми в практической деятельности.

Тем не менее наличие качественных характеристик не только существенно, но, безусловно, необходимо, так как принципиально облегчает решение проблемы оценки эффективности применения ИКОС в учебном процессе, получение более объективной картины обучения. Использование набора таких критериев как качество усвоения знаний, навыков и умений, прочность их усвоения и время обучения позволяют успешно решать задачи оценки эффективности применения ИКОС. При этом, безусловно, необходимо иметь достаточную выборку из опытных данных, чтобы дать квалифицированную оценку.

---

## 7. Перспективные технологии развития интеллектуальных компьютерных обучающих систем

---

### 7.1. Адаптация к психофизическому состоянию обучаемого

Повышение эффективности информационных технологий обучения связано с развитием и применением методов и средств построения информационно-образовательных систем на основе адаптивных алгоритмов управления обучением и контроля уровня подготовки. Подобные алгоритмы используют принцип обратной связи и их возможности определяются составом параметров, доступных для измерения во время обучения и контроля. Традиционно обратная связь строится по результатам анализа ответов обучающегося и не учитывает его психофизическое состояние в реальном масштабе времени.

Известно, что в течение учебного периода центральная нервная система (ЦНС) обучаемого испытывает чрезвычайно большую нагрузку. Кроме учебной нагрузки, сказываются также экологическое влияние окружающей среды и социально-бытовые проблемы, проблемы межличностных отношений в быту и в учебной группе, постоянный дефицит времени. Совокупность этих факторов воздействия на ЦНС обучаемого, многие из которых можно определить как стрессовые, дает основание классифицировать структуру его деятельности в учебный период как деятельность человека-оператора.

С точки зрения психологии профессиональной деятельности человеку-оператору необходимо в условиях постоянного лимита времени воспринимать и обрабатывать большой объем информации, анализировать изменение ситуации, принимать конструктивные решения и предпринимать действия (двигательные, управленческие), направленные на эффективное их исполнение. Совершенно очевидно, что такой род деятельности предъявляет чрезвычайно высокие требования к психофизическому состоянию человека-оператора (в рассматриваемом случае обучаемого). Именно высокий уровень функционального состояния психофизической сферы

обеспечивает обучаемому возможность в конкретный отрезок времени качественно реализовать имеющийся в наличии собственный психомоторный и интеллектуальный потенциал, что в конечном итоге определяет эффективность его учебной, а в дальнейшем и профессиональной деятельности.

Важнейшим фактором обеспечения высокого качества профессиональной подготовки выпускников вузов является активная учебно-трудовая и познавательная деятельность студентов. Эта деятельность представляет собой сложный процесс в условиях объективно существующих противоречий, к которым относятся:

– противоречия между большим объемом учебной и научной информации и дефицитом времени на ее освоение;

– противоречия между объективно текущим постепенным, многолетним процессом становления социальной зрелости будущего специалиста и желанием, как можно быстрее самоутвердиться и проявить себя;

– противоречия между стремлением к самостоятельности в отборе знаний с учетом личных интересов и жесткими рамками учебного плана и учебных программ.

Эти противоречия создают высокое нервно-эмоциональное напряжение, которое отрицательно отражается на здоровье и физическом состоянии студентов.

Однако многие факторы, сопутствующие умственной деятельности студентов, снижают эффективность кровообращения в головном мозге, ухудшают его кровоснабжение. К ним относятся: длительное пребывание в положении сидя за столом, нервно-психическое напряжение, отрицательные эмоции, напряженная работа в условиях дефицита времени, высокая ответственность за результаты усвоения знаний и др.

Длительная напряженная умственная работа снижает также возможности организма к ее качественному продолжению, наступает утомление как нормальная реакция организма и как итог такого процесса – снижение успеваемости. Утомление может вызвать состояние усталости, которое появляется перед наступлением утомления и является субъективным чувством человека. Усталость нарастает при непонимании значения выполняемой работы, неудовлетворенности ее результатами. Наоборот, усиление интереса, успешное завершение работы снижает чувство усталости. Утомление не всегда обнаруживается в одновременном ослабле-

нии всех сторон деятельности. Снижение работоспособности в одном виде учебного труда может сопровождаться сохранением его эффективности в другом виде. Так, например, устав производить вычислительные операции, можно успешно заниматься чтением. Такое утомление частичного характера свойственно определенным видам умственного труда и является обратимым процессом. Утомление снимается своевременным эффективным отдыхом.

При систематическом перенапряжении нервной системы возникает переутомление, для которого характерны чувство усталости до начала работы, отсутствие интереса к ней, апатия, повышенная раздражительность, снижение аппетита, головокружение и головная боль.

Объективными признаками переутомления являются: снижение веса тела, диспепсические расстройства, повышение сухожильных рефлексов, лабильность частоты сердцебиения и артериального давления, потливость, выраженный дермографизм, снижение сопротивляемости организма инфекциям, заболеваниям и т.п. Оценка степеней переутомления представлена в табл. 11.

Таблица 11

**Краткая характеристика степеней переутомления  
(по К. К. Платонову)**

| Симптом   | Степень переутомления                |                                     |                          |                                     |
|---|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|
|   | I – начинающееся                     | II – легкое                         | III – выраженное         | IV – тяжелое                        |
| Снижение работоспособности  | Малое                                | Заметное                            | Выраженное               | Резкое                              |
| Появление ранее отсутствовавшей усталости при умственной нагрузке | При усиленной нагрузке               | При обычной нагрузке                | При облегченной нагрузке | Без видимой нагрузки                |
| Компенсация понижения работоспособности волевым путем             | Не требуется                         | Полностью                           | Не полностью             | Незначительно                       |
| Эмоциональные сдвиги  | Временное снижение интереса к работе | Временами неустойчивость настроения | Раздражительность        | Угнетение, резкая раздражительность |

| Симптом                               | Степень переутомления  |                               |  |                                       |
|---------------------------------------|--|-------------------------------|--|---------------------------------------|
|                                       | I – начинающееся   | II – легкое                   | III – выраженное                             | IV – тяжелое                          |
| Расстройства сна                      | Трудно засыпать и просыпаться                                    | Труднее засыпать, просыпаться | Сонливость днем                              | Бессонница                            |
| Снижение умственной работоспособности | Нет  | Трудно сосредоточиться        | Временами забывчивость                       | Заметное ослабление внимания и памяти |
| Вегетативные сдвиги                   | Временами тяжесть в голове                                       | Часто тяжесть в голове        | Временами головные боли, снижение аппетита   | Частые головные боли, потеря аппетита |
| Профилактические мероприятия          | Упорядочение отдыха, физическая культура, культурные развлечения | Отдых, физическая культура    | Организованный отдых, предоставление отпуска | Лечение                               |

Таким образом, умственная деятельность, связанная с психическими напряжениями, предъявляет высокие требования к организму и при определенных неблагоприятных условиях может быть причиной серьезных заболеваний.

Основной проблемой при создании адаптивных обучающих систем является сложность в построении такой программной среды, которая могла бы «понять» человека. Поэтому большинство разработок в данной области строятся на создании моделей обучаемых с последующим описанием и построением всевозможных гипотез (работы В. П. Беспалько, А. Г. Гейна, Б. С. Гершунского, В. П. Зинченко, М. П. Лапчика, А. В. Осина, С. В. Панюковой, И. В. Роберт, Э. Г. Скибицкого, О. К. Тихомирова и др.). Моделям присваивается определенный набор характеристик, которые впоследствии влияют непосредственно на построение самой обучающей системы. Известно достаточно большое количество существующих моделей обучаемого – нормативная, предметная, тематическая, функциональная, процедурная, операционная, семантическая. Однако представленные модели слабо учитывают психофизиологические особенности и характеристики обучаемого и, как правило, не используются при формировании структуры образова-

тельных ресурсов и их содержания, что снижает эффективность применения обучающей системы.

С этой точки зрения, модель обучаемого и соответственно реализуемая на базе применения технологий адаптации структура интеллектуальной компьютерной обучающей системы (ИКОС) должны учитывать:

- модальность обучаемого – специфический индивидуальный способ получения информации и взаимодействия с ней. Выделяют такие модальные типы, как кинестетик, аудиал и визуал. Ведущая модальность – предпочтение субъектом одного из информационных каналов (зрительного, звукового или тактильного);

- тип его темперамента;

- текущее психоэмоциональное состояние обучаемого.

Особый интерес представляет определение текущего психоэмоционального состояния обучаемого. В качестве реальных инструментов, определяющих психоэмоциональное состояние, можно выделить две большие группы:

- тесты и тестирующие программы;

- специальные аппараты или системы.

Среди тестов можно в первую очередь выделить тесты Леонгарда, Айзека, Люшера, методику Горской и целый ряд других. Интерес представляет тест Люшера как один из прожективных тестов, дающий достаточно глубокую и обширную, свободную от сознательного контроля испытуемого характеристику его внутренних диспозиций за весьма короткое время.

В психофизиологии накоплен достаточно богатый опыт изучения и разработаны различные методы и методики конкретного диагностирования или выявления интеллектуально-психофизиологических состояний человека. Каждая из методик реализует определенный исследовательский методологический принцип психодиагностики, имеет свой алгоритм получения результата и, следовательно, может быть воплощена в компьютерную технологию оперативного диагностирования индекса ПФС (ИПФС) субъекта.

Среди специальных аппаратно-программных систем оценки ПФС наиболее эффективными для использования в обучающей системе являются:

- bioMouse – данное устройство относится к компьютерной периферии и является компьютерной мышью, совмещающей воз-



возможности манипулятора и прибора для индивидуального контроля функциональных возможностей пользователя. Применяемая методика определения функционального состояния организма основана на применении математического анализа параметров ритма сердца;

– видеокомпьютерная система предназначена для объективной, оперативной и бесконтактной психодиагностики в задачах определения психофизического состояния человека. Одним из основных потоков информации, которую можно считать с человека посредством видеокамеры, является информация о его глазах. Информация о глазах совместно с информацией о положении головы позволяет получить информацию о том, куда смотрит человек, а информация о частоте и скорости морганий позволяет сделать вывод о состоянии человека. На сегодняшний день широка распространена технология оценки психофизического состояния на основе виброизображения [5]. Виброизображение – это изображение, получаемое при обработке видеосигнала и отражающее параметры вибрации и перемещения объекта. Частотная составляющая виброизображения информативно характеризует психофизиологическое состояние человека, так как она практически не зависит от статического изображения и определяется динамикой движения человека или психомоторикой. Проведенные исследования виброизображения человека объединяют различные направления науки и включают в себя медико-биологические знания, психологию, электронику и биометрию. Технически виброизображение человека представляет собой наложенные друг на друга два процесса вибрации или перемещения в относительной и абсолютной системах координат. Первая составляющая определяется микроперемещением точек тела человека друг относительно друга. Вторая составляющая связана с макроперемещением тела человека, прежде всего головы. В основе каждой технической составляющей виброизображения лежат свои психосоматические механизмы, что делает получаемое виброизображение человека уникально информативным для характеристики психофизиологического состояния;

– на основе анализа клавиатурного почерка. Известно, что клавиатурный почерк человека изменяется при изменении его психофизиологического состояния и основывается на особенностях подсознательных движений при какой-либо деятельности.

На рис. 70 представлена структурная схема ИКОС с адаптацией под психофизическое состояние обучаемого.

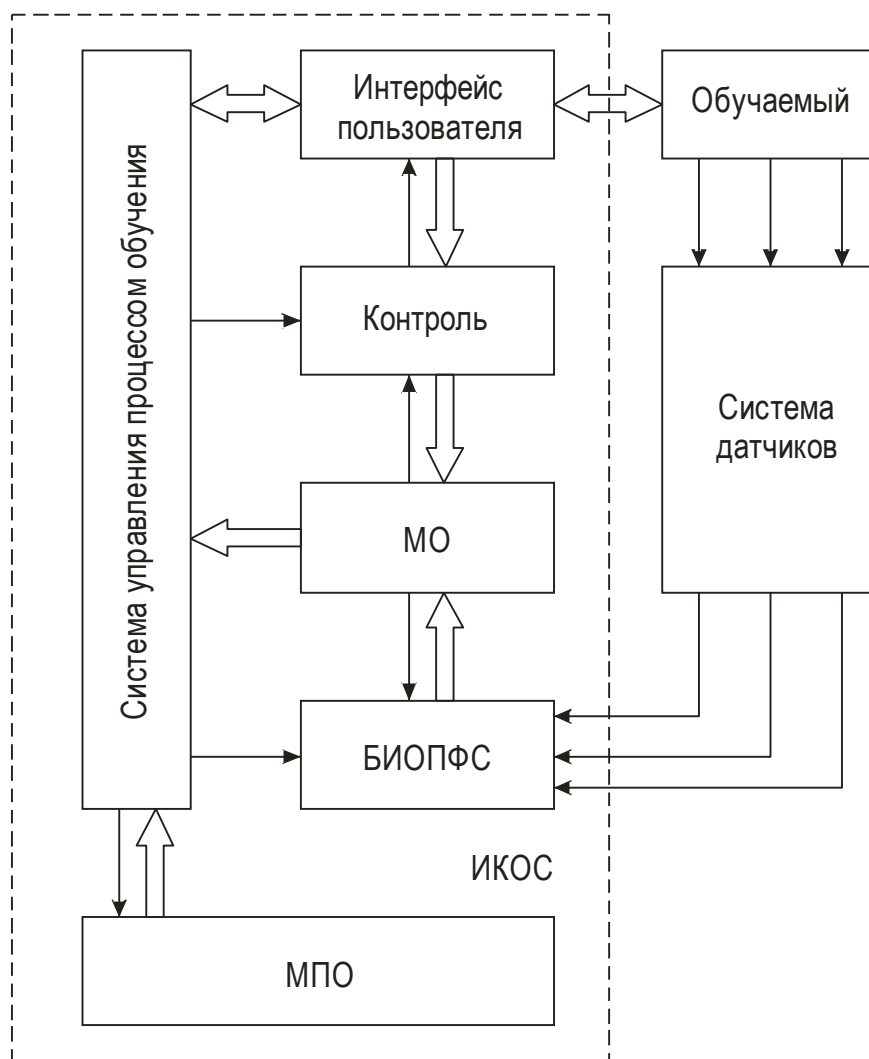


Рис. 70. Структурная схема ИКОС с адаптацией под психофизическое состояние обучаемого

Основная идея функционирования ИКОС с использованием предлагаемой методики построения модели обучаемого основана на предварительной оценке психофизиологических характеристик обучаемого и формировании с учетом этой информации образовательного контента. При формировании содержания обучения учитывается интеллектуальный уровень обучаемого, а также уровень и качество ранее приобретенных знаний.

Информация о текущем ПФС обучаемого непрерывно отслеживается ИКОС посредством датчиков и анализируется в блоке интегральной оценки ПФС (БИОПФС), при этом в системе управления процессом обучения осуществляется непрерывная коррекция основных параметров обучающей системы, что позволит получить максимальную отдачу от использования учебного времени.

Наличие дополнительного контура обратной связи существенно повышает гибкость и эффективность интеллектуальной компьютерной обучающей системы. При этом осуществляется автоматическая подстройка основных параметров ИКОС под ПФС обучаемого. Появляется возможность автоматически регулировать скорость подачи материала и его сложность, а также определять моменты перехода от выдачи материала к оперативному контрольному опросу. В режиме контроля знаний, интерактивного выполнения лабораторных работ и проведения практических занятий достаточно объективно может быть установлен режим общения обучаемого с системой.

## 7.2. Определение электрокожного сопротивления

Важным моментом в оценке функционального состояния обучаемого является уровень его нейропсихического (эмоционального) напряжения. Известно два типа разбалансирования регуляторной функции в этой сфере – гипермобилизация (чрезмерное возбуждение) и развитие тормозных процессов (охранительное торможение). Для обоих случаев характерны специфические проявления нарушения способности произвольного переключения от состояния релаксации к активации (концентрации на предстоящем действии), и наоборот [1, 2]. Поскольку такая картина отражает объективные процессы, происходящие в организме, оба случая можно определить как полярные проявления психофизического состояния (ПФС).

Многие исследователи отмечают, что слежение за эмоциональным напряжением позволяет при определенных условиях предсказывать возможное ухудшение работоспособности человека до того, как это произошло [3]. При этом в качестве информативного показателя изменения ПФС человека-оператора используются вегетативные реакции – электрокожное сопротивление (ЭКС), кожно-гальваническая реакция (КГР) [4]. Так, КГР широко используется для изучения вегетативной нервной системы, определения особенностей психофизиологических реакций и исследования черт личности.

В частности, А. А. Алдерсонс отмечает, что КГР «используется во всех случаях как индикатор – и притом весьма чувствительный – состояния активации человека» [5]. Однако проблема количественного оценивания ПФС затруднена рядом технических сложностей. Ведь при регистрации электрофизических параметров, характеризующих функциональное состояние биологического

объекта (в том числе ЭКС), сам объект и средство измерения находятся в двустороннем взаимодействии. Степень и характер такого взаимовлияния отражаются на погрешности измерения, что приводит к снижению диагностической ценности измеряемого параметра.

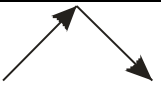
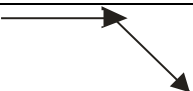
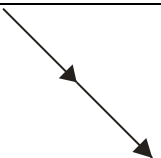
Данная методика основана на таком известном факте, как изменение ЭКС человека в состоянии релаксации и активации психомоторных функций. Доказано, что в норме электрокожное сопротивление человека в состоянии релаксации растет, а в состоянии активации уменьшается.

Согласно теории генеза кожно-гальванической реакции секреторная деятельность потовых желез тесно связана с активностью нервной системы человека. Активация психомоторных функций вызывает обильное выделение пота, и сопротивление кожи падает. При обратном течении процесса пот поглощается, и сопротивление кожи растет. Причем первое состояние ЦНС принято называть концентрацией, а второе – релаксацией [6].

Известны исследования, устанавливающие взаимосвязь способности человека к произвольному изменению уровня активности центральной нервной системы (ЦНС) с готовностью к высокорезультативной деятельности. Более того, на основе изучения особенностей изменения показателя ЭКС определены как взаимосвязь этой динамики с успешностью деятельности, так и девять основных графических конфигураций этой динамики. При этом динамика значений ЭКС, отмеченная у испытуемых при произвольном переходе от релаксации к активации, классифицирована соответственно на девять вариантов, характеризующих различные состояния ЦНС [7] (табл. 12).

Таблица 12

**Состояния ЦНС**  
(первая стрелка – релаксация, вторая – активация)

| Графическая конфигурация  | Характеристика состояния   |
|---|--|
|  | Состояние высокой «боевой» готовности                                  |
|  | Некоторое преобладание возбуждения, способность к релаксации ослаблена |
|  | Чрезмерное возбуждение, «предстартовая лихорадка»                      |

| Графическая конфигурация | Характеристика состояния  |
|--------------------------|---|
|                          | Начальная стадия охранительного торможения.<br>Заторможенность локомоций      |
|                          | Глубокая заторможенная апатия, нет динамики процесса «релаксация-активация»   |
|                          | Крайняя степень возбуждения, на грани адаптации возможны неадекватные реакции |
|                          | Переутомление на грани срыва адаптации, вялость                               |
|                          | Срыв адаптации, состояние болезни   |
|                          | Запредельное переутомление ЦНС, депрессия, состояние болезни                  |

Существует два принципиально разных метода контактного измерения электрических параметров кожи: по Тарханову (регистрация электрических потенциалов кожи) и по Фере (регистрация электрического сопротивления кожи) (рис. 71). Оба метода как показатели состояния организма дают идентичные результаты, только латентный период изменения сопротивления кожи несколько выше, чем при изменении потенциалов кожи. В табл. 13, 14 представлена сравнительная характеристика обоих методов.

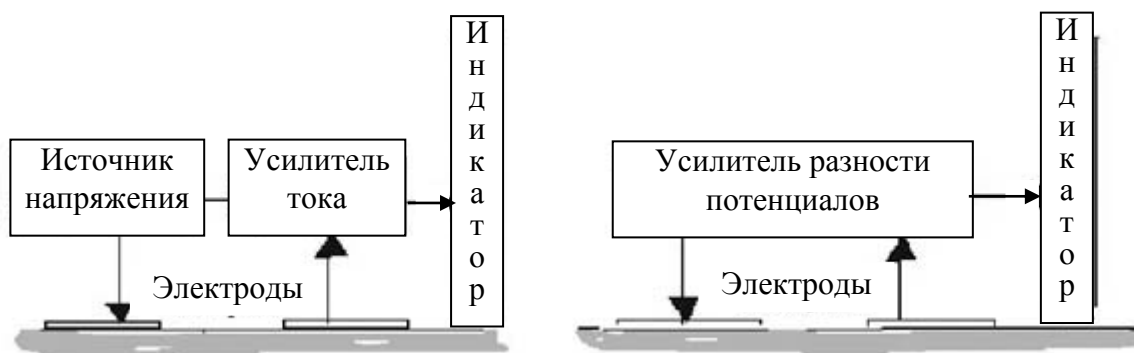


Рис. 71. Принципиальные различия активного (Фере) и пассивного (Тарханов) методов исследования электрической активности кожи

**Методы исследования электрической активности кожи**

|   |  |
|---|--|
| По Фере   | По Тарханову                             |
| Активный (с внешним источником поля)                                  | Пассивный                                |
| Наложение электродов непосредственно на кожу испытуемого (контактные) |  |
| Экзосоматический  | Эндосоматический                         |
| Измерение сопротивления или электропроводимости                       | Измерение электрических потенциалов кожи |

**Качественные характеристики методов измерения КГР**

| Характеристики                                 | Методы измерения КГР   |   |
|--|--|---|
|  | Пассивный (по Тарханову)   | Активный (по Фере)  |
| Возмущающее воздействие на объект исследования | Слабое   | От слабого до сильного  |
| Помехоустойчивость                             | Плохая   | Хорошая   |
| Информативность                                | Состояние поверхности кожи, величина электродного потенциала, состояние подкожной структуры    | Состояние поверхности кожи, состояние подкожной структуры                     |
| Техническая реализация                         | Сложная (фильтрация, обработка и выделение полезного сигнала, масштабирование, преобразование) | Простая (формирование измерительного сигнала масштабирование, преобразование) |

К негативным сторонам метода Фере следует отнести и то, что, пользуясь этим методом, регистрируют изменения двух видов сопротивлений: сопротивление самой кожи и контактного сопротивления электродов.

Недостатком методики оценки ПФС обучаемого является то обстоятельство, что абсолютные значения ЭКС, фиксируемые в контрольных точках, существенно различны у разных испытуемых даже при принципиально одинаковой форме кривой. Это объясняется различной силой нервных процессов, связанной как с индивидуальными особенностями ЦНС, так и со стадией развития контролируемого процесса у испытуемого. Кроме того, абсолютные значения ЭКС в принципе весьма индивидуальны, что делает не-

возможным сравнение этих показателей у разных испытуемых. Поэтому очевидно, что качественной оценки способности к изменению активности ЦНС совершенно недостаточно для успешного контроля функционального состояния. Для ведения контроля за силой и глубиной процесса, за его динамикой внутри одного качественного диапазона необходимо иметь возможность получения интегральной количественной оценки.

В соответствии с методикой, предложенной Ф. Я. Верховским и модернизированной О. В. Жбанковым, специалистами Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана был разработан аппаратно-программный комплекс «Visual SGR», который позволяет объективно определять психофизическое состояние человека на основе относительного изменения электрокожного сопротивления.

Согласно теории генеза кожно-гальванической реакции секреторная деятельность потовых желез тесно связана с активностью нервной системы человека. Активация психомоторных функций вызывает обильное выделение пота, и сопротивление кожи падает. При обратном течении процесса пот поглощается, и сопротивление кожи растет. Причем первое состояние ЦНС принято называть концентрацией, а второе – релаксацией.

Анализ динамики электрокожного сопротивления привлекателен для исследования также и с практической стороны [8]:

- отсутствие влияния постоянного сопротивления элемента «электрод-кожа» в измерительной цепочке. Система «электрод-кожа» представляет собой комплексное сопротивление и значительно влияет на результаты конечных измерений. Для его уменьшения необходимо использовать специальные электроды и смачивание поверхности контакта электрода с кожей токопроводящим раствором. При измерении относительного изменения сопротивления эта постоянная величина вычитается и не влияет на результаты, поэтому нет необходимости использовать специальные средства измерения;

- не критичность к постоянной погрешности измерения, обусловленной техническими характеристиками средства измерения. Такие требования существенно снижают стоимость технических средств, применяемых для измерения ЭКС;

- отсутствие влияния внешних факторов на показания измерения, таких как температура окружающей среды, помехи от бы-

товых электрических приборов и т.д. Все постоянные помехи в результате измерения самовычитаются;

– низкие требования к персоналу, принимающему участие в процессе измерения. Нет необходимости в навыках нахождения биологически активных точек. Electrodes можно накладывать на любые участки кожи пациента.

Изолируясь от абсолютных значений ЭКС и принимая за физиологическую норму рост сопротивления в фазе релаксации и уменьшение сопротивления в фазе концентрации, можно строить объективную картину психофизического состояния человека.

Тестирование проводят по специальной программе. После наложения электродов на два различных пальца одной из рук (обычно правой) и включения прибора проходит период установления переходных процессов и стабилизации показателя ЭКС (1 мин). Затем следуют периоды релаксации (5 мин) и активации (3 мин) с установкой для испытуемого на достижение состояний максимального расслабления или мобилизации соответственно. В процессе тестирования фиксируются три ключевых значения сопротивления:

– в конце первой минуты, по завершении переходных процессов ( $R_1$ );

– в конце шестой минуты, по завершении фазы релаксации ( $R_2$ );

– в конце девятой минуты, по завершении фазы активации ( $R_3$ ).

По окончании времени тестирования строится график, отражающий качественную сторону процесса, а также количественная оценка – индекс психофизического состояния (ИПФС).

Значение ИПФС рассчитывается условно по формуле

$$\text{ИПФС} = R_3/R_1 + R_2/R_1,$$

т.е. определяется в условных единицах.

Переход в относительную систему вычислений позволяет решить три основные методические задачи, ограничивающие широкое применение технологии в педагогической практике:

1) «уход» от оперирования с индивидуальными абсолютными значениями ЭКС, находящимися в весьма широком диапазоне;

2) нейтрализацию влияния на точность измерений усилия прижатия электродов и места их наложения;



3) оценку именно силы процесса «релаксация – активация», что дает возможность его анализа как с качественной, так и с количественной стороны (индекс ПФС).

Градация значений ИПФС в пяти уровнях выглядит следующим образом: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно», «плохо». Использование такой дифференцированной оценки позволило разработать для каждого из теоретически возможных вариантов динамики ЭКС развернутые характеристики текущего состояния психофизической сферы и рекомендации по коррекции этого состояния.

### 7.3. Клавиатурный почерк как способ определения психофизического состояния

В исследованиях по биометрии ряда ученых (А. И. Иванов, В. Ф. Гузик, А. И. Суздальцева) показано, что каждый человек имеет свой клавиатурный почерк, являющийся проявлением работы вегетативной нервной системы (подсознательными движениями человека), его изменение отражает развитие торможения моторных функций человека. Использование клавиатурного почерка для определения психофизического состояния по изменению торможения моторных функций позволяет определять не только динамику состояния обучаемого, но дает возможность избавиться от применения дополнительных специализированных устройств, что значительно снижает затраты на разработку и внедрение таких систем в интеллектуальную компьютерную обучающую систему.

Для математической обработки данных, полученных в результате экспериментов с биологическими объектами используется аппарат искусственных нейронных сетей. Параметрами для анализа клавиатурного почерка являются следующие:

– скорость (или частота) ввода символов. Для обработки берутся временные интервалы, затраченные на ввод отдельных букв. При расширенном анализе берутся нажатия всех клавиш вообще. При накоплении достаточного для расчета количества статистических испытаний получается множество временных интервалов, потраченных на ввод каждого символа. На основе полученных значений рассчитывается среднее время ввода отдельно взятого символа (математическое ожидание и отклонение от среднего (дисперсия)). Эта матрица значений символ/математическое ожидание/дисперсия можно принять как эталон для конкретного пользователя;

– разность между соседними временными интервалами, делящимися между отдельными нажатиями. По разностям находится дополнительная дифференциальная характеристика, производная по времени, показывающая изменение скорости набора. Она также индивидуальна.

Смешанная модель учитывает как дифференциальную характеристику, так и рассматривает предысторию.

При использовании выбранного метода точками измерения состояния обучаемого являются интервалы нажатий на клавиши и время удержания между нажатиями. Для измерений выбирается определенная последовательность, которую обучаемому необходимо периодически набирать. Максимальная работоспособность приравнивается к наилучшему состоянию оператора, это состояние является эталоном и оценивается в сто процентов работоспособности.

Минимальная работоспособность оценивается в ноль процентов. На основании полученной информации происходит определение психофизического состояния обучаемого и в дальнейшем формирование управляющего воздействия.

Динамика изменения моторных функций обучаемого определяется по отклонению от эталонного значения, характеризующего его наилучшее психофизическое состояние. По степени отклонения текущего состояния обучаемого принимается решение о целесообразности дальнейшего процесса обучения.

Использование стандартного средства ввода данных (клавиатуры) для определения психофизического состояния обучаемых в ИКОС делает данный метод наиболее предпочтительным. Информация о клавиатурном почерке может использоваться для идентификации пользователя, что также является актуальной задачей в задачах идентификации пользователей в обучающей системе.

#### 7.4. Метод вариационной пульсометрии

Известно, что в течение учебного периода центральная нервная система (ЦНС) обучаемого испытывает чрезвычайно большую нагрузку. Помимо учебной нагрузки, сказывается также экологическое влияние окружающей среды и социально-бытовые проблемы, проблемы межличностных отношений в быту и в учебной группе, постоянный дефицит времени. Совокупность этих факторов воздействия на ЦНС обучаемого, многие из которых можно опреде-

лить как стрессовые, дает основание классифицировать структуру его деятельности в учебный период как деятельность человека-оператора. Поэтому крайне необходимо контролировать текущее функциональное состояние обучаемого в период обучения.

Известно, что перегрузка отдельного органа или системы в процессе адаптации к физическим или психоэмоциональным нагрузкам, к неблагоприятному изменению окружающей среды или патологическому процессу всегда сопровождается оперативной реакцией защитно-компенсаторных механизмов. Эта реакция в первую очередь характеризуется ростом напряженности функционирования регуляторных систем (ЦНС, вегетативной нервной системы, нейро-эндокринной), деятельность которых направлена на компенсацию возникших отклонений от функционального оптимума.

Звеном, согласующим все адаптивные реакции на уровне органов, является система кровообращения. Обладая совершенным аппаратом управления и саморегуляции, эта система чутко реагирует на малейшие изменения потребностей органов, обеспечивая их адекватным кровоснабжением и одновременно согласуя этот регионарный запрос с гемодинамическими требованиями по жизнеобеспечению разнообразной деятельности целостного организма. Все это дает основания рассматривать систему кровоснабжения в качестве универсального индикатора адаптационно-приспособительной деятельности целостного организма.

В настоящее время одним из наиболее информативных методов изучения функционального состояния организма является метод вариационной пульсометрии – анализа сердечного ритма. Метод основан на установлении закона распределения кардиоинтервалов как случайных величин.

Сердце как компонент мультипараметрического взаимодействия реагирует на любые изменения гомеостаза, а его физиологические показатели могут объективно отражать состояние организма.

Методика анализа сердечного ритма заключается в том, чтобы на основании изучения активности синусового узла по последовательности кардиоинтервалов, по вариациям их длительности сделать заключение о состоянии системы управления сердечным ритмом, как в целом, так и по отдельным ее уровням. При этом синусовый узел рассматривается не только в аспекте автоматизма сердечной деятельности, но и как индикатор деятельности всего организма. Общий подход к оценке сердечного ритма заключается в следующем:

– во-первых, более высокие уровни управления рассматриваются как ингибиторы активностей более низких уровней;

– во-вторых, период колебаний сердечного ритма связан с уровнем управления: чем выше период колебания, тем выше уровень управления. При оптимальном регулировании управление происходит с минимальным участием высших уровней, при неоптимальном регулировании необходима активация все более высоких уровней управления (централизация управления).

Источником исходной информации для метода вариационной пульсометрии являются сигналы устройств, позволяющих регистрировать пульсовую волну в системе кровообращения человека. В частности, для этой цели может подойти оптический пальцевый датчик, используемый для методов пульсоксиметрии и/или фотоплетизмографии. В конкретном случае интерес представляет информация о факте возникновения пульсовой волны.

Сущность вариационной пульсометрии заключается в получении закона распределения кардиоинтервалов как случайных величин. Для этого строится кривая распределения – гистограмма. На рис. 72 представлена гистограмма распределения кардиоинтервалов с обозначенными на ней основными параметрами вариационной пульсометрии:  $M_0$  – мода,  $AM_0$  – амплитуда моды,  $MxDMn$  – вариационный размах (Difference between Maximal and Minimal value).

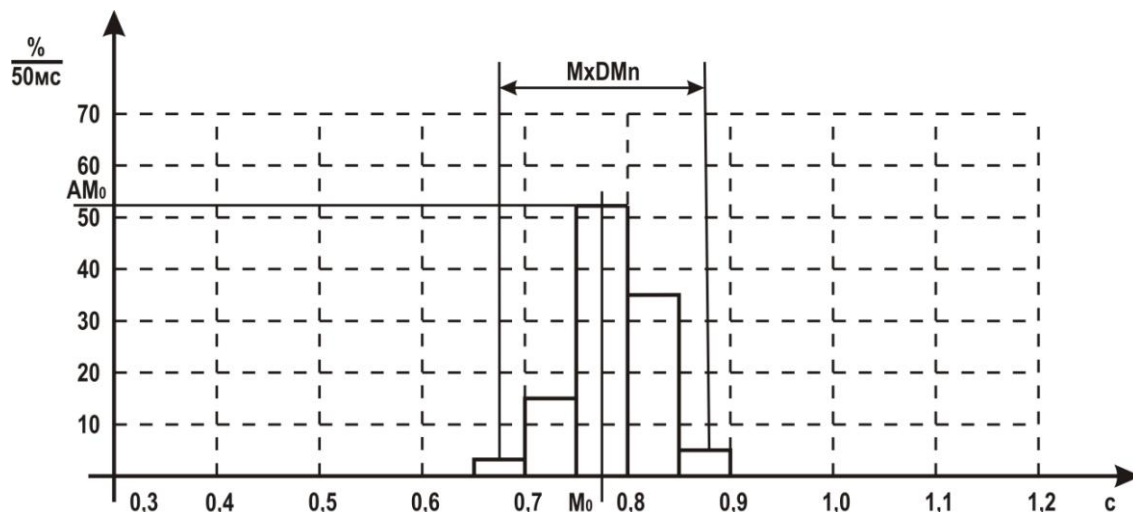


Рис. 72. Гистограмма распределения кардиоинтервалов

Мода ( $M_0$ ) – наиболее часто встречающееся в данном динамическом ряде значение кардиоинтервала. В физиологическом смысле, это наиболее вероятный уровень функционирования сер-

дечно-сосудистой системы. При нормальном распределении и высокой стационарности исследуемого процесса  $M_0$  мало отличается от математического ожидания.

Амплитуда моды ( $AM_0$ ) – это число кардиоинтервалов, соответствующих значению моды, в процентах к объему выборки. Этот показатель отражает стабилизирующий эффект централизации управления ритмом сердца, который обусловлен в основном степенью активации симпатического отдела вегетативной нервной системы.

Вариационный размах ( $M \times DM_n$ ) отражает степень вариабельности значений кардиоинтервалов в исследуемом динамическом ряду. Он вычисляется по разности максимального и минимального значений кардиоинтервалов. Следует отметить, что при аритмиях или артефактах могут быть допущены ошибки вычисления этого показателя, если динамический ряд кардиоинтервалов не подвергся предварительному редактированию. При вычислении  $M \times DM_n$  следует отбрасывать крайние значения кардиоинтервалов, если они составляют менее трех процентов от общего объема анализируемой выборки.

При обработке динамического ряда кардиоинтервалов можно с высокой долей достоверности непрерывно определять адекватность эмоциональной и физической нагрузки состоянию организма:

$$\hat{I}_{\Delta i} = \frac{k \hat{M}_i}{N \sigma},$$

где  $\hat{I}_{\Delta i}$  – показатель адекватности;  $k$  – коэффициент, учитывающий индивидуальные особенности состояния организма в области больших уровней напряженности систем организма ( $k = 1,0-1,25$  с);  $M_0$  – мода динамического ряда кардиоинтервалов;  $N$  – объем выборки динамического ряда;  $\sigma = D$  – среднеквадратичное отклонение динамического ряда;  $D$  – дисперсия динамического ряда.

Для оценки состояния организма в данный момент можно также использовать индекс напряженности регуляторных систем Баевского:

$$\hat{E}_i = \frac{A \hat{M}_i}{2 \hat{M}_i \cdot M \times DM_n}.$$

Величина  $\hat{I}_{\Delta i}$  в норме колеблется в пределах от 50 до 150 условных единиц. При эмоциональном стрессе и физической работе у здоровых людей значения  $\hat{I}_{\Delta i}$  увеличиваются до 300–500 единиц, а у людей старшего возраста со сниженными резервами такие зна-

чения наблюдаются даже в покое. При наличии стенокардии Ин достигает 600–700 единиц, а в прединфарктном состоянии даже 900–1100 единиц.

Методы анализа variability сердечного ритма могут использоваться для оценки состояния человека в различных условиях трудовой деятельности, физической нагрузки, уровня стресса и т.д. В настоящее время особый интерес для исследователей представляет изучение медленных волн второго порядка и компонент спектра колебаний с частотами менее 0,01 Гц, включая минутные и часовые волны, а также разработка новых методов анализа variability сердечного ритма, учитывающих сложный нестационарный характер динамики сердечно-сосудистой системы.

## 7.5. Определение психофизического состояния по видеокамере

Проблема контроля функционального состояния обучаемых в ИКОС в настоящее время стоит очень остро. Потеря концентрации внимания либо засыпание делает невозможным процесс обучения, поэтому построение надежной и устойчивой системы определения функционального состояния оператора сложной системы, работающей дистанционно и не имеющей носимых частей, является актуальной задачей.

В психофизиологии наибольший интерес представляют три категории глазных реакций: сужение и расширение зрачка, мигание и глазные движения.

Пупиллометрия – метод изучения зрачковых реакций. Зрачок – отверстие в радужной оболочке, через которое свет попадает на сетчатку. Диаметр зрачка человека может меняться в пределах от 1,5 до 9 мм. Величина зрачка существенно колеблется в зависимости от количества света, падающего на глаз: на свету зрачок сужается, в темноте – расширяется. Наряду с этим размер зрачка существенно изменяется, если испытуемый реагирует на воздействие эмоционально. В связи с этим пупиллометрия используется для изучения субъективного отношения людей к тем или иным внешним раздражителям.

Диаметр зрачка можно измерять путем простого фотографирования глаза в ходе обследования или же с помощью специальных устройств, преобразующих величину зрачка в постоянно варьирующий уровень потенциала, регистрируемый на полиграфе.

В 1896 г. Хейнрих (Heinrich) и в более позднее время, в 1965 г., Хесс (Hess) обратили внимание на то, что на величину зрачка влияют и эмоциональные состояния человека, и некоторые виды ментальной активности и что в общем виде она может быть критерием оценки степени возбуждения. Изучение психологических факторов, влияющих на величину зрачка, называется пупиллометрией (Hess, 1975; Janisse, 1977). Хесс доказал, что когда человек смотрит на что-либо, величина его зрачков может служить индикатором интереса, вызываемого у него рассматриваемым предметом (Hess, 1965; Hess & Polt, 1960, 1966).

Умственная активность также вызывает изменение величины зрачка. В одном исследовании (Hess & Polt, 1964) испытуемым было предложено устно решить несколько примеров на умножение, отличавшихся по своей сложности. Как правило, зрачки всех испытуемых начиная с того момента, когда был сформулирован вопрос, постепенно расширялись, достигая максимальной величины сразу же после устного ответа. Более того, чем труднее был пример, тем заметнее расширялись зрачки. С этими данными согласуются и результаты другого исследования, из которых следует, что существует положительная корреляция между расширением зрачка и грамматической сложностью предложений, представленных в вербальной форме (Schluroff, 1982). (Аналогичные данные приведены также в работах Ahern & Beatty, 1979; Beatty & Wagoner, 1978).

Мигание (моргание) – периодическое смыкание век. Длительность одного мигания приблизительно 0,35 с. Средняя частота мигания составляет 7,5 в мин и может варьировать в пределах от 1 до 46 в мин. Мигание выполняет разные функции в обеспечении жизнедеятельности глаз. Однако для психофизиолога существенно, что частота мигания изменяется в зависимости от психического состояния человека.

Движение глаз широко исследуются в психологии и психофизиологии. Это разнообразные по функции, механизму и биомеханике вращения глаз в орбитах. Существуют разные типы глазных движений, выполняющие различные функции. Однако наиболее важная среди них функция движений глаз состоит в том, чтобы поддерживать интересующее человека изображение в центре сетчатки, где самая высокая острота зрения. Минимальная скорость прослеживающих движений – около 5 угл. мин/с, максимальная достигает 40 град/с.

Основной принцип работы системы определения функционального состояния, основанной на анализе морганий, – построение графиков движения век, а также изменения направления взгляда и их последующий анализ (В. А. Барабанщиков, 2008). Как показывают многочисленные исследования, характер движения век и характер перевода взгляда на другой объект существенно зависят от текущего функционального состояния человека. Этот факт и позволяет использовать информацию о морганиях для диагностики функционального состояния обучаемого. Кроме этого, система может дополнительно анализировать информацию, получаемую от различных органов управления.

Электроокулография – метод регистрации движения глаз, основанный на графической регистрации изменения электрического потенциала сетчатки и глазных мышц. У человека передний полюс глаза электрически положителен, а задний отрицателен, поэтому существует разность потенциалов между дном глаза и роговицей, которую можно измерить. При повороте глаза положение полюсов меняется, возникающая при этом разность потенциалов характеризует направление, амплитуду и скорость движения глаза. Это изменение, зарегистрированное графически, носит название электроокулограммы. Однако микродвижения глаз с помощью этого метода не регистрируются, для их регистрации разработаны другие приемы.

В последнее время широкое распространение получила технология оценки психофизического состояния по видеокамере на основе виброизображения.

Метод виброизображения регистрирует микродвижения и пространственные колебания объекта путем определения параметров вибрации (частоты и амплитуды) для каждого элемента (пикселя) исследуемого изображения. С помощью этого метода удалось установить, что параметры виброизображения отражают (количественно характеризуют) эмоции и физиологическое состояние организма человека. Виброизображение – это изображение, получаемое при обработке видеосигнала и отражающее параметры вибрации и перемещения объекта. Частотная составляющая виброизображения информативно характеризует психофизиологическое состояние человека, так как она практически не зависит от статического изображения и определяется динамикой движения человека или психомоторикой. Проведенные исследования виброизображения человека объединяют различные направления науки и включают в себя медико-биологические знания, психологию, электронику и биометрию.



Технически виброизображение человека представляет собой наложенные друг на друга два процесса вибрации или перемещения в относительной и абсолютной системах координат. Первая составляющая определяется микроперемещением точек тела человека друг относительно друга. Вторая составляющая связана с макроперемещением тела человека, прежде всего, головы. В основе каждой технической составляющей виброизображения лежат свои психосоматические механизмы, что делает получаемое виброизображение человека уникально информативным для характеристики психофизиологического состояния.

Макроперемещение (вторая составляющая) виброизображения определяется двумя основными процессами – работой вестибулярного аппарата и активностью мозга.

Таким образом, виброизображение, полученное на основе математической обработки стандартного телевизионного изображения, оказывается достаточно информативным для анализа психофизиологического состояния человека.

Технология VibriImage относится к области биометрии и может быть использована для преобразования, получения, обработки и анализа электронных изображений живых биологических объектов, совершающих периодические колебательные перемещения различной частоты и амплитуды.

Полученное при обработке изображение, может быть использовано для получения информации о физиологическом или психофизиологическом состоянии человека.

Ввод изображения объекта осуществляется с любого источника видео, например, цифровой телевизионной камеры, а программное обеспечение обрабатывает полученную информацию и предоставляет интерфейс для сохранения полученных результатов.

Система VibriImage производит мониторинг уровня эмоций, таких как стресс и агрессия, а также осуществляет детекцию лжи в режиме реального времени. Система позволяет визуально оценивать интегральное психофизиологическое состояние человека с помощью ауры, которая программно строится на основании полученного виброизображения.

Для получения адекватного виброизображения человека рекомендуется учитывать следующие факторы:

1. Человек должен быть хорошо и равномерно освещен, и обычное (черно-белое или цветное) изображение человека должно

быть четким и контрастным. Так как аура и виброизображение зависят от регистрации мельчайших точечных вибраций и перемещений объекта, фиксируемых в отраженном от объекта свете, то плохая освещенность объекта может существенно исказить получаемый результат.

2. Данная версия программного обеспечения рассчитана на визуализацию ауры только для одного объекта, находящегося в кадре, поэтому живые объекты, находящиеся рядом с основным объектом исследования, могут существенно влиять и искажать ауру основного объекта. Визуализация виброизображения осуществляется вне зависимости от количества объектов в кадре.

3. Существует определенная задержка между параметрами ауры человека и визуализацией ауры на экране монитора. Величина этой задержки в основном определяется выбранным временем накопления. Например, при реальном быстродействии системы 5 f/s и выбранным временем накопления 50 кадров объективная аура человека может появиться на экране монитора не ранее, чем через 10 с после появления человека перед камерой.

4. Разработанная версия системы чувствительна к определенным непериодическим перемещениям объекта, поэтому для получения объективной ауры человека желательно, чтобы он находился в своем естественном состоянии.

## Заключение

На основе анализа научно-методических источников выявлены современные концепции и методы построения компьютерных обучающих систем в целом и методы управления их работой, определены требования к системам управления интеллектуальными компьютерными обучающими системами со стороны предметной области с учетом условий работы системы. Определены достоинства и недостатки существующих систем.

В работе доказано, что дальнейшее развитие систем обучения будет идти по пути создания универсальных интеллектуальных обучающих систем, обладающих способностью перепрограммироваться на обучение в конкретной предметной области. Этого можно достичь синтезом интеллектуальных компьютерных обучающих систем с заложенными в них механизмами генерации стратегий обучения на основе построения модели предметной области.

В ходе проведения анализа открытых источников выявлены следующие основные недостатки существующих АОС:

- относительно слабый интерес к учению у пользователей-непрофессионалов из-за отсутствия учета психофизиологических особенностей обучаемого;
- отсутствие гибкой смены обучающих стратегий в зависимости от изменения ситуации обучения;
- слабая степень адекватности структур автоматизированных систем обучения к предметным областям;
- отсутствие возможности адаптивной подстройки системы обучения под конкретного пользователя;
- большинство существующих систем строго ориентированы на использование в университете, в котором они были разработаны.

Показано, что современные системы компьютерного обучения адаптируют алгоритмическое и программное обеспечение только к классу учебных материалов, а не непосредственно к конкретной теме, разделу предметной области, что затрудняет выбор новой обучающей процедуры на каждом шаге процесса обучения и не дает возможности гибкой смены обучающих стратегий в зависимости от изменения ситуации обучения, усталости обучаемого, различных отвлекающих факторов и т.п.

Показано, что среди организационных, технических, педагогических и психологических факторов нельзя выделить те, которые являются главными в повышении эффективности компьютерного обучения, так как отсутствие одних факторов приводит к невозможности компьютерного обучения, а другие влияют на его эффективность. Информационные технологии могут быть эффективными только тогда, когда используются на основе системного подхода: при обязательном наличии технических средств должно использоваться программное обеспечение, созданное на основе учебного содержания, ориентированного на цели обучения с учетом достижений педагогики и психологии.

Преобладающее большинство предметных областей имеет древовидную структуру, по которой в зависимости от своего выбора или задания преподавателя обучаемый может передвигаться по разным «веткам» дерева знаний обучающей системы. После завершения работы с системой по одной теме обучаемый имеет возможность продолжить ее, проходя по другой «ветке» дерева знаний, или может выйти из программы.

Разработаны методы решения задач управления и принятия решений в условиях неопределенности, обеспечивающие повышение эффективности функционирования интеллектуальных компьютерных обучающих систем.

Разработана формальная рекуррентная модель организации действий (и следовательно, алгоритмов управления обучением) в многоуровневых автоматизированных системах управления ИКОС, которая представляет собой совокупность элементов множества  $\Sigma^k$ , две алгебраические операции  $\otimes$  и  $\oplus$  и систему отношений эквивалентности действий по выполнению целевой задачи системы. Таким образом, общая модель ИКОС основана на формализации процесса обучения как процесса целенаправленного пополнения аппарата понятий и совершенствования базы знаний обучаемого. Модель представляет собой граф, множество вершин которого отождествлено с действиями учителя в процессе организации и реализации процедуры обучения, а множество ребер определяет связи между действиями и порядок их выполнения.

Проведен анализ различных способов представления знаний и на основе его результатов предложен метод организации смысловой модели предметной области обучения в виде набора моделей учебных разделов, тем и т.д., организованных на основе определенных семантических отношений и описывающих отдельные

предметные области и связи между ними, которая позволяет обеспечить соответствие предметной области в ИКОС к семантическому содержанию знаний обучаемого. В целях повышения адаптационных возможностей ИКОС к различным психофизиологическим типам обучающихся, к изменяющимся условиям обучения, к помехам во время обучения разработан способ структурной адаптации программного обеспечения к данной предметной области с учетом качественных и временных характеристик операционных компонентов, базирующийся на использовании информации, хранящейся в моделях учебных материалов предметной области, и позволяющий осуществлять гибкую смену стратегий обучения с учетом особенностей конкретного обучаемого.

Показано, что путь познания движения системы обучения базируется на шести понятиях: модель, состояние, движение, цель, критерий, управление. Назначением процесса управления является обеспечение решения задачи, т.е. максимально эффективного обучения. Для разных структур моделей предметной области и степени формализации знаний существуют различные подходы к построению концептуальной модели. Одним из таких подходов является функционально-целевой подход (ФЦП), развитый в настоящей работе для класса задач с древовидными моделями предметной области.

На основе алгебраического подхода решена задача синтеза ИКОС, т.е. определена последовательность управляющих воздействий, необходимых для поддержания максимального качества обучения за счет варьирования времени изучения основных понятий и определений. Использование лингвистических продукционных моделей в задачах многокритериальной оптимизации позволит осуществлять различные методы свертки критериев, а также определять начальную точку для метода оптимизации процесса обучения значительно быстрее и эффективнее.

Разработаны алгоритмы решения задач управления и принятия решений по выработке стратегий обучения в условиях конкретной предметной области.

Определена архитектура ИКОС и алгоритмы ее функционирования, отличающиеся структурной адаптивностью программной реализации, формализацией многих задач обучения, обеспечивающие повышение качества и уменьшение времени обучения.

Разработаны алгоритмы взаимодействия преподавателя с ИКОС, алгоритм взаимодействия обучаемого с ИКОС, которые доведены до программной реализации.

Осуществлена программно-алгоритмическая реализация системы обучения. Разработана и внедрена интеллектуальная компьютерная обучающая система. ИКОС является организованной совокупностью, предназначенной для решения множества задач, которые образуют классы  $G_i$  объектно ориентированных задач  $G = \{G_i\}$ ,  $i = 1, \dots, N$ , где  $N$  – число классов. Каждый из представителей классов, в свою очередь, разбивается на совокупность методо-ориентированных процессов.

Дальнейшее развитие работы должно идти по пути наращивания вычислительной мощности программного обеспечения с целью объединения функциональных возможностей различных АОС, сред программирования и гипермедийных систем. Минимальным требованием при этом является возможность объединить две различные системы, например, АОС и среду программирования.

## Список литературы

1. Урсул, А. Д. Становление информационного общества и модель опережающего образования / А. Д. Урсул // НТИ. – 1997. – № 2. – С. 1–11.
2. Монахов, В. М. Что такое новая информационная технология обучения? / В. М. Монахов // Математика в школе. – 1990. – № 2. – С. 47–52.
3. Крюкова, О. П. Самостоятельное изучение иностранного языка в компьютерной среде (на примере английского языка) / О. П. Крюкова. – М. : Логос, 1998. – 126 с.
4. Демьянов, А. В. Системная организация принятия управленческих решений в обучении / А. В. Демьянов, Н. К. Юрков // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. – 2006. – № 6. – С. 178–190. – (Технические науки).
5. Семенюк, Э. П. Информатизация общества, культура, личность / Э. П. Семенюк // Организация и методика информационной работы : сб. докл. науч.-техн. конф. – 1993. – № 1. – С. 6–14.
6. Демьянов, А. В. К проблеме синтеза модели обучаемого интеллектуальной компьютерной обучающей системы / А. В. Демьянов, Н. К. Юрков, В. А. Трусов // Инновации в условиях развития информационно-коммуникационных технологий : материалы науч.-практ. конф. – М. : МИЭМ, 2006. – С. 193–196.
7. Демьянов, А. В. К вопросу реализации модели обучения в интеллектуальной компьютерной обучающей системе / А. В. Демьянов // Инновации в условиях развития информационно-коммуникационных технологий : материалы науч.-практ. конф. – М. : МИЭМ, 2006. – С. 257–259.
8. Приобретение знаний / под ред. С. Осуги ; пер. с япон. – М. : Мир, 1990. – 304 с.
9. Голицына, И. Н. Использование оболочки ЭС для создания ППС / И. Н. Голицына // Информатика и образование. – 1992. – № 1. – С. 88–90.
10. Голицына, И. Н. Эффективность использования моделирующей учебной системы в вузе / И. Н. Голицына, В. И. Немтарев // Профессиональное образование. – 1999. – № 3. – С. 54–56.
11. Brusilovsky, P. Towards an adaptive hypermedia component for an intelligent learning environment / P. Brusilovsky, L. Pesin, M. Zyryanov // Human-Computer Interaction L. J. Bass, J. Gornostaev, C. Unger (Eds.). – Berlin : Springer-Verlag, 1998. – P. 348–358.
12. Демьянов, А. В. Системный подход к синтезу интеллектуальной компьютерной обучающей системы / А. В. Демьянов, Н. К. Юр-

ков // Надежность и качество : тр. междунар. симп. – Пенза : Информационно-издательский центр ПензГУ, 2006. – С. 153–155.

13. Демьянов, А. В. Разработка стратегий автоматизированного обучения / А. В. Демьянов, Н. К. Юрков, В. А. Ермолаев // Надежность и качество : тр. междунар. симп. : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Информационно-издательский центр ПензГУ, 2006. – С. 155–157.

14. Демьянов, А. В. К вопросу о моделировании системы управления обучением / А. В. Демьянов, Н. К. Юрков, Л. А. Тюрина // Университетское образование : сб. ст. X Междунар. науч.-метод. конф. – Пенза, 2006. – С. 203–206.

15. Демьянов, А. В. Принципы подготовки военных специалистов в области использования средств информационных технологий / А. В. Демьянов // Университетское образование : сб. ст. X Междунар. науч.-метод. конф. – Пенза, 2006. – С. 210–213.

16. Демьянов, А. В. Алгоритмы формирования баз знаний в интеллектуальной компьютерной обучающей системе / А. В. Демьянов // Современная методологическая основа совершенствования подготовки военных инженеров : тр. 47-й науч.-метод. конф. Пензенского АИИ. – Пенза : Изд-во ПАИИ, 2006. – Вып. 34. – С. 200–203.

17. Демьянов, А. В. Возможные пути синтеза модели обучаемого для ее использования в автоматизированных обучающих системах с искусственным интеллектом / А. В. Демьянов // Современная методологическая основа совершенствования подготовки военных инженеров : тр. 47-й науч.-метод. конф. Пензенского АИИ. – Пенза : Изд-во ПАИИ, 2006. – Вып. 34. – С. 211–213.

18. Затылкин, А. В. Алгоритм стратегии управления обучением в ИКОС / А. В. Затылкин, А. В. Демьянов // Современные информационные технологии : сб. ст. междунар. науч.-техн. конф. – Пенза : Изд-во ПГТА, 2006. – С. 54–62.

19. Эльконин, Б. Д. Образовательное пространство как пространство развития / Б. Д. Эльконин, И. Д. Фрумкин // Вопросы психологии. – 1993. – № 1. – С. 24–32.

20. Крук, Ч. Школы будущего / Ч. Крук // Гуманитарные исследования в Интернете / под ред. А. Е. Войскунского. – М. : Можайск-Терра, 2000. – С. 285–302.

21. Анализ современных требований к оптимальному проектированию автоматизированных обучающих систем и новые методы их создания. – URL: <http://www.ci.vstu.edu.ru/docum/2.htm>

22. Демьянов, А. В. Модель обучаемого в интеллектуальной компьютерной обучающей системе / А. В. Демьянов // Современные информационные технологии : сб. ст. междунар. науч.-техн. конф. – Пенза : Изд-во ПГТА, 2006. – С. 153–155.



23. Демьянов, А. В. Системная организация компьютерного обучения / А. В. Демьянов, Н. К. Юрков // Современные информационные технологии : сб. ст. междунар. науч.-техн. конф. – Пенза : Изд-во ПГТА, 2006. – С. 156–161.
24. Зайцева, Л. В. Методы и модели адаптации к учащимся в системах компьютерного обучения / Л. В. Зайцева // Educational Technology & Society. – 2003. – № 6 (4). – Р. 204–211.
25. Brusilovsky, P. Adaptive Educational Systems on the World-Wide-Web: A Review of Available Technologies / P. Brusilovsky // Proceedings of Workshop «WWW-Based Tutoring» at the 4th International Conference on Intelligent Tutoring Systems (ITS'98). – San Antonio.
26. Ip, A. What is a learning object, technically? / A. Ip, I. Morrison, M. Currie. – URL: [http://users.tpg.com.au/adslfrcf/lo/LO\(WebNet2001\).ppt](http://users.tpg.com.au/adslfrcf/lo/LO(WebNet2001).ppt)
27. Redeker, G. H. J. An Educational Taxonomy for Learning Objects / G. H. J. Redeker // Proceedings of the 3rd IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies. ICAALT 2003. – Athens, Greece, 2003. – Р. 250–251.
28. Нетушил, А. В. О методе синтеза учебных программ / А. В. Нетушил, А. В. Никитин // Проблемы нейрокибернетики. – 1969. – С. 236–243.
29. Zaitseva, L. Student models in Computer-based Education / L. Zaitseva, C. Boule // Proceedings of the 3rd IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies. ICAALT 2003. – Athens, Greece, 2003. – Р. 451.
30. Юсупова, Н. И. Репрезентативные системы и психологический тип личности: влияние на мотивацию к обучению / Н. И. Юсупова, Т. Д. Тарасова, М. В. Суханова, Х. Швеппе // Proceedings. IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICAALT 2002). 9–12 September 2002. – Kazan, Tatarstan, Russia, 2002. – Р. 181–184.
31. Oppermann, R. Adaptability and Adaptivity in Learning Systems / R. Oppermann, R. Rashev, Kinshuk. – URL: [http://fims-www.massey.ac.nz/~kinshuk/papers/kt97\\_gmd.html](http://fims-www.massey.ac.nz/~kinshuk/papers/kt97_gmd.html).
32. Кривицкий, Б. Х. Систематизация компьютерных средств / Б. Х. Кривицкий // Educational Technology & Society. – 2000. – № 3 (3). – Р. 548–556.
33. Беспалько, В. П. Образование и обучение с участием компьютеров (педагогика третьего тысячелетия) / В. П. Беспалько. – М. : Изд-во Моск. психол.-пед. ин-та ; Воронеж : Изд-во НПО «МОДЭК», 2002. – 352 с.

34. Образцов, П. И. Психолого-педагогические аспекты разработки и применения в вузе информационных технологий обучения / П. И. Образцов. – Орел : ОрелГТУ, 2000. – 146 с.
35. Северцев, Н. А. Системный анализ и моделирование процессов военно-технического сотрудничества / Н. А. Северцев, Т. В. Шутова. – М. : Мегалит, 2006. – 360 с.
36. Черноруцкий, И. Г. Методы принятия решений / И. Г. Черноруцкий. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.
37. Сафронов, В. В. Проектирование сложных технических систем с учетом развития / В. В. Сафронов, Д. Н. Гаманюк // ИТПП. – 1999. – № 3. – С. 45–46.
38. Одрин, М. В. Морфологический анализ систем / М. В. Одрин, С. С. Картавов. – Киев : Наукова думка, 1977.
39. Сафронов, В. В. Метод и алгоритм ранжирования эффективных структур корректируемых систем управления / В. В. Сафронов, Д. Н. Гаманюк // Сборник докладов междунар. науч.-техн. конф. – Пенза, 1998. – С. 77.
40. Абдеев, Р. Ф. Философия информационной цивилизации / Р. Ф. Абдеев. – М. : ВЛАДОС, 1994. – 336 с.
41. Грущанский, В. А. Системные технологии в вопросах безопасности / В. А. Грущанский, А. В. Ильичев, Н. А. Северцев // Вопросы теории безопасности и устойчивости систем. – 1999. – Вып. 1. – С. 55–64.
42. Миронов, В. В. Стратегия безопасного оценивания параметров при сбоях измерений / В. В. Миронов, Н. А. Северцев // Вопросы теории безопасности и устойчивости систем. – 1999. – Вып. 4. – С. 14–27.
43. Эшби, У. Росс. Введение в кибернетику / У. Росс Эшби ; пер. с англ. – М. : Изд-во иностранной литературы, 1959. – 432 с.
44. Деруссо, П. Пространство состояний в теории управления / П. Деруссо, Р. Рой, М. Клоуз. – М. : Наука, 1970. – 620 с.
45. Месарович, М. Общая теория систем: математические основы / М. Месарович, Я. Такахара. – М. : Мир, 1978. – 312 с.
46. Острем, К. Й. Адаптивное управление с обратной связью / К. Й. Острем // ТИИЭР. – 1987. – Т. 75. – С. 4–40.
47. Лапшин, Э. В. Информационные модели проектирования интеллектуальных тренажеров широкого профиля / Э. В. Лапшин, А. В. Блинов, Н. К. Юрков // Измерительная техника. – 2000. – № 8. – С. 23–27.
48. Красовский, А. А. Некоторые актуальные проблемы науки управления / А. А. Красовский // Изв. РАН. Теория и системы управления. – 1996. – Т. 6. – С. 8–16.

49. Mamdani, E. H. Advances in the Linguistic Synthesis of Fuzzy Controller / E. H. Mamdani // *Int. J. Man-Machine Studies*. – 1976. – Vol. 8. – P. 669–678.
50. Захаров, В. Н. Нечеткие модели интеллектуальных промышленных регуляторов и систем управления. Научно-организационные, технико-экономические и прикладные аспекты / В. Н. Захаров, С. В. Ульянов // *Техническая кибернетика*. – 1992. – № 5. – С. 171–196.
51. Мелихов, А. Н. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой / А. Н. Мелихов, Л. С. Берштейн, С. Я. Коровин. – М. : Наука, 1990. – 272 с.
52. Юрков, Н. К. Инструментальная среда обеспечения надежности сложных систем / Н. К. Юрков // *Надежность и качество : тр. междунар. симп. : в 2 ч. / под ред. Н. К. Юркова*. – Пенза : Информационно-издательский центр ПензГУ, 2004. – Ч. II. – С. 347–349.
53. Юрков, Н. К. Синтез концептуальной модели предметной области. Особенности моделирования сложных систем / Н. К. Юрков // *Измерительная техника*. – 2004. – № 2. – С. 11–14.
54. Юрков, Н. К. Особенности управления сложными системами на основе концептуальных моделей / Н. К. Юрков // *Измерительная техника*. – 2004. – № 4. – С. 14–16.
55. Заде, Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. Заде ; пер. с англ. – М. : Мир, 1976. – 166 с.
56. Nguyen, D. Neural Networks for Self-Learning Control Systems / D. Nguyen // *IEEE Control Systems*. – 1990. – Vol. 10. – P. 18–23.
57. Scharf, H. A self-organizing algorithm for the control of a robot arm / H. Scharf, N. Mandic, E. H. Mamdani // *Int. J. Robotics and Automation*. – 1986. – Vol. 1. – № 1. – P. 33–41.
58. Юрков, Н. К. Модели и алгоритмы управления интегрированными производственными комплексами / Н. К. Юрков. – Пенза : Информационно-издательский центр ПензГУ, 2003. – 198 с.
59. Быков, В. В. Моделирование системы технического сервиса / В. В. Быков, А. С. Назаренко, Н. К. Юрков. – М. : Изд-во Моск. гос. ин-та леса, 2004. – 86 с.
60. Соколов, А. Ю. Методология алгебраического проектирования интеллектуальных систем управления / А. Ю. Соколов // *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. – 2000. – № 6. – С. 28–31.

61. Искусственный интеллект : справочник : в 3 кн. / под ред. Д. А. Поспелова. – М. : Радио и связь, 1990. – Кн. 2 : Модели и методы. – 304 с.
62. Sokolov, A. Algebraic approach on fuzzy control / A. Sokolov // Proc. 14th Triennial world Congress IFAC. – Beijing (China). – 1999. – P. 219–224.
63. Соколов, А. Ю. Алгебраическое моделирование лингвистических динамических систем / А. Ю. Соколов // Проблемы управления и информатики. – 2000. – № 2. – С. 141–148.
64. Робертс, Ф. С. Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экономическим задачам / Ф. С. Робертс ; пер. с англ. – М. : Наука, 1986. – 494 с.
65. Wu, H. Sufficient Conditions for Well-Behaved Adaptive Hypermedia Systems / H. Wu, P. De Bra // Proceedings of the First Asia-Pacific Conference on Web Intelligence: Research and Development. – 2001. – P. 148–152.
66. Specht, M. Adaptive Methoden in computerbasierten Lehr / M. Specht. – Lernsystemen : Dissertation, 2001. – P. 148.
67. Буль, Е. Е. Обзор моделей студента для компьютерных систем обучения / Е. Е. Буль // Educational Technology & Society. – 2003. – Vol. 6 (4). – P. 245–250.
68. Петрушин, В. А. Экспертно-обучающие системы / В. А. Петрушин ; отв. ред. А. М. Довгялло ; АН УССР. Ин-т кибернетики. – Киев : Наукова думка, 1992. – С. 196.
69. Кузьмин, И. А. Распределенная обработка информации в научных исследованиях / И. А. Кузьмин, В. А. Путилов, В. В. Фильчаков. – Л. : Наука, 1991. – 304 с.
70. Трусов, В. А. Решение задач синтеза технологического проектирования на основе моделирования процессов его управления / В. А. Трусов, Н. К. Юрков // Цифровые модели в проектировании и производстве РЭС : межвуз. сб. науч. тр. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2000. – Вып. 9. – С. 73–80.
71. Юрков, Н. К. Функционально-целевой подход к синтезу систем управления интегрированными производственными комплексами / Н. К. Юрков // Измерительная техника. – 1999. – № 7. – С. 19–22.
72. Суржко, С. В. О некоторых классах алгоритмических алгебр / С. В. Суржко // Кибернетика. – 1990. – № 3. – С. 100–104.
73. Архитектура ИКОС с внешним объектом изучения / Н. К. Юрков, А. В. Затылкин, И. Д. Граб, В. Б. Алмаметов, В. А. Трусов // Надежность и качество : тр. междунар. симп. : в 2 т. / под ред.

Н. К. Юркова. – Пенза : Информационно-издательский центр ПензГУ, 2008. – Т. 1. – С. 211–213.

74. Тыгу, Э. Х. Концептуальное проектирование / Э. Х. Тыгу. – М. : Наука, 1984. – 256 с.

75. Игнатъев, М. Б. Модели и системы управления комплексными экспериментальными исследованиями / М. Б. Игнатъев, В. А. Путилов, Г. Я. Смольков. – М. : Наука, 1986. – 232 с.

76. Юрков, Н. К. Принципы и направления подготовки инженерных кадров к использованию информационных технологий в профессиональной деятельности / Н. К. Юрков // Належность и качество : тр. междунар. симп. : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Информационно-издательский центр ПензГУ, 2008. – Т. 1 – С. 95–97.

77. Попов, Э. В. Экспертные системы: решение неформализованных задач в диалоге с ЭВМ / Э. В. Попов. – М. : Наука, 1987. – 288 с.

78. Батищев, С. В. Проблемы реализации мультиагентных систем дистанционного обучения в сети Интернет / С. В. Батищев, П. О. Скобелев // Развитие новых технологий в системе образования РФ : материалы междунар. науч.-практ. конф. (Россия, г. Самара, 26–27 мая 2000 г.). – Самара, 2000. – С. 50–51.

79. Варшавский, В. И. Оркестр играет без дирижера / В. И. Варшавский, Д. А. Поспелов. – М., 1987. – С. 210.

80. Мандель, И. Д. Кластерный анализ / И. Д. Мандель. – М. : Финансы и статистика, 1988. – 176 с.

81. A Visual Authoring Tool for the Web-Based Intelligent CAI and its Evaluation / Minoru Kiyama, Satomi Ishiuchi, Kayo Ikeda, Masahiko Tsujimoto & Yoshimi Fukuhara // NTT Information and Communication Systems Laboratories : материалы к конф. ED-MEDIA & ED-TELECOM98. – JAPAN, 1998.

82. Монахов, В. М. Что такое новая информационная технология обучения? / В. М. Монахов // Математика в школе. – 1990. – № 2. – С. 47–52.

83. Крюкова, О. П. Самостоятельное изучение иностранного языка в компьютерной среде (на примере английского языка) / О. П. Крюкова. – М. : Логос, 1998. – 126 с.

84. Brusilovsky, P. Adaptive and Intelligent Technologies for Web-based Education / P. Brusilovsky // Special Issue on Intelligent Systems and Teleteaching, Kunstliche Intelligenz / C. Rollinger and C. Peylo (eds.). – № 4. – P.19–25.

85. Бржезовский, А. В. Программная система для разработки концептуальной модели в области обработки информации / А. В. Брже-

зовский, В. В. Фильчаков // Методы и средства вычислительного эксперимента. – Апатиты : КНЦ АН СССР, 1990. – С. 24–28.

86. Кузьмин, И. А. Распределенная обработка информации в научных исследованиях / И. А. Кузьмин, В. А. Путилов, В. В. Фильчаков. – Л. : Наука, 1991. – 304 с.

87. Матьяш, В. А. Реверсивные методы структурной разработки программных систем на начальных этапах жизненного цикла : дис. ... канд. техн. наук / Матьяш В. А. – СПб. : ГУАП, 1999.

88. Синтез моделей вычислительного эксперимента / А. В. Бржезовский, В. И. Жаков, В. А. Путилов, В. В. Фильчаков. – СПб. : Наука, 1993. – 232 с.

89. Щекин, С. В. Концептуальное моделирование программного обеспечения графических систем : дис. ... канд. тех. наук / Щекин С. В. – СПб. : ГУАП, 1999.

90. Логический подход к искусственному интеллекту: от классической логики к логическому программированию / А. Тейз, П. Грибомон, Ж. Луи [и др.]. – М. : Мир, 1990. – 432 с.

91. Юркова, А. В. Информационная модель принятия решений управления сложными системами / А. В. Юркова, Г. П. Разживина, Н. К. Юрков // Надежность и качество – 2000 : тр. междунар. симп. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Информационно-издательский центр ПензГУ, 2000. – С. 219–221.

92. Бржезовский, А. В. Концептуальный анализ вычислительных систем / А. В. Бржезовский, В. В. Фильчаков. – СПб. : ЛИАП, 1991. – 78 с.

93. Юрков, Н. К. Построение моделей процессов принятия решений в сложных производственных системах / Н. К. Юрков, В. Б. Алмаметов // Цифровые модели в проектировании и производстве РЭС : межвуз. сб. науч. тр. / под ред. проф. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2007. – Вып. 13. – С. 90–93.

94. Авдуевский, В. С. Введение в теорию безопасности сложных систем / В. С. Авдуевский, Н. А. Северцев. – М. : ЛНУ, 1992.

95. Дедков, В. К. Безопасность и эффективность операции / В. К. Дедков, Н. А. Северцев, Г. Б. Петухов, Н. К. Тихон // Вопросы теории безопасности и устойчивости систем. – М. : Вычислительный центр РАН, 1999. – Вып. 1. – С. 20–31.

96. Дедков, В. К. Критерии и показатели безопасности / В. К. Дедков, Н. А. Северцев, Г. Б. Петухов, Н. К. Тихон // Вопросы теории безопасности и устойчивости систем. – М. : Вычислительный центр РАН, 1999. – Вып. 1. – С. 32–54.

97. Кравченко, Б. В. Системы интеллектуальной поддержки принятия управляющих решений при ликвидации последствий ЧС /

Б. В. Кравченко, Д. Н. Черкасов. – URL: <http://mars.biophys.msu.ru/awse/CONFER/MCE99/149.htm>

98. Геловани, В. А. Системы поддержки принятия решений в нештатных ситуациях с использованием современной информационной технологии] / В. А. Геловани, В. Б. Бритков. – URL: <http://sr.isa.ac.ru/sr-95-96/gelbrit3.html>

99. Мясников, В. А. Модели планирования и управления производством / В. А. Мясников, М. Б. Игнатъев, Е. И. Перовская. – М. : Экономика, 1982.

100. Лернер, А. Я. Начала кибернетики / А. Я. Лернер. – М. : Наука, 1967.

101. Коган, М. М. Локально-оптимальное адаптивное управление линейным стохастическим объектом с неизмеряемым состоянием / М. М. Коган, Ю. И. Неймарк // Техническая кибернетика. – 1993. – № 6. – С. 48–53.

102. Андронов, А. А. Вознесенский И. Н. о работах Д. К. Максвелла, И. А. Вышнегородского и А. Стодоло в области теории регулирования машин / А. А. Андронов. – М. : Изд-во АН СССР, 1949.

103. Тихонов, А. Н. Методы и системы поддержки принятия решений / А. Н. Тихонов, В. Я. Цветков. – М. : МАКС Пресс, 2001. – 312 с.

104. Цветков, В. Я. Методы и системы поддержки принятия решений в управлении / В. Я. Цветков. – М. : Минпромнауки, 2001. – 76 с.

105. Андреев, А. Н. Концептуальный подход к внедрению информационных технологий в области моделирования / А. Н. Андреев, А. В. Блинов, Н. К. Юрков // Измерительная техника. – 1999. – № 5. – С. 7–11.

106. Неймарк, Ю. И. Область робастной устойчивости и робастность по нелинейным параметрам / Ю. И. Неймарк // ДАН. – 1992. – Т. 325. – № 3. – С. 438–440.

107. Тимофеев, А. В. Адаптивные робототехнические комплексы / А. В. Тимофеев. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд., 1988. – 332 с.

108. Адаптивные системы автоматического управления / под ред. проф. В. Б. Яковлева. – Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1984. – 204 с.

109. Харитонов, В. Л. Асимптотическая устойчивость семейства систем линейных уравнений / В. Л. Харитонов // Дифференциальные уравнения. – 1978. – № 11. – С. 2086–2088.

110. Беллман, Р. Теория устойчивости решений дифференциальных уравнений / Р. Беллман. – М., 1954. – 457 с.

111. Заде, Л. Теория линейных систем / Л. Заде, Ч. Дезоер. – М. : Наука, 1970. – 253 с.
112. Неймарк, Ю. И. Устойчивость линеаризованных систем / Ю. И. Неймарк. – Л. : ЛКВВИА, 1949. – 372 с.
113. Киселев, О. Н. Робастная устойчивость цепочки простых звеньев / О. Н. Киселев, Б. Т. Поляк // Автоматика и телемеханика. – 1993. – № 12. – С. 124–127.
114. Лефшец, С. Устойчивость нелинейных систем автоматического управления / С. Лефшец. – М. : Мир, 1967. – 186 с.
115. Харитонов, В. Л. Асимптотическая устойчивость семейства систем линейных уравнений / В. Л. Харитонов // Дифференциальные уравнения. – 1978. – Т. 14. – № 11. – С. 2086–2088.
116. Ерохин, А. Т. Разложение непериодических функций по почти ортогональным системам / А. Т. Ерохин, А. В. Блинов, Н. К. Юрков // Надежность и качество – 99 : тр. междунар. симп. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Информационно-издательский центр ПензГУ, 1999. – С. 157–160.
117. Ерохин, А. Т. Аппроксимация функциональных характеристик гравиметрической информации асимптотически-ортогональными системами / А. Т. Ерохин, В. Н. Середкин // Методика измерения ускорения силы тяжести / АН СССР, ИФЗ. – М. ; Пенза, 1973. – С. 451–456.
118. Качмаж, С. Теория ортогональных рядов / С. Качмаж, Г. Штейнгауз. – М. : ГИФМЛ, 1958. – 273 с.
119. Ерохин, А. Т. Элементарные многоэкстремальные функции и их свойства / А. Т. Ерохин, А. В. Блинов, Н. К. Юрков // Надежность и качество – 99 : тр. междунар. симп. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Информационно-издательский центр ПензГУ, 1999. – С. 156–157.
120. Ерохин, А. Т. Асимптотически  $\varepsilon$ -ортогональные системы функций / А. Т. Ерохин, А. В. Блинов, Н. К. Юрков // Надежность и качество – 99 : тр. междунар. симп. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Информационно-издательский центр ПензГУ, 1999. – С. 160–161.
121. Колмогоров, А. Н. Количество информации и энтропия для непрерывных распределений / А. Н. Колмогоров, И. М. Гельфанд, А. М. Яглом // Труды III Всесоюз. матем. съезда. – М. : Изд-во АН СССР, 1958. – Т. 3. – С. 300–320.
122. Rice, S. O. The Mathematical analysis of random noise / S. O. Rice // Bell Syst. Techn. J. – 1944. – Vol. 23. – № 3. – P. 282–332 ; 1945. – Vol. 24. – № 1. – P. 46–156.
123. Блинов, А. В. Информационные особенности многоэкстремальных функций для описания показателей функционирования компонентов ИИС / А. В. Блинов, А. Т. Ерохин, Н. К. Юрков // Измерительная техника. – 2000. – № 8. – С. 19–22.



124. Дзядык, В. К. Введение в теорию приближения функций полиномами / В. К. Дзядык. – М. : Наука, 1977. – 512 с.
125. Харкевич, А. А. Спектры и анализ / А. А. Харкевич. – М. : ГИФМЛ, 1962. – 381 с.

Научное издание

**Юрков** Николай Кондратьевич

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ  
ОБУЧАЮЩИЕ СИСТЕМЫ

Редактор *В. В. Чувашова*  
Корректор *Н. А. Сидельникова*  
Компьютерная верстка *М. Б. Жучковой*

Подписано в печать 24.12.10.  
Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Усл. печ. л. 17,67.  
Тираж 200. Заказ № 872.

---

Издательство ПГУ.  
440026, Пенза, Красная, 40.  
Тел./факс: (8412) 56-47-33; e-mail: iic@mail.pnzgu.ru