

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«КРАСНОЯРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. В.П. Астафьева»

# **КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ДИАГНОСТИКИ УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В УСЛОВИЯХ КОММУНИКАЦИЙ И ОГРАНИЧЕНИЯ РЕСУРСОВ**

Монография

*Электронное издание*

КРАСНОЯРСК  
2014

ББК 74.00  
К 637

**Авторы:**

П.П. Дьячук  
С.В. Бортновский  
П.П. Дьячук (мл.)  
Ю.С. Николаева  
И.В. Шадрин

**Рецензенты:**

доктор физико-математических наук, профессор  
*В.М. Садовский*  
доктор физико-математических наук, профессор  
*О.И. Богульский*

К 637 **Компьютерные системы управления и диагностики учебной деятельности в условиях коммуникаций и ограничения ресурсов: монография** / [Электронный ресурс] / Электрон. дан. / Краснояр. гос. пед. ун-т им. В.П. Астафьева. – Красноярск, 2014. – Систем. требования: PC не ниже класса Pentium I ADM, Intel от 600 MHz, 100 Мб HDD, 128 Мб RAM; Windows, Linux; Adobe Acrobat Reader. – Загл. с экрана.

ISBN 978-5-85981-722-1

На основе системного подхода исследуются проблемы компьютерного управления и диагностики учебной деятельности при решении задач в проблемных средах. Описаны оригинальные системы управления и диагностики на основе обратных отрицательных связей взаимодействующих между собой обучаемых (бинарное взаимодействие – режим коммуникаций) и систем управления с ограничением на ресурсы. Выявлены особенности информационного взаимодействия обучаемых, а также процессуальные характеристики учебной деятельности обучающихся и компьютерной системы в режиме ограничения на ресурсы. Приведено эвристическое решение задачи оптимизации управления учебной деятельностью.

Рекомендуется преподавателям высшей школы, учителям школ, специалистам психолого-педагогической диагностики.

ББК 74.00

*Издается при финансовой поддержке проекта № 06/12 «Исследование проблем развития человека на базе Гуманитарной технологической платформы “Инновационный человек”» Программы стратегического развития КГПУ им. В.П. Астафьева на 2012–2016 годы.*

ISBN 978-5-85981-722-1

© Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева, 2014  
© Дьячук П.П., Бортновский С.В., Дьячук П.П. (мл.), Николаева Ю.С., Шадрин И.В., 2014

# Оглавление

Введение.....	5
---------------	---

## Глава 1. Теоретический анализ автоматических систем управления и автоматизированных обучающих систем ..... 7

1.1. Понятие и классификация автоматических систем управления .....	7
1.2. Типы автоматизированных обучающих систем .....	14
1.2.1. АОС с разомкнутой системой управления .....	16
1.2.2. АОС с замкнутой системой управления.....	20
1.2.3. АОС с комбинированной системой управления.....	24
Выводы к главе 1 .....	28

## Глава 2. Теоретические основы управления учебно-познавательной деятельностью учащихся по решению задач в проблемных средах ..... 29

2.1. Психолого-педагогические основы управления учебно-познавательной деятельностью учащихся .....	29
2.2. Роль компьютерных тестов в управлении учебно-познавательной деятельностью учащихся .....	42
2.3. Постановка задачи управления учебной деятельностью по решению задач в проблемных средах .....	55
Выводы к главе 2 .....	65

## Глава 3. Компьютерные системы автоматического управления учебной деятельностью обучающихся по решению задач ..... 66

3.1. Системы автоматического управления учебной деятельностью.....	66
3.1.1. Управление без ограничения на ресурсы .....	70
3.1.2. Регулирование учебной деятельности в условиях ограничения на ресурс действий.....	75
3.1.3. Модель конечного автомата модуля отмены неправильных действий .....	97
3.2. Суммарный коэффициент петель обратной связи в системе автоматического управления учебной деятельностью.....	98

3.3. Поиск решения задач в пространстве состояний, представленном в виде графа .....	106
3.4. Примеры моделирования проблемных сред задач различных типов .....	113
3.5. Структурно-функциональная модель сетевого динамического тестирования .....	131
3.6. Сетевые динамические компьютерные проблемные среды в процессе обучения учащихся математике.....	154
Выводы к главе 3 .....	171

## **Глава 4. Компьютерная диагностика учебной деятельности обучающихся в проблемных средах..... 172**

4.1. Моделирование учебной деятельности в вербальной проблемной среде по решению задач с помощью цепей Маркова .....	172
4.2. Исследование обучения с подкреплением .....	183
4.3. Корреляция между относительной частотой совершения ошибок при решении вербальных и математических задач.....	190
4.4. Диагностика учебной деятельности обучающихся в вербальных проблемных средах.....	199
4.5. Диагностика учебной деятельности обучающихся в сетевых проблемных средах .....	225
4.6. Аппроксимация суммарного коэффициента обратной связи в приближении модели Р. Буша и Ф. Мостеллера.....	241
4.7. Оптимальное время работы в условиях ограничения на ресурс времени .....	246
4.8. Экспериментальные фазовые портреты деятельности по решению задач в вербальных проблемных средах.....	256
Выводы к главе 4 .....	261

## **Заключение..... 264**

## **Библиографический список..... 267**

## Введение

В современном постиндустриальном мире все большее значение приобретает автоматизация различных видов деятельности человека на основе средств ИКТ, в том числе и учебной. В связи с этим научные исследования, проводимые с середины 50-х годов прошлого столетия, были направлены на создание различных обучающих систем [2; 15; 44; 45; 69; 70; 119; 128; 133 и др.], позволяющих управлять учебной деятельностью.

С развитием информационных технологий создавались компьютерные системы управления учебной деятельностью, основанные на моделях передачи информации и знаний объекту. В таких обучающих системах обучаемый является объектом управления, а обучающий рассматривается как управляющее устройство, что позволило применять в обучении методы теории управления [86; 104; 119].

Как показывает анализ литературы [9; 10; 13; 19; 21; 67; 127; 137; 148; 149], среди подходов к проблеме управления учебно-познавательной деятельностью на основе компьютерных обучающих систем наиболее интересен подход к проблеме обучения, который был предложен Г. Паском [111] и развит профессором Л.А. Растригиным [119; 120; 121]. В нем обучение рассматривается как процесс управления. Для использования такого подхода в процессе обучения современные достижения теории искусственного интеллекта, кибернетики, управления сложными системами, психодиагностики [3; 119] и др. позволяют создавать компьютерные обучающие программы в процессе обучения – от различных тестовых оболочек до автоматизированных распределенных обучающих систем.

Большинство традиционных адаптивных обучающих систем [45; 69; 70; 74; 75; 119; 120; 144; 163] направлены на запоминание учебного материала и применяют тестовый метод

контроля для проверки усвоения знаний, позволяющий фиксировать правильность-неправильность выполнения задания. Недостаток данного метода тестирования состоит в том, что можно получить только результативные характеристики процесса научения, но нельзя увидеть, как обучающийся достиг полученного результата (процессуальные характеристики).

Системы управления учебной деятельностью обучающихся по решению задач исследовались в работах П.П. Дьячука, С.В. Бортновского, И.В. Шадрина, Ю.С. Николаевой. Данная монография раскрывает результаты их исследований, расширяет предлагаемые ими системы управления и диагностики учебной деятельности новыми режимами: «ограничений на ресурсы», «коммуникаций» (сетевой вариант «проблемной среды» для изучения характеристик коллективного обучения) с учетом принципа взаимной адаптации управляющего центра и обучаемого.

Учебная деятельность всегда проходит в условиях ограничений на ресурсы, которые могут быть временными, материальными и т.д., что существенно влияет на управление учебной деятельностью. Учет ограничений на ресурсы, основными из которых являются объем работ и время деятельности, позволит существенно повысить эффективность систем автоматического управления учебной деятельностью, представленных в виде динамических компьютерных тестов-тренажеров («проблемных сред»), а также диагностических систем процессуальных характеристик по научению решению (математических, вербальных и др.) задач.

Данные системы автоматического управления учебной деятельностью по решению задач позволяют получать результативные и процессуальные характеристики деятельности обучающихся, с помощью которых можно не только сформировать индивидуальные образовательные траектории, но и диагностировать профессиональные качества выпускников вузов и специалистов.

## ГЛАВА 1.

# ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМ

---

### 1.1. Понятие и классификация автоматических систем управления

Существует большое разнообразие автоматических систем, выполняющих те или иные функции по управлению самыми различными физическими процессами во всех областях техники. В этих системах сочетаются весьма разнообразные по конструкции механические, электрические и другие устройства, которые составляют большой комплекс взаимодействующих элементов [18]. Задача автоматизации заключается в осуществлении автоматического управления различными техническими процессами. Любой технологический процесс состоит из более простых связанных между собой процессов. Эти связанные процессы представляют собой *рабочие операции*, т. е. действия, в результате выполнения которых происходит требуемая обработка информации, а также *операции управления*, которые, в свою очередь, обеспечивают придание нужных режимов в нужные моменты данного технологического процесса [76].

Совокупность операций управления образует процесс управления. Под *управлением* следует понимать такую орга-

низацию того или иного процесса, которая обеспечит достижение заданной цели. *Цель управления* – изменение состояния объекта в соответствии с заданным законом управления. Совокупность технических средств, выполняющих данный процесс, является *объектом управления* [40]. *Закон управления* – это правило, которое определяет способ управления. Совокупность средств управления и объекта образует *систему управления* [40]. Система, в которой автоматизирована только часть операций, а другая часть выполняется людьми, называется *автоматизированной системой управления*.

Автоматические системы могут встречаться не только в технике, но и в живой природе и в обществе. Я.З. Цыпкин в своей работе [150] пишет: «Живые системы – от простейших до сложных организмов – поддерживают свою жизнеспособность благодаря наличию в них механизма управления. Это же относится к экономическим и общественным системам. Обладая своими специфическими особенностями, системы живой природы и общества тем не менее подчиняются общим закономерностям, лежащим в основе автоматических систем». Далее автор [150] приводит несколько примеров систем управления.

1. *Система управления кровообращением*. Состоит из двух контуров управления. Первый контур управляет артериальным давлением крови, а второй – следит за постоянством химической среды в тканях организма. Первая и вторая автоматические системы взаимодействуют друг с другом.

2. *Система управления величиной зрачка глаза*. Эта система для нормального процесса видения обеспечивает правильную освещенность сетчатки глаза в зависимости от различной освещенности предметов, а также обеспечивает четкое изображение близко расположенных предметов (не пропускает такие лучи, где абберация максимальна).

3. *Система управления основными фондами предприя-*



тия. Является замкнутой, аналогична структуре автоматической системы управления техническими процессами.

В самом простом виде схема системы автоматического управления представлена на рис. 1.

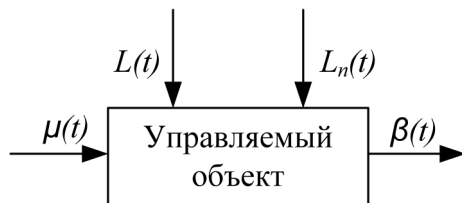


Рис. 1. Структура автоматической системы управления

Здесь  $\beta(t)$  является выходной величиной объекта управления. Для того чтобы выходная величина приняла требуемое значение, на вход объекту подается входная величина  $\mu(t)$ .  $L(t)$  является внешним возмущающим воздействием, а  $L_n(t)$  – параметрическими возмущающими воздействиями.

Все системы автоматического управления разделяются на:

- 1) разомкнутые системы;
- 2) замкнутые системы;
- 3) комбинированные системы.

Общая структурная схема разомкнутой системы автоматического управления представлена на рис. 2.

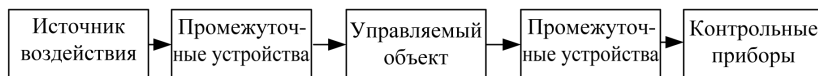


Рис. 2. Структура разомкнутой системы управления

На рис. 2, кроме органов управления, имеются еще и контрольные приборы, которые дают возможность наблюдать за протеканием процесса в управляемом объекте. Характерным признаком разомкнутой системы управления является то, что процесс работы системы зависит непосредственно от результата её воздействия на управляемый объект [18].

При создании разомкнутых систем автоматического управления могут применяться:

1. *Принцип управления по задающему воздействию.* Применяется в тех случаях, когда изменяется требуемое значение управляемой величины и основным фактором, вызывающим значительное отклонение управляемой величины от требуемого значения, является изменение задающего воздействия на входе объекта.

2. *Принцип управления по возмущению.* Применяется для уменьшения или устранения отклонения управляемой величины от требуемого значения, вызываемого возмущающим воздействием. Это воздействие измеряется, и в результате его преобразования вырабатывается управляющее воздействие, которое приложено к входу объекта УО, вызывает компенсирующее отклонение управляемой величины противоположного знака по сравнению с отклонением [61]. Главный недостаток этого принципа – необходимость измерения или априорного задания возмущения (например, его математической модели). Закон изменения помехи должен быть известен, или помеха должна измеряться, для этого должна быть известна математическая модель помехи или установлен датчик для измерения [143].

Если усовершенствовать разомкнутую систему управления посредством замыкания выхода (*контрольные приборы*) с входом (*источник воздействия*) таким образом, чтобы контрольные приборы, измерив некоторые величины, характеризующие определенный процесс в управляемом объекте, сами служили бы одновременно и источником воздействия на систему, причем величина этого воздействия зависела бы от того, насколько отличаются измеренные величины на управляемом объекте от требуемых значений, то возникает замкнутая автоматическая система управления [18].

На рис. 3 представлена простая схема замкнутой автоматической системы управления.

В *замкнутой системе* автоматического управления применяется *принцип управления с обратной связью (управление по отклонению)*, который состоит в том, что измеряется управляемая величина, сравнивается с требуемым значением (задающим воздействием) и выявляющееся при этом отклонение преобразуется в управляющее воздействие, которое стремится уменьшить или устранить это отклонение [61].

$$e(t) = f(t) - y(t).$$

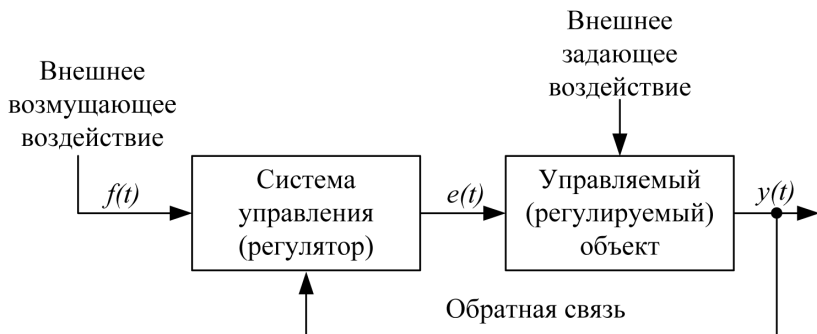


Рис. 3. Структура замкнутой системы управления

Канал обратной связи является наиболее уязвимым местом. При нарушении его работы система может стать полностью неработоспособной.

Если задача заключается в управлении объектом при наличии возмущающих воздействий, неточности задания математической модели объекта, погрешности измерений и повышенных требований к точности, то принцип управления по отклонению является наиболее совершенным. Очевидно, что в замкнутой автоматической системе имеется полная взаимозависимость работы всех звеньев друг от друга. Протекание всех процессов в замкнутой системе коренным образом отличается от протекания процессов в разомкнутой си-

стеме. Замкнутая система совершенно по-другому реагирует на внешние возмущающие воздействия [18].

В технике широко применяют *комбинированные автоматические системы с принципом комбинированного управления*, которые сочетают в себе принципы управления замкнутой и разомкнутой системами управления [61]. На рис. 4 представлена схема комбинированной системы управления.

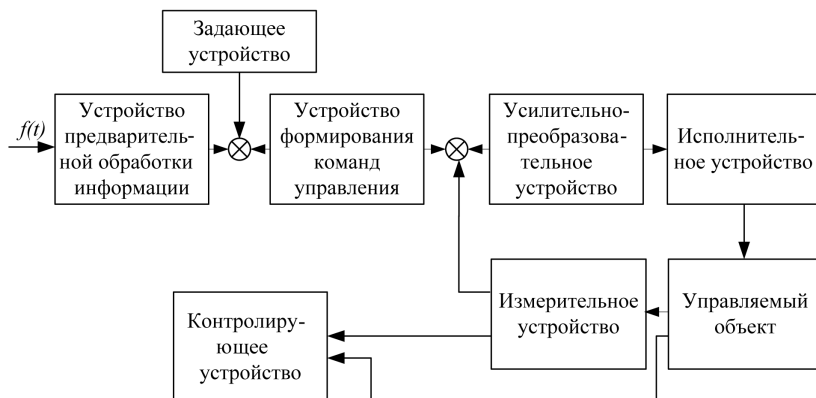


Рис. 4. Структура комбинированной системы управления

Далее рассмотрим классификацию автоматических систем управления.

Все системы автоматического управления делятся по различным признакам на следующие основные классы [40; 76].

1. По основным видам уравнений динамики и процессам управления:

- а) линейные системы;
- б) нелинейные системы.

2. По характеру представления сигналов:

- а) непрерывные системы;
- б) дискретные системы.

3. По характеру процессов управления:

- а) детерминированные системы – системы с определенными переменными и процессами;

б) стохастические системы – системы со случайными переменными и процессами.

#### 4. По характеру функционирования.

В зависимости от того, по какому закону изменяется заданное значение регулируемой величины, системы автоматического управления подразделяются на:

а) системы стабилизации, поддерживающие постоянство регулируемой величины, т. е.  $y_{зад}(t) = const$ ;

б) системы программного регулирования, в которых заданное значение регулируемой величины изменяется по определенной заранее временной программе;

в) следящие системы, в которых заданное значение регулируемой величины изменяется в соответствии с состоянием некоторого заданного вектора переменных во времени;

г) системы оптимального управления, в которых показатель эффективности зависит не только от текущих значений координат, как в экстремальном регулировании, но также от характера их изменения в прошлом, настоящем и будущем и выражается некоторым функционалом. Нахождение оптимального управления предполагает решение достаточно сложной математической задачи соответствующими методами, кроме того, органической составной частью системы является компьютер;

д) адаптивные системы, в которых автоматически изменяются значения  $y_{зад}$ , собственные параметры или структура при непредвиденных изменениях внешних условий на основании анализа состояния или поведения системы так, чтобы сохранялось заданное качество её работы. Системы с изменением заданного значения регулируемой величины называют экстремальными, с изменением параметров – самонастраивающимися, с изменением структуры – самоорганизующимися.

Те принципы, которые были использованы в основе построения автоматических систем управления, заложены также в основу построения автоматизированных обучающих систем.

## 1.2. Типы автоматизированных обучающих систем

Рассмотрим понятие автоматизированной обучающей системы, но прежде введем понятие *системы автоматизированного обучения* (САО), под которой понимается система непосредственного взаимодействия обучающего и обучаемого, в которой основные или вспомогательные функции по управлению учебной деятельностью полностью или частично реализуются аппаратно-программными средствами ЭВМ [112]. Далее под термином *автоматизированная обучающая система* (АОС) понимается обучающая подсистема САО, включающая в себя обучающего и компьютерную обучающую систему. Под термином *компьютерная обучающая система* (КОС) будем понимать элемент автоматизированной обучающей системы, включающий аппаратные и программные средства ЭВМ и осуществляющий автоматическую реализацию функций по управлению учебной деятельностью обучаемого и отображению обучающей информации посредством программной реализации соответствующих алгоритмов управления [112].

Другими словами, *автоматизированная обучающая система* (АОС) – компьютерная эргатическая система, предназначенная для оптимизации процесса обучения с использованием средств информационных и коммуникационных технологий, а также автоматизации процессов обратной связи и управления на ее основе учебной деятельностью обучаемого [43; 108; 109; 123; 124; 125].

В рамках автоматизированных обучающих систем могут решаться следующие задачи:

– задачи, связанные с регистрацией и статистическим анализом показателей усвоения учебного материала: определение времени решения задач, определение общего числа ошибок и т.д. К этой же группе относятся задачи управления учебной деятельностью;

- задачи, связанные с проверкой уровня знаний, умений и навыков обучающихся до и после обучения, их индивидуальных способностей и мотиваций;

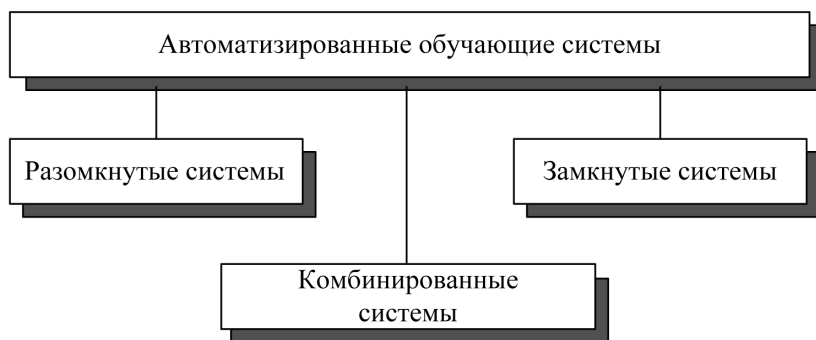
- задачи, связанные с подготовкой и предъявлением учебного материала, адаптацией материала по уровням сложности, подготовкой динамических иллюстраций, контрольных заданий, лабораторных работ, самостоятельных работ учащихся;

- задачи администрирования системы, доставки учебного материала на рабочие станции и задачи обратной связи с обучаемым.

В настоящее время в процесс обучения активно внедряются программные технологии на базе персональных ЭВМ в виде автоматизированных обучающих систем, которые охватывают различные предметные области и призваны решать задачи обучения на различных этапах жизни человека – от начальных классов средней школы до высших учебных заведений. Вместе с тем большая часть программ носит субъективный характер, отражающий интеллектуальный уровень знаний авторов в области программирования, и написана в соответствии с взглядами разработчиков на компьютерную технологию обучения. Это приводит к тому, что ряд программ имеет крайне ограниченные функциональные возможности и не позволяет в полной мере усвоить обучаемым преподаваемый материал, а в некоторых случаях вообще дискредитирует саму идею АОС на базе персональных ЭВМ.

Любая программа представляет собой набор алгоритмов (компонентов), которые, взаимодействуя между собой, решают поставленную задачу [135]. При этом программа будет являться программной системой [6; 7; 8], если она представляет собой совокупность взаимосвязанных компонентов, каждый из которых выполняет вполне определенные функции. В общем случае любая обучаю-

щая программа может считаться программной системой, так как в ней обязательно присутствуют компонента интерфейса пользователя и компонента, реализующая предлагаемую методику. Каждая АОС имеет определенную структуру на основе группы элементов с указанием связей между ними и дает представление о системе в целом. Поэтому структура системы может быть охарактеризована по имеющимся в ней типам связей.



*Рис. 5. Классификация структурного построения АОС*

Так же как и среди автоматических систем управления, среди АОС можно выделить три класса: разомкнутые, замкнутые и комбинированные системы управления деятельностью, которые отличаются принципиальным подходом к процессу обучения (рис. 5).

### **1.2.1. АОС с разомкнутой системой управления**

*АОС с разомкнутой системой управления* – это система, процесс работы которой не зависит непосредственно от результата ее воздействия на управляемый объект. В такой системе управления для формирования управляющих сигналов используется не вся доступная для компьютерной системы информация о состоянии обучающегося. Речь идет о его текущем состоянии (текущее состояние фиксирует мгновенное со-



стояние в процессе решения задачи, тестирования и т. п.), информация о котором обычно не записывается и никак не учитывается при формировании сигналов управления [153].

Говоря об управляющих воздействиях, мы имеем в виду, что в *разомкнутых системах* управление состоит в предъявлении определенных порций учебной информации (задачи) и проведении контрольных работ, тестирований и т. п. При этом успешность выполнения заданий не влияет на траекторию прохождения учебных модулей, т. е. после выполнения каждого контрольного теста происходит переход к следующей порции учебного материала [153]. В системах данного типа центром управления подаётся порция учебного материала, и обучающийся решает предъявленную ему задачу. Такой принцип подачи учебного материала представлен в разомкнутой системе управления (рис. 6).

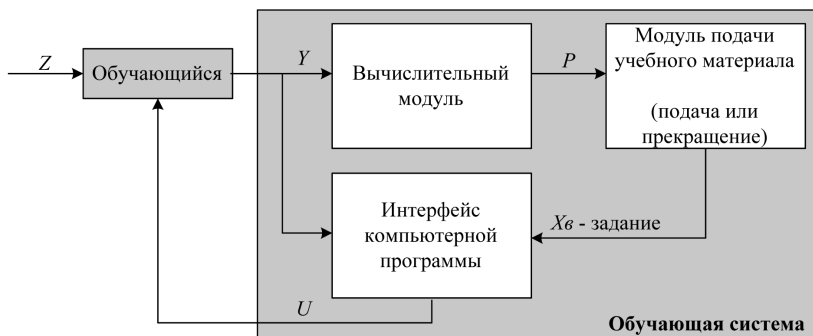


Рис. 6. АОС с разомкнутой системой управления:

$Z$  – возмущение;  $U$  – учебный материал (тестовые задания, теория и т. д.);  $Y$  – управляемая величина (действия обучающегося);  $P$  – управляющая команда на модуль подачи учебного материала для очередной подачи;  $X_g$  – задающее воздействие (задание)

Обучающийся, взаимодействуя с обучающей системой, подает управляемую величину  $Y$  (действия обучающегося) в вычислительный модуль и непосредственно на интерфейс

компьютерной программы. В *вычислительном модуле* происходит принятие решения о подаче управляющей команды *Р модулю подачи учебного материала* на подачу нового учебного материала или прекращение работы.

Этот модуль формирует и передает на интерфейс компьютерной программы очередную порцию учебного материала, с которой в дальнейшем работает обучающийся. Далее все действия системы повторяются до тех пор, пока вычислительный модуль не примет решение остановить работу программы. Модуль подачи учебного материала для различных компьютерных обучающих средств формирует различного вида учебный материал (теория, задачи, тестовые задания и т. п.). Во многих АОС модуль подачи учебного материала – это строго структурированная база данных учебного материала. При этом деятельность обучающегося никак не влияет на последовательность и характер заданий [153].

Можно сделать вывод, что в разомкнутых АОС не учитываются отклики обучающихся на поставленные вопросы и не корректируется последовательность предъявления учебного материала в функции степени усвоения учащимся изучаемой темы. Здесь лишь выполняется определенная, заранее заданная программным путем последовательность изложения материала или контрольных вопросов.

Если рассматривать тестирующие АОС без обратной связи, то видно, что основной упор делается на выявление уровня знаний обучающихся в определенный период учебного процесса. Используя различные методики, разомкнутые системы управления предъявляют обучающемуся открытый или закрытый вариант вопроса (вопрос с вариантами выбора ответа). От него ожидается отклик в виде ответа (управляющего воздействия) на поставленный вопрос. Ответ фиксируется, и по результатам опроса выставляется определенный балл, который служит критерием для результирующей оцен-

ки по степени усвоения обучающимся требуемого учебного материала [84].

В компьютерных обучающих программах разомкнутые системы управления могут быть представлены в виде тестовых оболочек, электронных учебников, лабораторных практикумов по предметам и т. д. На данный момент АОС с такой системой функционирования существует огромное количество. Назовем некоторые из них:

- тестирующие оболочки ТО (система компьютерного тестирования «Тестэкзаменатор» К.С. Останина, ИМЦ ГА, Йошкар-Ола) [107]; тестирующая оболочка РО ИПКиПРО (под руководством Я.В. Костина) [72];

- автоматизированные обучающие системы (АОС по планиметрии В.С. Костина, Т.А. Матунова, С.В. Попова, МИФИ, Москва [72]; интерактивный компьютерный самоучитель решению задач по химии А.К. Ахлебинина, С.Г. Чайкова, КГПУ, Калуга [12]; мультимедийная обучающая программа по геометрии С.М. Бобкина, Казахстан [23]; интерактивная АОС для изучения авиационной техники А.В. Пономаренко, РСК «Миг», ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, Москва [113]; и др.);

- электронные учебники (ЭУ) (ЭУ по дисциплине «Природопользование» для технических вузов Е.В. Муравьевой, КГТУ им. А.Н. Туполева, Казань [90]; ЭУ по компьютерному моделированию М.С. Тарасовой, ПГУ им. М.В. Ломоносова, Архангельск [138]);

- репетиторы по различным предметам школьного цикла (издатель «Кирилл и Мефодий» [139] и др.);

- компьютерные практикумы (КП) (КП по линейной алгебре В.А. Бубнова, МГПУ, Москва [29]; КП по когерентной оптике Б.Н. Грудина, ДВГУ, Владивосток [41]; и др.);

- виртуальные лаборатории (ВЛ) (online виртуальная лаборатория компании «Физикон» [64] и др.).

Наиболее широкими функциональными возможностями и высокой эффективностью в учебном процессе обладают АОС, где организована обратная связь между обучающимся и системой управления.

### **1.2.2. АОС с замкнутой системой управления**

*АОС с замкнутой системой управления* – системы, в которых для формирования управляющих воздействий используется информация о значении управляемых величин. В замкнутой компьютерной системе управления в управляющем устройстве на основе информации об управляемой величине вырабатывается управляющий сигнал [153].

В соответствии с постулатами общей теории управления в любых циклических замкнутых системах управления должны быть реализованы функции сбора и переработки информации обратной связи с целью выработки корректирующих воздействий. *Обратная связь (ОС)* – это информация, которая поступает обучающемуся от системы в ответ на его действия при выполнении упражнений. Она предназначена для самокоррекции своей учебной деятельности и дает возможность сделать осознанный вывод об успешности или ошибочности совершаемых действий. Она побуждает обучающегося к рефлексии, является стимулом к дальнейшим действиям, помогает оценить и скорректировать результаты своей учебной деятельности. Различают *консультующую* и *результативную внутреннюю ОС*. *Консультация* может быть разной: помощь, разъяснение, подсказка, наталкивание и т. п. *Результативная ОС* также может быть различной: от «верно – неверно» до демонстрации правильного результата или способа действия. Информация внешней ОС в рассматриваемой триаде поступает в вычислительный модуль и используется им для коррекции деятельности обучающегося и обучающей программы [131].

Наиболее распространенной является концепция, при которой процесс усвоения знаний обучающимся и контроль

успешности этого процесса рассматриваются как результат работы автоматизированной системы управления, в которой обучающийся является объектом управления, а обучающая система – управляющим органом [153].

На рис. 7 показана схема замкнутой системы управления с обратной связью.

Здесь обучающийся представлен в виде двух модулей: *модуля процесса тестирования* и *модуля процесса обучения*; а обучающая система состоит из *модуля оценки заданий* и *модуля формирования* алгоритма обучения. Прямая связь в данной системе – это ответы обучаемого после прохождения очередной порции учебного материала, а *обратная связь* реализуется посредством соответствующего алгоритма обучения.

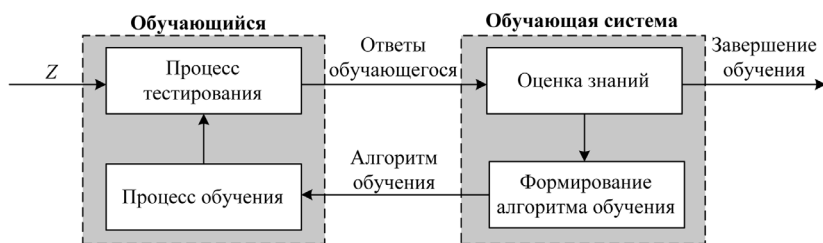


Рис. 7. АОС с замкнутой системой управления с обратной связью:  
Z – возмущение

Согласно этой схеме, обучающая система на основе оценки знаний обучающегося и заданной цели обучения формирует алгоритм обучения в виде порций учебного материала и инструкций по его освоению. Обучающийся, в свою очередь, воспринимает учебный материал, а затем проходит процесс тестирования. Ответы обучающегося в процессе тестирования служат для оценки его знаний [153].

Система дает порцию учебного материала, затем проводятся контрольные мероприятия и происходит оценка знаний обучающегося. На основе поступившей информации о результатах деятельности обучающегося системой формиру-

ется алгоритм обучения. Выдается новая порция учебного материала, проводится тестирование. Эта деятельность повторяется несколько раз, пока оценка знаний обучающегося не достигнет отличного результата, т. е. пока не произойдет усвоение полученного материала.

При ошибочной деятельности обучающегося системой может быть оказана информационная поддержка в виде правильного ответа или в виде подкрепления (ответ «верно» или «неверно»). Далее в зависимости от этого формируется следующая порция учебного материала. После происходит тестирование, и процесс повторяется.

Система не рассматривает модель обучающегося, тем самым не учитываются его индивидуальные особенности.

Процесс взаимодействия обучающегося с АОС может быть представлен в виде системы с внешней обратной связью, где АОС направлена на повышение уровня знаний пользователя и тем самым – на уменьшение количества ошибок, им совершаемых. Генерация воздействий на обучающегося со стороны АОС строится в соответствии с его знаниями, на основе накопленного им ранее опыта и входным заданием, а также в зависимости от принятых в программном обеспечении критериев достоверности оценки знаний обучаемого. В зависимости от характера воздействия со стороны АОС обучающийся принимает определенное, достоверное, с его точки зрения, решение, доказывающее факт усвоения им поданного материала, и генерирует его на вход ЭВМ [84].

В любой АОС в первую очередь необходимо задать максимально допустимое время на принятие обучающимся решения по предоставляемому ему вопросу. Поступившая от АОС информация рассматривается обучающимся в совокупности с имеющимися в его памяти данными путем их обновления, сопоставления, взаимного дополнения и коррекции. На основании этого процесса обучающийся принимает соответствующее решение, анализируя которое АОС долж-

на подтвердить или опровергнуть факт усвоения им текущей и предыдущих порций учебного материала.

Среди замкнутых АОС выделяют *имитационные* автоматизированные обучающие системы. Здесь функции ведущего «элемента» выполняет фактор моделирования реальной ситуации в той или иной сфере предметной области. Элемент с обратной связью в виде реакции обучающегося на предъявляемый АОС учебный материал является основой непрерывного взаимодействия системы «АОС – обучающийся», так как то или иное воздействие на систему со стороны пользователя ведет сразу к ответной реакции со стороны обучающей системы. Примером подобных АОС могут служить всевозможные игровые тренажеры, имитаторы и т. п.

В *тестирующих* АОС используется комплексный подход. Программа не только обучает, но одновременно и проверяет полученные на текущий момент знания учащимся. Здесь важным фактором служит отклик учащегося на то или иное информационное воздействие.

Таким образом, является очевидным, что наиболее широкими возможностями, с учетом современных требований к АОС, обладают замкнутые обучающие системы, обеспечивающие максимальную «гибкость» в общении с пользователем [84].

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

– компьютерные адаптивные тесты (КАТ) (КАТ «Телестинг» А.Г. Шмелева, МГУ, Москва [160]; ОРФО-тренажер «Грамотей-Дом» С.В. Киевского, ООО «Мастер-клуб», Екатеринбург [68]);

– компьютерные обучающие среды (КОС) (система адаптивных электронных практикумов «ФОБУС» С.В. Васильевой, ЦДУ «Фобос», Санкт-Петербург [34]; автоматизированная КОС В.А. Степанцова, ВРЦИО, Воронеж [134]; компьютерная обучающая программа «Фраза» Л.В. Новиковой [105]; компьютерная обучающая система по решению графовых задач Л.О. Мурга, Казанский гос. техн. ун-т [91]);

– экспертные системы (проект «ИДЕЯ» (“IDEA”) В.Б. Кудрявцева, МГУ, Москва [74; 75], и др.).

### **1.2.3. АОС с комбинированной системой управления**

*АОС с комбинированной системой управления* сочетает в себе принципы АОС с разомкнутой и замкнутой системами управления.

Говоря о АОС с комбинированной системой управления, можно привести слова Я. Лернера [78]: «Преимущество замкнутых систем управления состоит в том, что в них можно обеспечить достижение целей управления в условиях, когда возмущающих воздействий много и не все они могут быть измерены, а также в случаях, когда неизвестно наперед влияние возмущений на управляемые величины».

Рассмотрим достоинства и недостатки АОС с разомкнутой и замкнутой системами управления. Преимущество АОС с разомкнутой системой управления состоит в том, что управляющие воздействия изменяются в соответствии с изменением возмущающих воздействий сразу, еще до того, как возмущения успеют существенно изменить значение управляемой величины.

АОС с разомкнутой системой управления в идеале гасит любое возмущающее воздействие на правильность выполнения действий по решению задач. Данная система управления аналогична обучающему, который наблюдает за процессом решения задач и сразу же исправляет допущенные им ошибки. В данном случае управляющие воздействия изменяются в соответствии с изменением возмущающих воздействий



сразу, еще до того, как возмущения успевают существенно изменить значение управляемой величины. В процессе решения задачи такой величиной является функция процесса деятельности  $X(t)$ . Возмущающие воздействия, иначе говоря – ошибки, допускаемые обучающимся, уменьшают эту функцию. В АОС с разомкнутой системой управления вычислительный модуль видит ошибку, допускаемую обучающимся, и тут же ее сам исправляет [25].

В АОС с разомкнутой системой управления возмущающих воздействий на деятельность обучающегося много, и неизвестно наперед их влияние на управляемые величины. Поэтому компьютерная система управления должна быть замкнутой.

Совмещая преимущества АОС с разомкнутой и замкнутой системами управления, можно создать АОС с комбинированной системой управления, структура которой показана на рис. 8. Здесь в формировании сигналов управления используется как информация об основных возмущающих воздействиях, так и информация о значении управляющих величин. Алгоритм работы управляющего устройства состоит в реализации преобразования

$$U = P(Z, X, X_o). \quad (1)$$

Такой способ управления приводит к тому, что быстрая, но приближенная компенсация ошибочных действий обучающегося достигается за счет первой составляющей управляющего воздействия, зависящей от контролируемого возмущения. Точное же, постепенное управление выполняет вторая составляющая управляющего воздействия, зависящая от отклонения управляемой величины и сводящая это отклонение к допустимому значению, независимо от причин, вызвавших его появление [25].

В данной АОС одновременно присутствуют и механизм компенсации, и механизм обратной связи (рис. 8). Если обу-

чающийся не может выполнять деятельность по решению задач, то в этом случае механизм компенсации позволит ему получить решение, но его роль при этом будет минимальна. Если обучающийся ставит цель получить решение самостоятельно, то при возникновении аналогичной ситуации совершения ошибочных действий будут учтены ошибки предыдущего решения задачи. При этом количество включений механизма компенсации уменьшится. Компьютерная система управления должна учесть это достижение. Учет производится за счет увеличения величины возможного возмущения, на которое должна реагировать система управления.

Если представить, что в процессе обучения преобладает компенсаторный механизм (авторитарный стиль обучения), то обучающийся будет ограничен в самостоятельности и его собственные механизмы управления и регулирования поведением не получают должного развития. С другой стороны, когда в процессе обучения задействованы только механизмы обратной связи, процесс передачи знаний, умений и навыков может неоправданно затянуться.

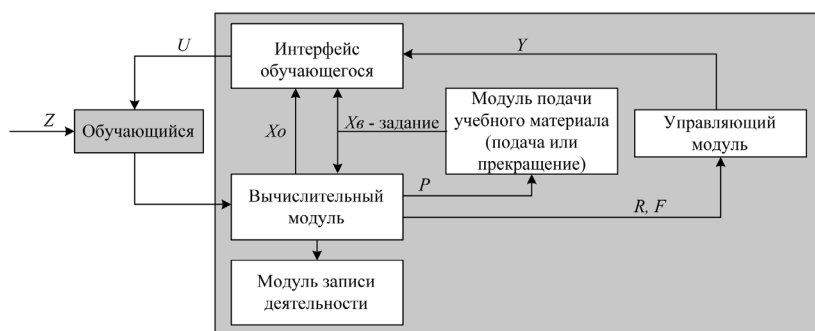


Рис. 8. АОС с комбинированной системой управления:

$Z$  – возмущение;  $U$  – управляющее воздействие;  $Y$  – управляемая величина (действия обучающегося);  $R$  – критерий оптимальности;  $F$  – функционал;  $P$  – управляющая команда на МУМ для очередной подачи учебного материала;  $X_в$  – задающее воздействие (задание);  $X_0$  – управляющее воздействие в ходе решения задания

Конечно, для тех обучающихся, у которых генетическая система управления совершенна и врожденные программы поведения достаточно многообразны, механизм обратной связи дает свободу в проявлении этих врожденных способностей. Однако для большинства людей, безусловно, требуется на первых порах комбинированная система управления с последующим постепенным переходом к АОС с замкнутой системой управления. Этот переход обусловлен достаточным уровнем развития собственной системы управления [25].

Примеров компьютерных обучающих средств с комбинированной системой управления при анализе не обнаружено. Примером такой системы служит компьютерная система управления учебной деятельностью по решению задач, рассмотренная в последующих параграфах.

Проведенный системный анализ существующих компьютерных обучающих средств показывает, что для эффективной организации процесса обучения с использованием компьютерных обучающих систем они должны иметь хорошо организованную систему обратной связи или систему компенсации (управление по отклонению). Если рассматривать процесс обучения как управление, то, следуя Н. Винеру [37], наиболее эффективно управление в тех системах, в которых действуют оба механизма управления – обратная связь и компенсатор. Большинство компьютерных обучающих средств лишены канала обратной связи либо вообще не обладают возможностями к адаптации [25]. Это высказывание подтверждает и исследование [66].

Существующие электронные средства обучения основываются на традиционных технологиях обучения, имеющих преимущественно сообщающий характер [19]. Обучающемуся сообщается порция учебного материала, затем проводится контроль того, как он усвоил этот материал (тесты, вопросы, контрольные работы и т. п.). На основе полученной информа-

ции о степени усвоения учебного материала осуществляются коррекция и формирование новой порции учебного материала. Затем все повторяется, т. е. процесс обучения носит циклический характер [153].

Рассмотрев основные типы систем автоматического управления, используем данные принципы управления для создания компьютерных систем автоматического управления по осуществлению учебной деятельности при решении задач.

## **Выводы к главе 1**

- Проведен обзор систем автоматического управления, выявлены основные принципы управления в данных системах.

- Проведен обзор автоматизированных обучающих систем, в ходе которого определены основные принципы управления в данных системах.

## **ГЛАВА 2.**

# **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ УЧЕБНО-ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ УЧАЩИХСЯ В ПРОБЛЕМНЫХ СРЕДАХ**

---

### **2.1. Психолого-педагогические основы управления учебно-познавательной деятельностью учащихся**

Управление учебно-познавательной деятельностью учащихся (УПДУ) является важной составной частью процесса обучения. Изучение характера усвоения учащимися учебного материала, оценка их знаний и умений, выявление уровня умственного развития и развития познавательных способностей – необходимая сторона процесса управления учебной деятельностью.

Важнейшими целями управления УПДУ являются не только определение качества усвоения учащимися программного материала, диагностирование и корректирование их знаний и умений, воспитание ответственности к учебной работе, но и создание для учащихся таких условий, при которых возрастает учебная мотивация.

В отечественной педагогике и психологии существуют различные психолого-педагогические концепции учебной деятельности. Они отражены в работах Л.С. Выготского, П.Я. Гальперина, В.В. Давыдова, И.И. Ильева, А.Н. Леонтьева, В.Я. Ляудиса, П.И. Пидкасистого, С.Л. Рубинштейна, Н.Ф. Талызиной, Э.Б. Эльконина и др.

Психолого-педагогические основы теории управления представлены в работах П.Я. Гальперина, Н.Ф. Талызиной и др. Дальнейшее развитие теория управления учебно-познавательной деятельностью учащихся получила в связи с применением в дидактике кибернетического подхода, методов систем искусственного интеллекта и созданием основ программированного обучения (В.П. Беспалько, Л.А. Растрингин, Т.А. Ильина, О.И. Эпштейн и др.).

На сегодняшний момент вопросы управления учебно-познавательной деятельностью учащихся по-прежнему актуальны. Это связано, во-первых, с созданием гибких педагогических технологий, не только способных адаптироваться к индивидуальным особенностям каждого учащегося, но и позволяющих активизировать адаптационные механизмы ученика (В.Б. Кудрявцев, Л.А. Растрингин и др.); во-вторых, с все более широким применением дистанционных и коллективных форм обучения (В.К. Дьяченко, Е.С. Полат, А.Р. Ривин и др.). При этом отмечается, что при управлении учебно-познавательной деятельностью учащихся целесообразно использовать информационные технологии.

Проанализировав работы этих авторов, мы отметили основные этапы управления учебно-познавательной деятельностью учащихся в процессе изучения математики в средней школе. Для анализа использовались также результаты исследований С.А. Архангельского, В.П. Беспалько, А.А. Вербицкого, Т.В. Габай, О.Е. Мальцевой, З.А. Решетовой и др.

В энциклопедическом словаре [130] дается описательное определение понятия «управление», связанное с перечислением задач.

*Управление – это функция организованных систем различной природы, обеспечивающая сохранение их определенной структуры, поддержание режима деятельности, реализацию их программ и целей.*

Это определение построено на перечислении тех функций и задач, которые стоят перед управлением. Однако список характеристических функций управления в представленном определении далеко не полный. Не сказано практически ничего об организаторской функции управления, то есть управление – не только функция, присущая организованным системам, оно само обладает организаторской функцией.

Если обратиться к точке зрения педагогов, то здесь по вопросу о том, что же такое управление, также существует несколько взглядов. Например, В.И. Сосновский и В.И. Тесленко под управлением процессом обучения подразумевают *«совокупность мер по обеспечению эффективности функционирования системы обучения на основе анализа исходного состояния учащихся и результатов их учения путем внесения корректив в программу обучения»* [132].

Н.Ф. Талызина [137] называет управлением УПДУ процесс, включающий в себя следующие этапы: 1) указание цели управления; 2) установление исходного состояния управляемого процесса; 3) выработка программы управления; 4) получение информации по определенной системе параметров о состоянии управляемого процесса (обеспечение обратной связи); 5) переработка информации в управляющем центре, выработка корректирующих воздействий и их реализация.

В.П. Беспалько в монографии [22] определяет управление УПДУ как *«целенаправленное воздействие на обучаемых, заключающееся в слежении и контроле качества усвоения элементов деятельности и коррекции ошибок»*.

Л.М. Фридман [146] считает, что любая деятельность, в том числе учебно-познавательная, состоит из следующих элементов: потребность – мотив – цель – задача – действия – операции, причем все это происходит в определенных внешних и внутренних (по отношению к субъекту деятельности) условиях. Так что условия, в которых протекает деятельность, также следует включить в ее структуру.

Рассмотрим более подробно эту структуру (рис. 9).

К определенной деятельности субъекта побуждает обычно не какой-то один мотив, а совокупность зачастую противоречивых мотивов, образующих *мотивацию* данной деятельности. Но характер этой мотивации и самой деятельности определяется наиболее значимым, доминирующим мотивом, который вызывает, определяет и направляет именно такую деятельность, а не другую. За каждым мотивом, входящим в мотивацию, стоит определенная *потребность*.

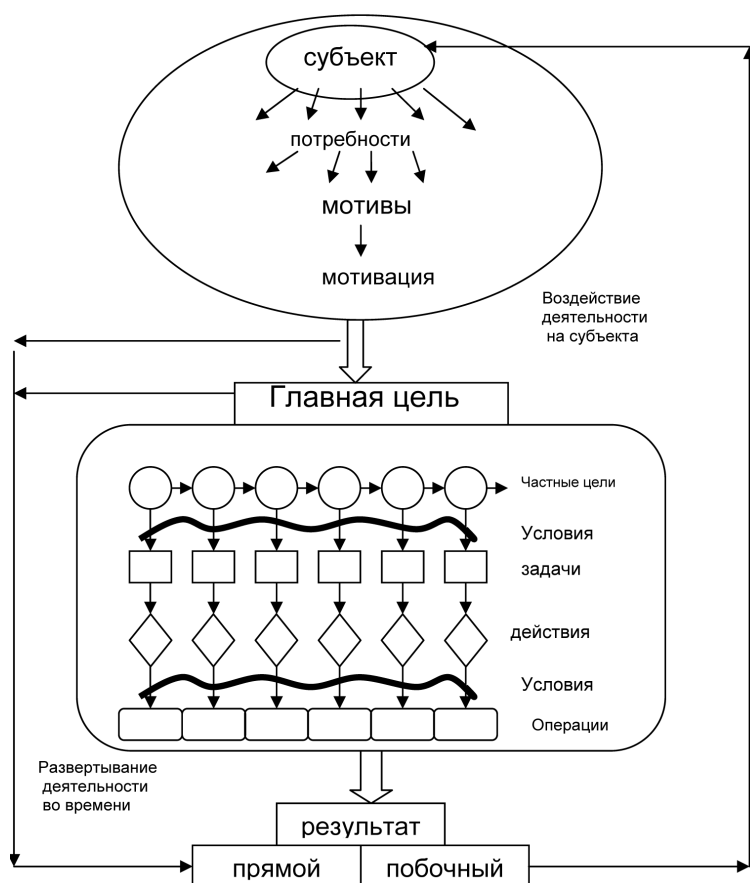


Рис. 9. Структура деятельности



Заметим, что потребность есть состояние человека, отражающее его нужду в чем-либо или в ком-либо, необходимое для существования и развития и выступающее как источник его активности. Всякие действия и поступки человека в конечном счете определяются какими-либо потребностями. К. Маркс и Ф. Энгельс указывали, что «никто не может сделать что-нибудь, не делая этого вместе с тем ради какой-либо из своих потребностей и ради органа этой потребности». Мотивация же является процессом преобразования потребностей в мотивы-побуждения к определенной деятельности. Так что мотивация – это и совокупность мотивов деятельности, и процесс преобразования потребности в мотив, вызывающий деятельность по удовлетворению этой потребности.

Если мотив, то есть то, ради чего совершается данная деятельность, субъективно может осознаваться смутно или вообще не осознаваться, то чего субъект хочет достичь в результате этой деятельности и ее отдельных действий, он, как правило, осознает. Этот предвидимый, намечаемый результат, эффект деятельности есть главная *цель*, которая, в свою очередь, разбивается, расчленяется на ряд частных целей, возникающих и удовлетворяемых по мере осуществления действий, из которых состоит данная деятельность. Но каждая частная цель может быть выполнена лишь в определенных условиях, в которых протекает в данное время деятельность. Соотнесение каждой цели с конкретными условиями ее удовлетворения образует задачи, которые возникают одна за другой по мере осуществления деятельности и которые каждый раз должен решить субъект, если он хочет добиться ожидаемого эффекта от выполняемой деятельности.

Решение каждой задачи требует от субъекта *действий*, совершаемых для осуществления соответствующей цели и проводимых в определенных условиях. В зависимости от характера действия и от особенностей условий, в которых надо выполнить это действие, субъект находит в своих сущностных

возможностях — опыте, знаниях, умениях и навыках — определенные *операции*, образующие те средства, с помощью которых осуществляется действие и выполняется намеченная цель. Как эффект применения субъектом тех или иных операций к определенным объектам, входящим в условия осуществления деятельности, возникают прямые результаты деятельности, непосредственно удовлетворяющие вызвавшую эту деятельность потребность, и побочные, состоящие в изменениях самого субъекта деятельности и его потребностей. Эти побочные результаты, как правило, не осознаются.

Модель учебной деятельности устроена так же. Отличие ее от моделей других видов деятельности лишь в специфике и содержании потребностей и мотивов, вызывающих и направляющих эту деятельность и, конечно, соответствующих этим мотивам целей, задач, действий и операций. Главное состоит в том, что целенаправленная учебная деятельность имеет прямым и главным результатом изменение самого субъекта, т. е. прямой и побочный ее результаты совпадают.

Известный отечественный психолог П.Я. Гальперин [38] делит действие по выполняемым функциям на три части: «В каждом человеческом действии есть ориентировочная, исполнительная и контрольная часть».

Ориентировочная часть направлена на установление характера предстоящего действия, операций, с помощью которых надо выполнить это действие, и условий применения этих операций. Исполнительная часть состоит в осуществлении намеченного в ориентировочной части плана действия, выполнении всех операций с соблюдением всех условий. Наконец, контрольная часть обеспечивает пооперационное слежение за ходом выполнения действия с тем, чтобы получить нужные результаты. В этой части при обнаружении расхождения между намеченными операциями и получаемыми результатами производится коррекция хода осуществления действия.

Примерно такую же функциональную структуру не только отдельного действия, но и всей деятельности, в том числе и учебной, выделяют другие авторы. Так, И. Лингарт [79] пишет: «Мы предполагаем, что в структуре учения действуют четыре внутренне связанные составляющие: мотивационная (состояние неуверенности, биологические и социальные потребности), познавательная (перцепция, мышление), исполнительная (программа деятельности, реакции и операции) и контрольная. Первые три составляющие образуют... деятельность, заключающуюся во взаимодействии между субъектом и окружающим миром; контрольная составляющая касается анализа проводимой деятельности... мобилизации внимания, чувствительности к собственным действиям, к удаче или неудаче при работе, оценки самого себя и т.п. ... Субъект, контролирующий собственную деятельность, вырабатывает для себя метаплан контрольных планов действий, в которых ключевую роль играет система текущих и результативных обратных информаций».

Если подойти к вопросу о функциональной структуре учебной деятельности с позиции ее организации, то можно предложить следующую структуру. Разумная, эффективная, оптимальная учебно-познавательная деятельность по изучению какой-либо темы (раздела) учебной программы должна состоять из трех этапов (составляющих частей, компонентов):

1. Вводно-мотивационный этап. Учащиеся должны осознать, уяснить, для чего, зачем и почему им надо изучать данную тему, каково ее значение в науке, какова история возникновения и развития тех понятий и теорий, которые им придется изучать, что именно им надо узнать и освоить, какова основная учебная задача предстоящей работы. У учащихся тем самым должны быть вызваны познавательные и учебные мотивы и интересы к предстоящей учебной деятельности. Учащиеся должны выяснить, готовы ли они к изучению учебного материала темы, какие ранее освоенные знания

и умения им особенно понадобятся при этом, что недостает и что надо восполнить для предстоящего учения. В вводно-мотивационном этапе можно выделить следующие основные учебные действия:

- осознание учащимися основной учебно-проблемной ситуации, вводящей их в предмет предстоящей работы по изучению материала данной темы;
- формулирование основной учебной задачи;
- самоконтроль и самооценка возможностей предстоящей деятельности по изучению учебного материала темы.

Конечно, все, что указано выше, есть программа-максимум данного этапа учебной деятельности. В зависимости от содержания темы, ее значимости в учебной программе, особенностей класса эта программа может быть сокращена, но в некоторых случаях расширена путем более углубленного рассмотрения отдельных учебных действий.

2. Операционально-познавательный этап. Учащиеся изучают и осваивают содержание учебной темы, овладевают предусмотренными знаниями, умениями, навыками, способами деятельности. Основная учебная задача при этом расчленяется на последовательность частных учебных задач, и весь процесс обучения на этом этапе состоит в решении принятой учебно-познавательной задачи и системы частных учебных задач.

3. Контрольно-оценочный этап. Учащиеся обобщают изученный учебный материал темы, тем самым включая его в общую систему своих знаний и умений; анализируют сделанную ими учебную работу; устанавливают, решили ли они и как принятую основную учебно-познавательную задачу, что ими не сделано или сделано не так, как надо было; что усвоено и что не усвоено и почему; чем они овладели, а чем не овладели и почему. На основе этого анализа они оценивают свою деятельность, свои успехи и неудачи, а также производят нужную корректировку сделанной работы, восполняют обнаруженные пробелы.

Контроль, оценка и учет учебной работы учащихся производятся как по ее ходу, начиная с самого ее начала и до конца, так и в форме указанного контрольно-оценочного этапа.

Заметим также, что мотивирующая деятельность проводится не только на первом, вводном, этапе, но пронизывает весь учебный процесс от начала до конца.

Важно подчеркнуть, что в правильно организованной учебно-познавательной деятельности учащихся по изучению любой темы должны присутствовать все указанные этапы. Без вводно-мотивационного этапа учебная деятельность учащихся будет слепой, неосознаваемой, она не станет их самостоятельностью, будет побуждаться и направляться главным образом внешними мотивами и, следовательно, не будет отвечать их наиболее значимым потребностям и интересам. Тем самым она не будет иметь развивающего эффекта.

Л.М. Фридман [146] отмечал: «Без контрольно-оценочного этапа, без нужного обобщения усвоенных знаний, без анализа проделанной работы, без выделения в ней использованных методов и способов, без отделения их от содержания учебного материала, без должной оценки результатов учебной деятельности (как разрешения принятых учебно-проблемных задач, так и своих приобретений на пути личностного развития и совершенствования), без необходимой коррекции выявленных у всех или у некоторых учащихся в силу разных причин пробелов и недоработок не произойдет подлинного усвоения каждым учеником содержания учебной деятельности, общих способов действия; знания при этом не превратятся в убеждения и не станут элементами формирующегося мировоззрения, ради чего, собственно говоря, и выполняется вся эта учебная деятельность».

Н.Ф. Талызина в монографии [136] предлагает для более эффективного управления изначально разрабатывать две программы: основную и корректирующую. Основная программа, по мнению Н.Ф. Талызиной, должна состояться до

начала функционирования системы управления и рассчитана на все время обучения.

Программа корректирования имеет две компоненты: долговременную, составленную до начала функционирования системы управления и с учетом основной программы, и локальную, которая вырабатывается по ходу процесса на основе анализа информации, полученной по каналу обратной связи.

Учебно-познавательная деятельность учащихся по достижению образовательных целей, поставленных основной программой изучения конкретного предмета, должна проводиться с обязательным контролем и диагностикой состояния учащихся. Таким образом, контроль знаний, умений и навыков учащихся является важной составной частью управления учебно-познавательной деятельностью учащихся. Изучение характера усвоения учащимися учебного материала, оценка их знаний и умений, выявление уровня умственного развития и развития познавательных способностей – необходимая сторона управления УПДУ. Основной целью контроля является определение качества усвоения учащимися программного материала, диагностирование и корректирование их знаний и умений, воспитание ответственности к учебной работе.

Рассмотрим наиболее значимые функции контроля:

- контролирующая – определяет исходный уровень для дальнейшего овладения знаниями, умениями и навыками, изучает глубину и степень их усвоения, сравнивает планируемое с действительными результатами, устанавливает эффективность используемых учителем методов, форм и средств обучения;

- обучающая – в процессе контроля учащиеся повторяют и закрепляют изученный материал. Они не только воспроизводят его, но и применяют знания и умения в новой ситуации, применяют определенные способы решения задач, определенные приемы учебно-познавательной деятельности.

сти. Контроль помогает учащимся выделить основное в изученном, уточнить содержание рассматриваемого вопроса. Он способствует обобщению и систематизации знаний, выработке определенных умений и навыков;

- диагностическая – состоит в получении информации об ошибках, пробелах в знаниях и умениях учащихся, а также о порождающих их причинах. Эти результаты позволяют выбрать наиболее действенный индивидуальный подход, уточнить направление дальнейшего совершенствования содержания, методов и средств обучения;

- прогностическая – служит получению опережающей информации об учебно-воспитательном процессе. Прогноз помогает уточнить особенности усвоения учащимися данного учебного материала, провести с ними достаточную подготовительную работу, а также содействует получению верных выводов для дальнейшего планирования и осуществления учебного процесса;

- развивающая – заключается в развитии творческих способностей учащихся. В процессе контроля развиваются речь, внимание, память, воображение, мышление школьников, проявляются их способности, склонности, интересы. Оказывая влияние на развитие учащихся, контроль одновременно представляет информацию об уровне этого развития;

- ориентирующая – контроль ориентирует учащихся в их затруднениях и достижениях. Вскрывая пробелы, ошибки и недочеты учащихся, проверка указывает им направления приложения сил по совершенствованию знаний и умений. Контроль помогает учащемуся лучше узнать самого себя, оценить свои знания и возможности. Он ориентирует и учителя в недочетах и достижениях его преподавания;

- воспитывающая – заключается в воспитании у учащихся ответственного отношения к учению, дисциплины, аккуратности, побуждает учащихся более серьезно и регулярно контролировать себя при выполнении заданий.

В методической литературе встречаются уточнения этих функций. Так, Н.Ф. Талызина указывает на мотивационную, учетную (констатация уровня усвоения изученного материала), подкрепления, подсказки и функцию обратной связи. В.В. Одегова рассматривает обратную связь как самостоятельное дидактическое явление. Главное назначение обратной связи – установление и поддержание динамического взаимодействия дидактических систем преподавания и учения. Она является неотъемлемым компонентом управления любых взаимодействующих систем, а в обучении реализовать обратную связь помогает контроль над процессом познавательной деятельности учащихся.

Надо отметить, что все существующие методы контроля деятельности ученика в процессе выполнения учебных заданий (включая тестовый метод) страдают тем, что для объективной оценки качества сформированности знаний и умений дают недостаточную информацию о самом процессе деятельности. На наш взгляд, это связано с отсутствием непосредственного контакта ученика с учителем и слабым контролем процесса учебной деятельности. Это приводит к недостаточной объективности этого метода контроля.

Ряд исследователей [17; 62; 63] полагают, что проблеме управления учебной деятельностью обучаемых нужно решать поэтапно и пооперационно, при этом можно отслеживать не только ошибки усвоения, но и наступающие изменения. Однако как бы часто ни делались контрольные тестовые срезы, считываемая информация характеризует статусное состояние ученика на момент тестирования. Когнитивные особенности учебной деятельности обучаемого и их изменения остаются вне контроля.

Традиционные формы проведения учебных занятий не позволяют в полной мере реализовать такой способ обучения, при котором взаимодействие учителя и ученика обеспечивалось бы на максимальном уровне. Следовательно,



для эффективного управления учебно-познавательной деятельностью учащихся необходимо использовать такие формы проведения занятий, в основе которых лежали бы *общение* между обучаемым и обучающим и их *взаимодействие*. А.В. Петровский и М.Г. Ярошевский дают следующее определение общения:

*Общение – сложный многоплановый процесс установления и развития контактов между людьми, порождаемый потребностями в совместной деятельности и включающий в себя обмен информацией, выработку совместной стратегии взаимодействия, восприятие и понимание другого человека.*

Традиционно выделяют три стороны общения:

1. Информативная – выражается в обмене информацией, ее понимании, для чего в ходе общения адресант и адресат должны использовать одну и ту же знаковую систему.

2. Интерактивная – благодаря ей происходит выработка стратегии и координация совместных действий индивидов при организации и выполнении совместной деятельности.

3. Перцептивная – означает адекватное восприятие и понимание друг друга в процессе общения.

В.К. Дьяченко форму организации обучения определяет как структуру общения между обучающими и обучаемыми, т. е. структуру общения, применяемую в учебном процессе. Следовательно, существует обучение, сущностью которого является развивающее общение (Ю.К. Бабанский).

Традиционная технология не решает задачи такой организации учебной деятельности учащихся. Сохраняются нерешенными противоречия: между необходимостью дифференциации образования и единообразием содержания и технологии обучения; между преобладающим в школе объяснительно-иллюстративным методом обучения и деятельностным характером учения, которое способствовало бы развитию ученика; между фронтальными формами обучения и индивидуальным способом усвоения знаний каждым чело-

веком, индивидуальным темпом его учебно-познавательной деятельности.

Начиная с 70-х годов и до настоящего времени учебный процесс в школе продолжает сохранять объяснительно-иллюстративный (словесно-наглядный) метод обучения: элементы объяснения происхождения знаний, иллюстрация содержания обучения. Новый подход в обучении состоит в том, что ученик должен учиться сам, а учитель – осуществлять мотивационное управление, т. е. мотивировать, координировать, контролировать, консультировать.

Поэтому перед школой стоит задача: найти такую педагогическую технологию, которая бы обеспечивала ученику развитие самостоятельности, коллективизма, умения управлять учебно-познавательной деятельностью.

## **2.2. Роль компьютерных тестов в управлении учебно-познавательной деятельностью учащихся**

В современной психолого-педагогической науке актуальной является разработка математических и информационных методов, позволяющих получать не только качественную, но и количественную информацию о процессах обучения. Педагогические тесты и технологии тестирования представляют особый интерес для современного образования. Не заменяя традиционных форм педагогического контроля, основанных на диалоге между учителем и учеником, имеющих важное значение для учебного процесса, метод тестирования предназначен для решения ряда важных задач, стоящих перед школой. Это – диагностика, контроль, прогнозирование результатов обучения; диагностика способностей; оценка эффективности образовательных технологий [157].

Педагогические тесты позволяют ввести объективные критерии оценки хода процесса обучения, дают возможность оперативно получать информацию о состоянии ученика. Результаты тестирования могут быть обработаны ма-

тематическими методами. На основе информации, полученной в процессе тестирования, преподаватель может корректировать ход учебного процесса и управлять им в соответствии с поставленными целями. Ученики, получая своевременно управляющие воздействия, могут изменять свое отношение к учебе и прилагать самостоятельные усилия для улучшения своего состояния.

Кибернетические принципы управления сложными системами достаточно интенсивно используются при анализе проблем управления процессом учебно-познавательной деятельности [17; 36; 37; 78]. В основном это происходит на качественном, идейном уровне. В то же время кибернетика как наука об управлении является точной наукой и оперирует достаточно развитым математическим аппаратом. Мы рассматриваем педагогические компьютерные тесты как средство педагогической технологии, обеспечивающее ее гибкость и функциональность. Данное средство дает знание не только о качественной стороне управления учебным процессом, но и количественную информацию. Оно позволяет получать объективные данные о таких важных характеристиках, как скорость обучаемости ученика алгоритмам решения стандартных задач по математике, о характерных временах выполнения логических операций, о взаимодействии учащихся между собой и с учителем в процессе решения задачи. Компьютерные тесты открывают возможности для диагностики процесса деятельности по достижению учебных целей, при этом записываются временные ряды промежуточных событий и фиксируется образование синергий [129] у ученика.

Согласно В.П. Беспалько, педагогическая технология определяется как *реализуемый на практике проект определенной педагогической системы, включающей в себя систему методов, форм, средств организации учебно-познавательной деятельности*. На наш взгляд, данное определение можно дополнить фразой *«включающей в себя компьютерные мето-*

*ды измерения параметров процесса учебно-познавательной деятельности учащихся».*

Эффективность педагогической технологии определяется тем, какие средства и методы управления учебно-познавательной деятельностью учащихся в ней используются. Многие исследователи [4; 49; 77; 132; 140; 141; 157] считают одним из наиболее действенных средств управления УПДУ педагогический тест, и в частности – динамические компьютерные тесты-тренажеры как в обычном, так и в сетевом варианте.

Возвращаясь к структуре УПДУ, отметим, что в контексте нашего исследования мы будем рассматривать три этапа: вводно-мотивационный, операционально-познавательный и контрольно-оценочный. Это обусловлено спецификой разрабатываемых нами динамических компьютерных тестов-тренажеров. Во-первых, динамические компьютерные тесты устроены так, что учитель конструирует или компьютер генерирует задания, то есть формулирует перед учеником цель. Во-вторых, для выполнения задания компьютер предлагает ученику виртуальные объекты, с которыми последний может производить действия. В-третьих, система действий, осуществляемых учеником для достижения цели, образует временной ряд событий, который записывается в память компьютера.

Вводно-мотивационная часть действий отражается в величине промежутка времени, затрачиваемого учеником на обдумывание действия. Операциональная часть действия выражается в применении тех или иных управляющих кнопок. Контрольно-оценочный этап работы ученика с динамическими компьютерными тестовыми заданиями основан на специальной программе, которая обрабатывает каждое действие ученика, накапливает, хранит и сообщает ему информацию о правильности или неправильности выполненного действия.

Разрабатывая динамические компьютерные тесты, мы столкнулись с необходимостью исследовать вопросы, касающиеся всех этапов деятельности ученика. Описанные виды деятельности, управление которыми, на наш взгляд, может быть смоделировано и реализовано в динамических тестах, образуют соответствующую структуру, встроенную в процесс УПДУ. Эта структура отражена в табл. 1.

*Таблица 1*

### **Структура моделируемых уровней деятельности**

Уровень деятельности	Характеристика	Вид деятельности
1	2	3
<b>I</b> Аналитически-созерцательный	Генерируется задание, т. е. задаются цель и ситуация. Затем оно выполняется в демонстрационном режиме или сообщается конечный результат деятельности. Задача ученика – провести анализ действий по выполненному компьютером заданию. Из решения ученик должен определить неизвестные параметры задачи	Репродуктивная аналитическая деятельность. Носит характер узнавания ситуации. Есть неявная подсказка в демонстрации действий, могут быть подсказки при определении параметров задачи
<b>II</b> Алгоритмический	Генерируется задание, т. е. задаются цель, ситуация. Ученик должен применить ранее усвоенные действия для конструирования решения. Подсказка варьируется коэффициентом обратной связи в зависимости от степени усвоения алгоритма. По мере формирования умений и навыков коэффициент обратной связи стремится к нулю	Репродуктивная деятельность по памяти или действие в типовой ситуации. Действие протекает при наличии обратной информационной связи. Цель репродуктивной деятельности – сформировать умения и навыки по выполнению алгоритма

1	2	3
III Эвристический	Генерируется задание, но не ясна ситуация, в которой цель может быть достигнута. Ученик должен дополнить (уточнить) ситуацию и применить ранее усвоенные знания для решения задачи	Продуктивная деятельность: применение усвоенных знаний в новой, нестандартной ситуации или преобразование

На каждом этапе обучения учащихся алгебре мы определяем конкретные цели формирования элементов деятельности и проверяем их достижение с помощью специальной системы динамических компьютерных тестов-тренажеров.

В настоящее время при решении проблем управления учебным процессом широко применяют компьютерную технику. Однако характер применяемых средств представляет собой переложение имеющихся традиционных «бумажных» технологий хранения, обработки и передачи информации, необходимой для принятия управленческих решений, в электронный вид. Поэтому в ряде работ [30; 62; 164] возникают мысли о возможности создания адаптивных компьютерных систем обучения. Такие системы подразумевают компьютерное управление учебным процессом, которое индивидуализирует этот процесс, создавая образовательную траекторию для каждого учащегося в зависимости от его потенциальных способностей, текущих достижений и с учетом его психофизиологических особенностей.

В широком смысле, управление учебно-познавательной деятельностью является необходимым элементом адаптивной педагогической технологии. Теоретическую основу теории управления учебно-познавательной деятельностью составляют основные положения кибернетики [3], спроецированные на процесс обучения. Большинство существующих методов контроля деятельности ученика в процессе выпол-

нения учебных заданий (включая тестовый метод) страдают тем, что для объективной оценки качества сформированности знаний и умений дают недостаточную информацию о самом процессе деятельности. В работе [35] указывается, что это является нерешенной проблемой и для тестового контроля: «...итоговая оценка представляет собой статистическую абстракцию и не характеризует какую-то определенную когнитивную способность» [35: 158].

По мнению Е.В. Ларикова [77], тестовый контроль, особенно в его классическом закрытом варианте, характеризует скорее типы решаемых задач, а не деятельность решающего задачу. Компьютерный вариант тестирования при сохранении характера тестовых заданий позволяет автоматизировать проведение и обработку результатов тестирования. Однако проблема получения информации о процессе учебной деятельности обучаемого при этом остается нерешенной. Несмотря на это, тест в настоящее время является наиболее приемлемой по многим параметрам формой контроля знаний и умений учащихся как на промежуточных этапах обучения, так и при подведении итогов реализации программы обучения. Эффективность программы в целом оценивается по результатам итогового тестирования.

Традиционные методы проверки и оценки знаний учащихся содержат как субъективный, так и объективный моменты. Необъективность оценки в процессе проверки знаний может быть порождена не только субъективными качествами преподавателя, но и объективными условиями – структурными и качественными особенностями системы контрольных заданий. В ряде работ [20; 106] указывается на ряд причин необъективности учета знаний:

- отсутствие четко разработанных критериев проверки и оценки знаний учащихся;
- различное понимание важности и педагогической ценности тех или иных вопросов программы;

- различная оценка степени трудности изучаемого материала;

- отсутствие четко разработанных принципов составления системы контрольных заданий.

Отмеченные недостатки традиционных методов текущего контроля знаний заставляют исследователей обращаться к поиску более эффективных средств фиксации уровня приобретаемых знаний. Среди них наибольший интерес представляют тестовые задания, которые более всего отвечают объективному подходу к проблеме измерения знаний. По мнению В.С. Аванесова, тестовый контроль определяется как педагогическая деятельность по измерению уровня усвоения и качественной оценке структуры предметных и учебных действий. Основные функции тестового контроля – диагностическая, обучающая и организующая.

М.Б. Шашкина [154] в качестве целей тестового контроля знаний выделяет:

- объективную оценку учебных достижений;

- получение оперативной информации об уровне усвоения каждого вида деятельности (например, математической, учебной);

- технологически эффективную оценку результатов образования и самообразования.

Учитывая особенности динамических компьютерных тестов, Е.В. Лариков считает, что к этим целям можно добавить цель, состоящую в предоставлении динамическими компьютерными тестами-тренажерами информации об особенностях когнитивных процессов в деятельности учащихся, измерении скорости обучения учеников.

Тестовый контроль знаний является одной из компонент системы управления УПДУ и организуется согласно следующим принципам: соответствия целям и задачам УПДУ; диагностичности; объективности; систематичности; научно-



сти и технологичности. Одним из средств, обеспечивающих технологичность тестового контроля, являются компьютерные программы, моделирующие как проблемную среду, так и процесс деятельности ученика и учителя; программы, записывающие и хранящие информацию как о достижениях, так и о процессе деятельности ученика и учителя с разверткой временного ряда событий, а также информацию о взаимодействии участников тестирования.

В классических закрытых тестовых заданиях деятельность ученика по их выполнению скрыта, фиксируется только конечный результат. Следовательно, предмет измерения в таких тестовых заданиях, как указывается в работе [154], имеет «нематериальную» природу. Более того, ученик играет роль черного ящика, на вход которого подается формулировка задания, а на выходе учитель имеет результат выполнения задания [36]. Вся деятельность по достижению цели – получению ответа – остается за «кадром» и не доступна не только для измерений, но и для фиксации. Предложение В.С. Аванесова проводить операциональный анализ аспектов деятельности путем выделения так называемых индикаторов, с помощью которых проверяется усвоение элементов УПДУ, не решает проблему отслеживания когнитивного процесса деятельности обучающегося, так как не позволяет «раскрыть» черный ящик.

В качестве инструмента, позволяющего проводить педагогические измерения, в большинстве работ предлагают использовать педагогический тест, однако он, по мнению Е.В. Ларикова, дает информацию скорее качественную, чем количественную, об уровне знаний обучающихся и не позволяет получать информацию о динамике процесса мыслительной деятельности. Такая информация должна быть представлена временным рядом событий, каждое из которых представляет собой элемент деятельности – действие. В разрабо-

таных Е.В. Лариковым динамических тестах компьютерная система ведет слежение за процессом деятельности ученика, записывая все его действия в протокол. Однако учитель может увидеть и проанализировать деятельность ученика только после окончания тестирования и, следовательно, не может оказывать на него управляющие воздействия. В качестве методологической основы для разработки тестовых заданий используется уровневый подход к усвоению деятельности, предложенный В.П. Беспалько. Согласно ему различают тесты четырех уровней деятельности.

*Тесты первого уровня* в соответствии с понятием первого уровня усвоения должны проверять качество узнавания учащимся ранее изученного учебного материала. Это тесты на узнавание. Они содержат одновременно и задание, и ответ, а от учащегося требуется узнать их соответствие. По форме различают три типа тестов первого уровня: опознание, различение и классификация.

*Тестами второго уровня* усвоения проверяется умение учащегося воспроизводить усвоенную информацию по памяти, без внешней подсказки и решать на этой основе типовые задачи. Типовой задачей считается такая задача, условия которой допускают непосредственное применение усвоенных алгоритмов, правил или формул для ее разрешения. Различают три разновидности тестов второго уровня: тесты-подстановки, тесты конструктивные и типовые задачи.

*Тесты третьего уровня* – это нетиповые задачи, которые требуют от учащегося эвристической деятельности, то есть преобразования исходных условий и часто поиска дополнительных данных для подведения задачи под типовой алгоритм.

*Тесты четвертого уровня* – это проблемы, никем ранее не исследованные и решение которых никому не известно, поскольку его просто нет. Эти тесты не имеют эталона

по причине их проблемности. В качестве заместителя эталона могут быть использованы мнение компетентных независимых экспертов или проверка решения независимым экспертом.

Процесс обучения, с точки зрения уровневого подхода, можно рассматривать как продвижение ученика по иерархии уровней УПДУ. Соответственно этой иерархии для контроля, диагностики, обучения и прогнозирования необходимо иметь пакеты многоуровневых тестов. Разработка тестов включает в себя не только формулировку заданий, но и создание эталона – полного и правильного выполнения заданной деятельности по всем операциям с указанием среди них существенных. Существенная операция теста – это та операция, которая непосредственно отражает цель проверочной процедуры. Это единица педагогического теста, позволяющая провести обработку результатов тестирования и вывести количественную оценку. Обозначим число существенных операций в тесте  $k$ , а количество существенных операций, выполненных учеником правильно, –  $r$ . Тогда коэффициент усвоения  $K = \frac{r}{k}$ . При  $K > 0,7$  деятельность на данном уровне, следуя В.П. Беспалько, будем считать усвоенной.

Автор диссертационного исследования [154] полагает, что предложенная В.П. Беспалько концепция уровневого подхода позволяет преодолеть разрыв между знаниями и умениями. Совершенно верно, на наш взгляд, М.Б. Шашкина считает, что закрытые тесты фиксируют результат выполнения тестового задания. Поэтому для диагностики индивидуальных особенностей выполнения заданий обучаемыми она предлагает использовать открытые тестовые задания. Субъективность оценки выполнения открытых тестовых заданий преодолевается с помощью анализа существенных операций. В закрытых тестовых заданиях количество существенных операций равно количеству предложенных вариан-

тов ответа. В открытых тестовых заданиях это число определяется экспертами.

В динамических компьютерных тестовых заданиях, или далее – компьютерных проблемных средах, предложенных в настоящем исследовании, количество существенных операций определяется как число, равное числу действий. В конкретном задании ученик должен выполнить некоторое оптимальное количество операций, представляющее некоторую комбинацию из вышеперечисленных видов операций и приводящее к правильному ответу.

Большинство существующих тестов изначально создается в «бумажном» варианте. Компьютерное тестирование заключается в том, что «бумажные» тесты переводят в электронный вид. С помощью специальных программ-оболочек организуют подачу информации о заданиях и о предполагаемых ответах на экран дисплея компьютера и, соответственно, автоматическую обработку результатов тестирования обучающихся [28; 63; 82].

Предлагаемые нами проблемные среды не могут быть представлены в «бумажном» варианте. Это обусловлено тем, что предлагаемые нами тестовые задания формируются компьютерной моделью и являются результатом разработанной программы. Таким образом, в основе проблемных сред лежит компьютерная модель предметной области знаний, которая представляет собой виртуальный «мир» объектов предметной области. Ученик (их может быть несколько), выполняя задание-проблему, осуществляет деятельность, связанную с преобразованием объектов. Например, если в качестве предметной области взять курс школьной алгебры, то в роли объектов могут выступать точки, прямые линии, графики функций. Виртуальным пространством, в котором эти объекты можно преобразовывать, является координатная плоскость (координатная сетка). Допол-

нительными объектами могут служить разнообразные подсказки (расстояние до цели, текстовое сообщение, теоретический материал и др.).

Компьютерные проблемные среды имеют существенные отличия по сравнению с обычными тестовыми заданиями. Наличие их позволяет проводить измерения таких параметров деятельности учеников, которые не доступны стандартным тестовым заданиям. Однако их универсальность приводит к достаточно резкому сужению областей знаний, в рамках которых возможно создание таких систем. Это связано с тем, что в проблемных средах обучаемый проходит испытание (решает проблему в определенной предметной области), осуществляя предметную деятельность (то, что предметы или объекты виртуальны, не меняет существа дела). Стандартные тестовые задания лишены этих ограничений. Практически для любой области знаний возможно создание стандартных тестов как для предметной, так и для чисто мыслительной деятельности.

Проблемные среды позволяют в рамках определенных видов предметной деятельности получать достаточную информацию не только об уровне сформированности знаний, умений и навыков, но и о процессе выполнения деятельности. Они дают возможность управлять этим процессом в реальном времени с помощью механизмов обратной связи и саморегуляции.

Обратная связь дает возможность учащемуся сделать осознанный вывод об успешности или ошибочности выполненных им учебных действий. Она является стимулом к дальнейшим усилиям [19]. Различают несколько видов обратной связи. Укажем два из них: консультирующая и результативная.

Под консультирующей обратной связью понимают всевозможные способы подсказки, намека, показа путей,

методов, средств, необходимых для выполнения действий, предложенных в задании.

Консультирующая обратная связь – необязательная потребность каждого шага динамического тестирования. Но в тех случаях, когда задания слишком необычны, трудны или ученик сделал много неправильных действий, она помогает ему в работе и избавляет педагога при использовании коллективных форм обучения от индивидуальных консультаций. Таким образом, использование консультирующей обратной связи осуществляется учителем (или учеником, играющим его роль) на основе его наблюдений за учебной деятельностью учащихся.

Результативная обратная связь дает представление учащемуся о конечном результате, ее принадлежность каждому заданию совершенно обязательна. В разработанных нами сетевых динамических тестах результативная обратная связь целиком возложена на компьютер.

Решение проблемы создания адаптационных тестов обычно связывают с проблемой разработки системы взаимосвязанных тестовых заданий, которая подстраивается под индивидуальные особенности тестируемого. В этой системе последующее задание зависит от результата выполнения предыдущего задания. По сути, стандартный адаптационный тест должен содержать такое множество заданий, на котором каждый испытуемый при тестировании мог сделать свою выборку заданий, то есть пройти «траекторию», характеризующую его индивидуальность.

В разработанных Е.В. Лариковым, П.П. Дьячуком, С.В. Бортновским, И.В. Шадриним, Ю.С. Николаевой проблемных средах управление процессом тестирования происходит посредством иерархической структуры петель обратной связи, в реальном времени. На наш взгляд, такая организация управления УПДУ оптимальна.

### 2.3. Постановка задачи управления учебной деятельностью по решению задач в проблемных средах

Рассмотрим управление процессом научения решению задач с точки зрения кибернетики, являющейся наукой об управлении, связи и переработке информации [11; 67; 94; 115; 155; 161]. Любая кибернетическая система представляет собой множество взаимосвязанных объектов (элементов системы), которые могут воспринимать, запоминать и перерабатывать информацию, а также обмениваться ею [11; 67; 111; 119; 120; 121].

Существующие на сегодняшний день адаптивные компьютерные обучающие системы решают стандартную задачу обучения, которая [39; 119; 144] «состоит обычно в том, чтобы обучаемый наилучшим образом запомнил определенные порции информации  $U \dots$ ».

Эффективность адаптивного обучения зависит от алгоритма обучения  $Q$  и индивидуальных свойств обучаемого  $\omega(t)$  как объекта:

$$Q = Q(U, \omega(t)). \quad (2)$$

Понятно, что индивидуальные особенности обучаемых априори неизвестны обучающему. Для решения данной проблемы требуется сделать процесс обучения адаптивным, т. е. приспособляющимся к индивидуальным особенностям обучаемого, требуется решать проблему идентификации свойств личности – нахождение подходящей модели обучаемого. Для этого необходимо решение задачи адаптации: нахождение той индивидуальной оптимальной порции учебного материала, которая необходима для эффективного обучения:

$$Q(U, \omega(t)) \rightarrow \min_U \rightarrow U_{\omega(t)}^*, \quad (3)$$

где  $U_{\omega(t)}^*$  – оптимальная порция учебного материала, зависящая от индивидуальных особенностей  $\omega(t)$  ученика. В ка-

честве эффективности обучения  $Q$  может выступать число порций учебного материала, охватывающих раздел, тему, курс предмета, время обучения и т. п. [119; 120; 144].

В управлении процессом обучения в адаптивных системах присутствует обратная связь. За каждой порцией  $U_{\omega(t)}^*$  учебного материала, предоставляемой обучаемому, следует проверка (контроль) усвоения данной информации, затем корректировка дальнейших управляющих воздействий, в зависимости от модели обучаемого, его индивидуальных особенностей. Затем все повторяется.

Анализ исследований, посвященных адаптивным обучающим системам, показывает, что они не учитывают то, что обучаемые являются субъектами и обладают собственными адаптационными механизмами. Как правило, это проявляется в учебной деятельности при научении решению задач, которая изначально предполагает учет активности обучающегося. Научение решению задач является целенаправленной деятельностью, связанной не только с решением конкретной задачи, но и с процессом саморазвития и самоорганизации структуры системы действий обучающегося [153]. Учебную деятельность можно рассматривать с позиции процесса развития, так как с ней связано продуцирование новой информации, полученной в результате опыта взаимодействия обучающегося с проблемной средой [58].

*Проблемная среда – это совокупность условий, обеспечивающих деятельность обучающегося по научению решению задач.*

В качестве таковых можно выделить:

а) наличие множества возможных действий или операций, необходимых обучающемуся для выполнения деятельности по решению задач;

б) возможность совершать и исправлять ошибки как в процессе решения текущей задачи, так и при решении последующих задач;



в) реакции проблемной среды на действия, дающие информацию, позволяющую обучающемуся доводить решение задачи до ответа;

г) у обучающегося должна быть информация, которая позволяла бы ему понять, что решение очередной задачи является тактической целью на пути к достижению стратегической цели, состоящей в научении безошибочному выполнению действий по решению задач данного типа [58];

д) наличие датчиков «Расстояние до цели» и «Уровни», которые позволяют обучающемуся получать информацию о достижении целевого состояния при решении текущей задачи и информацию о значении функции ценности состояния, определяющей уровень успешности обучающегося.

Состояние обучающегося задается структурой системы его учебных действий. Поэтому система управления учебной деятельностью призвана целенаправленно воздействовать на структуру системы действий обучающегося при научении решению задач и должна удовлетворять двум основным условиям: во-первых, управляющие воздействия должны быть направлены на формирование такого поведения обучающегося, которое позволяет получать решение задачи; во-вторых, взаимодействие обучающегося и управляющего центра должно носить характер *взаимосодействия* в достижении безошибочного решения задач [58, с. 118].

В результате взаимодействия обучающегося с проблемной средой в процессе научения его состояние меняется. Пусть  $X$  – состояние проблемной среды, а  $Y$  – действие обучающегося в проблемной среде. Тогда действия обучающегося можно представить как функцию  $F_0$  структуры системы действий  $S(Y)$  и получаемой информации от проблемной среды:

$$Y = F_0(X, S(Y)), \quad (4)$$

$F_0$  – неизвестный оператор связи входа  $X$  и выхода  $Y$  обучающегося,  $X$  – информация, поступающая к обучающемуся

от проблемной среды,  $S(Y)$  – структура системы действий обучающегося,  $Y$  – действия обучающегося, характеризующие специфику его деятельности в проблемной среде.

Если структура системы действий обучающегося позволяет ему безошибочно решать задачи, то тогда внешнее управление не требуется. В случае допущения ошибок при решении задач система управления должна организовать такие воздействия, которые содействовали бы переходу обучающегося в состояние с более совершенной структурой системы действий.

Система управления всегда формирует цели управления, которые могут совпадать с целями обучающегося, воспринимающего проблемную среду как набор параметров, определенных тематикой задачи. Со стороны системы управления целевые требования  $Z^*$  представляют собой набор таких требований к структуре действий обучающегося, которые приведут к удовлетворению его потребностей в решении задачи.

Обозначим выполнение целевых требований  $Z^*$  к структуре системы действий обучающегося в виде равенства:

$$S = Z^*, \quad (5)$$

а невыполнение – неравенством:

$$S \neq Z^*. \quad (6)$$

В последнем случае целевые требования не реализуются, т.к. структура системы действий обучающегося не приводит к решению задачи.

Структура системы действий определяется типом задачи, областью задачи и предметной областью. В зависимости от этого формируется набор доступных действий, которыми может оперировать обучающийся при решении задач.

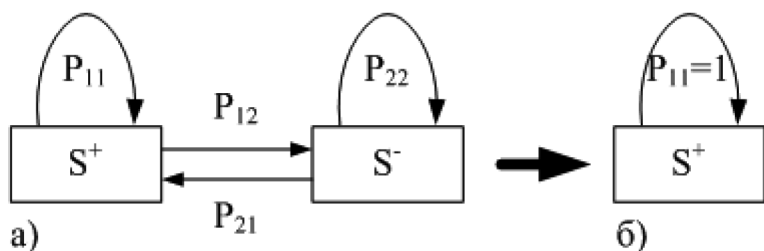


Рис. 10. Структура системы действий обучающегося:  
а) в начальном состоянии; б) в конечном состоянии

В общем случае структура системы действий, совершаемых обучающимся, имеет сложный вид из-за различного содержания действий и порядка их выполнения. Однако если учитывать только синтаксическое значение данных о действиях обучающегося, то множество действий, совершаемых обучающимся, можно разделить на два подмножества: подмножество правильных действий (обозначим «1») и подмножество неправильных действий (обозначим «0»). Начальное состояние структуры системы действий представляет собой объединенное множество правильных и неправильных действий  $\{S\} = \{S^+\} \cup \{S^-\}$  и изображено в виде графа состояний на рис. 10 а. Целевое состояние структуры системы действий  $S^* = \{S^+\}$  представлено на рис. 10 б.

$\{S^+\}$  – множество правильных действий, совершенных обучающимся.

$\{S^-\}$  – множество неправильных действий, совершенных обучающимся.

Соответствующие вероятности перехода  $P_{11}$ ,  $P_{12}$ ,  $P_{21}$ ,  $P_{22}$  отвечают условиям:  $P_{11} + P_{12} = 1$ ,  $P_{21} + P_{22} = 1$ . Начальная структура системы действий не удовлетворяет целевым требованиям (формула 5) и приводит обучающегося к внутреннему дисбалансу или конфликту, т. е. обучающийся с его структурой действий не может безошибочно решить задачу. Предметом конфликта является потребность обучающе-

гося в решении задач, а причиной – несовершенство структуры системы действий, мешающее ему достигнуть поставленной цели.

Для снятия структурного дисбаланса система управления должна с помощью управляющих действий обеспечивать положительную обратную связь с подмножеством правильных действий и отрицательную обратную связь с подмножеством неправильных действий. При этом между множествами  $\{S^+\}$  и  $\{S^-\}$  также возникает отрицательная обратная связь, обусловленная тем, что обучающийся негативно относится к своим неправильным действиям и стремится больше их не совершать.

Прежде чем реализовать алгоритм управления, необходимо сформулировать цели управления. Они могут быть разными, но по форме должны быть унифицированы.

Рассмотрим согласно [119] унифицированный вид целей.

1.  $Z_i^*$  – целевое требование «равенство».  $\varphi_i(S) = a_i$ . Если за  $a_i$  обозначить обязательное знание, то в этом случае данная величина обозначает обязательное решение задачи до конца.

2.  $Z_j^*$  – целевое требование «неравенство».  $\varphi_j(S) \geq b_j$ . За  $b_j$  обозначим порог, при котором данная величина  $Z_j^*$  должна быть обязательно больше либо равна этой величине порога. С помощью данного требования можно ограничивать такие параметры, как объем выполняемых работ, совершаемых обучающимся при решении задачи в проблемной среде.

3.  $Z_v^*$  – целевое требование «минимизация».  $\varphi_v(S) \rightarrow \min$ . С помощью данного целевого требования можно минимизировать объемы работ обучающегося, а также время работы.

Если цели управления не сведены к таким формам, то нельзя говорить о создании формализованной системы управления для достижения заданных целей обучающимся.

Система управления добивается такой структуры систе-

мы действий обучающегося, при которой бы выполнялись следующие целевые требования:

$$Z^* : \begin{cases} \varphi_i(S) = a_i & (i = 1, \dots, k_1); \\ \varphi_j(S) \geq b_j & (j = k_1 + 1, \dots, k_1 + k_2); \\ \varphi_v(S) \rightarrow \min & (v = k_1 + k_2 + 1, \dots, k_1 + k_2 + k_3). \end{cases} \quad (7)$$

Первое целевое требование означает, что задача должна быть всегда решена. При выполнении первого требования обучающемуся может отводиться определенное количество объема работ, которым он может располагать при решении задачи, тем самым выполняется второе целевое требование. Для выполнения третьего целевого требования необходимо решение задачи до конца (первое требование), и объем работ при этом должен быть минимальным, т. е. все действия правильные.

Удастся ли обучающемуся достичь целевых требований, зависит от него самого и алгоритма системы управления.

Для реализации управления необходимо создать такое управляющее действие системы  $U$ , с помощью которого можно влиять на структуру системы действий обучающегося:

$$Y = F_0(X, S(Y), U), \quad (8)$$

где  $F_0$  — по-прежнему оператор работы обучающегося, но учитывающий наличие фактора управления  $U$ . После определения целевых требований и алгоритма управления можно создавать *систему управления*, под которой будем понимать совокупность алгоритмов обработки информации и средств их реализации, объединенных для достижения заданных целей управления деятельностью обучающегося.

Управление необходимо для того, чтобы:

1. Добиться поставленных целевых требований  $Z^*$ .
2. Компенсировать изменения в проблемной среде, нарушающие выполнение целевых требований  $Z^*$ .

Определим этапы управления деятельностью обучающегося:

1. Изучение структуры системы действий обучающегося при решении задачи. Получая данные о действиях обучающегося, в зависимости от текущего состояния структуры системы действий, система управления определяет параметры управляющих воздействий.

2. Определение параметров управления. В зависимости от структуры системы действий обучающегося система управления определяет содержание и количественные параметры управляющих воздействий, которые осуществляются через систему датчиков.

3. Реализация управления. После определения характеристик деятельности и параметров управляющих воздействий необходимо организовать деятельность обучающегося по поиску решения поставленной задачи. Для этого в системе управления имеется информация о рассогласовании текущего и целевого состояний. Для удаления данного рассогласования система управления вырабатывает такие управляющие воздействия, которые при правильных действиях обучающегося дают положительное подкрепление, а при неправильных – отрицательное.

Система управления учебной деятельностью, получая на входе информацию о среде  $X$ , о структуре системы действий обучающегося  $S(Y)$ , цели  $Z^*$ , располагая ресурсами  $R$  (время или объем работ, отводимый на научение, количество заданий и т. д.), должна выдать на выходе информацию об управлении  $U$ , с помощью которого возможно достижение целевых требований  $Z^*$ , т. е. искомого состояния структуры системы действий обучающегося  $S^*$  в рамках ресурсов  $R$ , т. е.

$$\langle X, S(Y), Z^*, R \rangle \rightarrow U^* \rightarrow S^*. \quad (9)$$

Алгоритм управления  $\varphi$  призван решить эту задачу:

$$U^* = \varphi(X, S(Y), Z^*, R), \quad (10)$$

где  $\varphi$  является оператором, перерабатывающим исходную информацию в управление.

Ограничение ресурсов (времени обучения и объемов работ) существенно влияет на поведение обучающихся, поэтому в дальнейшем будет рассмотрен вопрос о создании таких систем.

Задачу разработки системы управления или синтеза оператора  $\phi$  разобьем на две:

1. Изучение структуры системы действий обучающегося, в данном случае являющегося объектом управления. Требуется найти характер зависимости  $F$ , состояния действий объекта  $Y$ , от его наблюдаемых входов неуправляемого  $X$ , структуры системы действий  $S(Y)$  и управляемого  $U$ :

$$Y = F(X, S(Y), U). \quad (11)$$

2. Синтез управления с помощью найденного характера зависимости  $F$ . В простейшем случае этого можно достичь, решая задачу управления:

$$Q(U, S_i) \rightarrow \min_U \Rightarrow U_{S_i}^*, \quad (12)$$

где  $U_{S_i}^*$  – оптимальные управляющие воздействия, определяемые для структуры системы действий  $S_i$  для множества управлений  $U$ . Алгоритм управления  $Q$  состоит в управлении структурой системы действий обучающегося так, чтобы его действия принадлежали бы только множеству правильных действий. Структура системы действий формируется в результате решения обучающимся задачи самоорганизации учебной деятельности:

$$Q(U, S_i) \rightarrow \min_{S_i} \Rightarrow S_U^*, \quad (13)$$

где  $S_U^*$  – оптимальная структура системы действий обучающегося, принадлежащая множеству правильных действий, при заданных управляющих воздействиях  $U$ .

Множество допустимых управлений определяется выделенными ресурсами  $R$ , а искомое состояние структуры системы действий обучающегося  $S^*$  – заданными целевыми требованиями  $Z^*$ .

Системе управления сообщаются целевые требования  $Z^*$  и выделенные для этого ресурсы  $R$ , которыми она располагает для управления процессом научения. Задача системы заключается в том, чтобы организовать такие управляющие воздействия  $U$ , которые содействуют изменению структуры системы действий обучающегося таким образом, чтобы выполнялись поставленные цели  $Z^*$ .

На рис. 11 приведена блок-схема структуры деятельности обучающегося, где  $\{S^+\}$  и  $\{S^-\}$  – множество правильных и неправильных действий. При использовании канала обратной связи создаются мотивационные управляющие воздействия  $U_v = U_1 + U_2$  [102].

$U_1$  – дает оценку эффективности деятельности обучающегося при решении задач, сообщает о его достижениях.

$U_2$  – включает в себя два типа управляющих воздействий: поддерживает правильные  $U(Y^+)$  и подавляет неправильные  $U(Y^-)$  действия обучающегося. Пунктиром обозначена отрицательная обратная связь. Компоненты  $U_v$  определяют информацию, используемую обучающимся при принятии решений о совершении действий [58].

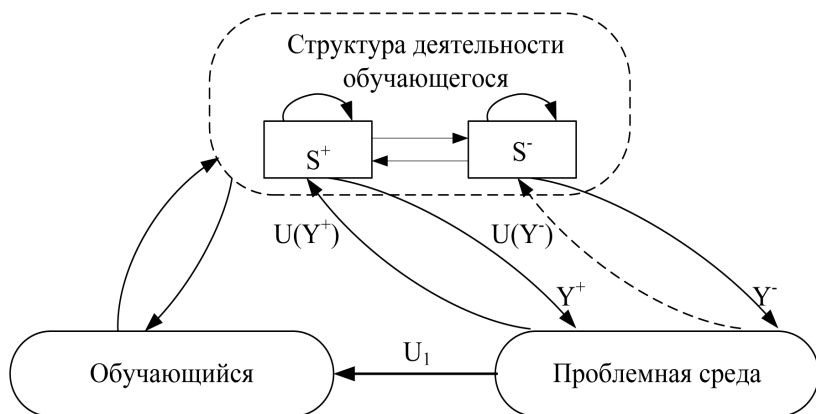


Рис. 11. Структурная схема управления деятельностью обучающегося



Главным отличием предлагаемых систем управления является то, что обучающийся присутствует в контуре управления, т. е. осуществляет процесс саморазвития своей деятельности. В существующих адаптивных системах обучающийся исключен из контура управления, что не позволяет ему участвовать в процессе управления собственной деятельностью. В отличие от существующих адаптивных систем управления процессом обучения, предлагаемая система управления способствует деятельности обучающегося в проблемной среде, поддерживая саморазвитие деятельности в условиях неопределенности проблемной среды. Это принципиальное отличие предлагаемой модели системы управления и диагностики от адаптивных классических моделей. Управление деятельностью реализуется посредством мотивационных, информационных и «институциональных» управлений [58; 104], действующих процессу саморазвития обучающегося.

## **Выводы к главе 2**

– Поставлена задача управления учебной деятельностью обучающихся в проблемных средах. Рассмотрена задача управления адаптацией системы управления к обучающемуся и поставлена задача управления адаптацией обучающегося к проблемной среде задачи.

– Показано основное отличие существующих адаптивных систем от предлагаемых в данном исследовании, которые способствуют саморазвитию учебной деятельности обучающегося в условиях неопределенности проблемной среды.

## ГЛАВА 3.

# КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ

---

### 3.1. Системы автоматического управления учебной деятельностью

«Задача обучения может быть естественным образом сформулирована как задача управления. В этом случае ученик выступает в качестве объекта управления, а учитель или обучающее устройство – в качестве источника управления. Очевидно, что такого рода объект управления является сложным объектом и к его управлению применимы все известные принципы управления сложным объектом» [119].

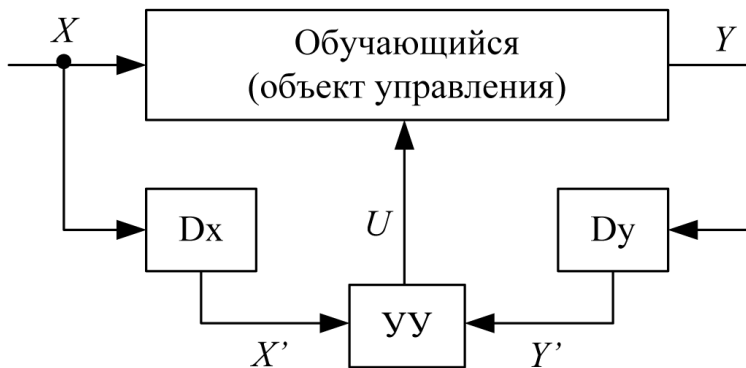


Рис. 12. Взаимодействие обучающегося и управляющего устройства в процессе обучения

В схеме управления (см. рис. 12), предложенной Л.А. Растригиным,  $X$  – состояние среды, влияющей на состояние  $Y$  объекта. Информацию об этих состояниях, в которых может быть обучающийся, измеряют датчики  $D_X$  и  $D_Y$ , которые, в свою очередь, информируют об этом управляющее устройство (УУ). Очевидно, что  $X' \neq X$  и  $Y' \neq Y$  в силу того, что датчики измеряют только то, что используется в процессе управления. Ресурсы, выделяемые на создание системы управления, в значительной степени определяют и объем получаемой информации  $X'$  и  $Y'$ . Управляющее устройство, получая на входе информацию о среде  $X$ , объекте  $Y$ , цели  $Z^*$  и ресурсах  $R$ , должно выдать на выходе информацию об управлении  $U$ , с помощью которого возможно достичь цели  $Z^*$ , т. е. перевести объект в искомое состояние  $Y^*$ , соответствующее выполнению заданной цели  $Z^*$  в рамках ресурсов  $R$ , которыми располагает управляющее устройство для организации процесса обучения, т. е.

$$\langle X', Y', Z^*, R \rangle \rightarrow U^* \rightarrow Y^*. \quad (14)$$

Задача состоит в том, чтобы организовать такое управление  $U$ , изменяющее состояние  $Y$  обучающегося таким образом, чтобы выполнялись поставленные цели обучения  $Z^*$ . В схеме управления, предложенной Л.А. Растригиным, видно, что в процессе обучения управление  $U$  имеет двоякую форму – обучающей информации и вопросов, ответы  $Y'$  на которые дают возможность оценить степень обученности ученика [119].

Формулировка целей управления заключается в определении критериев и тех требований к ним, выполнение которых решает задачу. Цели  $Z^*$  всякого управления представимы в виде:

$$Z^* : \begin{cases} \varphi_i \geq a_i & (i = 1, \dots, k_1); \\ \psi_j = b_j & (j = 1, \dots, k_2); \\ \eta_l \rightarrow extr & (l = 1, \dots, k_3). \end{cases} \quad (15)$$

Здесь  $\varphi$ ,  $\psi$  и  $\eta_l$  – критерии-функционалы, определяемые на состояниях объекта управления. Как видно из формулы 15, цели, т. е. требования, предъявляемые к этим функционалам, имеют тройственный характер: цели-неравенства, цели-равенства и экстремальные цели. Они выражают потребности субъекта, взаимодействующего с объектом управления. Выполнение этих целей  $Z^*$  удовлетворяет потребностям субъекта, ради которых он и создает систему управления [119].

Рассмотрим вышесказанное в аспекте оптимального обучения [103]. Цели управления (формула 15) процессом научения в данном случае представляют собой требования к обучающемуся. Охарактеризуем каждую из целей [119].

1. *Цели-неравенства* определяют тот минимум знаний и навыков обучающегося, нарушение которого недопустимо. Например, функционал  $\varphi_i$  может выражать в виде пятибалльной оценки уровень знаний по  $i$ -му предмету. Тогда  $a_i = 3$ .

2. *Цели-равенства* связаны с теми знаниями и навыками обучающегося, отсутствие которых недопустимо. Например, в вузовском курсе физики  $\psi_j$  может выражать знание  $j$ -го закона. Тогда  $\psi_j = 1$  определяет знание этого закона, а  $\psi_j = 0$  – незнание, что недопустимо, так как  $b_j = 1$ .

3. *Экстремальные цели* связаны с теми качествами обучающегося, которые целесообразно экстремизировать при обязательном выполнении неэкстремальных целей-равенств и целей-неравенств. Они фактически определяют качество процесса научения. Например: если  $\eta_l$  – средний балл по  $l$ -му предмету, то естественно требовать, чтобы  $\eta_l \rightarrow \max$ . Если  $\eta_l$  – время обучения  $l$ -му предмету, то  $\eta_l \rightarrow \min$ .

Оптимальное обучение рассматривается также в работе Д.А. Новикова [103], где описывается несколько моделей обучения. Аналогично Л.А. Растригину, Д.А. Новиков

в своей работе [103] говорит, что «задачи оптимального обучения могут заключаться в экстремизации одной из переменных при фиксированных остальных переменных». Таким образом, получается, что целесообразно рассматривать следующие постановки:

1. *Задача о быстройдействии.*

В данной задаче фиксируется суммарный объем работ  $Y$ , который может выполнить обучающийся, и результат  $Z$ , который необходимо достичь. Требуется найти траекторию, минимизирующую время достижения результата (время на-учения), т. е. экстремизируется время научения, оно должно стремиться к минимальному:

$$Z^* : \begin{cases} T \rightarrow \min; \\ Y^T \leq Y; \\ Z^T \geq Z. \end{cases} \quad (16)$$

2. *Задача об оптимальном обучении.*

В следующей задаче фиксируем суммарный объем работ  $Y$ , которые может выполнить обучающийся, и время обучения  $T$ . Здесь в качестве экстремальной цели выступает результат обучающегося – суммарный объем успешно выполненных работ  $Z$ , а также требуется найти траекторию, максимизирующую полученный результат обучающегося:

$$Z^* : \begin{cases} Z^T \rightarrow \max; \\ Y^T \leq Y; \\ \tau \geq T. \end{cases} \quad (17)$$

3. *Задача о минимизации суммарного объема работ.*

В последней задаче об оптимальном обучении фиксируется время обучения  $T$  и результат  $Z$ , который требуется достичь обучающемуся. В данной задаче за экстремальную

цель взять суммарный объем работ. Требуется найти траекторию научения, которая минимизирует суммарный объем работ:

$$Z^* : \begin{cases} Y^T \rightarrow \min; \\ Z^T \geq Z; \\ \tau \leq T. \end{cases} \quad (18)$$

Рассмотрев схему управления, предложенную Л.А. Расстригиным [119], и задачи об оптимальном обучении, рассмотренные Д.А. Новиковым [103], можно интерпретировать вышеизложенное в несколько другом аспекте.

Далее будут рассмотрены системы управления учебной деятельностью по решению задач в условиях самоорганизации без ограничения на какие-либо ресурсы и с ограничением на ресурс действий.

### **3.1.1. Управление без ограничения на ресурсы**

Рассмотрим систему автоматического управления учебной деятельностью без ограничения на ресурсы. В рассмотренной выше задаче управления говорилось, что, располагая информацией о среде  $X$  и структурой системы действий  $S(Y)$ , при заданных ресурсах  $R$  необходимо найти управляющие воздействия  $U^*$ , при которых обучающимся достигалась бы безошибочная деятельность – оптимальная структура системы действий  $S^*$ .

Рассматриваемая система автоматического управления учебной деятельностью не учитывает ресурсы  $R$ , т. е. обучающийся при решении задач в проблемной среде может пользоваться бесконечным количеством действий (объем работ безграничен) и неограниченным временем выполнения.

Данная система автоматического управления предназначена для управления учебной деятельностью обучающихся по решению задач в вербальной проблемной среде.

Цель системы управления состоит в том, чтобы привести структуру системы действий обучающегося – набор осуществляемых им действий и их последовательность – в такое состояние, когда каждое совершаемое действие будет приближать решение задачи. Для достижения этого система поощряет правильные действия и угнетает неправильные. Общая схема структурно-функциональной модели системы автоматического управления представлена на рис. 13.

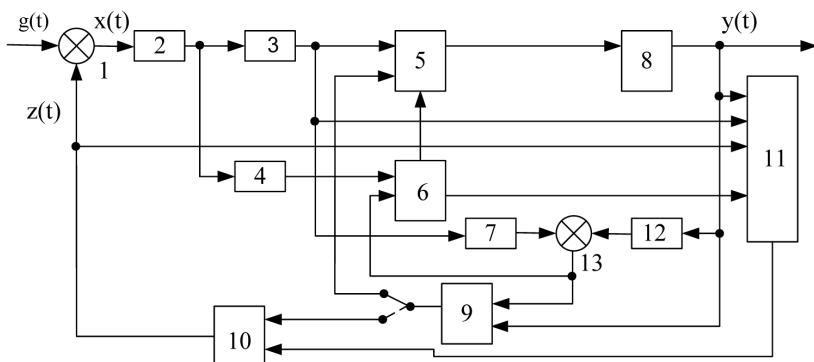


Рис. 13. Структурно-функциональная модель системы автоматического управления учебной деятельностью без ограничения на ресурс действий

В данной структурно-функциональной модели системы управления выделены два контура обратной связи: главная обратная связь и местная обратная связь. Главная обратная связь представлена элементами 1, 2, 3, 5, 8, 11, 10. Местная обратная связь – элементами 5, 8, 12, 13, 9, 6. Устройство сравнения 1 [18] производит вычитание  $x(t) = g(t) - z(t)$ , определяя рассогласование между управляемой величиной  $z(t)$  и задающим воздействием  $g(t)$ . На основании найденного рассогласования  $x(t)$  элемент 2 определяет значение функции ценности состояния обучающегося  $L_i$ , где  $i$  – номер очередного формируемого элементом 3 задания – новой задачной (проблемной) ситуации.  $L_i$  определяется только параметрами структуры системы

действий обучающегося при выполнении предыдущего ( $i - 1$ ) задания и дискретно изменяется во времени. Уровень успешности отображается специальным датчиком в интерфейсе проблемной среды. Этот датчик включен постоянно.

Уровень определяется долей правильных действий обучающегося, совершенных в предыдущем задании. Соответствие доли правильных действий  $p_i$  и номера уровня представлено в табл. 2.

Таблица 2

**Соответствие доли правильных  $p_i$  действий  
номеру уровня  $L_i$**

$L_i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$p_i$	[0,5- 0,55]	(0,55- 0,6]	(0,6- 0,65]	(0,65- 0,7]	(0,7- 0,75]	(0,75- 0,8]	(0,8- 0,85]	(0,85- 0,9]	(0,9- 0,95]	(0,95- 1]

В зависимости от значения уровня успешности элемент 4 определяет параметры функционирования *местной обратной связи* 6. Этот параметр представляет собой режим «подключения – отключения» информационного датчика «Расстояние до цели».

Такой режим работы датчика при выполнении  $i$ -го задания определяется результатами деятельности обучающегося в ( $i - 1$ ) задании:

При  $i = 1$ :  $D_i = 1$ .

При  $i > 1$ : если  $p_{i-1} < k \leq 1$ , то датчик подключается,  
 $D_i = 1$ ;  
 если  $0 \leq k \leq p_{i-1}$ , то датчик отключается,  
 $D_i = 0$ .

Здесь  $p_i$  – доля правильных действий,  $k$  – случайное число, сгенерированное в интервале от 0 до 1,  $D_i$  – режим «подключения – отключения» датчика «Расстояние до цели». Если на единичный отрезок случайно бросается точка  $k$  и она



попадает на отрезок между  $p_{i-1}$  и 1, то датчик «Расстояние до цели» подключается; при попадании точки между нулем и  $p_{i-1}$  датчик не подключается. По мере научения  $p_i$  стремится к 1, и, соответственно, вероятность подключения датчика стремится к нулю. Параметр  $p_i$  определяет, каков будет режим включения датчика «Расстояние до цели» [48; 60].

Сформированная элементом 3 задача передается в интерфейс проблемной среды приведенным модулем 5 в состояние, соответствующее начальным параметрам. Интерфейс проблемной среды включает в себя датчики: «Уровни», «Расстояние до цели» (рис. 14).

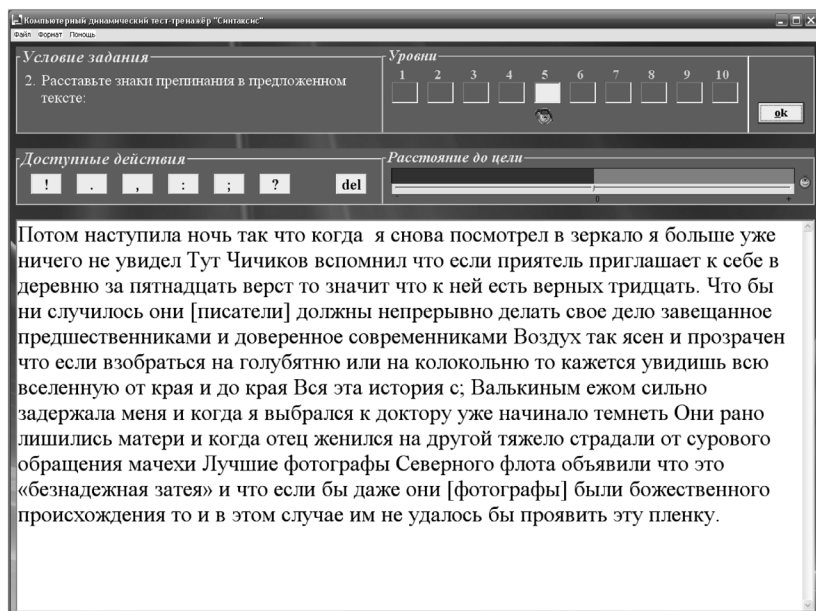


Рис. 14. Интерфейс проблемной среды «Синтаксис», предлагающей расставить пропущенные знаки препинания

Также в интерфейсе размещается рабочая область для выполнения задания и условие самого задания, набор объектов управления, с помощью которых можно осуществлять ре-

шение задачи. Элемент памяти 7 сохраняет тот же набор параметров, но содержащий значения, достижение которых соответствует решению поставленной задачи. Локальная цель для обучающегося состоит в достижении данного соответствия с помощью преобразования объектов проблемной среды с доступной ему системой действий.

В модуле 5 отражаются все изменения интерфейса проблемной среды, связанные со структурой его действий. При этом формирование новой задачной ситуации (соответствующего состояния интерфейса) происходит лишь в моменты включения главной обратной связи, а текущие изменения отражаются после каждого совершенного обучающимся действия. Для реализации местной обратной связи после каждого действия обучающегося в вычислительном элементе 12 происходит определение изменения параметров объектов проблемной среды, а элемент сравнения 13 определяет рассогласование между текущей обстановкой и значениями, сохраненными в элементе 7. Величина этого рассогласования, выраженная в количестве дискретных шагов (каждый из которых – это конкретное действие обучающегося, дискретно изменяющее определенный параметр проблемной среды), определяет расстояние до целевого состояния задачи. Эта информация, составляющая основу местной обратной связи, позволяет обучающемуся достичь целевого состояния.

Переключатель 9 может изменить свое состояние только тогда, когда расстояние до цели равно нулю и при поступлении от обучающегося сигнала об окончании выполнения задания (обучающийся должен нажать на соответствующую кнопку). Если такого сигнала не поступает, регулятор продолжает функционировать по малому кругу через местную обратную связь. В противном случае переключатель 9 не изменит своего состояния.

Изменение состояния переключателя 9 включает кон-

тур *главной обратной связи*, в котором находится элемент 10, определяющий параметры структуры системы действий обучающегося на основе формализованной информации, сохраненной в модуле внешней памяти 11. Отметим, что при формировании очередной проблемной ситуации вновь возникает рассогласование в элементе сравнения 13, и переключатель 9 переходит в состояние, когда сигналы проходят по контуру местной обратной связи и регулируют процесс поиска обучающимся решения текущей задачи.

Во внешней памяти сохраняется не только последовательность действий обучающегося с указанием затраченного времени, но и управляющие воздействия: условия поставленной задачи, параметры работы датчика «Расстояние до цели», параметры работы датчика «Уровни», параметры структуры системы действий обучающегося. Благодаря этой информации появляется возможность более сложного анализа деятельности обучающегося в любое удобное для исследователя время с применением различных методов и программных средств.

Приведенное описание показывает, что система автоматического управления учебной деятельностью производит поиск такого режима работы местной обратной связи, при котором деятельность обучающегося наиболее эффективна. Учитывая, что истинные законы изменения параметров структуры системы действий обучающегося установить невозможно, данную систему можно определить как экстремальную самонастраивающуюся систему автоматического управления учебной деятельностью дискретного действия [54].

### **3.1.2. Регулирование учебной деятельности в условиях ограничения на ресурс действий**

В отличие от системы автоматического управления учебной деятельностью, представленной в параграфе 3.1.1, в рассматриваемую систему управления введены ограниче-

ния на ресурс действий, которым может пользоваться обучающийся.

Перед созданием такой системы управления с ограничением ресурсов необходимо определить цели управления, критерии и требования к ним, а также выявить экстремальные цели, в качестве которых примем такие качества обучающегося, как совершение объёма работ при выполнении заданий. Этот параметр должен стремиться к минимуму. На экстремизацию такого качества требуется постановка отдельной задачи и, соответственно, создание определенной системы управления.

Целевые требования  $Z^*$ , предъявляемые к обучающемуся: цель-неравенство – время выполнения работ  $T$ , которое может быть превышено, если не хватит минимально предложенного  $T_{min}$ ; цель-равенство – обязательное решение задачи; экстремальная цель – объём работ  $Y^*$  (действия обучающегося при решении задачи) стремился к минимуму.

$$Z^* : \begin{cases} T \geq T_{min} ; \\ Z = 1; \\ Y^* \rightarrow Y^*_{min} . \end{cases} \quad (19)$$

Для выполнения заявленных целевых требований  $Z^*$  необходимо разработать такой алгоритм управления, при котором структура системы действий обучающегося станет оптимальной при ограничении ресурса. В качестве ресурса берется количество действий, которыми можно оперировать при решении задачи.

Сначала разработаем математическую модель информационного взаимодействия обучающей системы и объекта управления, представленную в виде системы петель обратной связи, заданных рекурсивными уравнениями, описывающих изменение ресурса, величины рассогласования между

целевым и текущим состоянием, прогнозируемым и реальным значением функции ценности. В основе данной модели лежит представление о деятельности как о системе равноценных действий. В модели учтем синтаксические и семантические свойства действий.

Обучающийся для решения каждой задачи получает ресурс действий  $Y_{i+1}^*$ . В соответствии с моделью равных цен [24; 118] любое правильное или неправильное действие обучающегося в процессе решения задачи уменьшает эту величину на *единицу*. Задача обучающегося состоит в минимизации трат ресурса  $Y_{i+1}^*$ , т. е. перехода в процессе научения к оптимальным траекториям деятельности по поиску целевого состояния.

Минимальное число правильных действий, требуемых для решения текущей задачи и приводящих к его решению – целевому состоянию, обозначим  $Y_{\min}^*$ . Результат деятельности обучающегося будет составлять суммарный объем работ, успешно выполненных обучающимся за  $N$  задач.

В первом задании ресурс объема работ равен минимальному количеству действий,  $Y^* = Y_{\min}^*$  которых необходимо совершить обучающемуся для достижения целевого состояния.

Объем работ, совершаемый обучающимся, меняется в зависимости от успешного или неуспешного выполнения задания. При решении задачи возможно отклонение от минимальной (оптимальной) целевой траектории, т. е. совершение неправильных действий (неуспешные объемы работ). Следовательно, можно рассчитать количество суммарного объема работ  $Y^*$  (успешных  $Y^+$  и неуспешных работ  $Y^-$ ), которые понадобятся для решения последующих задач.

Данная величина находится из расчета минимального количества правильных действий (успешных работ) в теку-

щем задании  $Y_{\min i+1}^*$  и добавки (запаса неправильных действий) для совершения неправильных действий:

$$Y_{i+1}^* = Y_{\min i+1}^* + \Delta Y. \quad (20)$$

Добавка  $\Delta Y$  зависит от количества неуспешных работ, выполненных обучающимся  $Y_i$  в предыдущем задании [56; 51; 95; 98], и уменьшается по мере совершения деятельности по решению вербальных задач.

$$\Delta Y = Y_i \cdot (1 - p_i), \quad (21)$$

где  $p_i = \frac{Y^+}{Y^+ + Y^-}$ , а доля неправильных действий:  $q_i = (1 - p_i)$ .

В итоге рекурсивное уравнение ресурса действий, выделяемого системой управления обучающемуся при решении очередного задания, выглядит так:

$$Y_{i+1}^* = Y_{\min i+1}^* + Y_i \cdot q_i. \quad (22)$$

Используя вышеизложенную математическую модель, приступим к разработке структурно-функциональной модели системы автоматического управления учебной деятельностью с ограничением на ресурс действий.

Данная система автоматического управления управляет учебной деятельностью обучающихся, учитывая ограничение на ресурс действий. Цель функционирования системы состоит в минимизации трат ресурса действий обучающимся при решении задачи. Для этого система вырабатывает такие управляющие воздействия, при которых оптимизируется расход ресурса действий таким образом, чтобы его хватало для совершения объема работ, и производит подкрепление действий обучающегося. Общая схема структурно-функциональной модели системы автоматического управления представлена на рис. 15.

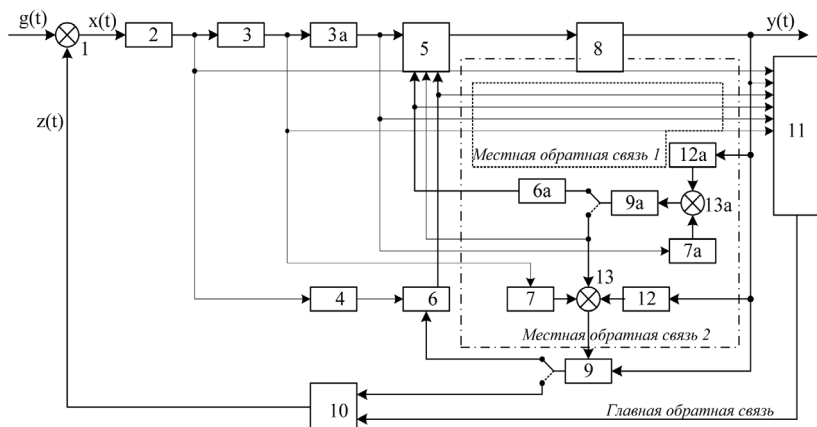


Рис. 15. Структурно-функциональная модель системы автоматического управления учебной деятельностью с учетом ограничения на ресурс действий

В данной структурно-функциональной модели выделены три контура (петли) обратной связи:

Главная обратная связь представлена элементами 1, 2, 3, 3а, 5, 8, 9, 11, 10.

Местная обратная связь 1 представлена элементами 5, 8, 7 а, 12 а, 13 а, 9 а, 6 а (пунктирная линия).

Местная обратная связь 2 представлена элементами 5, 8, 7, 12, 13, 9, 6 (штрихпунктирная линия).

Элемент сравнения 1 находит величину рассогласования [18]  $x(t) = g(t) - z(t)$  между управляемой величиной  $z(t)$  и задающим воздействием  $g(t)$ . На основании найденного рассогласования  $x(t)$  элемент 2 определяет значение функции ценности состояния обучающегося  $L_i$ , где  $i$  – номер очередной, формируемой элементом 3 новой задачи. Уровень  $L_i$  определяется только параметрами структуры системы действий обучающегося при выполнении каждого задания, дискретно изменяется во времени и отражается специальным датчиком «Уровни» в интерфейсе проблемной среды. Этот датчик по-

стоянно работает в режиме «подключено». В зависимости от значения уровня успешности элемент 4 определяет параметры функционирования *местной обратной связи* 2. Этот параметр представляет собой режим «подключения – отключения» информационного датчика «Расстояние до цели» – элемент 6 (рис. 15, 16).

Сформированная элементом 3 задача передается далее элементу 3 а, в котором происходит расчет ресурса для выполнения действий. После этого готовая задача и значение ресурса передаются в интерфейс проблемной среды приведенным модулем 5 в состояние, соответствующее начальным параметрам.

Интерфейс проблемной среды можно увидеть на рис. 16. В элементе памяти 7 а содержатся сведения об имеющемся запасе неправильных действий, который может быть израсходован при решении задачи.

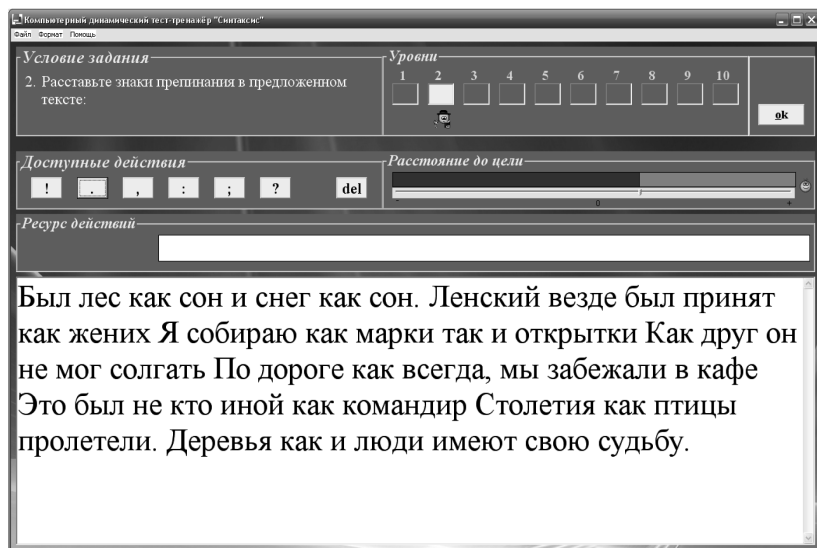


Рис. 16. Интерфейс проблемной среды «Синтаксис», предлагающей расставить пропущенные знаки препинания



Элемент 5 представляет интерфейс проблемной среды. Элемент сравнения 13 а определяет количество неправильных действий обучающегося (звено 12 а) и остаток запаса неправильных действий, сохраненный в элементе 7 а. В зависимости от значения рассогласования с помощью переключателя 9 а может включиться элемент 6 а, а затем – сигнал на элемент 5, либо будет сделан сразу переход к элементу сравнения 13. Включение элемента 6 а означает отмену неправильного действия, ресурс при этом не тратится.

Элемент сравнения 13 определяет рассогласование между количеством правильных действий обучающегося (элемент 12) и минимальным количеством правильных действий, соответствующих решению поставленной задачи (элемент 7). Величина этого рассогласования, выраженная в количестве дискретных шагов (каждый из которых – это конкретное действие обучающегося, дискретно изменяющее определенный параметр проблемной среды), определяет расстояние до целевого состояния задачи. Эта информация, составляющая основу местной обратной связи, позволяет обучающемуся достичь целевого состояния.

Переключатель 9 может изменить свое состояние только тогда, когда расстояние до цели равно нулю и при поступлении от обучающегося сигнала об окончании выполнения задания (обучающийся должен нажать на соответствующую кнопку). Если такого сигнала не поступает, то в системе продолжается функционирование деятельности по малому кругу через *местную обратную связь* 2. В противном случае переключатель 9 не изменит своего состояния.

Изменение состояния переключателя 9 включает *контур главной обратной связи*, в который включен элемент 10, определяющий параметры структуры системы действий обучающегося на основе формализованной информации, сохраненной в модуле внешней памяти 11. Отметим, что при фор-

мировании очередной проблемной ситуации вновь возникает рассогласование в элементе сравнения 13 а, а затем – в элементе 13, и переключатели 9 и 9 а переходят в состояние, когда сигналы проходят по контуру *местной обратной связи 1* и *местной обратной связи 2*, регулируя процесс поиска обучающимся решения текущей задачи.

Во внешней памяти сохраняется не только последовательность действий обучающегося с указанием затраченного времени, но и управляющие воздействия: условия поставленной задачи, параметры работы датчиков «Расстояние до цели», «Ресурс действий», «Уровни», параметры структуры системы действий обучающегося, параметры включения системы «институционального» управления.

Данная система автоматического управления учебной деятельностью по решению задач позволяет решать задачи в условиях оптимизации расхода действий и «институционального» управления [58; 104; 116], что обязательно приведет обучающегося в целевое состояние.

«Институциональное» управление заключается в том, что система управления «целенаправленно ограничивает множество возможных действий и результатов деятельности обучающегося» [58; 55].

Теперь перейдем к описанию управления процессом поиска решения задачи обучающимся в данной структурно-функциональной модели.

Для того чтобы обучающийся мог изменять свою структуру системы действий  $S(Y)$  и таким образом перестраивать свою деятельность в процессе научения решению задач, необходимо наличие дополнительных петель обратной связи, подающих на вход обучающемуся информацию (рис. 15): а) о протекании процесса поиска решения текущей задачи – датчик «Расстояние до цели»; б) о состоянии имеющихся ресурсов – датчик «Ресурс действий»; в) о функции ценности состояния обучающегося – датчик «Уровни» [51; 56; 58].

В модели предусмотрены информационное и «институциональные» управляющие воздействия. Датчик «Расстояние до цели» относится к информационному управлению, которое не препятствует совершению неправильных действий. Частота появления датчика «Расстояние до цели» изменяется согласно результатам деятельности обучающегося [55], которые отражает датчик «Уровни».

Если при решении задачи обучающийся потратил ресурс так, что ему хватает остатка ресурса действий  $Y_{i+1}^*$  только на то, чтобы дойти до цели и при этом не сделать ни одной ошибки, то система управления отменяет неправильные действия обучающегося. При этом ресурс не расходуется. Информационное управляющее воздействие сменяется «институциональным» управляющим воздействием [102], в результате которого система принуждает обучающегося использовать ресурс  $Y_{i+1}^*$  так, что он обязательно достигнет целевого состояния. «Институциональное» управление включается для того, чтобы цель-равенство  $Z = 1$  из формулы 19 была достигнута, т. е. обучающийся правильно решил задачу.

«Институциональное» управление представлено «ликвидатором» неправильных действий, оно реализуется при превышении обучающимся их запаса. Данное управляющее воздействие доводит обучающегося до цели «силовым образом», отменяя неправильные действия и возвращая его в предыдущее состояние. По мере овладения деятельностью по решению задач ошибочные действия совершаются всё реже, объемы работ становятся только успешными.

Достижение равенства  $Y_{i+1}^* = Y_{\min i+1}$  в течение нескольких выполненных заданий подряд позволяет сделать вывод о том, что обучающийся в полной мере научился решению поставленных задач в условиях ограниченных ресурсов и достиг оптимального расхода ресурса. Экстремизация цели  $Y \rightarrow Y_{\min}$  достигнута, деятельность обучающегося становит-

ся оптимальной. На рис. 17 показана экспериментальная зависимость выделяемого системой объема работ на каждое задание от номера выполненного задания [47; 51; 56] для различных обучающихся.

По данным зависимостям можно судить о том, какой объем ресурса требовался обучающемуся для овладения деятельностью по решению задач. Из зависимости, изображенной на рис. 17 а, следует, что обучающийся № 1 за 2–3 задания снизил объем ресурса, выделяемого ему системой автоматического управления деятельностью, до минимально необходимого.

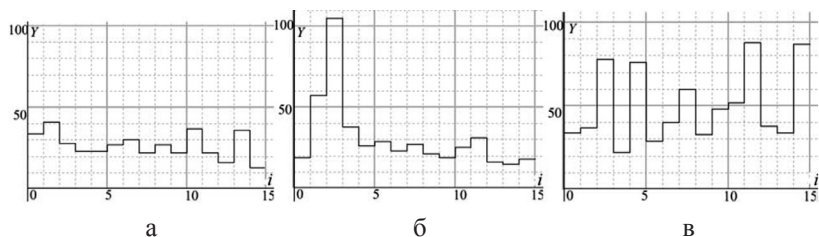


Рис. 17. Объем ресурса действий, выделенного системой для решения задачи: а) обучающегося № 1; б) обучающегося № 2; в) обучающегося № 3;  $i$  – номер задания,  $Y$  – ресурс действий

На рис. 17 б видно, что обучающемуся № 2 требовался больший ресурс для решения задач, но после 6–8 заданий он снизился, а из рис. 17 в следует, что обучающемуся № 3 не хватило 15 заданий для овладения этим видом деятельности.

Для представления достижения обучающимися оптимального расхода ресурса действий необходимо найти отношение минимального количества действий для решения задачи  $Y_{\min i+1}^*$  к выделенному ресурсу действий  $Y_{i+1}^*$ . На рис. 18 изображены экспериментальные зависимости различных обучающихся.

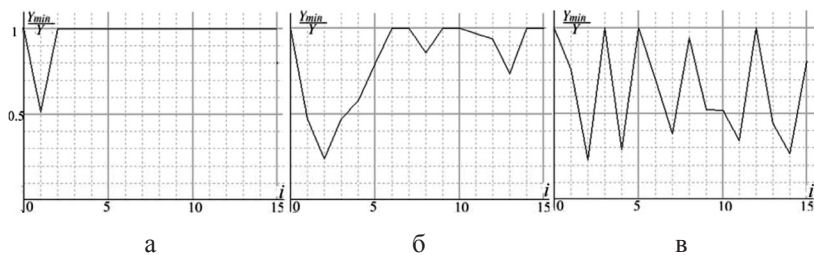


Рис. 18. Отношение  $\frac{Y_{\min}^*}{Y_{i+1}^*}$ : а) обучающегося № 1;

б) обучающегося № 2; в) обучающегося № 3;  $i$  – номер задания

Обучающийся № 1 за 2 задания вышел на оптимальную траекторию расхода ресурса действий; обучающемуся № 2 потребовалось для этого больше 10 заданий; обучающийся № 3 не смог за 15 заданий достичь такого состояния.

В данной системе автоматического управления учебной деятельностью, вследствие наличия дополнительных петель обратной связи, деятельность обучающихся является самоорганизующейся и взаимосвязанной с проблемной средой и личностью обучающегося [57].

Опишем более подробно, что происходит при включении модуля 6 а (рис. 15) – «ликвидатора» неправильных действий. Для обязательного выполнения цели-равенства (формула 19) требуется вмешательство извне. В данную систему управления встроен следящий модуль, который выполняет функции контроля процесса расходования ресурса действий  $Y^*$ .

Обучающийся при решении задачи, переходя из одного состояния в другое, в графе пространства состояний данной задачи может совершить некоторое количество правильных и неправильных действий. В формуле 20  $\Delta Y$  является запасом для совершения действий. Данный запас разделяется на запас правильных действий  $L^+$  и запас неправильных действий  $L^-$ , причем  $L^+ = L^-$ . Это означает, что каждое неправиль-

ное действие должно быть исправлено правильным действием. Из (20):

$$\Delta Y = Y^* - Y_{\min}; \quad (23)$$

$$\Delta Y = L^+ + L^-. \quad (24)$$

Поэтому, исходя из (23), (24) и равенства  $L^+ = L^-$ , можно вычислить запас для совершения действий:

$$L^+ = \frac{(Y^* - Y_{\min})}{2} \text{ и } L^- = \frac{(Y^* - Y_{\min})}{2}. \quad (25)$$

Поскольку объем работ в каждом задании равен сумме неправильных и правильных действий, совершенных обучающимся:  $Y = Y^- + Y^+$ , то количество правильных действий, которые может совершить обучающийся, равно:

$$Y^+ = Y_{\min}^* + L^+, \quad (26)$$

а количество неправильных:

$$Y^- = L^-. \quad (27)$$

Теперь выясним, когда система переключается на модуль б а.

Обучающийся в процессе решения задачи совершает неправильные действия. Если количество совершенных неправильных действий будет больше либо равно количеству запаса для совершения неправильных действий  $Y^- \geq L^-$ , то система переключается на элемент б а, происходит переход к «институциональному» управлению, все неправильные действия будут «ликвидированы», обучающийся возвращен в предыдущее состояние. В этом случае количества ресурса, которое остается у обучающегося, хватает только для того, чтобы совершать правильные действия. Тогда задача управления заключается в том, чтобы не дать напрасно израсходовать этот ресурс и довести его до цели. Совершенные неправильные



можно определить некоторое количество заданий, которое должен выполнить обучающийся, либо безошибочную деятельность, совершаемую им подряд в течение нескольких заданий, либо достижение обучающимся безошибочной деятельности в режиме оптимального времени совершения действий при выполнении очередного задания. В качестве «глобальной цели», представляющей собой целевые требования  $Z^*$ , определим оптимизацию расхода ресурса действий обучающимся для выполнения заданного объема работ, что соответствует 10 уровню успешности.

Далее происходит генерация задания: текст с пропущенными фрагментами, количество которых определяет локальную цель – решение текущей задачи, отражающуюся в виде датчика «Расстояние до цели» (рис. 16). На основе этих данных и предыдущей деятельности обучающегося определяется ресурс для совершения действий. Далее обучающийся устанавливает фрагмент текста, тем самым уменьшает количество ресурса на единицу в рамках модели «равных цен», что отражено на датчике «Ресурс действий» (рис. 16). После этого система проверяет остаток ресурса для запаса неправильных действий. Если его не хватает для совершения неправильных действий, то автомат отмены неправильных действий отменяет неправильные действия, а ресурс для действий при этом не тратится.

После этого и в случае достаточного запаса для совершения неправильных действий система проверяет достижение локальной цели – расстановка всех фрагментов текста. Если цель не достигнута, то обучающийся опять устанавливает или исправляет неправильно установленный фрагмент текста. Если локальная цель достигнута, то происходит проверка глобальной цели. В случае ее достижения обучающийся заканчивает работу с данной системой управления, а в противном случае снова выполняет следующее задание.



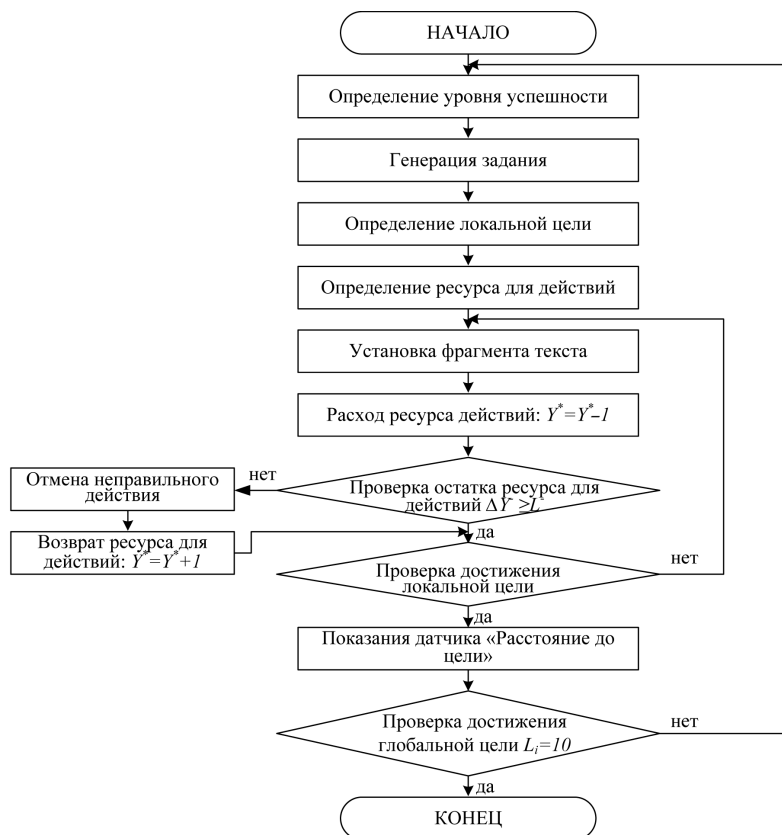


Рис. 19. Алгоритм управления системой автоматического управления с ограничением ресурса действий

В данной схеме также выделены следующие контуры обратной связи: петля *главной обратной связи*, определяющая достижение «глобальной цели», петля *местной обратной связи 2* – достижение «локальной цели» и петля *местной обратной связи 1* – регулирование расхода ресурса и включение режима «ликвидатора» неправильных действий.

С помощью данной системы управления решена задача о минимизации расхода ресурса действий в условиях его ограничения. Ситуация нехватки ресурса решена введени-

ем в контур управления элемента 6 а, что представляет собой подсистему «институционального» управления (рис. 15).

Теперь сравним результаты учебной деятельности по решению вербальных задач двух групп обучающихся, полученные в ходе работы с данной системой автоматического управления (экспериментальная – 24 студента) и традиционно, с преподавателем (контрольная – 25 студентов).

В эксперименте участвовали студенты I курса факультета физики, информатики и ВТ КГПУ им. В.П. Астафьева с различной успеваемостью. Среди контрольной и экспериментальной групп был проведен *контрольный срез* на уровень остаточных знаний по русскому языку. В качестве дидактического элемента использовался динамический тест-тренажер «Синтаксис» [97] по расстановке знаков препинания по теме «Вводные слова и словосочетания». Предложения, в которых необходимо расставить знаки препинания, формировались из имеющейся базы.

Оценка результатов контрольного среза проводилась по балльной шкале (формулировка правила – 8 баллов, решение задач – 12 баллов). За правильный ответ – 1 балл, неправильный ответ – 0 баллов, за отсутствие ответа – 0 баллов.

Результаты приведены в табл. 3 (максимум 8 баллов) и в табл. 4 (максимум 12 баллов).

Таблица 3

№ обучающ.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Экспер.	0	1	6	0	0	1	0	0	5	0	0	0	2	0	1	3	0	0	0	0	1	0	3	1	
Контрольная	2	1	0	0	0	1	4	0	0	0	1	0	6	0	1	0	0	0	0	0	4	2	3	0	0

Таблица 4

№ обучающ.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Экспер.	12	3	8	2	6	4	0	3	9	9	4	0	9	0	6	6	4	2	9	0	2	0	12	6	
Контрольная	4	2	5	7	3	12	11	4	0	10	4	5	12	10	0	0	3	8	0	7	10	9	3	6	0

Выполнение заданий также оценивалось по пятибалльной системе. За правильное выполнение всех заданий выставлялось 5 баллов, за решение двух заданий – 4 балла, за решение 1 – 3 балла, за неправильное решение всех заданий – 2 балла.

Результаты оценок приведены в табл. 5.

Таблица 5

№ обучающ.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Экспер.	5	2	4	2	3	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	5	3		
Контрольная	2	2	2	2	2	5	4	3	2	4	3	2	5	3	2	2	2	3	2	2	4	2	2	2	2

Средняя оценка экспериментальной группы – 2,46, контрольной – 2,64. Для статистического анализа результатов здесь и в дальнейшем будем использовать ранговый критерий Манна и Уитни, основанный на критерии Уилкоксона для независимых выборок. В табл. 6 приведены результаты тестирования (в баллах, максимум 8) экспериментальной и контрольной групп (формулировка определения). Число замеров группы Э – 24 студента, в группе К – 25 студентов.

Таблица 6

№ обуч-ся	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Эсперим.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	3	3	5	6		
Ранг Э	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	34	34	34	34	34	40	43	43	47	48,5		
Контрольн.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	3	4	4	6	
Ранг К	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	34	34	34	34	40	40	43	45,5	45,5	48,5	

Модуль статистики  $|T| = 0,03$ . Поскольку  $|T| < 1,96$ , то гипотеза однородности принимается на уровне значимости 0,05, поэтому нулевую гипотезу следует принять. Следовательно, данные группы равнозначны.

Рассмотрим равнозначность этих групп по результатам

решения задач (табл. 4). Число замеров группы Э – 24 студента, группы К – 25 студента. Результаты тестирования, ранги и среднее значение рангов учащихся приведены в табл. 7 (максимум баллов 12).

Таблица 7

№ обуч-ся	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Эсперим.	0	0	0	0	0	2	2	2	3	3	4	4	4	6	6	6	6	8	9	9	9	9	12	12	
Ранг Э	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	12,5	12,5	12,5	17	17	22,5	22,5	22,5	30	30	30	30	35,5	39	39	39	39	47,5	47,5	
Контрольн.	0	0	0	0	0	2	3	3	3	4	4	4	5	5	6	7	7	8	9	10	10	10	11	12	12
Ранг К	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	12,5	17	17	17	22,5	22,5	22,5	26,5	26,5	30	33,5	33,5	35,5	39	43	43	43	45	47,5	47,5

Модуль статистики  $|T| = 0,54$ . Поскольку  $|T| < 1,96$ , то гипотеза однородности принимается на уровне значимости 0,05, поэтому нулевую гипотезу следует принять. Следовательно, данные группы равнозначны.

После проведения контрольного среза экспериментальная группа за 45 минут на компьютерном динамическом тренажере «Синтаксис» расставляла пропущенные фрагменты текста в течение серии заданий. Помощь преподавателя была полностью исключена.

Контрольная группа в это же время прошла обучение с преподавателем по данной теме. Студенты познакомились с правилом по расстановке знаков препинания по теме «Вводные слова и словосочетания» и выполняли задания по данной теме. Время работы – 45 минут. После обучения в этих группах был проведен контрольный срез с целью сравнительного анализа эффективности обучения с преподавателем и обучения с системой автоматического управления учебной деятельностью. Задание было подобным заданию в первом контрольном срезе.

Оценка результатов контрольного среза также проводилась по балльной шкале (формулировка определений – 8 баллов, решение задач – 12 баллов). За правильный ответ –

1 балл, неправильный ответ – 0 баллов, за отсутствие ответа – 0 баллов. Результаты приведены в табл. 8 (максимум 8 баллов) и в табл. 9 (максимум 12 баллов).

*Таблица 8*

№ обучающ.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Экспер.	4	6	8	0	2	8	8	5	8	6	6	0	5	1	4	6	8	6	4	5	0	4	4	4	
Контрольная	6	3	6	2	4	3	7	6	8	3	8	1	8	3	8	2	2	2	2	5	4	8	4	2	4

*Таблица 9*

№ обучающ.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Экспер.	11	6	11	12	11	12	12	10	8	11	8	9	12	11	11	10	11	7	12	9	8	2	12	10	
Контрольная	12	8	11	9	7	10	12	10	12	11	6	12	11	12	11	5	12	11	9	9	10	11	12	10	9

Решение заданий оценивалось по пятибалльной системе. Результаты оценок приведены в табл. 10.

*Таблица 10*

№ обучающ.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Экспер.	5	4	2	4	5	4	5	5	3	2	4	3	3	5	4	4	3	4	2	5	2	4	2	5	
Контрольная	2	5	2	4	2	3	3	5	3	5	4	3	5	4	5	4	2	5	4	2	2	3	4	5	4

Средняя оценка экспериментальной группы – 3,625, контрольной группы – 3,6.

Для статистического анализа результатов здесь также будем использовать ранговый критерий Манна и Уитни, основанный на критерии Уилкоксона для независимых выборок. Рассмотрим равнозначность этих групп по результатам на знание правила расстановки знаков препинания (табл. 8). Число замеров группы Э – 24 студента, группы К – 25 студентов. Результаты тестирования, ранги и среднее значение рангов обучающихся приведены в табл. 10 (максимум 8 баллов).

Таблица 11

№ обуч-ся	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Эсперим.	0	0	0	1	2	4	4	4	4	4	4	5	5	5	6	6	6	6	6	8	8	8	8	8	
Ранг Э	2	2	2	4,5	9	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	28,5	28,5	28,5	34,5	34,5	34,5	34,5	34,5	44,5	44,5	44,5	44,5	44,5	
Контрольн.	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	5	6	6	6	7	8	8	8	8	8
Ранг К	4,5	9	9	9	9	9	9	14,5	14,5	14,5	14,5	21,5	21,5	21,5	21,5	28,5	34,5	34,5	34,5	39	44,5	44,5	44,5	44,5	44,5

Модуль статистики  $|T| = 0,58$ . Поскольку  $|T| < 1,96$ , то гипотеза однородности принимается на уровне значимости 0,05, поэтому нулевую гипотезу следует принять. Следовательно, данные группы равнозначны. Средний балл, набранный группой Э, равен 4,67, группой К – 4,44.

Рассмотрим равнозначность этих групп по результатам правильности решения задач после обучения с преподавателем (группа К) и после работы с дидактическим элементом – компьютерным динамическим тренажером «Синтаксис» (группа Э) (табл. 9). Число замеров группы Э – 24 студента, группы К – 25 студентов. Результаты тестирования, ранги и среднее значение рангов обучающихся приведены в табл. 12 (максимум 12 баллов).

Таблица 12

№ обуч-ся	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Эсперим.	2	6	7	8	8	8	9	9	10	10	10	11	11	11	11	11	11	11	12	12	12	12	12		
Ранг Э	1	3,5	5,5	8,5	8,5	8,5	13,5	13,5	20	20	20	30	30	30	30	30	30	30	43	43	43	43	43	43	
Контрольн.	5	6	7	8	9	9	9	9	10	10	10	10	11	11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12
Ранг К	2	3,5	5,5	8,5	13,5	13,5	13,5	13,5	20	20	20	20	30	30	30	30	30	30	43	43	43	43	43	43	43

Модуль статистики  $|T| = 0,19$ . Поскольку  $|T| < 1,96$ , то гипотеза однородности принимается на уровне значимости 0,05, поэтому нулевую гипотезу следует принять. Следовательно, эти группы равнозначны. Средний балл, набранный группой Э, равен 9,83, группой К – 10,08. Можно сделать вы-

вод, что восполненные знания у студентов этих групп после обучения равны.

Через двадцать дней был проведен контрольный срез у этих групп на остаточные знания. Данный тест ничем не отличался от предыдущих. Оценка результатов контрольного среза также проводилась по балльной шкале (формулировка определений – 8 баллов, решение задач – 12 баллов). За правильный ответ – 1 балл, неправильный ответ – 0 баллов, за отсутствие ответа – 0 баллов.

Результаты приведены в табл. 13 (максимум 8 баллов) и в табл. 14 (максимум 12 баллов).

Таблица 13

№ обучающ.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Экспер.	3	4	8	2	2	8	4	5	5	8	7	6	5	4	6	7	7	7	2	6	4	0	7	6	
Контрольная	7	7	7	5	1	6	7	4	0	4	2	2	2	0	7	4	2	7	3	7	2	4	3	4	1

Средний балл в экспериментальной группе равен 5,12, в контрольной – 3,92.

Таблица 14

№ обучающ.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Экспер.	10	2	11	11	1	12	12	9	10	12	9	11	9	10	11	12	11	6	12	6	9	0	12	11	
Контрольная	10	5	9	5	4	12	12	5	0	12	2	10	6	11	9	7	10	9	4	7	9	9	10	9	4

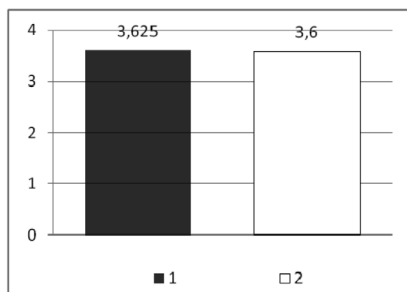
Средний балл в экспериментальной группе равен 9,12, в контрольной – 7,6. Решение заданий оценивалось по пятибалльной системе. Результаты оценок приведены в табл. 15.

Таблица 15

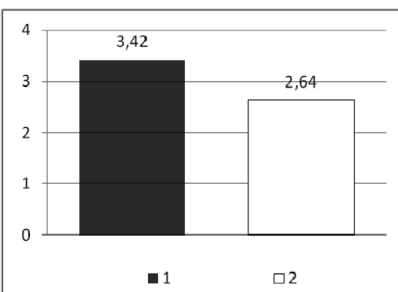
№ обучающ.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Экспер.	3	2	4	4	2	5	5	2	3	5	2	4	2	4	4	5	4	2	5	2	2	2	5	4	
Контрольная	3	2	2	2	2	5	5	2	2	5	2	3	2	4	2	2	3	2	3	2	2	2	3	2	2

Средняя оценка экспериментальной группы – 3,42, контрольной – 2,64 (рис. 21).

Традиционное обучение и обучение с применением системы автоматического управления учебной деятельностью по решению вербальных задач дало практически одинаковые результаты (рис. 20).



*Рис. 20. Средний балл обучающихся, набранный после обучения:  
1 – экспериментальная группа;  
2 – контрольная группа*



*Рис. 21. Средний балл обучающихся через 20 дней:  
1 – экспериментальная группа;  
2 – контрольная группа*

При сравнении полученных результатов возникает вопрос: в чем различие этих типов обучения, которые отличаются способом получения информации о том, как нужно составлять знаки препинания? При обучении с преподавателем обучающиеся получали те знания, которые были выбраны преподавателем. При обучении с системой автоматического управления учебной деятельностью по решению задач обучающиеся скорее не получали, а «добывали» знания на основе собственного опыта. Через 20 дней результаты последнего контрольного среза показали (рис. 21), что знания, полученные с помощью преподавателя, были забыты и уровень остаточных знаний оказался таким же, как в начале эксперимента. В то же время обучающиеся экспериментальной группы



сохранили полученные знания, усвоили правила по расстановке знаков препинания. Можно предположить, что практически все остаточные знания так или иначе обусловлены собственным опытом обучающихся.

Таким образом, как показал эксперимент, использование системы автоматического управления учебной деятельностью по решению вербальных задач обучающимися и ее эффективность состоят в прочности, полноте и глубине полученных знаний. Традиционное обучение с преподавателем в контрольной группе на первоначальном этапе дает те же результаты, что и в экспериментальной, но в дальнейшем декларативные знания, полученные в контрольной группе, забываются гораздо быстрее, ответы поверхностны, фрагментарны. В экспериментальной группе, где знания получены самостоятельно, произошло их осознание, систематизация.

### **3.1.3. Модель конечного автомата модуля отмены неправильных действий**

В рассмотренной выше (параграф 3.1.2) системе управления учебной деятельностью в условиях ограничения на ресурс действий имеется модуль отмены неправильных действий (6 а), предназначенный для выполнения целевого требования ( $Z = 1$ ) из формулы 19. Данный тип воздействия описывает *автомат отмены неправильных действий*.

В конечном автомате [85] заданы два состояния:  $q_0$  – состояние ожидания неправильного действия обучающегося,  $q_1$  – состояние отмены неправильного действия обучающегося. Когда обучающийся совершает действие, то поступает входное воздействие:  $S_0$  – сигнал о совершении правильного действия или  $S_1$  – сигнал о совершении неправильного действия. В ответ на данный сигнал автомат выдает команду:  $r_0$  – команда оставаться в состоянии ожидания,  $r_1$  – команда об отмене неправильного действия.

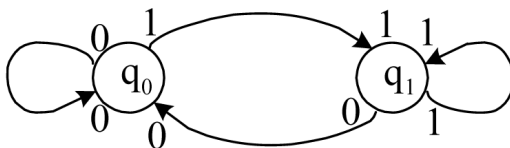


Рис. 22. Граф конечного автомата отмены ошибочных действий

Ответный сигнал машины на входное воздействие  $S(t)$  зависит лишь от состояния  $Q(t)$ :

$$R(t+1) = F(Q(t), S(t)), \quad (28)$$

а состояние  $Q(t+1)$  может зависеть только от предыдущего входа  $S(t)$  и от предыдущего состояния  $Q(t)$ :

$$Q(t+1) = G(Q(t), S(t)). \quad (29)$$

Конечный автомат описывается с помощью функций переходов  $F$  и  $G$ , каждая может быть определена лишь для конечного числа значений входного сигнала. Эти функции могут быть заданы таблично.

Таблица 16

G	q <sub>0</sub>	q <sub>1</sub>
S <sub>0</sub>	q <sub>0</sub>	q <sub>0</sub>
S <sub>1</sub>	q <sub>1</sub>	q <sub>1</sub>

Таблица 17

F	q <sub>0</sub>	q <sub>1</sub>
S <sub>0</sub>	r <sub>0</sub>	r <sub>0</sub>
S <sub>1</sub>	r <sub>1</sub>	r <sub>1</sub>

Таблица 18

F	q <sub>0</sub>	q <sub>1</sub>
0	0	0
1	1	1

В таблицах 16–18 находятся значения входных сигналов  $S$ , состояний  $q$  и ответных сигналов  $r$  автомата отмены ошибочных действий.

### 3.2. Суммарный коэффициент петель обратной связи в системе автоматического управления учебной деятельностью

При исследовании любой системы можно устанавливать причинно-следственные и количественные связи между входными и выходными переменными, если изменение вы-

ходного сигнала (отклика, реакции системы, ответного действия и т.д.) вызвано изменением одного из входных сигналов. Если одновременно изменились две или более входные переменные, то в общем случае невозможно определить, какое влияние оказал каждый из входов на наблюдаемое изменение выходной переменной [102].

Различают два аспекта научения.

1. *Результативный* – при научении система должна достичь требуемого результата – качества выполнения действий с приемлемыми затратами времени, энергии и т.д.

2. *Процессуальный* – адаптация, приспособление научаемой системы к некоторому виду действий в процессе решения и т.д.

Под *итеративным научением* понимается многократное повторение управляемой системой действий, проб, ошибок для достижения цели при постоянных внешних условиях [103].

В случае итеративного научения считаем, что на результативные характеристики влияют две входные переменные:

- 1) информация о значении выходной переменной;
- 2) параметры окружающей среды – внешние условия.

Если бы на каком-то шаге изменились оба значения входных переменных, то результаты научения на этом шаге и на предыдущем были бы просто несравнимыми – нельзя было бы сказать, почему именно такое значение выходной переменной получилось. Поэтому постоянство внешних условий является существенной характеристикой итеративного научения [102].

На вход обучающемуся подается информация о задании и о достигнутом уровне успешности. Эта информация доступна постоянно. Информация о правильности совершения деятельности доступна не всегда, а в зависимости от уровня успешности: чем выше уровень, тем реже включается дат-

чик, информирующий обучающегося о его текущем состоянии. Если изменить одну из величин, подаваемых на вход, например, информацию о правильности деятельности или об отклонении от оптимальной траектории, то, следуя Д.А. Новикову, нельзя строить кривые научения, что является проблемой. Но эта проблема может быть решена введением такого параметра, который позволяет компенсировать изменение входной переменной и позволяет сказать, почему именно такое значение выходной переменной получилось. Этот параметр дает возможность сравнивать результаты научения на текущем и предыдущем шагах.

Постоянство внешних условий, которое осуществляется неизменностью внешней среды за счет подкрепления на каждое действие обучающегося, позволяет проводить количественное описание критерия научения в графическом виде. Данные графики представляют собой кривые научения, которые, как показали экспериментальные данные [102], имеют замедленно-асимптотический характер.

Характерными чертами для данных кривых являются:

- 1) монотонность;
- 2) уменьшение скорости научения с течением времени;
- 3) стремление кривой к определенному пределу.

В большинстве случаев экспериментальные графики аппроксимируются экспоненциальными кривыми [102].

Как говорилось выше, необходимым условием для сравнимости результатов научения в различные моменты времени, даже при постоянных внешних условиях, служит постоянство цели научения. В качестве основной результативной характеристики итеративного научения примем уровень научения. В качестве критерия уровня научения могут выступать следующие характеристики [102]:

- 1) *временные* – время выполнения действия, операции, время реакции, время, затрачиваемое на исправление ошибки, и т.д.;

2) *скоростные* – величины, обратные времени: производительность труда, скорость реакции, движения и т.д.;

3) *точностные* – величина ошибки в мерах физических величин (миллиметрах, углах и т.п.), расстояние до цели, вероятность ошибки, вероятность точной реакции, действия и т.д.;

4) *информационные* – объем заучиваемого материала, перерабатываемой информации, объем восприятия и т.д.

За критерий уровня научения возьмем точностные характеристики, а именно вероятность совершения ошибки. Но если условия внешней среды не постоянны, то научение уже нельзя назвать итеративным. При изменении сразу двух входных переменных результивные характеристики процесса научения тоже меняются. Для интерпретации значения выходной переменной необходимо ввести критерий, с помощью которого можно получать информацию о научении.

При построении кривых научения нужно учитывать ту входную переменную, которая менялась во внешней среде. Этой переменной в системе автоматического регулирования является частота подкрепления каждого действия, совершенного пользователем. Другим параметром, влияющим на результивные характеристики, является структура системы действий обучающегося  $S(Y)$ .

Структура системы действий обучающегося имеет сложный вид в силу разнообразия семантического смысла действий и порядка их выполнения. Однако если учитывать только синтаксическое значение данных о действиях обучающегося, то множество действий можно разделить на два подмножества: подмножество правильных действий (приближающих решение задачи) и подмножество неправильных действий (отдаляющих решение). Таким образом, деятельность можно формально представить в виде последовательности единиц и нулей – 1110110011..., т. е. в виде сообщения обучающегося (в синтаксической форме), характеризующего

структуру системы действий. В процессе научения решению задач доля правильных действий возрастает, соответственно, доля неправильных действий уменьшается.

В процессе развития происходит снижение меры неупорядоченности действий, которая проявляется в снижении неопределенности при принятии решения о выборе действия обучающимся, осуществляется накопление внутренней информации, которая позволила бы обучающемуся безошибочно находить решение задачи в проблемной среде.

В начале обучения недостаток внутренней информации компенсируется с помощью автоматического регулятора. Чем больше обучающийся накопил информации о способах решения задачи, тем меньше он нуждается в дополнительной (внешней по отношению к нему) информации. В этом случае ограничивает функционирование датчика «Расстояние до цели», а на завершающем этапе научения – отключает его.

Таким образом, показателем эффективности функционирования системы «обучающийся – проблемная среда» нужно считать такой параметр, который отражал бы и состояние структуры системы действий обучающегося, и параметры проблемной среды, при которых осуществлялась деятельность. Такая мера должна отражать значение функции ценности состояния обучающегося.

Возьмем в качестве показателя эффективности функционирования обучающегося в проблемной среде при выполнении  $i$ -го задания суммарный коэффициент обратной связи [1; 27; 126; 145], который с учетом всех контуров обратной связи принимает вид:

$$R = R_1 + R_2. \quad (30)$$

Коэффициент  $R_i$  в контуре местной обратной связи состоит из двух компонентов:  $P_a$  – частота исправлений действия обучающегося в проблемной среде,  $P_b$  – частота реакции системы в ответ на действия пользователя. Введя обозна-

чения  $p$  – доли правильных действий,  $(1-p)$  – доли неправильных действий и  $N$  – частота включений датчика «Расстояние до цели», перепишем:

$$R_1 = P_a \cdot P_b = (1-p) \cdot N.$$

Коэффициент  $R_2$  во втором контуре (главная обратная связь) зависит от цели системы автоматического управления (безошибочная структура системы действий обучающегося) и определяется:

$$R_2 = 1 - p.$$

Тогда, зная  $R_1$  и  $R_2$ , перепишем (30):

$$R_i^T = (1 - p_i) \cdot N_i + (1 - p_i),$$

$$R_i^T = (1 - p_i) \cdot (N_i + 1), \quad (31)$$

где  $p = \frac{N_1 + N^-}{N_0 + 2 \cdot N^-}$  – доля правильных действий:  $N_1$  – количество правильных действий,  $N_0$  – общее количество действий, совершенных обучающимся и не отмененных системой,  $N^-$  – количество действий, совершенных системой по отношению к неправильным действиям обучающегося,  $N_i$  – относительная частота включения датчика «Расстояние до цели». Индекс  $T$  в обозначении суммарного коэффициента обратной связи (указывает количество затраченного на обучение времени на момент завершения выполнения  $i$ -го задания) позволяет рассматривать его как в масштабе выполненных заданий, так и по затраченному времени.

Целью функционирования системы автоматического управления является достижение суммарным коэффициентом обратной связи нулевого значения. Это означает, что действия обучающегося не зависят от показаний датчиков проблемной среды и определяются только собственной системой управления, то есть мозгом, на основе внутренней информа-

ции. При этом отсутствует неопределенность при выборе действия и каждое действие приближает решение задачи.

Для достижения этой цели необходимо, чтобы в первом контуре обратной связи величина  $P_a$  равнялась единице, а  $P_b$  равнялось нулю. Во втором контуре необходимым условием для достижения цели является равенство величин задающего воздействия и значения реальной структуры действий обучающегося.

Мера рассогласования между требуемой (задающим воздействием  $x(t)$ ) и реальной деятельностью обучающегося  $z(t)$  – это значение функции ценности состояния. Она представлена в проблемной среде дискретным датчиком, отображающим систему уровней успешности в диапазоне от 1 до 10. Благодаря этому датчику обучающийся имеет возможность отслеживать саморазвитие своей учебной деятельности.

Проблемная среда связана с обучающимся двумя линиями связи – прямой линией передачи управляющих сигналов от проблемной среды к обучающемуся и линией обратной связи, передающей в проблемную среду информацию о действительном состоянии деятельности обучающегося. Система управления через датчик «Расстояние до цели» способствует обучающемуся в снятии структурного дисбаланса, обусловленного отрицательной обратной связью между деятельностью обучающегося и проблемной средой. Для этого в системе автоматического управления имеется модуль, который обеспечивает через датчик «Расстояние до цели» положительную обратную связь с множеством правильных действий и отрицательную обратную связь с множеством неправильных действий.

Положительная обратная связь, реализуемая системой автоматического управления, поддерживает (усиливает) правильные действия обучающегося, а отрицательная обратная



связь угнетает неправильные. По мере научения относительная частота правильных действий возрастает, т. е. деятельность обучающегося становится самодостаточной и не нуждается во внешнем подкреплении. Благодаря этому потребность в датчике «Расстояние до цели» снижается и вероятность его появления уменьшается от 1 до 0.

Представим графически особенности функционирования системы автоматического управления для различных обучающихся (элемент 8 на рис. 13), осуществлявших учебную деятельность в проблемной среде. Построим график изменения суммарного коэффициента обратной связи (формула 31) в масштабе выполненных заданий. Маркеры на графиках обозначают выполненные задания.

Для большинства обучающихся от задания к заданию  $P_a$  уменьшается, что делает структуру системы действий более совершенной, т. е. функция ценности состояния обучающегося возрастает. По мере научения недостаток внешней помощи (уменьшение  $P_b$ , затем отключение датчика «Расстояние до цели») компенсируется накопленными знаниями и деятельность обучающегося перестает нуждаться в регулировании. Такому положению вещей соответствует уменьшение коэффициента обратной связи до нуля.

Некоторая часть обучающихся, успешно осуществляющих деятельность при повышенной частоте  $P_b$  (датчик расстояния до цели компенсирует внутреннюю неопределенность), при уменьшении частоты подкрепления совершают больше ошибочных действий, и проблемная среда увеличивает  $P_b$  при выполнении следующего задания. Происходит колебание показателя суммарного коэффициента обратной связи  $R_i^T$  (рис. 21 а, б).

В эксперименте все обучающиеся достигают десятого уровня (безошибочной деятельности в отсутствие подкрепления). Но приведенные на рис. 23 графики изменения

суммарного коэффициента обратной связи показывают, насколько разным может быть процесс научения решению задач в вербальной проблемной среде.

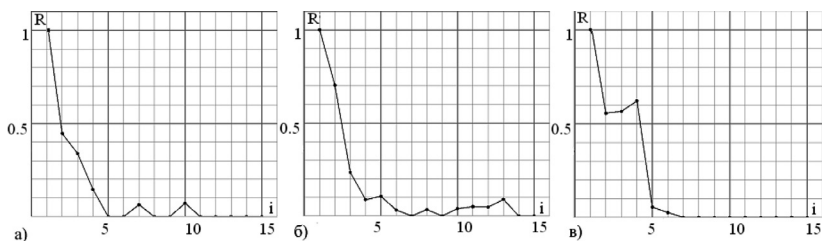


Рис. 23. Графики изменения коэффициента обратной связи в масштабе выполненных заданий: а) обучающегося № 1; б) обучающегося № 2; в) обучающегося № 3

Итак, подводя итог вышесказанному, можно сделать вывод о том, что достижение безошибочной деятельности при непрерывном подкреплении не означает того, что сформирован навык самостоятельно совершать учебную деятельность. Достижение безошибочной самостоятельной деятельности наступает только тогда, когда обучающийся совершенно не нуждается в помощи при решении задач. Убирая рассогласование  $x(t)$  в контуре местной и главной обратной связи, можно достичь безошибочной структуры системы действий обучающегося  $S(Y)$ , что соответствует цели управления  $Z^*$ .

### 3.3. Поиск решения задач в пространстве состояний, представленном в виде графа

Состояние любой системы можно представить совокупностью значений величин, определяющих ее поведение. Эти величины позволяют сравнивать между собой состояния отдельных систем и судить об их отличии и сравнивать состояния одной и той же системы в различные моменты времени для выяснения ее движения [78].

Прежде чем приступить к рассмотрению поиска решения задач в пространстве состояний, введем некоторые понятия. Любая задача содержит набор начальных данных, оперируя которым и выполняя которые шаг за шагом можно достичь решения. Под *состоянием* будем понимать некоторое конкретное значение параметров задачи. В соответствии с этим определим *начальное состояние* как начальное значение параметров задачи, а *целевое состояние* – как конечное значение параметров задачи.

*Пространство состояний* – это множество состояний задачи, достижимых из начального состояния, состоящее из тех конфигураций задачи, которые могут быть образованы с применением преобразований, допустимых некоторой совокупностью правил. Очень часто пространство состояний представляют в виде графа, вершины которого соответствуют состояниям, а дуги – операторам. С помощью *операторов* происходит преобразование одного состояния в другое [101].

При решении задач с использованием пространства состояний необходимо выбрать форму описания состояний задачи – эта форма должна быть единой для всех возможных состояний. Как правило, выбираемая форма описания имеет сходство с некоторым физическим свойством решаемой задачи и может принадлежать любому допустимому типу данных (массивы, строки, списки, деревья).

На языке пространства состояний и операторов решение некоторой проблемы есть последовательность операторов, которая преобразует начальное состояние в целевое. Пространство состояний, достижимых из данного начального состояния, можно представить в виде графа, вершины которого соответствуют всем состояниям задачи. Все вершины такого графа связаны между собой дугами, соответствующими операторам действий.

Говоря о методе решения задач, основанном на понятии пространства состояний и операторов, мы имеем в виду, что

это подход к задаче с точки зрения пространства состояний. Решение задач, основанное на данном методе, состоит в построении последовательности операторов, начиная от некоторого начального состояния и добавляя каждый раз по одному оператору до тех пор, пока не будет достигнуто целевое состояние [101].

Для описания поиска решения задачи с использованием построения пространства состояний нужно иметь определенное представление о том, что такое состояния в данной задаче. Важным этапом построения какого-либо состояния задачи с использованием пространства состояний является выбор конкретной формы описания состояний этой задачи. Одной из формой описания задачи может служить *граф*, который состоит из множества вершин. Это *множество вершин* представляет собой количество состояний, которые имеются в задаче. Некоторые пары вершин соединены между собой *дугами*, направленными от одного члена пары к другому. Такой граф называют *направленным*. В случае когда граф используется для представления пространства состояний, с его вершинами связывают описания состояний, а с дугами – *операторы*. Проблема нахождения последовательности операторов, преобразующих одно состояние в другое, эквивалентна задаче поиска пути на графе. Иногда бывает удобно приписывать дугам графа стоимость, которая отражает стоимость применения оператора. В задачах оптимизации возникает необходимость найти путь между двумя вершинами, имеющий минимальную стоимость. В задачах простейшего типа требуется найти путь между заданной вершиной, представляющей целевое состояние, и второй заданной вершиной, представляющей целевое состояние [101].

В системах ИИ [101; 117; 118] поиск решения задач состоит в нахождении алгоритма и написании соответствующей программы поиска допустимого пути в пространстве со-

стояний из начального в целевое состояние. Эти алгоритмы и программы интерпретируются как системы искусственного разума. Встает вопрос: как использовать этот подход для организации процесса научения решению задач не искусственного, а естественного разума. Для этого используются возможности информационных технологий, которые позволяют отобразить пространство состояний задачи в виде множества ситуаций и задать функцию определения преемника системой кнопок. Нажатие кнопки соответствует тому или иному действию, которое переводит задачу из текущей ситуации в следующую. Последовательность действий, и соответственно, ситуаций в *графовом представлении* можно рассматривать как путь, который проходит обучающийся в процессе поиска решения задачи. По мере научения путь, проходимый обучающимся, приближается к оптимальному, т. е. его деятельность становится безошибочной [52; 57]. В подходе, использующем пространство состояний, предполагается существование счетного множества  $S$  состояний и множества  $O$  операторов, которые отражают состояния множества  $S$  в себя. Решение задачи рассматривается как передвижение в пространстве, определяемом множеством этих состояний, с целью достигнуть желаемого множества целевых состояний [55]. Задача решена, когда найдется последовательность операторов  $o = o^{(1)}, o^{(2)}, \dots, o^{(k)}$ , что  $s_g = o^{(k)}(o^{(k-1)}(\dots o^{(2)}(s_0))\dots)$ , где  $s_0$  – состояние из множества начальных состояний, а  $s_g$  – из множества целевых состояний. На языке пространства состояний задачу можно представить в виде направленного графа, а решение ее – путь между выделенными узлами графа. Пусть  $N = \{n_i\}$  – упорядоченное множество вершин (узлов) и  $E = \{e(n_i, n_j)\}$  – множество помеченных дуг между ними.  $E$  и  $N$ , вместе взятые, определяют граф  $G$ . Пусть  $S_0$  и  $S_g$  – начальное и целевое подмножества в  $N$ . *Решение* – это такая последовательность узлов  $n_0, n_1, \dots, n_k$ , что  $n_0 \in S_0$  и  $n_k \in S_g$ . Два

узла  $n_i$  и  $n_{i+1}$  могут принадлежать этой последовательности, только если определена дуга  $e(n_i, n_{i+1})$ . *Стоимость решения* – это просто сумма меток на дугах, т. е. стоимость решения  $= \sum_{i=0}^{k-1} e(n_i, n_{i+1})$ . Стоимость решения минимальна, если не существует другого решения с меньшей стоимостью. Длина решения – число узлов в нем. Множество узлов, достижимых из узла  $n$  (т. е. множество узлов  $\{m\}$ , для которых дуга  $e(n, m)$  определена), – это множество преемников узла  $n$ , которое обозначим  $S(n)$ .

Далее будем пользоваться моделью «равных цен» [24; 118] при построении любого графа пространства состояний задачи. В данной модели принимается стоимость одного совершенного действия обучающегося (метка на дуге графа) 1 у.е. Все дуги имеют одинаковую стоимость, т. е. все действия обучающегося равноценны. Оптимальный путь, согласно приближению модели равных цен, минимизирует стоимость решения. Используя данный подход, можно смоделировать проблемные среды для вербальных и математических задач в виде графа пространства состояний.

Поиск пути к единственному целевому состоянию обучающийся начинает от начального узла (начального состояния)  $n_0 \in S_0$ . На первом шаге обучающийся делает выбор из множества его преемников  $S(n_0)$ , а затем упорядочивает множество  $V = S(n_0) \cup \{S_0 - n_0\}$  в соответствии с оценкой  $f(n)$  стоимости решающего пути для каждого  $n \in V$ . Оптимальный путь, согласно приближению модели равных цен, минимизирует стоимость окончательного решения [118].

Первым шагом в решении задачи является формулировка цели обучающимся с учётом текущей ситуации. Под *целью* понимается множество состояний мира, а именно тех состояний, в которых достигается цель. Задача обучающегося состоит в том, чтобы определить, какая последовательность действий приведёт его в целевое состояние. Прежде чем это

сделать, он должен определить, какого рода действия и состояния ему необходимо рассмотреть.

Формулировка задачи представляет собой процесс определения того, какие действия и состояния следует рассматривать с учётом некоторой цели. Обучающийся не знает, какое из его возможных состояний является наилучшим, поскольку не обладает достаточными знаниями о состоянии, возникающем в результате выполнения каждого действия. Если обучающийся не получит дополнительных знаний, то окажется в тупике. В случае если он имеет несколько непосредственных вариантов выбора с неизвестной стоимостью, он может решить, что делать, исследуя вначале возможные последовательности действий, которые ведут к состояниям с известной стоимостью, а затем выбирая из них наилучшую.

Описанный процесс определения такой последовательности называется *поиском*. Любой алгоритм поиска [80] принимает в качестве входных данных некоторую задачу и возвращает решение в форме последовательности действий. После формулировки цели и решаемой задачи обучающийся вызывает процедуру поиска для решения этой задачи. Затем он использует полученное решение для руководства своими действиями, выполняя в качестве следующего предпринимаемого мероприятия всё, что рекомендовано в решении (первое действие в последовательности). Сразу после выполнения этого решения обучающийся формулирует новую цель [117; 118].

Используя вышесказанное, можно задачу определить с помощью четырёх компонентов:

1. Начальное состояние, в котором обучающийся приступает к работе.

2. Функция определения преемника. В ней описываются возможные действия, доступные обучающемуся. Начальное состояние и функция определения преемника, вместе взятые,

неявно задают пространство состояний данной задачи – множество всех состояний, достижимых из начального состояния. Пространство состояний образует граф, узлами которого являются состояния, а дугами между ними – действия.

3. Путём в пространстве состояний является последовательность состояний, соединённых последовательностью действий. Проверка цели позволяет определить, является ли данное конкретное состояние целевым состоянием.

4. Функция стоимости пути, которая назначает числовое значение стоимости каждому пути. Обучающийся, решающий задачу, выбирает функцию стоимости, которая соответствует его собственным показателям производительности.

Описанные выше элементы определяют задачу и могут быть собраны в единую структуру данных, которая передаётся в качестве входных данных в алгоритм решения задачи. Решением задачи является путь от начального до целевого состояния. Качество решения измеряется с помощью функции стоимости пути, а оптимальным является такое решение, которое имеет наименьшую стоимость пути среди всех прочих решений.

Сформулировав определенные задачи, необходимо найти их решение. Такая цель достигается посредством поиска в пространстве состояний.

Для решения задачи в пространстве состояний необходимо проделать следующее:

1. Прежде чем обучающийся сможет приступить к поиску решений, он должен сформулировать *цель*, а затем использовать ее для формулировки *задачи*.

2. *Задача* состоит из четырёх частей: *начальное состояние, множество действий, функция проверки цели и функция стоимости пути*. *Среда задачи* представлена *пространством состояний*, а путь через пространство состояний от начального до целевого представляет собой *решение* [118].



Определив эти составляющие, можно начинать поиск решения задачи. Поиск решений осуществляется человеком с помощью нескольких методов. Здесь могут применяться случайный поиск, поиск методом проб и ошибок, а также избирательный, который более присущ интеллектуальной деятельности человека [42].

Поиск решения задачи происходит в пространстве её состояний, по которым «блуждает», ища правильное решение, обучающийся. Все состояния между собой связаны, переход между ними составляет траекторию пути решения данной задачи. В отличие от машинного поиска, человек, действуя избирательно, отмечает сразу те траектории, которые не приводят к целевому состоянию – решению задачи.

Таким образом, можно говорить о том, что среду любой задачи возможно представить в виде пространства состояний, выделив среди них начало решения – начальное состояние и окончание решения – целевое состояние. Путь между этими состояниями является решением данной задачи.

### **3.4. Примеры моделирования проблемных сред задач различных типов**

Поиск решения задачи происходит в пространстве её состояний. Исходя из определения проблемной среды, опишем пространство состояний задач.

*Вербальная проблемная среда* – это среда, в которой осуществляется деятельность по решению вербальных задач. Под *вербальной задачей* понимается задача по расстановке пропущенных фрагментов текста, таких как: слово, слог, приставка слова, окончание слова, корень слова, знак препинания и др. *Математическая проблемная среда* – это среда, в которой осуществляется деятельность по решению математических задач.

Прежде чем начинать создание проблемной среды, не-

обходимо внимательно изучить деятельность, реализующую обучение. На этом этапе важно не допустить подмены одних навыков другими. Математические и вербальные проблемные среды, с которыми взаимодействует обучающийся, функционально состоят из объектов и встроенных в них инструментов и механизмов, как доступных обучаемому, так и скрытых от него. В этот набор обязательно входят объекты, необходимые для решения поставленной задачи, и механизмы, реализующие управление этими объектами [58; 153].

Проблемные среды, о которых пойдет дальше речь, имеют в своём составе следующие объекты:

1. Область постановки задачи, которая содержит модуль, формирующий задания на принципах рандомизации.

2. Рабочее поле, содержащее объект управления, в котором происходит решение задач.

3. Доступные действия (кнопки), с помощью которых осуществляется задание функции преемника в пространстве состояний данной задачи.

4. Информационная панель, включающая в себя разные датчики, в зависимости от типа системы управления, – «Расстояние до цели», «Расстояние до цели», «Ресурс действий» и датчик «Уровни».

Объекты управления в разных проблемных средах отличаются между собой. Например, если рассматривать математические проблемные среды, то в них объектом управления выступают графики различных функций. Говоря о вербальных проблемных средах, под объектом управления будем понимать фрагменты текста, которыми можно управлять в зависимости от поставленной задачи. Фрагментами текста могут быть как пропущенные знаки препинания, так и пропущенные буквы, слоги. В процессе прохождения заданий ведется скрытое протоколирование действий обучаемого. При этом удобно делить все действия на правильные – ведущие к реше-

нию задачи, сокращающие расстояние до цели, и неправильные – уводящие от решения. Анализ протокола деятельности позволяет определить количественное значение неопределенности, с которой обучающийся оперирует объектами управления, и сравнить его с эталонным значением. Неопределенность среды обуславливается как случайным характером появления ориентиров, так и параметрами решаемых задач.

### ***Вербальные проблемные среды***

Вербальная проблемная среда (ВПС) может включать в себя не только задачи на пунктуацию, но и задачи на орфографию.

В связи с вышесказанным ВПС можно разделить на три типа:

1. Содержащие задачи по пунктуации.
2. Содержащие задачи по орфографии.
3. Содержащие смешанные задачи.

*Первый тип ВПС* представляет собой следующий набор элементов: информационная панель и рабочее поле, в котором сформирована задача по пунктуации. В задаче, которую решает обучающийся, отсутствуют знаки препинания. Обучающийся должен найти место в тексте и установить недостающий знак препинания. Текст подбирается таким образом, чтобы в нем присутствовали разные типы знаков. Это необходимо для того, чтобы в проблемной среде возникла неопределенность. Слишком малая неопределенность приводит к тому, что интерес к задаче угасает, обучающемуся становится не интересно находить ее решение. Если неопределенность слишком большая, то это может привести к двум вариантам развития события: первый вариант – обучающийся длительное время упорно решает задачу, даже если при этом не может найти ее решение, все попытки довести задачу до ответа приводят к неудаче; второй вариант – обучающийся вследствие серии неудачных попыток найти верное

решение впадает в состояние «психоза», хотя подкрепление идет на каждое действие [99; 100]. Это возникает вследствие того, что до решения задачи остается 1–2 действия (установить 1–2 знака), а вариантов мест, где они могут быть установлены, очень много. Поэтому, ставя знак в эти места и получая при этом отрицательное подкрепление, некоторые обучающиеся не выдерживают.

*Второй тип ВПС* содержит в себе немного другой набор элементов: информационная панель и рабочее поле с сформированной задачей по орфографии. Эти задачи могут быть различными, на какие-либо виды правил. Основной тип задач, содержащийся в ВПС, – это вставить пропущенные буквы в словах. Пропущена может быть не только одна буква, но и несколько подряд идущих в одном слове.

*Третий тип ВПС* содержит в себе другой набор элементов: информационная панель и рабочее поле, содержащее комбинированную задачу на орфографию и пунктуацию. Для решения такого типа задач требуется вставить пропущенные буквы в словах и знаки препинания. Проблемные среды последнего типа являются наиболее сложными, так как здесь требуется решать два типа задач одновременно.

### **Формирование ВПС**

ВПС формируется в специальном текстовом редакторе посредством выделения нужных элементов заданного текста. В зависимости от поставленной задачи – на орфографию или пунктуацию или то и другое – тестирующий формирует проблемную среду.

Если рассматривать ВПС первого типа, то это представляется в следующем виде. Подбирается текст на определённое правило, например, «Знаки препинания при однородных членах предложения», «Обособление определений, выраженных причастным оборотом», «Обособление обстоятельств, выраженных деепричастным оборотом», «Вводные слова

и словосочетания», «Пунктуация в сложносочиненном предложении», «Пунктуация в сложноподчиненном предложении», «Запятая при союзе “как”», «Знаки препинания в бессоюзном сложном предложении», «Диктанты». Далее убираются все знаки препинания.

Для ВПС второго типа тоже можно подобрать текст таким образом, чтобы сформировать среду на определённое правило, например: «О-А в безударных корнях», «И-Е в корнях с чередованием», «Приставки ПРЕ- и ПРИ-», «И-Ы после Ц», «Гласные Ы-И после приставок», «Окончание имён прилагательных». Сложность задач, встроенных в ВПС второго типа, заключается в количестве убранных подряд идущих букв, например, в окончаниях слов или внутри слова, суффиксах.

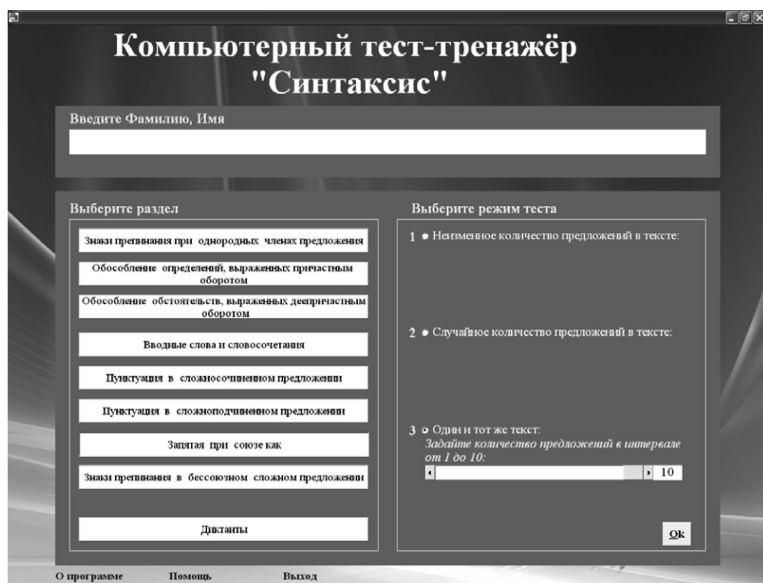
ВПС третьего типа наиболее сложные, потому что в них присутствуют задачи двух типов. Формирование проблемной среды происходит в зависимости от поставленной цели тестирующим. Может идти отработка одного правила орфографии параллельно с отработкой одного из правил пунктуации.

Рассмотрим один из возможных сценариев вербальных проблемных сред, в которых основным видом деятельности является расстановка знаков препинания. При запуске проблемной среды можно выбрать тематический раздел, режим работы, который содержит порядок подачи предложений, а также количество предложений для работы (рис. 24).

Задачи, решению которых должны научиться обучающиеся при прохождении заданий проблемной среды «Динамический компьютерный тест-тренажер “Синтаксис”» [97], состоят в расстановке знаков препинания в пропущенных местах. Задание может быть таким: «Расставьте знаки препинания в предложенном тексте». В зависимости от выбранного режима предлагается набор предложений, в которых отсутствуют знаки препинания.

В данном тесте-тренажере 9 тематических разделов:

1. Знаки препинания при однородных членах предложения.
2. Обособление определений, выраженных причастным оборотом.
3. Обособление обстоятельств, выраженных деепричастным оборотом.
4. Вводные слова и словосочетания.
5. Пунктуация в сложносочиненном предложении.
6. Пунктуация в сложноподчиненном предложении.
7. Запятая при союзе «как».
8. Знаки препинания в бессоюзном сложном предложении.
9. Диктанты.



*Рис. 24. Выбор тематического раздела и режима работы в динамическом компьютерном тесте-тренажере «Синтаксис»*

В данном тесте-тренажере можно выбрать 3 режима работы:

1. Неизменное количество предложений в тексте.

2. Случайное количество предложений в тексте.

3. Один и тот же текст.

Количество предложений можно выбрать в интервале [2; 12]. Количество предложений в базе составляет более 200 по различным темам, которые хранятся в специальных файлах. Программа, обращаясь к файлу, согласно выбранной теме, формирует массив предложений в зависимости от типа теста.

Расставлять пропущенные знаки можно с помощью кнопок (рис. 24). Обучающийся должен установить курсор в нужном месте предложения и поставить знак препинания путем нажатия кнопки с соответствующим знаком. Задание считается выполненным, если в рабочей области расставлены все знаки препинания, о чём можно судить, ориентируясь на датчик «Расстояние до цели» (рис. 25). Если введенный знак является ошибочным, то его можно убрать с рабочего поля путем нажатия кнопки «del».



Рис. 25. Панель доступных действий и датчик «Расстояние до цели»

Информация о текущем состоянии (датчик «Расстояние до цели») доступна обучаемому не постоянно. Средняя частота включения датчика обратно пропорциональна достигнутому уровню: чем выше уровень, тем меньше информации доступно пользователю. Графически индикация расстояния до цели представлена на информационной панели, отражающей минимальное количество действий, необходимых для выполнения задания. Изображенный справа от диаграммы «Смайлик» реагирует на совершаемые действия и в зависимости от их правильности принимает либо веселый, либо грустный вид.

Далее рассмотрим построение различных алгоритмических и вербальных проблемных сред для решения разных задач. Как уже говорилось выше, для создания проблемной среды нужно определить пространство состояний данной зада-

чи, выделить из них начальное, целевое состояния, а также задать функцию преемника состояний. Это можно сделать с помощью графа.

### **Граф пространства состояний задачи по преобразованию линейной функции**

В качестве примера на рис. 26 представлен *граф пространства состояний задачи по преобразованию линейной функции  $y = kx + b$ .*

Из рис. 26 видно, что пространство состояний задачи конструирования графика линейной функции представляет собой граф, вершины которого находятся в узлах квадратных решеток [52]. Каждой вершине соответствуют два числа  $(k, b)$ .

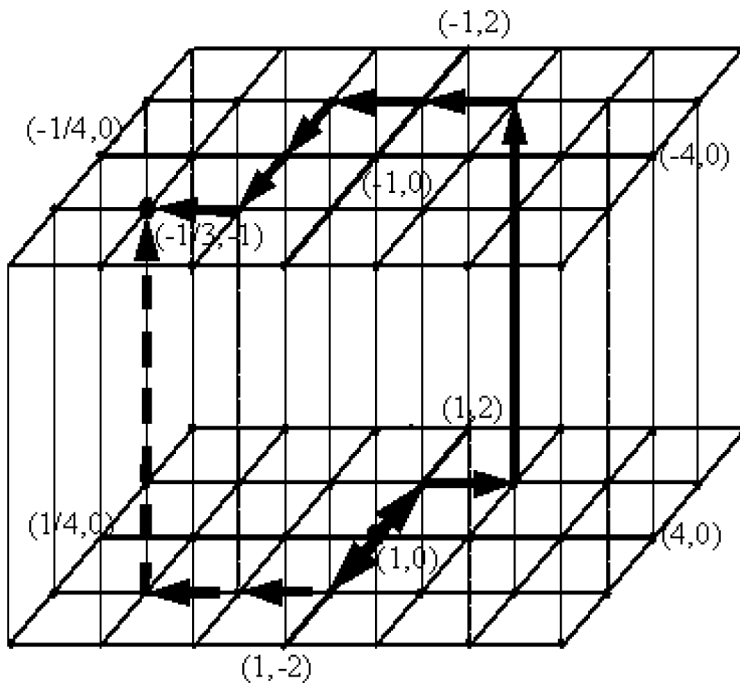


Рис. 26. Граф пространства состояний решения задачи по преобразованию графика линейной функции из начального состояния  $(1, 0)$  в целевое  $(-1/3, -1)$



Первое число соответствует  $k$  – тангенсу угла наклона графика, второе число  $b$  показывает, насколько поднят или опущен график линейной функции вдоль оси  $OY$ . Квадратные решетки соответствуют разным знакам  $k$ . Любая вершина графа может быть начальным состоянием графика линейной функции, так же как и любая вершина может служить целевым состоянием [47].

$N$  – количество узлов графа, которые определяются двумя параметрами:  $k$  и  $b$ :  $N = (k; b)$ . Параметр  $k$  представляет собой подмножество:

$$k = \left\{ \frac{1}{4}; \frac{1}{3}; \frac{1}{2}; 0; 1; 2; 3; 4 \right\} \cup \left\{ -\frac{1}{4}; -\frac{1}{3}; -\frac{1}{2}; 0; -1; -2; -3; -4 \right\}.$$

Параметр  $b$  представляет собой другое подмножество:  $b = \{-1; -2; -3; -4; 0; 1; 2; 3; 4\}$ .

*Начальное состояние*  $S_0 = (1, 0)$ , что соответствует значениям линейной функции:  $k = 1$  и  $b = 0$ . *Целевое состояние* определяется поставленной задачей, в данном случае  $S_g = (-1/3, -1)$ . Каждый узел имеет своё множество преемников. *Функцию определения преемника* можно записать следующим образом:  $S(n) = S(\pm k \pm 1; \pm b \pm 1)$ , если  $k$  – целое, и  $S(n) = S(\pm \frac{1}{k+1}, (k_{i+1} = k_i + 1); \pm b \pm 1)$ , если  $k$  – дробное.

*Решением* данной задачи является последовательность узлов  $n_0, n_1, n_2, \dots, n_k$ , что  $n_0 \in S_0$  и  $n_k \in S_g$ . На рис. 26 решение, изображённое штриховой линией, состоит из последовательности:  $n_0, n_1, n_2, n_3, n_4$ , а решение, показанное непрерывной траекторией, состоит из последовательности:  $n_0, n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6, n_7, n_8$ .

*Стоимостью решения* служит сумма дуг, соединяющих два последовательных узла данной последовательности. Определим стоимость одной дуги, равной 1 у.е. Стоимость решения минимальна, если не существует другого решения с меньшей стоимостью.

На рис. 26 штриховая линия показывает оптимальную траекторию (имеет минимальную стоимость) перехода из начального состояния в целевое. Стоимость данной траектории равна 4 у.е. Сплошная линия показывает неоптимальную траекторию перехода (имеет большую стоимость) из начального в целевое состояние. Обучающийся в самом начале своей деятельности совершил два неправильных действия и удалился от целевого состояния на шесть действий. Стоимость этой траектории равна 8 у.е. *Длина решения* оптимальной траектории составляет количество узлов на данном графе и равна 5. Длина решения неоптимальной траектории на данном графе равна 9.

Другим примером служит *граф пространства состояний преобразования графика линейной функции*  $Ax + By + C = 0$  к виду  $\frac{x}{a} + \frac{y}{b} = 1$ , представленный на рис. 27.

Граф состоит из:

- упорядоченного множества узлов –  $N = 256$ ,
- множества дуг между ними –  $E = 452$ .

$N$  – количество узлов графа, которые определяются двумя параметрами  $a$  и  $b$ :  $N = (a; b)$ . Параметр  $a$  представляет собой подмножество:  $a = \{-7; -6; -5; -4; -3; -2; -1; 0; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7\}$ . Параметр  $b$  представляет собой другое подмножество:  $b = \{-7; -6; -5; -4; -3; -2; -1; 0; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7\}$ .

*Начальное состояние*  $S_0 = (1, 1)$ , что соответствует значениям линейной функции:  $a = 1$  и  $b = 1$ . *Целевое состояние* определяется поставленной задачей, в данном случае  $S_g = (5, -5)$ . Каждый узел имеет своё множество преемников. *Функцию определения преемника* можно записать следующим образом:  $S(n) = S(a; b)$ . При этом присутствуют ограничения, учитывающие, что на пути решения в определённые состояния приходить не следует [147, с. 5]. Опишем далее состояния, в которые можно перейти из  $n$ -го узла с учётом наложенных ограничений.

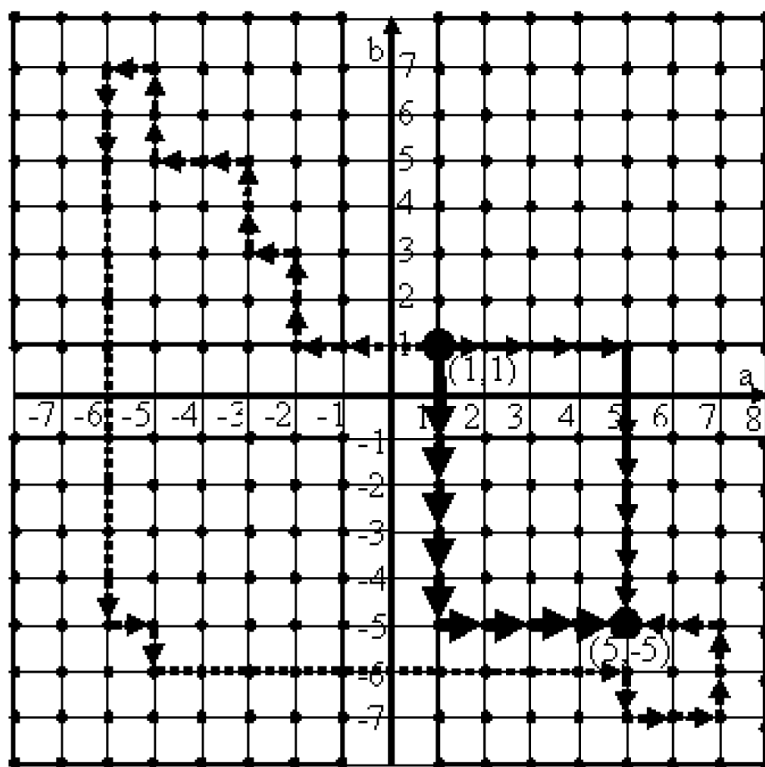


Рис. 27. Граф пространства состояний решения задачи по преобразованию графика линейной функции  $\frac{x}{a} + \frac{y}{b} = 1$  из начального состояния (1, 1) в целевое (5, -5)

Если  $|a| > 1$ ,  $|b| > 1$ , то состояния, в которые можно перейти из данного узла, можно записать:  $S_1 = (a-1, b)$ ,  $S_2 = (a+1, b)$ ,  $S_3 = (a, b+1)$ ,  $S_4 = (a, b-1)$ ,  $S_5 = (a, -b)$ ,  $S_6 = (-a, b)$ .

Если  $|a| = 1$ ,  $|b| > 1$ , то состояния, в которые можно перейти из данного узла, можно записать:  $S_1 = \text{нет}$ ,  $S_2 = (a+1, b)$ ,  $S_3 = (a, b+1)$ ,  $S_4 = (a, b-1)$ ,  $S_5 = (a, -b)$ ,  $S_6 = (-a, b)$ .

Если  $|a| > 1$ ,  $|b| = 1$ , то состояния, в которые можно перейти из данного узла, можно записать:  $S_1 = (a-1, b)$ ,  $S_2 = (a+1, b)$ ,  $S_3 = (a, b+1)$ ,  $S_4 = \text{нет}$ ,  $S_5 = (a, -b)$ ,  $S_6 = (-a, b)$ .

Если  $|a| = 1$ ,  $|b| = 1$ , то состояния, в которые можно перейти из данного узла, можно записать:  $S_1 = \text{нет}$ ,  $S_2 = (a+1, b)$ ,  $S_3 = (a, b+1)$ ,  $S_4 = \text{нет}$ ,  $S_5 = (a, -b)$ ,  $S_6 = (-a, b)$ .

Обучающийся «блуждает» по узлам графа, переходя из одного состояния в другое, в поисках правильного решения – целевого состояния.

*Решением* данной задачи является последовательность узлов  $n_0, n_1, n_2, \dots, n_k$ , что  $n_0 \in S_0$  и  $n_k \in S_g$ .

На рис. 27 решение, изображённое мелкой штриховой линией, состоит из последовательности:  $n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6, n_7, n_8, n_9, n_{10}, n_{11}, n_{12}, n_{13}, n_{14}, n_{15}, n_{16}, n_{17}, n_{18}, n_{19}, n_{20}, n_{21}, n_{22}, n_{23}, n_{24}, n_{25}$ , а два остальных решения представлены последовательностью  $n_0, n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6, n_7, n_8, n_9$ .

На рис. 27 показаны три различных решения задачи, два из них имеют минимальную *стоимость решения* – это сумма меток на дугах [147, с. 261]. Исходя из модели «равных цен», стоимость одной метки равна 1 у.е. В двух случаях стоимость решения равна 9, а в третьем – 25.

Когда обучающийся решает задачу, то он осуществляет поиск решения, который, в свою очередь, влияет на стоимость решения. Решение становится минимальным тогда, когда обучающийся овладевает навыками решать поставленные перед ним задачи.

### **Граф пространства состояний задачи по преобразованию квадратичной функции**

Следующим примером служит граф пространства состояний задачи по преобразованию квадратичной функции  $y = a(x - x_0) + y_0$  (рис. 28).

Граф, полученный для решения данной задачи, представляет два «кубика», которые связаны между собой.

Каждой вершине соответствуют три числа  $(a, x_0, y_0)$ . Первое число  $a$  – коэффициент сжатия, растяжения квадратичной функции. Второе число  $x_0$  показывает, насколько сме-

щён график квадратичной функции вдоль оси  $OX$ . Третье число  $y_0$  показывает смещение графика вдоль оси  $OY$ . Переход от «одного кубика к другому» соответствует разным знакам  $a$ .

$N$  – количество узлов графа, которые определяются тремя параметрами:  $a$ ,  $x_0$  и  $y_0$ :  $N = (a, x_0, y_0)$ . Параметр  $a$  представляет собой подмножество:

$$a = \left\{ \frac{4}{3}, \frac{3}{2}, \frac{5}{3}, 1, \frac{3}{4}, \frac{3}{2}, \frac{3}{5} \right\} \cup \left\{ -\frac{4}{3}, -\frac{3}{2}, -\frac{5}{3}, -1, -\frac{3}{4}, -\frac{3}{2}, -\frac{3}{5} \right\}.$$

Параметр  $x_0$  представляет собой другое подмножество:  $x_0 = \{-1; -2; -3; -4; 0; 1; 2; 3; 4\}$ .

Параметр  $y_0$  представляет собой следующее подмножество:  $y_0 = \{-1; -2; -3; -4; 0; 1; 2; 3; 4\}$ .

*Начальное состояние*  $S_0 = (1, 0, 0)$ , что соответствует значениям линейной функции:  $a = 1$ ,  $x_0 = 0$  и  $y_0 = 0$ . *Целевое состояние* определяется поставленной задачей, в данном случае  $S_g = (-1/2, 5, 3)$ . Каждый узел имеет своё множество преемников. *Функцию определения преемника* можно записать следующим образом:  $S(n) = S(\pm a(i \pm 1); \pm x_0 \pm 1; \pm y_0 \pm 1)$ , где  $a(i)$  – последовательность из массива значений.

*Решением* данной задачи является последовательность узлов  $n_0, n_1, n_2, \dots, n_k$ , что  $n_0 \in S_0$  и  $n_k \in S_g$ . На рис. 28 решение, изображённое непрерывной линией, состоит из последовательности:  $n_0, n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6, n_7, n_8, n_9, n_{10}, n_{11}, n_{12}, n_{13}$ .

*Стоимостью решения* служит сумма дуг, соединяющих два последовательных узла данной последовательности. Определим стоимость одной дуги, равной 1 у.е. Стоимость решения минимальна, если не существует другого решения с меньшей стоимостью.

На рис. 28 изображена оптимальная траектория, которая имеет минимальную стоимость перехода из начального состояния в целевое. Стоимость данной траектории равна 13 у.е. *Длина решения* оптимальной траектории составляет количество узлов на данном графе и равна 14.

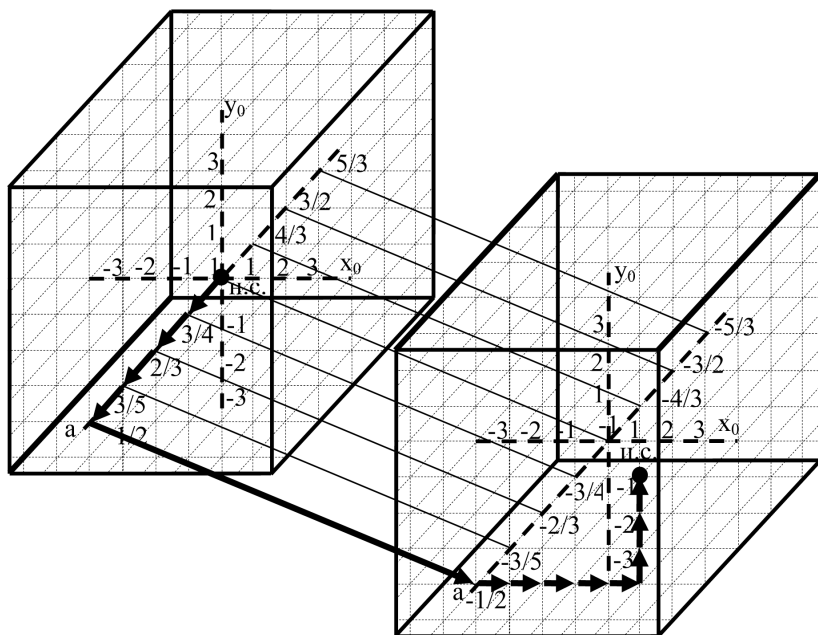


Рис. 28. Граф пространства состояний решения задачи по преобразованию графика квадратичной функции из начального состояния  $(1, 0, 0)$  в целевое  $(-1/2, 5, 3)$

### **Граф пространства состояний задачи по расстановке знаков препинания в заданном тексте**

Следующим примером (рис. 29) является граф пространства состояний задачи по расстановке знаков препинания в заданном тексте. Покажем на простом примере: «Лес шумит, успокаивает.», как строится данный граф пространства состояний.

Система убирает знаки препинания – запятую и точку. Граф, полученный для решения данной задачи, представляет собой некую объемную фигуру с множеством вершин. Каждой вершине соответствует определённое состояние – расположение знаков препинания в определённых местах текста. Количество узлов  $N$  в данном графе зависит от количества состоя-

ний. Здесь возможны 26 состояний – это расположение знаков препинания в пробелах, поэтому размер графа  $N = 26$ . Узлы соединяются между собой дугами, количество дуг  $E = 54$ .

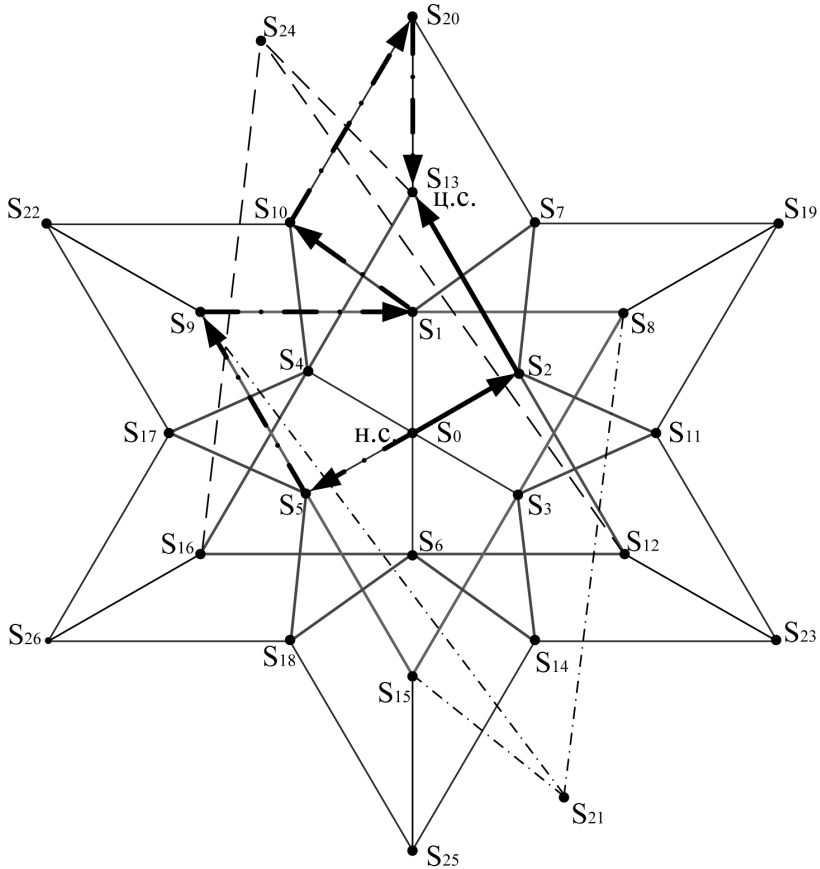


Рис. 29. Граф пространства состояний поиска решения задачи из начального состояния  $S_0$  в целевое  $S_{13}$

*Начальное состояние:* нет знаков препинания –  $S_0$ . *Целевое состояние:* запятая во втором пробеле, точка в третьем пробеле –  $S_{13}$ . Опишем все возможные состояния  $S(n)$ , в которые может переходить обучающийся. *Состояния:* распо-

ложение знаков препинания в предложении перед пробелами сразу после слова.  $S_0$  – состояние начального уровня (отсутствуют знаки),  $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$  – состояния первого уровня (один знак в предложении),  $S_7, S_8, S_9, S_{10}, S_{11}, S_{12}, S_{13}, S_{14}, S_{15}, S_{16}, S_{17}, S_{18}$  – состояния второго уровня (два знака в предложении),  $S_{19}, S_{20}, S_{21}, S_{22}, S_{23}, S_{24}, S_{25}, S_{26}$  – состояния третьего уровня (три знака в предложении).

Так из начального состояния можно перейти в те состояния, которые соответствуют первому уровню. Из состояний, соответствующих первому уровню, можно переходить в состояния второго уровня, а из этих, соответственно, в состояния третьего уровня. Чем больше знаков препинания в тексте, тем больше состояний и уровней перехода. В табл. 19 приведены состояния, в которые можно переходить из определённых состояний. Назовем состояния начального, первого, второго и третьего уровней.

Таблица 19

### Возможные состояния при решении вербальной задачи

1-й уровень (1 знак)	2-й уровень (2 знака)	3-й уровень (3 знака)
1	2	3
1.  _   _   запятая в 1-м пробеле	7.  _   _   две запятых в 1, 2-м пробелах	19.  _   _   три точки в 1, 2, 3-м пробелах
2.  _   _   запятая во 2-м пробеле	8.  _   _   две запятые в 1, 3-м пробелах	20.  _   _   две запятые в 1, 2-м пробелах, точка в 3-м пробеле
3.  _   _   запятая в 3-м пробеле	9.  _   _   запятая в 1-м пробеле, точка во 2-м пробеле	21.  _   _   две запятые в 1, 3-м пробелах, точка во 2-м пробеле
4.  _   _   точка в 3-м пробеле	10.  _   _   запятая в 1-м пробеле, точка во 3-м пробеле	22.  _   _   две точки во 2, 3-м пробелах, запятая в 1-м пробеле



1	2	3
5. <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>   <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> точка во 2-м пробеле	11. <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>   <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>   <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> две запятые во 2, 3-м пробелах	23. <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>   <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>   <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> две запятые в 2, 3-м пробелах, точка в 1-м пробеле
6. <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>   <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> точка в 1-м пробеле	12. <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>   <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> запятая во 2-м пробеле, точка в 1-м пробеле	24. <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>   <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>   <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> две точки в 1, 3-м пробелах, запятая в 2-м пробеле
	13. <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>   <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>   <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> запятая в 1-м пробеле, точка в 3-м пробеле	25. <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>   <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>   <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> две точки в 1, 2-м пробелах, запятая в 3-м пробеле
	14. <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>   <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>   <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> запятая в 3-м пробеле, точка в 1-м пробеле	26. <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>   <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>   <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> три точки в 1, 2, 3-м пробелах
	15. <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>   <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>   <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> запятая в 3-м пробеле, точка во 2-м пробеле	
	16. <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>   <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>   <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> две точки в 1, 3-м пробелах	
	17. <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>   <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>   <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> две точки во 2, 3-м пробелах	
	18. <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>   <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>   <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> две точки в 1, 2-м пробелах	

*Функция определения преемника:* изменение предыдущего состояния на один знак препинания. Эту функцию записать сложно в общем виде, поэтому опишем переход в узлы преемника из каждого конкретного состояния.

Если  $S_0$  – начальное состояние, тогда переход из него в состояния первого уровня запишем так:

*Переход из начального состояния в состояния первого уровня:*

$$S_0 \rightarrow \{S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6\}.$$

*Переход из состояний первого уровня в состояния второго уровня:*

$$\begin{array}{ll} S_1 \rightarrow \{S_7, S_8, S_9, S_{10}\}. & S_4 \rightarrow \{S_{10}, S_{13}, S_{16}, S_{17}\}. \\ S_2 \rightarrow \{S_7, S_{11}, S_{12}, S_{13}\}. & S_5 \rightarrow \{S_9, S_{15}, S_{18}, S_{17}\}. \\ S_3 \rightarrow \{S_8, S_{11}, S_{14}, S_{15}\}. & S_6 \rightarrow \{S_{12}, S_{14}, S_{18}, S_{16}\}. \end{array}$$

*Переход из состояний второго уровня в состояния третьего уровня:*

$$\begin{array}{lll} S_7 \rightarrow \{S_{19}, S_{20}\}. & S_{11} \rightarrow \{S_{19}, S_{23}\}. & S_{15} \rightarrow \{S_{21}, S_{25}\}. \\ S_8 \rightarrow \{S_{19}, S_{21}\}. & S_{12} \rightarrow \{S_{23}, S_{24}\}. & S_{16} \rightarrow \{S_{24}, S_{26}\}. \\ S_9 \rightarrow \{S_{21}, S_{22}\}. & S_{13} \rightarrow \{S_{20}, S_{24}\}. & S_{17} \rightarrow \{S_{22}, S_{26}\}. \\ S_{10} \rightarrow \{S_{20}, S_{22}\}. & S_{14} \rightarrow \{S_{23}, S_{25}\}. & S_{18} \rightarrow \{S_{25}, S_{26}\}. \end{array}$$

Решением задачи по расстановке знаков препинания является последовательность узлов  $n_0, n_1, n_2, \dots, n_k$ , что  $n_0 \in S_0$  и  $n_k \in S_g$ . На рис. 29 решение, изображённое мелкой штриховой линией, состоит из последовательности:  $n_0, n_5, n_9, n_{11}, n_{10}, n_{20}, n_{13}$ , а второе решение, изображённое сплошной жирной линией, представлено последовательностью:  $n_0, n_2, n_{13}$ .

*Стоимость пути:* каждый этап имеет стоимость 1 у.е., поэтому стоимость пути равна количеству этапов в пути. Последнее решение является оптимальным, имеющим наименьшую стоимость, равную 2 у.е., а первое решение имеет большую стоимость – 6 у.е.

*Длина решения* оптимальной траектории составляет количество узлов на данном графе и равна 3.

Поскольку начальным состоянием поиска решений является отсутствие знаков препинания, то из него можно переходить в одно из шести состояний, затем – в одно из двенадцати

состояний, и так далее. Блуждая по узлам графа – состояниям, обучающийся ищет решение, пытаясь при этом достичь «целевого состояния».

При переходе из одного состояния в другое происходит проверка достижения целевого состояния с помощью датчика «Расстояние до цели». Если он будет отдаляться от целевого состояния  $S_{13}$ , то показание датчика будет уменьшаться на соответствующее количество делений. И наоборот, если обучающийся будет приближаться к целевому состоянию, то показание датчика будет увеличиваться на соответствующее количество делений. Так будет продолжаться до тех пор, пока не будет достигнуто целевое состояние.

Таким образом, в математических и вербальных проблемных средах задача представляет собой граф пространства состояний, которые определяются, исходя из условий конкретной задачи. Поиск решения осуществляется обучающимся в пространстве состояний. Решением задачи является путь, длина которого зависит от оптимальности решения [96; 100].

### **3.5. Структурно-функциональная модель сетевого динамического тестирования**

Модель автомата в достаточно абстрактном виде отражает систему, взаимодействующую со средой и перемещающуюся с течением времени по дискретному набору состояний. В некотором смысле эти состояния можно интерпретировать как состояния обученности.

Модель дискретного автомата обладает следующими особенностями [78]:

а) на входе модели в каждый из дискретных моментов времени  $t_1, t_2, \dots$  поступают  $m$  входных величин  $x_1, x_2, \dots$ , каждая из которых может принимать конечное число фиксированных значений из входного алфавита  $X$ ;

б) на выходах модели можно наблюдать  $n$  выходных величин  $y_1, y_2, \dots, y_n$ , каждая из которых может принимать конечное число фиксированных значений из выходного алфавита  $Y$ ;

в) в каждый момент времени модель может находиться в одном из состояний  $z_1, z_2, \dots, z_n$ ;

г) состояние модели в каждый момент времени определяется входной величиной  $x$  в этот момент времени и состоянием  $z$  в предыдущий момент времени;

д) модель осуществляет преобразование ситуации на входе  $x = \{x_1, x_2, \dots\}$  в ситуацию на выходе  $y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$  в зависимости от ее состояния в предыдущий момент времени.

Если эту модель дискретного автомата взять в качестве основы модели ученика, то состояния  $z_1, z_2, \dots, z_n$ , в которых может находиться модель или ученик, в каждый момент времени характеризуются значениями функции ценности состояний. Входные величины  $x_1, x_2, \dots, x_m$ , по сути, описывают ту проблемную ситуацию или задачу, которую ученик-автомат должен решить. Выходные величины  $y_1, y_2, \dots, y_n$  соответствуют результатам решения проблемы.

Приведенная модель дискретного автомата удобна для описания многих кибернетических систем [78] (рис. 30), в том числе и для описания модели ученика как живой кибернетической системы.

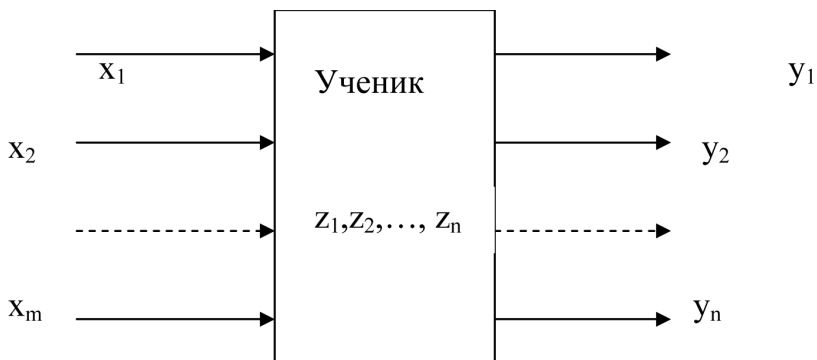


Рис. 30. Схема модели «Ученик-автомат»

Ученик моделируется дискретным автоматом с конечной памятью. У таких автоматов  $u$  зависит не только от значения  $x$  в данный момент времени, но и от состояния модели  $z$ , определяемого значениями  $x$  в предыдущие моменты времени. Другими словами, решение очередной проблемы  $u$  зависит от достигнутого значения функции ценности состояния ученика. Функция ценности состояния ученика  $z$  в решении проблем или задач  $x$  определяет уровни достижений ученика.

Рассмотрим простейшую автоматную модель ученика, решающего задачу поиска предмета. Ученик, решая такую задачу, выполняет некоторые действия или операции. Среда, в состав которой мы включили не только задачи, но и учителя, передает сигналы ученику, являющиеся оценками действий, совершенных учеником-автоматом. Эти оценки будут рассматриваться как двоичные: правильное действие – 1; неправильное действие – 0. Для решения задачи ученик может выбирать действия из некоторого заданного конечного набора  $D = (d_1, d_2, \dots, d_n)$ .

Деятельность ученика носит целенаправленный характер. Его цель – получить решение задачи. Правильно выполненное действие приближает ученика к цели, неправильно выполненное действие – удаляет. Если в процессе решения задачи ученик-автомат будет своевременно получать сигналы с оценкой деятельности, то ученик, безусловно, достигнет цели, т. е. решит задачу. Таким образом, согласно [110], можно говорить о том, что в основе предлагаемой компьютерной модели лежит принцип *системной динамики*.

Описанная модель реализуется в игре «Горячо – холодно», в которой один из игроков должен решить задачу поиска предмета с завязанными глазами. Среда, которую представляют другие игроки, передает ему сигналы с оценкой его действий. При этом слово «горячо» означает, что действие правильное (приближает к цели), «холодно» – означает непра-

вильное действие (удаляет от цели). Решение задачи поиска предмета в данной игре осуществляется методом проб и ошибок и достигается благодаря механизму оперативной обратной связи, который позволяет игроку немедленно корректировать свои действия.

Таким образом, сценарий обучающей программы с простейшим механизмом обратной связи и моделью ученика в виде конечного автомата представляет собой:

- генератор задач (например, задание по конструированию объекта);

- компьютерную систему управления конструированием искомого объекта, представляющую собой систему кнопок, посредством которых ученик преобразует объект, совершая те или иные действия;

- программу, осуществляющую оперативный контроль за действиями, иначе говоря, программу, решающую задачу слежения за деятельностью ученика;

- систему вывода информации о правильности или неправильности действий ученика, подводящую итог его деятельности.

На рис. 31 изображена интерпретация приведенного сценария.

Значение оценок действий (будем их обозначать 1 и 0) формируется «учителем». В данном случае проигрыш равен -1, ему соответствует оценка, равная 0. Например, ученик-автомат совершил некоторую последовательность действий, которую среда оценила в виде последовательности 1 и 0:

1; 1; 1; 0; 0; 1; 0; 1; 1; 1; 1; 0; 0; 0; 1; 1.

Соответственно, последовательность единичных выигрышей и проигрышей имеет вид:

1; 1; 1; -1; -1; 1; -1; 1; 1; 1; 1; -1; -1; -1; 1; 1.

Суммарный выигрыш равен +4. Поскольку речь идет о целенаправленной деятельности, которая представляет со-

бой последовательность действий, приближающих (+1) или удаляющих автомат от цели (-1), то суммарный выигрыш равен уменьшению расстояния (в действиях) до цели.

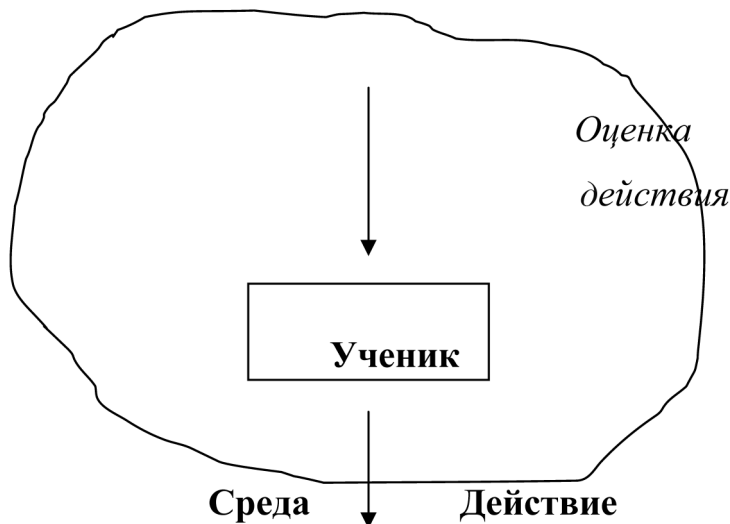


Рис. 31. Ученик производит действия, среда оценивает эти действия

Надо отметить, что при решении задач бывают ситуации, когда возникает необходимость временно увеличить проигрыш, чтобы затем получить возможность достичь цели. Такие ситуации возникают, когда на пути к цели стоит препятствие, которое надо, например, обойти. При этом на какое-то время возникает необходимость удалиться от главной цели, временно сменить цель для того, чтобы затем достичь главной цели.

Информацию о размере текущего суммарного выигрыша среда передает ученику-автомату. Среда отличается одна от другой тем, как вырабатывают оценки. Рассмотрим случай, когда среда, или обучающая и диагностирующая компьютерная система, оценивает действия ученика следующим образом. Если ученик делает в некоторый момент дей-

ствие  $d_i$ , то с вероятностью  $P_i$  среда выдает оценку «наказание» (штраф) и с вероятностью  $1 - P_i$  – оценку «поощрение» (не-штраф). Если с течением времени значения  $P_i$  остаются неизменными, то такая среда называется *стационарной*. Для полного определения стационарной среды достаточно задать вектор  $E = (P_1, P_2, P_3, \dots, P_n)$ .

В нашем случае компьютерная учебная среда имеет несколько иные свойства. Так, если ученик делает в некоторый момент времени действие  $d_i$ , то среда определяет правильное или неправильное действие. Критерием проверки служит расстояние до цели. Если действие правильное, то ученик получает «выигрыш» (не-штраф), если неправильное – то «проигрыш» (штраф). Каков механизм выбора действия и как среда формирует оценки? В теории конечных автоматов, описанной в работе [114], нет механизма, который бы позволял определять правильность или неправильность действия. Просто автомат совершал действие  $d_i$ , и после этого среда вероятностным образом оценивала это действие «штрафом» или «не-штрафом». Понятно, что штраф соответствовал неправильному действию, не-штраф – правильному, только определяла это среда.

В нашем случае компьютерная система, или среда, имеет возможность точно определить, какое действие совершил ученик. Ученик же, совершая действие, в общем случае только с определенной вероятностью знает, правильное или неправильное действие он совершил. Еще до совершения действия ученик делает выбор относительно того, что он будет делать. Именно на стадии, когда идет процесс выбора действия, существует вероятность того, что он получит – поощрение или наказание.

Представляет интерес сконструировать автомат в виде компьютерной программы, которая решает задачу, выбирая действия на основе механизма равновероятного выбора. В ка-



честве примера можно взять задачу конструирования графика линейной функции  $y = kx + b$ . Эта задача решается путем преобразования графика функции  $y = x$ . Количество действий, преобразующих график, равно пяти. Это перемещение графика вдоль оси  $OY$  (вверх, вниз), повороты графика (по и против часовой стрелки) и операция инверсии.

Среда моделируется программой, которая: а) генерирует задачи; б) оценивает правильность и неправильность действий автомата. Правильные действия поощряются, неправильные – штрафуются. Поскольку компьютерная среда может точно оценить правильность или неправильность действия, то вероятность наказания (штрафа) равна  $P_i = 1$ . Для такого автомата, решающего алгебраическую задачу методом проб и ошибок, можно экспериментально определить математическое ожидание штрафа и информационную энтропию деятельности автомата. Теоретическое значение математического ожидания штрафа равно  $M = 1$ , соответственно, значение информационной энтропии  $H = \log_2 5$ .

Описываемая среда имеет детерминированный характер, поскольку может точно определять правильность или неправильность действий и соответственно этому поощрять или наказывать действия автомата. Случайность состоит в поведении автомата, который может ошибаться. Она выражается в неопределенности выбора автоматом действия. Мерой информационной неопределенности является энтропия. Она максимальна при равновероятном выборе действия.

Целесообразное поведение ученика-автомата, который обучается решать задачи, состоит в уменьшении информационной энтропии. Как взаимодействие ученика-автомата со средой может помочь уменьшить информационную энтропию? Во-первых, ученику-автомату необходимо передавать информацию о текущем суммарном выигрыше. Эта информация может играть роль подкрепления правильных дей-

ствий, что позволит изменить распределение вероятностей выбора действий, так что вероятности совершения правильных действий будут возрастать, а вероятности совершения неправильных действий будут уменьшаться. При этом информационная энтропия  $H$  уменьшается. В идеале  $H$  стремится к нулю.

Рассмотрим систему из двух учеников, решающих серию подобных задач. Решение задач проводится на компьютерах, соединенных в локальную сеть. Имеются возможности для взаимодействия. Например, любой из учеников может посмотреть на деятельность другого ученика, понаблюдать, использовать его опыт. Простое наблюдение – это акт слабого информационного взаимодействия. Возможность задать вопрос и получить ответ является более сильным информационным взаимодействием.

В человеческом организме существуют различные формы взаимодействующих параллельных процессов. Отмечается богатое разнообразие методов их взаимодействия. Процессы текут почти автономно, синхронизируясь во времени за счет редких периодических или специфически определяемых ситуаций сигналов. В сетевых технологиях процесс решения задач учеником также может идти автономно. В то же время ученик может подключиться к компьютеру напарника и посмотреть, что тот делает, как у него продвигается решение. При слабом информационном взаимодействии вмешаться в процесс решения напарника он не сможет.

Ученики, которые являются подсистемами, работают практически автономно. При этом управление деятельностью учеников децентрализовано. Децентрализация приводит к увеличению времени адаптации. То, что по единому приказу из центра можно сделать в системе за весьма короткое время, если центральное звено заблаговременно получит информацию об изменениях свойств среды, в децентрализо-

ванной системе будет осуществляться весьма медленно. Возможно, поэтому в биологических организмах существуют два уровня: децентрализованный и централизованный по управлению. В коллективных системах обучения также имеются оба уровня. Уровень централизованного управления соответствует деятельности учителя, а уровень децентрализованного управления – информационному взаимодействию учеников.

Целью коллектива учеников может быть не только достижение целесообразного (или оптимального) поведения во внешней среде, но и поиск регулирующих воздействий, позволяющих ученикам (подсистемам) прийти к некоторому согласованному функционированию.

Коллектив учеников можно рассматривать как некоторую совокупность элементов. Она является единой системой, если ученики обладают потенциальным свойством образовывать статические или динамические структуры, необходимые для «выживания» учеников всей совокупности, то есть обладают свойством устанавливать взаимодействие друг с другом для достижения локальных и глобальных целей. В этом суть всех моделей коллективного поведения и взаимодействия.

При коллективных способах обучения появляется шанс увеличения числа потенциально возможных свойств у учеников, которые могут пригодиться системе при встрече с непривычными для нее ситуациями и средами. Ученики, вступая в объединение, приобретают новые качественные возможности. Понятно, что эти возможности зависят от механизма объединения, а механизмы – от возможностей сетевых компьютерных технологий обучения.

Самая простая система обучения образуется в результате сетевого взаимодействия двух учеников. Ученики, вступившие в сетевое взаимодействие, могут объединиться механически. В этом случае число их состояний растет как  $n^2$ , если каждый из учеников имел  $n$  состояний. Такое механи-

ческое объединение было сделано в сетевом варианте парного взаимодействия учеников. Каждый из них мог находиться в одном из 10 состояний «самостоятельности». Число состояний у объединенной системы  $n^2$ . В нашем случае число состояний 100. Когда же ученики объединяются за счет случайного парного взаимодействия, то это дает им возможность функционировать как автоматам, обладающим памятью глубиной  $2^n$  [33; 114]. В сетевом взаимодействии возможно явление «полимеризации». Ученик при этом получает возможность работать с памятью всех участников сетевого взаимодействия и становится богаче по своим возможностям, не меняя своей структуры.

В процессе коллективного обучения развитие обучающейся системы идет не только в направлении усложнения путем объединения участников взаимодействия и образования более сложных структур, но и в направлении дифференциации функций, выполняемых отдельными подсистемами (учениками). Это ведет к изменению структуры всех подсистем для лучшего осуществления своих специфических функций. Универсальность и специфичность, так же как однородность и разнородность, являются характерными свойствами коллективных взаимодействий учеников.

Рассмотрим пример, когда в сетевом взаимодействии возникают специфические функции у учеников. Пусть один из двух учеников берет на себя функции ведущего, или учителя, т. е. он начинает учить другого ученика, оказывая ему помощь. При этом он берет на себя специфические функции лидера, наставника. Его напарник соглашается на подчиненную роль, он – ведомый. Его польза для системы состоит в реализации специфических функций ведущего у напарника. Важно, чтобы возникшие специализированные функции не лишили возможности учеников осуществлять процесс решения задач в автономном режиме.

Польза от появления таких подсистем очевидна. Польза за разнородности – в коллективе учеников-автоматов. Неоднородный коллектив учащихся более успешно решает стоящие перед ним задачи, чем однородный. В то же время любой ученик (автомат) такого коллектива мог бы функционировать и в одиночку. Это означает, что специализация не дошла еще до того рубежа, за которым самостоятельное существование отдельной подсистемы становится невозможным.

Каждый раз, когда мы говорим о коллективном поведении, мы имеем в виду коллективное поведение в некой системе. При организации такого поведения нас интересует, безусловно, достижение определенных системных целей, удовлетворение общесистемным критериям качества функционирования. При этом отдельный объект (ученик) может не иметь информации об общих целях системы. Он знает только свои локальные цели, локальные критерии, локальные функции, предпочтения. Управление системой организуется путем формирования таких локальных условий и, может быть, таких правил локального взаимодействия, при которых удовлетворение локальных интересов отдельных объектов, составляющих систему, приводило бы к удовлетворению общесистемных целей.

Что является таким объектом в системе, локальное поведение которого мы организуем? В качестве объектов, составляющих систему, можно рассматривать учеников как потребителей информационных ресурсов. Возникает проблема организации их совместного поведения, обеспечивающего оптимизацию общесистемного эффекта использования информационного ресурса.

В рассмотренных моделях участник игры воспринимал результат поведения остальных участников только как реакцию на его поведение некоторой более или менее сложно организованной внешней среды.

Когда мы произносим слово «коллектив», мы имеем в виду некоторую структуру отношений, наличие обмена информацией, организацию взаимодействия между членами коллектива. Учет указанных свойств в рассматриваемых нами совокупностях учеников может, с одной стороны, улучшить характеристики поведения, а с другой – оценить возможности и эффективность различных типов организации взаимодействия.

При попытках построить модели поведения со взаимодействием следует помнить, что только достаточно простые модели, зависящие от небольшого числа параметров, позволяют разобраться в эффектах, возникающих в этих моделях и моделируемых ими ситуациях.

К простейшим типам взаимодействия [33; 114] следует отнести *случайное парное взаимодействие и однородное взаимодействие с ограниченным числом соседей*. Случайное парное взаимодействие состоит в том, что в каждый момент времени (в каждой партии игры) весь коллектив, вся совокупность учеников случайным образом разбиваются на пары. В каждой паре может быть реализован акт обмена информацией, в результате которого происходит изменение действия или внутреннего состояния ученика. На следующем такте разбиение коллектива на пары происходит заново, также случайным и независимым от предыдущего разбиения способом.

В сетевом динамическом научении такое взаимодействие можно организовать следующим образом. При выполнении очередного задания компьютер связывается в пару с другим компьютером. Это означает, что всякий раз, когда ученик решает задачу, его консультирует новый напарник. При этом ученик может не знать, кто помогает ему и кому помогает он. Он помогает кому-то из коллектива, ему помогает кто-то из коллектива – это все, что ему известно.

При взаимодействии с ограниченным числом соседей для каждого члена коллектива указывается его окрестность – список участников игры, называемых соседями данного автомата по игре, с которыми он может осуществлять взаимодействие. Взаимодействие может быть следующим: автомат воспринимает информацию от своих соседей по игре или его выигрыш зависит от поведения его соседей по игре, но обратное в общем случае может быть неверным. Однородность ограниченного взаимодействия заключается в том, что размеры окрестности для всех учеников-автоматов одинаковы. Таким образом, однородное взаимодействие задается однородным ориентированным графом отношений.

В случае взаимодействия учеников, работающих с СДКТТ, парное взаимодействие состоит в обмене информацией о том, как решать задачу, т. е. в обмене опытом. При любой случайной встрече происходит обмен информацией и ожидается, что достижения участников игры в среднем станут одинаковыми. Приведенное описание можно рассматривать как игру в информационную помощь и в размещение по парам. При этом происходит обмен стратегиями решения задач.

Правила коллективной учебной игры:

- Каждый игрок может находиться в двух состояниях: решающего задачу; наблюдающего за решением задачи другим игроком.

- Коллектив учеников, играющих в игру, разбивается на две одинаковые по численности и составу команды.

- Затем случайным образом определяется начальное состояние команд и производится разбиение на пары.

- В каждой паре один ученик решает задачу, а другой помогает ему, наблюдая за ходом решения. После окончания партии ученики меняют свое состояние.

- После окончания партии (решения задачи) в течение

ние некоторого определенного времени  $t$  идет поиск другой пары, которая также закончила партию. Если такая пара находится, то производится обмен партнерами, и игра продолжается. Если не находится, то игра продолжается в прежнем составе.

Цель игры – получение максимального выигрыша каждым игроком. Предполагается, что случайная смена партнера позволит сделать процесс обмена информацией по решению задач более эффективным.

Если мы зададим некоторое случайное начальное распределение игроков по стратегиям и организуем случайный парный обмен стратегиями (первый тип взаимодействия), то начальное распределение будет поддерживаться сколь угодно долго, так как при парном обмене, порожденном любым механизмом разбиения на пары, число игроков, покидающих стратегию, будет равно числу игроков, выбирающих ее. С другой стороны, если разбиение на пары случайно и равновероятно, то средний выигрыш у игроков выравнивается.

Способность человека к рефлексии обуславливает психологический механизм рекурсии. Рефлексия – рассуждение, при котором рассуждающий ставит себя на место другого человека и проводит рассуждения с его точки зрения. Рефлексивные рассуждения обладают свойством рекурсивности, то есть они как бы вкладываются друг в друга, как матрешки.

Подобного рода рассуждения мы используем тогда, когда делаем выбор, успех или неуспех которого зависят не только от нас, но и от других людей, связанных с нами какими-то связями. Пример подобной ситуации – коллективный способ обучения (КСО) [46], в котором успех каждого участника коллектива определяется не только его индивидуальными действиями, но и действиями остальных участников. Поэтому необходимо использование в КСО механизмов, имитирующих рефлексивные рассуждения.



Можно различить [33; 46] следующие ситуации, связанные с рефлексией. Во-первых, рефлексия у участника КСО отсутствует (нулевой уровень рефлексии), если при выборе своего действия индивид или автомат не учитывает наличия других участников коллектива. При этом выбор действия определяется только той информацией, которая поступила на вход принимающего решение от среды. Следующий уровень рефлексии (под номером 1) соответствует ситуации, когда индивид считает, что у остальных участников коллектива рефлексия отсутствует и он сам может выбирать действия за других. Отметим, что наличие первого уровня рефлексии означает наличие информации, по крайней мере, о некоторых участниках коллектива и сигналах от среды, поступивших на их вход. Определение последующих уровней рефлексии происходит аналогичным образом.

Такое определение уровней рефлексии связано лишь с мерой информированности системы, делающей выбор, о сигналах, поступивших на входы других систем. У человека же рефлексивные рассуждения в подавляющем большинстве опираются на некоторые знания, хранящиеся в его модели мира.

С увеличением уровня рефлексии растет количество информации, которой должен обладать ученик, и число членов коллектива, информацию о которых он должен привлекать. Уровни рефлексии вносят неоднородность в коллектив. Это позволяет решать задачи оптимизации, которые не способен решать однородный коллектив.

С позиции систем обучения сетевой вариант взаимодействия обучающихся индивидов должен обладать неоднородностью с точки зрения уровней рефлексии. Это оптимизирует задачу обучения членов коллектива.

Причиной неоднородности в коллективе учеников (автоматов) может быть различная степень информированности

их об объекте изучения. Разнородность отражает фундаментальную идею о лучшем функционировании разнородных коллективов, решающих общую задачу в условиях децентрализации, по сравнению с однородными коллективами, решающими ту же задачу.

Управление с учетом взаимодействия объектов (учеников) является качественно новой задачей, так как возникают ситуации, когда объектов управления (учащихся) много и они взаимодействуют друг с другом. При этом появляется новая функция управления – достижение согласованных действий при наличии многих управляющих систем со своими локальными интересами. Согласование должно происходить само собой в процессе автономного и децентрализованного функционирования всех частей системы.

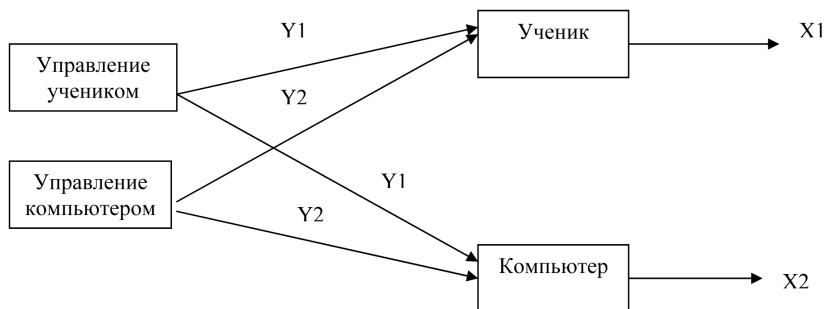
До сих пор мы рассматривали динамические компьютерные обучающие системы, которые осуществляют управление процессом научения так, чтобы процесс обучения ученика протекал наиболее благоприятным образом при случайно изменяющихся возмущениях. При этом происходит взаимодействие двух управляющих устройств: ученика и компьютера. То есть мы имеем дело с ситуацией, когда факторы, влияющие на процесс обучения ученика, существенно зависят от действий управляющего устройства компьютера. Как правило, интересы обучающей компьютерной системы ( $S_1$ ) и ученика ( $S_2$ ) совпадают.

Однако может оказаться, что интересы  $S_1$  и  $S_2$  противоположны в том смысле, что всякое улучшение функционирования системы  $S_1$  связано с ухудшением функционирования системы  $S_2$ , и наоборот. Тогда управляющие устройства, стремясь улучшить функционирование «своей» системы, будут вырабатывать управляющие воздействия, как можно более вредные для «чужой» системы. Такие ситуации называются конфликтными.

Конфликтные ситуации возникают в процессе борьбы живых организмов за существование, при экономическом соперничестве, в компьютерных играх и т. д. В таких ситуациях задачи управления нужно решать с учетом целенаправленного противодействия улучшению функционирования управляемой системы со стороны противника. Наличие «разумного противника» меняет характер задачи формирования целесообразного управления, ибо какое бы управление мы ни выбрали, противник, учтя наши действия, постарается поставить нас в наихудшие условия.

Задача управления в конфликтной ситуации состоит в том, чтобы вырабатывать такие реакции на ситуации, складывающиеся в процессе борьбы, такую стратегию, при которых управляемая система (ученик) оказывалась бы в возможно более благоприятном положении даже при самых неблагоприятных действиях противника. Разработкой методов решения такого рода задач занимается теория игр. Игра характеризуется совокупностью правил, определяющих допустимые действия сторон, участвующих в игре, и способы определения их выигрыша или проигрыша.

Очень часто в игре участвуют две стороны (два игрока). Такие игры называются парными. Если в парных играх задействованы компьютеры, то возможны две ситуации. Первая – это когда в роли одного из игроков выступает компьютерная программа. Компьютер как игрок должен иметь свое управляющее устройство – специальную программу, которая отслеживает ход игры и в соответствии с правилами игры принимает решение о тех или иных действиях. Человек, или в нашем случае ученик, поскольку речь идет об обучающих компьютерных играх, также имеет управляющее устройство – голову или мозг. Он анализирует действия компьютера и стремится обыграть его.



*Рис. 32. Перекрестное влияние двух управляющих систем – ученика и компьютера*

Второй вариант парной компьютерной игры предусматривает организацию игрового взаимодействия игроков с помощью двух компьютеров, связанных сетью. Компьютерная система, не вмешиваясь в игру людей, предоставляет им все необходимое для игры: предмет и средства игры, правила и т. п. В определенном смысле, компьютерная система играет роль судьи, подсчитывая выигрыши и проигрыши.

Конфликтную ситуацию можно создать при совместном (ученик – ученик) решении учебных задач. В качестве предметной области можно взять школьный курс алгебры, геометрии или русского языка. Пусть компьютерный генератор задач генерирует серию задач. Каждая  $j$  задача может быть решена за  $N_j$  действий при условии, что они правильные. Задачу ученики решают по очереди. Каждое правильное действие дает выигрыш в  $+1$ , неправильное действие дает проигрыш в  $-1$ . Игрок выполняет действия до тех пор, пока не сделает ошибку – неправильное действие. Затем действия по решению задачи начинает выполнять его соперник, роль которого играет компьютер. И так до тех пор, пока не будет решена задача.  $j$ -ю партию выигрывает тот, кто больше набирает очков или выполняет правильных действий. Игра состоит из серии задач (партий). Побеждает тот

игрок, который займет более высокий уровень сложности – десятый. Уровень сложности для одного ученика определяется квалификацией другого ученика, то есть сложность игры для ученика будет повышаться из-за роста квалификации соперника. Квалификация соперника определяется вероятностью совершения игроком правильного действия.

Информация о выигрышах и проигрышах каждого из учеников выводится в специальное окно на экране дисплея компьютера, так же как и движение игроков по уровням сложности. Обучающий характер компьютерная игра имеет потому, что каждый из участников отталкивается от достижений другого участника и играет в соответствии с этим. Выбор действия, сделанный каждым из игроков, известен его противнику, что и определяет обучающий характер игры. При достижении десятого уровня, когда вероятность единичного выигрыша близка 1, выигрывает тот, кто начал первым.

Процесс игры является динамическим процессом. Это выражается в росте мастерства игроков, которые максимизируют свой выигрыш при условии, если начинают первыми. При достижении этого состояния игра теряет смысл.

С точки зрения диагностики обучаемости ученика, безусловно, необходима запись информации обо всех действиях и ученика, и компьютера в разыгрываемых партиях. Эволюция траекторий выигрышей ученика, отражающая его политику выполнения действий в зависимости от состояния, так же как и соответствующая функция ценности состояний, даст информацию об обучаемости ученика в условиях игры.

Обучающие игры для двух человек сложны из-за существования «враждебного» и, по сути, непредсказуемого противника. Такие игры можно организовать с помощью локальной компьютерной сети. При этом компьютерная систе-

ма управления в игре не участвует. В качестве примера рассмотрим ситуацию, когда компьютерная система генерирует аналогичные задачи для каждого из игроков. Победителем игры становится участник, который быстрее дойдет до цели при наименьшем суммарном проигрыше. Проигрыш определяется числом неправильных действий. Целью является решение задачи.

Предлагаемый нами способ компьютерного обучения с использованием сетевых динамических компьютерных тестов-тренажеров (сетевых проблемных сред) включает в себя систему управления процессом взаимодействия пары учеников (либо пары «учитель – ученик») с учетом того, что каждый участник тестирования является сложным динамическим объектом с множеством неопределенных параметров. Предварительное изучение свойств объекта управления не решает проблемы снятия неопределенности, так как в процессе изучения параметры или свойства ученика изменяются. В основе предлагаемого способа обучения лежит управление процессом обучения учеников с одновременным изучением как каждого ученика в отдельности, так и взаимодействия учеников в паре. Компьютерная система, предназначенная для решения этой задачи, состоит из двух идентичных программных модулей, связанных между собой в локальную сеть, каждый из которых включает в себя:

- 1) модуль генератора заданий;
- 2) приемопередающий модуль (производит пересылку заданий ученику, передает и принимает информацию о деятельности всех участников тестирования, позволяет организовать диалог между учителем и учеником);
- 3) интерфейсный модуль (производит отображение на экране монитора ученика сформулированных заданий, предоставляет ему инструменты для манипулирования изучаемым объектом, отображает на экране текущее значение

функции ценности состояния и расстояние до цели, позволяет учителю конструировать задания и оказывать на ученика управляющие воздействия);

4) модуль слежения за процессом выполнения заданий (полученная информация записывается в специальный файл-протокол);

5) вычислительный модуль, производящий анализ информации о процессе выполнения заданий (вычисляется значение целевой функции ученика, определяющей уровень самостоятельности ученика и частоту помощи при обучении без учителя);

6) модуль механизма отрицательной обратной связи (включается по усмотрению учителя и оказывает управляющие воздействия на ученика в автоматическом режиме).

На рис. 33 изображена структурная схема обучающей и диагностирующей систем, используемых в сетевых динамических тестах-тренажерах.

Данная компьютерная система позволяет проводить тестирование в нескольких режимах, таких как:

- два ученика решают одну общую задачу, генерируемую компьютером, делая ходы по очереди;

- компьютер генерирует задание, один ученик решает задачу, другой, владея всей необходимой информацией, оказывает первому необходимую помощь;

- один ученик, используя встроенные средства компьютерной системы, визуально конструирует задание, которое система преобразует в аналитический вид, и предлагает решить его другому ученику. Первый ученик имеет возможность оказывать помощь второму ученику. После решения задачи ученики меняются местами;

- учитель конструирует задание, компьютерная система отправляет его ученику, который, решая его, получает от учителя управляющие воздействия.

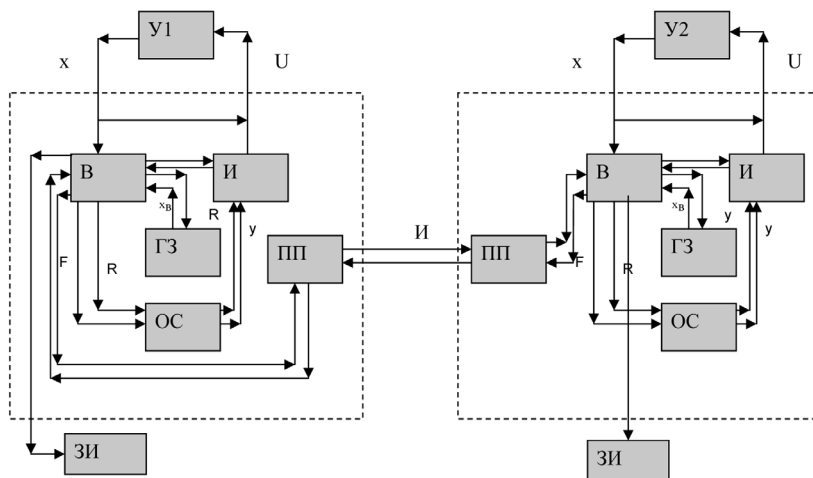


Рис. 33. Структурная схема обучающей и диагностирующей систем:

ГЗ – генератор заданий; ПП – приемо-передающий модуль;

В – вычислительный модуль; И – интерфейсный модуль;

ОС – модуль отрицательной обратной связи; У1 – объект управления (первый ученик); У2 – объект управления (второй ученик);

ЗИ – аналитический модуль, записывающий информацию о деятельности ученика;  $x$  – задающее воздействие (задание);  $u$  – управляющее воздействие;  $x$  – управляемая величина;  $R$  – критерий оптимальности;  $F$  – функционалы, определяющие текущее состояние решения задачи в ее проблемном пространстве;  $y$  – корректирующее воздействие;  $I$  – информация для передачи

*Пример.* Пара учеников обучается решать задачу конструирования графиков функции, которая в общем виде записывается как:

$$y = mF(k(x + x_0)) + y_0. \quad (32)$$

График функции генерируется компьютером и выдается на экран каждому ученику. Ученики выполняют все действия, связанные с преобразованием графиков, по очереди, причем каждый из них видит действие товарища и может оценить его правильность.

Конструирование графика функции каждый ученик



производит, преобразуя график функции  $y = F(x)$ , который дан на координатной сетке рабочего поля дисплея. Для этого ученик должен осуществить операции переноса графика  $y = F(x)$  вдоль осей  $OX$  и  $OY$ , операции сжатия и растяжения графика  $y = F(x)$ , операции инверсии графика так, чтобы в результате получился график искомой функции (32). Интерфейс системы имеет соответствующие кнопки управления как положением, так и формой графика функции  $y = F(x)$ . В память машины записываются: действия или операции; время выполнения действий; правильность (+1) или неправильность (-1) выполняемых действий, значение функции ценности состояния и другие продукты деятельности каждого ученика.

Целевая функция каждого ученика  $\varphi(t)$  в момент времени  $t_{i+1} = t_i + \Delta t_{i+1}$  определяется уравнением:

$$\varphi(t_i + \Delta t_{i+1}) = \Phi(\varphi(t_i), S(t_i + \Delta t_{i+1})) \quad (33)$$

где  $S(t)$  – функция вознаграждения ученика. Она равна сумме поощрений (+1) и штрафов (0), полученных учеником в процессе выполнения  $i + 1$  задания. Выходной сигнал  $f(t)$  формируется функцией  $F$ :

$$f(t_i) = F[\varphi(t_i)]. \quad (34)$$

Выходной сигнал определяет вид и частоту помощи, которую обучающая система оказывает ученику. Частота помощи или подкрепления деятельности ученика зависит от достигнутого значения функции ценности состояния ( $\varphi$  от 0 до 1). Аналогичным образом можно рассчитать данные функции для пары учеников.

Очевидно, что в процессе решения каждый ученик может допускать ошибки, ведущие к увеличению расстояния до цели. Но поскольку ученики решают одну задачу вместе, другой ученик должен компенсировать это действие, повысив тем самым свою функцию вознаграждения. Однако целевая функция и функция вознаграждения пары останутся на прежнем уровне.

В процессе тестирования все парные действия учеников можно разбить на четыре категории:

1. Оба ученика выполняют правильные действия. В этом случае целевая функция обоих учеников растет, частота управляющих воздействий снижается, функция вознаграждения стремится к виду  $1 - 1$ .

2. Первый ученик выполняет правильные действия, а другой – нет. Следовательно, целевая функция первого ученика растет, второго – уменьшается или остается неизменной; частота функции вознаграждения первому ученику уменьшается, второму – растет. Вид функции вознаграждения:  $1 - 0$ .

3. Первый ученик делает неверные действия, второй их исправляет. Вид функции вознаграждения:  $0 - 1$ .

4. Оба ученика делают неверные ходы. Целевая функция обоих учеников уменьшается или остается на прежнем уровне, частота управляющих воздействий максимальна, функция вознаграждения стремится к виду  $0 - 0$ .

### **3.6. Сетевые динамические проблемные среды в процессе обучения учащихся математике**

В данном параграфе будут рассматриваться вопросы, касающиеся разработки и создания сетевых динамических компьютерных проблемных сред или сетевых динамических компьютерных тестов-тренажеров (СДКТТ), основная область применения которых состоит в тестировании процесса обучения алгоритмической деятельности. В качестве предметной области для разработки систем взят один из важнейших разделов школьного курса алгебры «Преобразование графиков функций» на основе учебников, автором которых является А.Г. Мордкович [87–89].

Заметим, что не все задания тестов А.Г. Мордковича войдут в СДКТТ. Ограничимся теми заданиями, в которых можно реализовать аналитический и геометрический подходы к их выполнению [88]. Это связано с тем, что СДКТТ наи-

более эффективны тогда, когда учебная деятельность носит предметный, образный характер.

В СДКТТ могут использоваться:

1) геометрические образы алгебраических объектов, которыми ученик может управлять (смещать, деформировать и т.п.);

2) фиксированные (статичные) геометрические образы алгебраических объектов.

В зависимости от условия задачи управляемых алгебраических объектов может быть один или несколько. Например, задания по преобразованию графиков функций содержат один управляемый алгебраический объект – график функции, в заданиях по нахождению наибольшего или наименьшего значения функции также один управляемый объект – ордината – с точкой, скользящей по графику функции, который статичен. Примерами заданий, в которых управляемых объектов два или более, являются: задания по конструированию графиков кусочных функций; задания по графическому решению уравнений, систем уравнений и неравенств; задания по построению функций, заданных табличным способом.

Сетевые динамические компьютерные тесты-тренажеры организованы таким образом, что при работе с ними ученик, выполняя серию однотипных заданий, получает тренаж и усваивает алгоритм их решения. Кроме того, ученик в роли учителя имеет возможность следить за процессом выполнения задания товарищем, владея при этом всей необходимой информацией для его решения. В этом случае он может увидеть наиболее типичные ошибки, возникающие при выполнении подобного рода задач, может оказывать управляющие воздействия на товарища, анализировать результат этих воздействий. Каждое действие учащихся записывается компьютером, и учитель будет владеть полной информацией о ходе тестирования, вплоть до того, что сможет восстановить ход

тестирования в реальном времени. Все это, на наш взгляд, способствует более эффективному управлению учебно-познавательной деятельностью учащихся.

При этом в СДКТТ выбирались задания, не требующие выполнения сложной графической работы с применением чертежных инструментов, так как использование последних резко увеличивает время, затрачиваемое на выполнение заданий. Для облегчения выполнения учащимися математических операций в СДКТТ предусмотрен калькулятор. К тому же графическая работа часто маскирует именно то свойство, которое подлежит выявлению и оценке. Чтобы выявить способность к оперированию графическим образом в наиболее «чистом» виде, по мере возможности было снято влияние знаний и графических навыков на процесс выполнения теста.

Последовательность предъявления заданий в СДКТТ, а также инструкция к их выполнению строго однозначны. Особое внимание обращалось на разработку единиц измерения результатов выполнения задания, на контроль за процессом выполнения заданий. Это особенно важно потому, что содержанием заданий являлось оперирование образами, так как контролировать процесс, протекающий мысленно, довольно трудно. Именно поэтому вся деятельность ученика при работе с СДКТТ разбита на элементарные операции, выполнение которых строго фиксировалось. Средства такой фиксации разрабатывались применительно к каждому заданию и исходили из предварительного анализа его содержания. Регистрируется также время выполнения задания учеником. Для каждого из заданий существуют точный эталон решения, т. е. правильный ответ, и наиболее оптимальный способ его достижения. Сопоставление данного эталона с решением ученика давало возможность установить пределы отклонения в индивидуальном решении данного задания.

Каждое задание в СДКТТ представляет собой компью-

терную систему, имеющую все атрибуты управления учебным процессом с соответствующим контролем и диагностикой, которые проводятся в процессе деятельности по выполнению задания. Операции или математические действия представлены в таких заданиях как временной ряд событий. Последовательность этих событий управляется с помощью компьютера, посредством специальным образом организованной обратной связи. Адаптация проводится через варьирование коэффициента обратной связи, который изменяется в зависимости от успешности ученика.

Временной ряд событий (операций) записывается в компьютерную память и является экспериментальным материалом, из которого извлекается информация о характеристиках учебно-познавательной деятельности ученика, а также о стиле работы учителя. На основе этой информации можно осуществлять корректирование учебного процесса.

Более тонкая структура организации репродуктивной деятельности учащихся связана с вариациями степени и характера обратной информационной связи (помощи). В кибернетике различают два вида связи. Прямая связь в чистом виде наблюдается, как правило, в разомкнутых системах управления. В замкнутых системах управления используются как прямая, так и обратная связь. Связь между выходом и входом элемента системы называется обратной потому, что передача воздействий в этом случае направлена в сторону, противоположную направлению передачи воздействий в этом элементе. В управлении учебным процессом очень большое значение придают наличию обратной связи. При этом незаслуженно забывают о прямой связи и о том, что в чистом виде обратной связи практически не бывает. Как правило, прямая и обратная связи в системах управления сосуществуют. Обратная связь, увеличивающая влияние входного воздействия на выходную величину элемента системы, называется положительной, а уменьшающая это влияние – отрицательной.

В учебной деятельности достаточно часто используются оба типа связи. Так, часто требуется усилить успехи ученика в решении задач. Для этого учитель использует различного рода поощрения, например, похвалу, присвоение первого места. В компьютерной системе управления также необходимо предусмотреть положительную обратную связь. На основании информации об успехах в деятельности ученика по решению задач компьютерная система управления через положительную обратную связь сообщает ему о том, чего он достиг. Например:

- высокого уровня в деятельности;
- набрал самое большое количество баллов и т. д.

Иными словами, система управления посредством положительной обратной связи усиливает позитивные моменты в учебной деятельности ученика.

Помощь можно рассматривать как своеобразный механизм обратной связи, образующий информационный поток от учителя к ученику. Эта информация может нести упреждающий действие ученика характер. Однако ученик может получать «подсказывающую» информацию и после выполнения действия. В простейшем варианте это сообщения типа «правильно» или «неправильно» или показ того, как нужно выполнять действие. Если всю деятельность ученика по решению алгоритмической задачи представить в виде некоторой системы операций (действий), то подсказка как до, так и после очередного действия может даваться при выполнении каждого шага (действия) или через  $n$ -шагов. В пределе деятельность выполняется без каких-либо подсказок, ученику сообщается конечный результат его деятельности. Частота управляющих сообщений является аналогом коэффициента обратной связи –  $k$ . Коэффициент обратной связи может изменяться от 1 до 0. Значение коэффициента обратной связи, равное 1, означает, что каждое действие-операция комментируется обучающим устройством (например, учи-

телем или компьютером). Значение коэффициента обратной связи, равное нулю, означает, что вся репродуктивная деятельность осуществляется без промежуточных комментариев (информации).

Процесс обучения репродуктивной деятельности рассматривается как процесс, при котором коэффициент обратной информационной связи  $k$  уменьшается от 1 до 0. Другими словами, по мере обучения ученику требуется все меньше и меньше «подсказок» (т. е. информации о процессе деятельности). В пределе, когда ученик овладел алгоритмом, он не нуждается ни в каких комментариях. В этом случае можно с уверенностью сказать, что он овладел умением осуществлять алгоритмическую деятельность по выполнению данного типа заданий. Однако утверждать, что у ученика сформировался навык, то есть автоматизм, в выполнении алгоритма, нельзя.

В предлагаемых сетевых динамических тестах-тренажерах управление обратной связью берет на себя либо учитель, либо ученик, играющий роль учителя. В этом случае частота управляющих сообщений не зависит от коэффициента  $k$ , а осуществляется учителем, анализирующим деятельность ученика. Здесь компьютер, учитывая правильность ответа, частоту и тип подсказок, переводит ученика на новый уровень. Учитель должен оптимальным образом регулировать число управляющих воздействий, т.к. слишком частые воздействия могут сбросить успешного ученика вниз, а слишком редкие воздействия или их отсутствие могут не дать возможности слабому ученику выполнить задание.

Рассмотрим принцип работы сетевого динамического теста-тренажера на примере СДКТТ «Преобразование графика квадратичной функции», позволяющего организовать деятельность ученика по выработке алгоритма преобразования графика функции  $y = x^2$  в график функции  $y = a(x - x_0)^2 - y_0$ . Для этого на экран монитора выводится геометрический об-

раз функции  $y = x^2$ . С помощью управляющих кнопок ученик может осуществлять параллельный перенос, деформировать и переворачивать параболу. По окончании преобразований он вводит ответ нажатием кнопки «Готово». Тренажер может работать в трех режимах:

1. В тестировании участвуют учитель и ученик (статическая пара).
2. В тестировании участвуют два ученика, исполняющие роль учителя по очереди.
3. В тестировании участвуют два ученика, одновременно решающие задачу, генерируемую компьютером.

Рассмотрим более подробно все режимы на примере сетевого динамического теста-тренажера «Преобразование графика квадратичной функции».

*Режим 1.* За компьютерами сидят учитель и ученик. На экран дисплея учителя выводится геометрический образ функции  $y = x^2$ . С помощью управляющих кнопок учитель может смещать, деформировать и переворачивать параболу (рис. 34). По окончании преобразований он отправляет задание ученику.

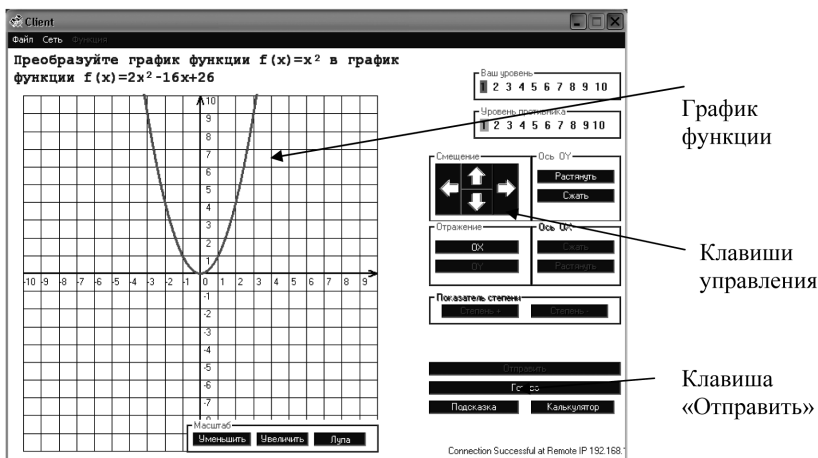


Рис. 34. Конструирование задания



При этом компьютер рассчитывает параметры квадратичной функции  $a$ ,  $x_0$ ,  $y_0$  и преобразует уравнение функции к виду  $y = ax^2 + bx + c$ . После этого ученику выводятся на экран уравнение и график функции  $y = x^2$ , преобразуя который, ученик должен получить график сконструированной функции (рис. 35).

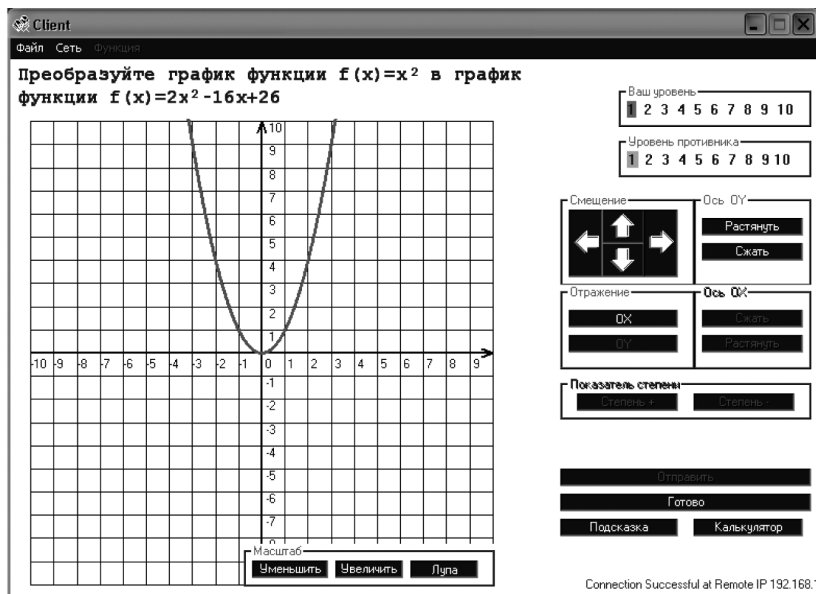


Рис. 35. Задание, полученное учеником

Все действия ученика отображаются на мониторе учителя, и учитель, анализируя деятельность ученика, может подавать сигналы, помогающие последнему сделать правильный ход (рис. 36).

Первый тип сигнала от учителя, показывающий то, как далеко находится текущий график функции от искомого графика функции, идет в пространстве параметров  $a$  (растяжение вдоль оси  $OY$ ),  $x_0$  (смещение вдоль оси  $OX$ ),  $y_0$  (смещение вдоль оси  $OY$ ) и представляется в виде гистограммы из трех

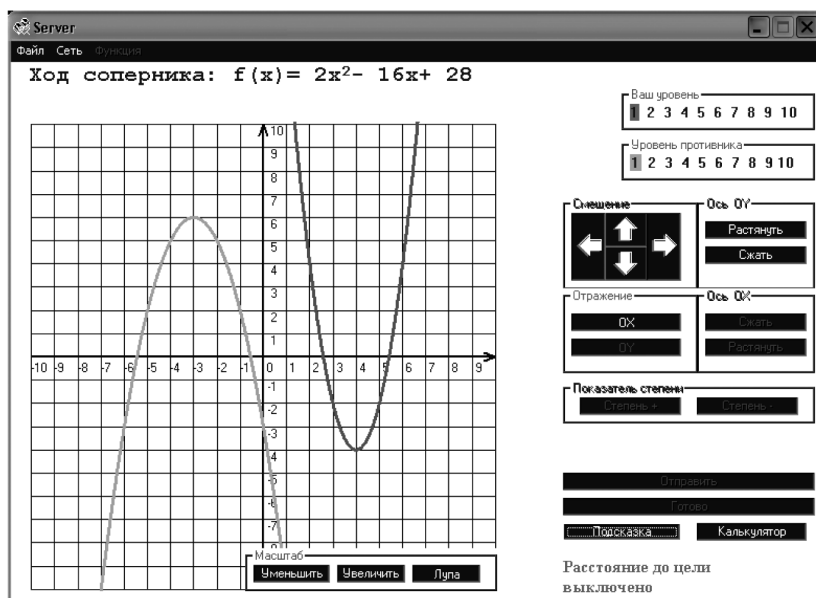


Рис. 36. Ход решения на мониторе учителя

столбцов. Высота каждого столбца равна разности между соответствующими значениями параметров текущей и конечной парабол. Чем больше отклонение столбцов от центра, тем больше отклонение текущей параболы от искомой параболы, которая представляет собой цель деятельности ученика в рамках выполняемого задания (рис. 37).

Достижение цели – правильное выполнение задания – приведет к половинной высоте столбцов гистограммы по всем параметрам. Данный вид подсказки ученик может просматривать, не совершая никаких действий, чтобы что-либо предпринять, он должен убрать подсказку с экрана.

Следующий тип сигнала похож на предыдущий, но со следующими отличиями (рис. 38):

- вместо трех гистограмм ученик видит лишь одну, показывающую «Расстояние до цели»;
- эта подсказка позволяет ученику проделывать опера-

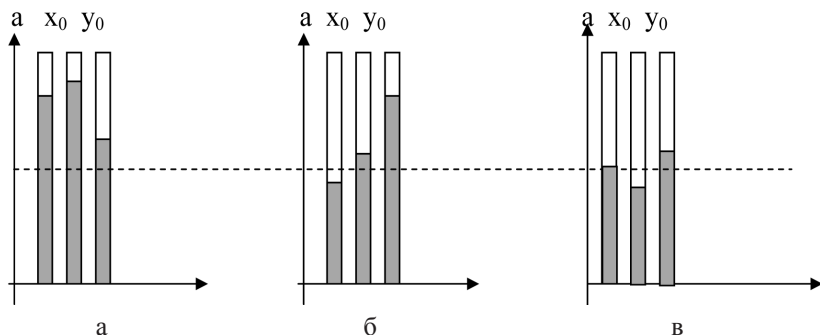


Рис. 37. Расстояние до цели в пространстве параметров  $a, x_0, y_0$ :  
 а) датчики начальных отклонений параметров функции от цели;  
 б) датчики отклонений параметров функции от цели после выполнения определенного числа операций; видно, что по параметрам  $a, x_0$  преобразуемый объект приблизился к цели, а по параметру  $y_0$  удалился;  
 в) датчики показывают, что значения параметра  $a$  у цели и преобразуемого объекта совпадают, а отклонение параметров  $x_0, y_0$  от параметров цели стало небольшим

ции по преобразованию графика и видна до тех пор, пока учитель не уберет ее.

И наконец, учитель с учеником могут обмениваться текстовыми сообщениями (рис. 38).

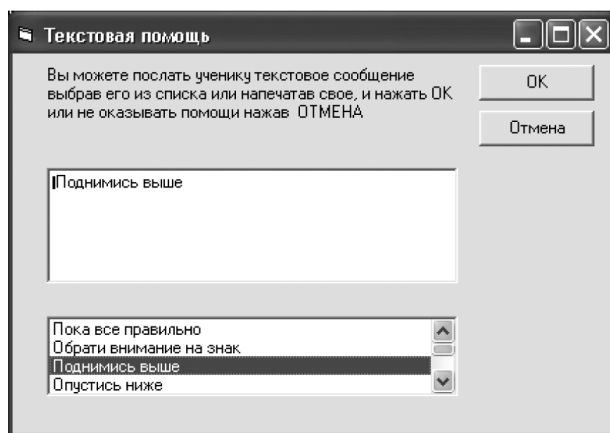


Рис. 38. Текстовая помощь

*Режим 2.* На двух компьютерах изображена координатная плоскость и задан график квадратичной функции  $y = x^2$ . Первый ученик, исполняющий роль учителя, преобразует параболу и заканчивает свой ход, при этом на мониторе второго отображается только формула, соответствующая этому графику. Второй ученик должен сконструировать график функции по заданной формуле, используя исходную параболу. Если тестируемый выполнил задание верно, то он переходит на следующий уровень. В случае неверного выполнения на его экране появляется график функции и соответствующий комментарий. После этого ученики меняются ролями. Побеждает тот, кто первым доберется до 10 уровня.

*Режим 3.* На экране каждого ученика изображена параболу  $y = x^2$ . График функции генерируется компьютером, и на экран каждого ученика выводится формула. Задача учеников – сконструировать этот график. Они поочередно выполняют действия, связанные с преобразованием графиков, причем каждый из них отслеживает деятельность товарища и может оценить ее правильность.

Закончить выполнение задания может любой из учеников. Компьютер, исходя из правильности решения, числа верных и неверных ходов, расстояния до цели, переводит каждого на соответствующий уровень и генерирует новое задание.

Данный сетевой тренажер решает следующие задачи:

1. Вызывает интерес к учебной деятельности.
2. Способствует закреплению учебного материала.
3. Развивает способность учащихся сопоставлять абстрактные формулы заданных функций с их графическим изображением.

Обучение является многошаговым процессом, в котором ученик последовательно переходит из одного состояния в другое. В дидактике выделены три основных состоя-

ния ученика – знание, умение, навыки. Ученик последовательно переходит из состояния, когда он обладает знаниями о какой-либо деятельности, в состояние, когда он не просто знает, но и умеет выполнять эту деятельность, и затем в состояние, когда он выполняет эту деятельность автоматически, то есть у него сформировались навыки. Однако реально состояний ученика гораздо больше.

Задача эффективного управления обучением ученика состоит в том, чтобы выработать оптимальную последовательность подачи учебного материала и управляющих воздействий. Однако реализовать на практике систему, осуществляющую оптимальное управление учебно-познавательной деятельностью учащихся, весьма проблематично. Это связано с тем, что ученик является сложным объектом с большим числом неопределенных параметров, которые сложно учесть, а значит, задачу оптимизации очень трудно формализовать. С точки зрения кибернетики, управление таким сложным объектом возможно лишь с параллельным его изучением. Поэтому выработка оптимальной стратегии обучения возможна только на основании экспертных решений.

Для этого необходимо создать компьютерную систему, осуществляющую мониторинг деятельности не только ученика, но и эксперта-учителя, который через компьютерную сеть управляет процессом обучения ученика. Информация о последовательности управляющих воздействий или решений эксперта-учителя записывается и хранится. В ней содержится стратегия управления данного эксперта. Если мы получим информацию о стратегиях управления группы экспертов-учителей, то на основании ее возможно выработать последовательность решений, которую можно считать оптимальной с точки зрения оценки экспертов.

Рассмотрим основные составляющие части сетевого компьютерного теста-тренажера на примере темы «Пре-

образование графика квадратичной функции». Программы реализованы на языке Visual Basic (версия 6.0). Использование этого языка связано с его широкими возможностями и тем, что программы, написанные на языке Visual Basic, доступны для понимания. Итак, для программной реализации СДКТТ необходимо:

- создать рабочую среду для работы с графиками;
- создать блок управления объектами;
- установить связь между компьютерами;
- обеспечить взаимодействие между учителем и учеником;
- осуществить запись деятельности тестируемого;
- произвести обработку полученных результатов.

Для создания компьютерной среды по работе с графиками необходимо:

- создать координатную сетку;
- написать программу, позволяющую отображать на координатной сетке графики функций.

Рассмотрим задачу генерации координатной плоскости. Пусть в графическом окне (Picture. Box) необходимо построить координатную сетку с единичным масштабом. Размеры координатной сетки 20×20. Важным преимуществом языка Visual Basic перед другими языками программирования, такими как Delphi, Visual C и т.д., является то, что в нем имеются встроенные операторы свойств преобразования координат, например Scale. Наличие этих операторов позволяет легко создавать координатные плоскости и осуществлять в них преобразование координат и масштабирование.

Следующим шагом создания СДКТТ будет создание процедуры отображения кривой на графике. Процедуры для создания различного рода кривых весьма похожи друг на друга и отличаются только формулой, описывающей функцию. Все задания в СДКТТ имеют интерактивный характер, то есть учащийся при выполнении заданий может

манипулировать алгебраическими объектами, преобразуя их. Следовательно, одним из важнейших блоков динамического теста-тренажера является блок управления объектами. В частности, при преобразовании графика параболы ученик может проделывать следующие операции:

- сдвиг параболы вверх;
- сдвиг параболы вниз;
- сдвиг параболы влево;
- сдвиг параболы вправо;
- переворот (отражение) параболы;
- растяжение параболы;
- сжатие параболы.

Кроме этого, ученик может изменять масштаб и увеличивать произвольный участок графика. На выполнение каждой из этих операций предусмотрена отдельная клавиша управления.

В программе ученик работает с уравнением квадратичной функции в виде  $y = a \cdot (x - x_0)^2 + y_0$ . Поэтому все операции по преобразованию графиков сводятся к изменению значений параметров  $a$ ,  $x_0$ ,  $y_0$  на единицу. Исключение составляет операция отражения параболы – в ней параметр  $a$  меняет знак, а также растяжение параболы с коэффициентом  $a < 1$ . В этом случае  $a$  уменьшается не на единицу, а на величину  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{3}$ ,  $\frac{1}{4}$  и т. д.

Основное отличие СДКТТ от классического динамического теста состоит в том, что деятельность ученика контролирует учитель, а компьютер только создает среду для взаимодействия и осуществляет связь между учителем и учеником. Поэтому важнейшим блоком сетевого теста является блок, позволяющий осуществлять взаимодействие между учителем и учеником. В разработанных нами тестах для установления связи «клиент – сервер» (ученик – учитель) используется протокол TCP/IP, реализованный в элемен-

те управления Winsock. Для настоящего сетевого приложения необходимо написать две отдельные процедуры – для клиента и для сервера. Любое приложение сервера, которое существует в сети, идентифицируется двумя номерами: IP-адресом и портом, посредством которого прослушивается запрос на установку соединения. Каждый компьютер по одному IP-адресу может запускать несколько серверов, каждый из которых прослушивается через собственный порт. Следовательно, учитель может одновременно запустить несколько серверов и контролировать процесс тестирования нескольких учащихся.

Рассмотрим процесс установления связи между учителем (сервером) и учеником (клиентом). Для активизации сервера вызывается его метод Listen, который информирует о поступлении запроса на установку соединения. Клиент (ученик) посылает запрос по доступному IP-адресу и номеру порта. При этом элемент управления Winsock вызывает событие, генерирующее соединение между клиентом и сервером посредством вызова метода Accept элемента управления Winsock, передавая его в свойство requested, принимаемое как аргумент процедуры события.

Для того чтобы послать данные клиенту (ученику), используется метод SendData элемента управления Winsock. Когда элемент управления Winsock получает данные от клиента, он запускает процедуру события DataArrival, сигнализируя о том, что можно использовать метод GetData, чтобы забрать данные из буфера соединения. Главное различие между клиентом и сервером определяется тем, как установлено соединение. В то время как сервер прислушивается к требованиям соединения, клиент использует метод Connect элемента управления Winsock, а также свойства RemoteHost и RemotePort для того, чтобы передать требование соединения.



Для обмена данными с сервером клиент использует те же методы Winsock, что и сервер. Чтобы передать данные на сервер, вызывается метод SendData; чтобы выбрать данные, полученные с сервера, вызывается метод GetData внутри процедуры DataArrival.

Основным отличием динамического теста-тренажера от других контролирующих систем является то, что в процессе тестирования записывается вся информация о деятельности ученика в реальном времени. В созданных нами СДКТТ создаются два протокола записи деятельности каждого ученика. Первый представляет собой развернутую запись всех действий ученика, т. е. в какой момент времени он осуществлял преобразования графика, пользовался подсказкой, правильны ли были его действия и т. д. Во второй протокол записывается информация о каждом выполненном задании, т. е. информация о виде преобразуемой функции, времени на выполнение, правильности, типах ошибок, уровне ученика. Технически оба протокола реализованы в виде таблиц, хранящихся в текстовых файлах. Первый файл имеет следующие поля: «Действие» – действие, выполненное учащимся (см. выше); «Время» – время, затраченное на выполнение данного действия (в сотнях миллисекунд); «Правильность» – было ли это действие правильным; «Подсказка» – оказывались ли на ученика управляющие воздействия (если да, то указан их тип); «Уровень» – на каком уровне самостоятельности находится учащийся; «Калькулятор» – пользовался ли ученик встроенным калькулятором; «Уравнение» – с графиком какой функции работает учащийся. Второй протокол: «Тип» – тип преобразуемой функции (в данном случае квадратичная); «Уравнение» – какой именно график преобразовывал ученик; «Время» – сколько времени ученик затратил на выполнение задания; «Правильность» – правильно ли он выполнил задание

(да – 1, нет – 0); «а», « $x_0$ », « $y_0$ » – в каком параметре ученик совершил ошибку (0 – нет ошибки, 1 – есть); «Уровень» – на какой уровень самостоятельности перешел ученик при выполнении данного задания.

Последним компонентом СДКТТ является программа обработки результатов тестирования. Данная программа должна обладать следующими возможностями:

- сканирование компьютера или локальной сети с целью поиска файлов-протоколов;
- вывод на экран списка тестируемых учеников;
- вывод на экран или принтер по запросу учителя подробного протокола деятельности каждого ученика;
- вывод на экран или принтер по запросу учителя итогового протокола деятельности каждого ученика;
- построение диаграммы движения каждого ученика по уровням;
- построение диаграммы выполнения учеником каждого задания;
- построение диаграммы управляющих воздействий учителя на ученика;
- построение графиков функции состояния как для каждого ученика, так и для взаимодействующей пары;
- построение диаграммы зависимости энтропии ученика от времени;
- построение диаграммы зависимости энтропии ученика от числа заданий;
- статистическая обработка группы тестируемых;
- экспорт данных в другую программу обработки (например, Excel);
- сохранение результатов обработки.

Более подробно возможности обработки результатов тестирования будут описаны в параграфе, посвященном педагогическому эксперименту.

## **Выводы к главе 3**

– Разработана математическая модель информационного взаимодействия управляющего центра и объекта управления (обучающегося), реализующая управление учебной деятельностью посредством системы петель обратной связи, заданных рекурсивными уравнениями, описывающими изменение ресурса, величину рассогласования между целевым и текущим состоянием, прогнозируемым и реальным значением функции ценности.

– На основе разработанной математической модели информационного взаимодействия управляющего центра и объекта управления создана структурно-функциональная модель системы автоматического управления адаптацией обучающихся к условиям проблемных сред с ограничением ресурса объема работ и реализована в вербальной проблемной среде.

– На основе структурно-функциональной модели системы автоматического управления учебной деятельностью в вербальной проблемной среде решена задача оптимизации выполнения объема работ обучающимся.

– На основе теории катастроф и методов системной динамики впервые получен обобщенный параметр, количественно описывающий процесс научения деятельности по решению задач, который представляет собой суммарный коэффициент петель обратной связи системы автоматического управления учебной деятельностью, позволяющий учитывать влияние поведения обучающегося на проблемную среду.

## **ГЛАВА 4.**

# **КОМПЬЮТЕРНАЯ ДИАГНОСТИКА УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОБУЧАЮЩИХСЯ В ВЕРБАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМНЫХ СРЕДАХ**

---

Рассматриваются вопросы применения систем автоматического регулирования учебной деятельности для диагностики обучающихся в вербальных проблемных средах. С помощью компьютерной системы обработки продуктов деятельности обучающихся в описанных выше системах управления проводится исследование различных факторов, влияющих на процесс учебной деятельности.

### **4.1. Моделирование учебной деятельности в вербальной проблемной среде по решению задач с помощью цепей Маркова**

Пользуясь классификацией и определением Марковских процессов [142], учебную деятельность по решению задач в вербальной проблемной среде можно определить как дискретную случайную последовательность (дискретный процесс с дискретным временем). В данном случае время  $t$  пробегает дискретный ряд значений  $t_0, t_1, t_2, \dots, t_N$  и случайная величина  $X(t_N) = X_n$  может принимать лишь дискретное множество значений  $x_0, x_1, x_2, \dots, x_N$ . Множества значений  $\{t_n\}$  и  $\{x_k\}$  могут быть конечными или бесконечными. В данном случае случайная величина  $\{x_k\}$  имеет конечное множество значений.

Процесс научения решению задач можно рассматривать как развитие структуры системы действий обучающегося. Структура системы действий обучающегося в проблемной среде по решению вербальных задач задается матрицей переходных вероятностей и вероятностями состояний деятельности обучающегося. Структура систем действий по мере научения совершенствуется в направлении исключения неправильных действий [152; 153].

Учебную деятельность обучающегося по решению вербальных задач можно представить в виде последовательности случайных событий, каждое из которых связано с тем или иным действием обучающегося. Последовательное изменение состояния деятельности обучающегося, определяемое его действиями, можно представить в виде цепи Маркова. Поскольку число состояний (действий) конечно, то в нашем случае цепь Маркова конечна и неоднородна, потому что вероятности перехода  $P_{ij}(r)$  зависят от  $r$ .

Итеративный характер процесса научения позволяет представить неоднородную цепь Маркова в виде последовательности однородных конечных цепей Маркова. Однородная конечная цепь Маркова под номером  $m$  соответствует учебной деятельности обучающегося при решении  $m$ -й задачи. Изменение матрицы переходных вероятностей от задачи к задаче характеризует процесс развития структуры системы действий обучающегося.

В нашем случае матрица переходных вероятностей при решении  $m$ -й задачи определяется экспериментально как матрица относительных частот наступления событий, связанных с переходами от одного типа действий к другому. Начальное распределение вероятностей состояний деятельности обучающегося при решении  $m$ -й задачи полагается неизменным, так как влияние начального распределения вероятностей состояний деятельности обучающегося при решении  $m$ -й за-

дачи на распределение вероятностей последующих состояний очень быстро исчезает с возрастанием номера действия  $k$ .

Сведение неоднородной конечной Марковской цепи к последовательности однородных конечных Марковских цепей, каждая из которых отвечает выполнению  $m$ -го задания, аналогично представлению неравномерного движения тела в течение времени  $t$  последовательностью равномерных движений в промежутки времени  $\Delta t_i$  ( $t = \sum_i \Delta t_i$ ).

Модель учебной деятельности обучающегося при решении  $m$ -й задачи, представленная однородной конечной цепью Маркова, описывается графом, узлами которого являются состояния деятельности обучающегося, а дугами – переходы между состояниями [45].

Данная модель учебной деятельности построена при учете того, что в Марковском процессе происходит запоминание только предыдущего состояния.

Исходная информация для модели решения  $m$ -й задачи включает список узлов (состояний деятельности) и матрицу вероятностей перехода от узла к узлу. При этом полагаем трудозатраты каждого шага равными единице – совершение одного действия. Матрица переходных вероятностей определяется эмпирически после выполнения каждого задания.

Деятельность обучающегося в процессе решения задачи в вербальной проблемной среде рассматривается как динамическая система, находящаяся в каждый из моментов  $k$  в одном из  $n$  состояний (в данной задаче таких состояний выделяется  $n = 13$ :  $S_1$  – установка «.»,  $S_2$  – отмена установки «.»,  $S_3$  – установка «, »  $S_4$  – отмена установки «, »,  $S_5$  – установка «!»,  $S_6$  – отмена установки «!»,  $S_7$  – установка «?»,  $S_8$  – отмена установки «?»,  $S_9$  – установка «:»,  $S_{10}$  – отмена установки «:»,  $S_{11}$  – установка «;»,  $S_{12}$  – отмена установки «;»,  $S_{13}$  – завершение работы):

$$S_i(k) \in S(k) = \{S_1, \dots, S_n\}, \quad k \in T. \quad (35)$$

Переменная  $k$  определяет номер действия в процессе решения задачи.

Пользуясь «моделью равных цен» [24; 118], сделаем упрощение в силу того, что установка и отмена различных знаков препинания равнозначны. Поэтому структура системы действий сворачивается и становится  $n = 3$ :  $S_1$  – установка знака препинания,  $S_2$  – отмена знака препинания,  $S_3$  – завершение работы. Состояния изменяются со временем случайным образом. Эти изменения определяются матрицей переходных вероятностей. Для деятельности по решению вербальных задач матрица переходных вероятностей примет вид:

$$P^{(k)} = \left\| P_{ij}^{(k)} \right\| = \begin{vmatrix} P_{11}^{(k)} & P_{12}^{(k)} & P_{13}^{(k)} \\ P_{21}^{(k)} & P_{22}^{(k)} & P_{23}^{(k)} \\ P_{31}^{(k)} & P_{32}^{(k)} & P_{33}^{(k)} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (36)$$

Каждый элемент матрицы  $P^{(k)}$  показывает вероятность того, что если система в момент  $k$  находилась в состоянии  $S_i$ , то в момент  $k + 1$  она окажется в состоянии  $S_j$ . Каждая строка матрицы  $P^{(k)}$  соответствует состоянию, в котором процесс находится на данном шаге, а каждый столбец – состоянию, в которое переходит процесс на следующем шаге.

Переходы во все возможные состояния (в том числе в себя) образуют полную группу событий, поэтому  $\sum_{j=1}^3 P_{ij}^{(k)} = 1$  для всех  $i = 1, 2, 3, k \in T$ . Для рассматриваемой структуры системы действий вероятности  $P_{ij}^{(k)}$  не зависят от времени. Такую цепь Маркова называют однородной. Зная вероятности переходов между состояниями, можно строить отдельные реализации случайного процесса, порождаемого цепью Маркова.

Вектор-строка  $Y(k) = [y_1(k), y_2(k), y_3(k)]$  описывает распределение вероятностей нахождения структуры системы

действий при выполнении  $m$ -го задания в соответствующих состояниях в момент  $k$ , то есть  $y_i(k)$  – это вероятность того, что в момент  $k$  структура системы действий обучающегося при решении вербальной задачи находится в состоянии  $S_i$ . При этом  $\sum_{i=1}^3 y_i(k) = 1, k \in T$ .

Пересчет распределения вероятностей на следующем шаге производится по формуле:

$$Y(k+1) = Y(k) \cdot P. \quad (37)$$

Должно быть также задано начальное условие  $Y(0)$ , которое определяет состояние процесса решения задачи на начальном шаге (в момент, когда обучающемуся предъявляется задание).

Вычисляя последовательно  $Y(1) \dots Y(k)$ , мы можем получить вероятностный прогноз развития структуры системы действий обучающегося.

Состояние  $S_3$  в нашем случае является *поглощающим* и соответствует завершению решения задачи. Оно не влияет на трудозатраты процесса поиска решения. Поэтому, исключив из матрицы  $P$  строки и столбцы, соответствующие состояниям  $S_3$ , и обозначив оставшуюся матрицу  $Q$ , можем вычислить так называемую фундаментальную матрицу цепи Маркова:

$$N = (I - Q)^{-1}, \quad (33)$$

где  $I$  – единичная матрица.

Каждый элемент  $n_i$  матрицы  $N$  представляет собой среднее число пребывания процесса в состоянии  $S_j$  при старте из состояния  $S_i$ . Зная  $n_{ij}$ , можно вычислить средние трудозатраты (количество действий) процесса решения задачи по формуле:

$$\Theta_{\Sigma} = \sum_{j=1}^2 (n_{1j} \cdot P_{1j}) + \sum_{j=1}^2 (n_{2j} \cdot P_{2j}). \quad (38)$$



Рассмотрим описанную методику на примере решения обучающимся *первой задачи* в проблемной среде. Граф структуры системы действий, соответствующий процессу установки фрагментов текста, представлен на рис. 39 (данные получены в ходе эксперимента). Из рисунка видно, что состояния  $S_1 - S_2$  относятся к множеству невозвратных состояний,  $S_3$  – поглощающее состояние.

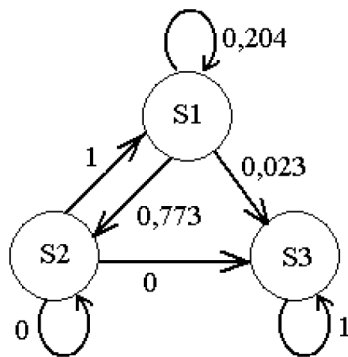


Рис. 39. Структура системы действий

Матрица переходных вероятностей имеет вид:

$$P^{(1)} = \begin{vmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0,204 & 0,773 & 0,023 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}. \quad (39)$$

Начальное распределение вероятностей  $Y(0) = (1; 0; 0)$  означает, что обучающийся начинает свою деятельность из первого состояния – установки фрагментов текста. Средние значения числа пребываний процесса в множестве невозвратных состояний задаются следующей матрицей:

$$N = \begin{vmatrix} 44 & 34 \\ 44 & 35 \end{vmatrix}. \quad (40)$$

Средние трудозатраты процесса:

$$\Theta_{\Sigma} = \sum_{j=1}^2 (n_{1j} \cdot P_{1j}) + \sum_{j=1}^2 (n_{2j} \cdot P_{2j}) = 44 \cdot 0,204 + \\ + 34 \cdot 0,773 + 44 \cdot 1 + 35 \cdot 0 = 79,258 \quad \text{действий.}$$

На рис. 40 приведен график распределения вероятностей состояния деятельности обучающегося в процессе решения первой задачи в вербальной проблемной среде.

Отметим, что обучающийся, структура системы действий которого была описана, для решения первой задачи совершил 78 действий (теоретическое значение – 79,258).

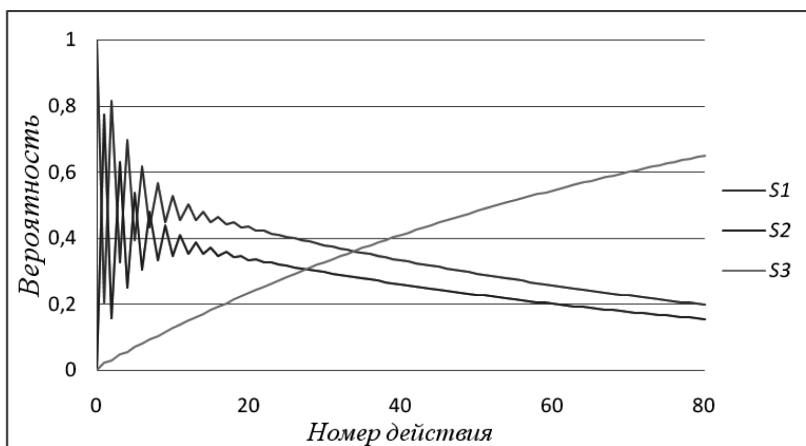


Рис. 40. Вероятности пребывания в состояниях структуры системы действий: S1 – установка фрагмента текста; S2 – отмена установки фрагмента текста; S3 – завершение задачи

Имея массив протоколов продуктов деятельности обучающихся решению задач в вербальной проблемной среде, можно найти распределение трудозатрат  $Trl$ , выраженных в «действиях» для всего массива обучающихся (рис. 41 а).

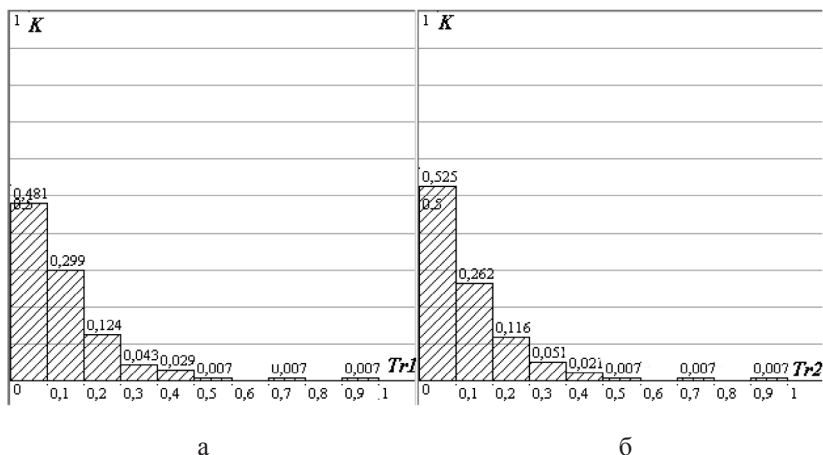


Рис. 41. Гистограмма распределения трудозатрат: а) теоретические трудозатраты  $Tr1$ ; б) практические трудозатраты  $Tr2$ ;  
 $N$  – доля обучающихся, попавших в определенную часть интервала

Рассчитав трудозатраты для каждого обучающегося по формуле (34), нормируем ее. В качестве нормировочного множителя возьмем наибольшее значение трудозатраты. Найденная величина «относительные трудозатраты» расположена в интервале от 0 до 1. Разбив данный интервал на 10 равных частей, найдем относительную долю обучающихся, попавших в определенные части интервала. Получившееся распределение трудозатрат представлено на рис. 41.

Найдем для данного распределения  $Tr1$  выборочное математическое ожидание и выборочную дисперсию:

$$\bar{T}_{r1} = \sum_{i=1}^n T_{r1i} \cdot N_i = 0,1449, \quad S_{Tr1}^2 = \sum_{i=1}^n (T_{r1i} - \bar{T}_{r1})^2 \cdot N_i = 0,019. \quad (41)$$

Умножим на нормировочный множитель:

$$\bar{T}_{r1} = 0,1449 \cdot 479,135 = 64,426 \text{ действий.}$$

$$\text{Среднеквадратичное отклонение } S_{Tr1} = \sqrt{S_{Tr1}^2} = 0,1379.$$

Теперь найдем практическое распределение трудозатрат  $Tr_2$ , взятых из массива протоколов, представляющих собой количество действий, совершенных обучающимися (рис. 41 б), и также нормируем ее.

$$\bar{T}_{r_2} = \sum_{i=1}^n T_{r_2 i} \cdot N_i = 0,139, \quad S_{Tr_2}^2 = 0,019. \quad (42)$$

Умножим на нормировочный множитель:

$$\bar{T}_{r_2} = 0,139 \cdot 484 = 67,276 \text{ действий}.$$

$$\text{Среднеквадратичное отклонение } S_{Tr_1} = \sqrt{S_{Tr_1}^2} = 0,1379.$$

Теперь построим диаграмму рассеяния (рис. 42) величин  $Tr_1$  и  $Tr_2$  и посмотрим, насколько они коррелируют.

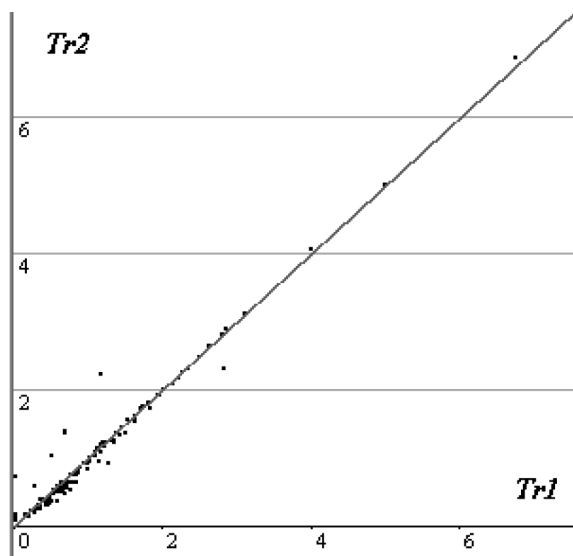


Рис. 42. Диаграмма рассеяния:  $Tr_1$  – теоретические трудозатраты;  $Tr_2$  – практические трудозатраты

Коэффициент корреляции из [73]:

$$r_e = \frac{1}{\sigma_{Tr_1} \cdot \sigma_{Tr_2}} \cdot (\langle Tr_1 \cdot Tr_2 \rangle - \langle Tr_1 \rangle \cdot \langle Tr_2 \rangle) = 0,982. \quad (43)$$

$$\sigma_{Tr1} = \sqrt{\langle Tr_1^2 \rangle - \langle Tr_1 \rangle^2}, \quad \sigma_{Tr2} = \sqrt{\langle Tr_2^2 \rangle - \langle Tr_2 \rangle^2}. \quad (44)$$

Корреляционная связь положительная, высокая, это означает, что Марковская модель расчета трудозатрат дает высокую корреляцию с практически полученными значениями трудозатрат.

Проведем анализ деятельности обучающегося при выполнении *последнего задания*. Граф структуры системы действий, соответствующий решению задачи, представлен на рис. 43.

Матрица переходных вероятностей имеет вид:

$$P^{(1)} = \begin{vmatrix} 0,9 & 0 & 0,1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}. \quad (45)$$

Начальное распределение вероятностей по-прежнему  $Y(0) = (1; 0; 0)$ . Средние значения числа пребывания процесса в множестве невозвратных состояний:

$$N = \begin{vmatrix} 10 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix}. \quad (46)$$

Средние трудозатраты процесса:

$$\Theta_{\Sigma} = \sum_{j=1}^2 (n_{1j} \cdot P_{1j}) + \sum_{j=1}^2 (n_{2j} \cdot P_{2j}) = 10 \cdot 0,9 = 9 \text{ действий}. \quad (47)$$

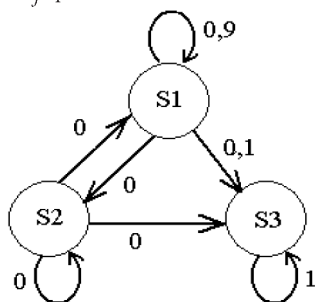


Рис. 43. Структура  $S$  системы действий обучающегося при решении последней задачи

График распределения вероятностей состояния деятельности обучающегося в процессе решения последней задачи приведен на рис. 44.

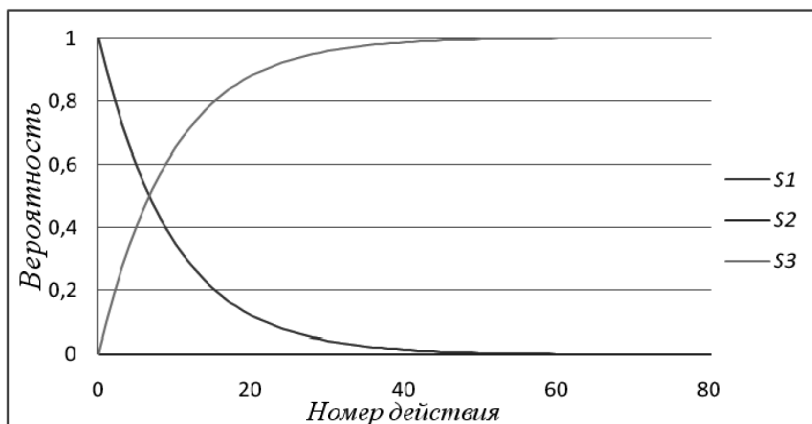


Рис. 44. Вероятности пребывания в состояниях структуры системы действий: S1 – установка фрагмента текста; S2 – отмена установки фрагмента текста; S3 – завершение задачи

В отличие от первого задания, количество шагов уменьшается: обучающийся совершил 10 действий (теоретическое значение 9 действий) из-за того, что состояние отмены действий S2 уходит.

Теперь построим графики зависимости трудозатрат, рассчитанных с помощью математического аппарата цепей Маркова, и трудозатрат, полученных из экспериментальных данных за все выполненные задания (рис. 45).

Из графиков видно, что значения трудозатрат, полученных экспериментально, совпадают с вычисленными значениями по формуле (38). Ориентируясь на данные зависимости и диаграмму рассеяния (рис. 42), можно сделать вывод, что Марковская модель дает большую корреляцию с практически полученными результатами.

Таким образом, моделирование процесса научения рас-

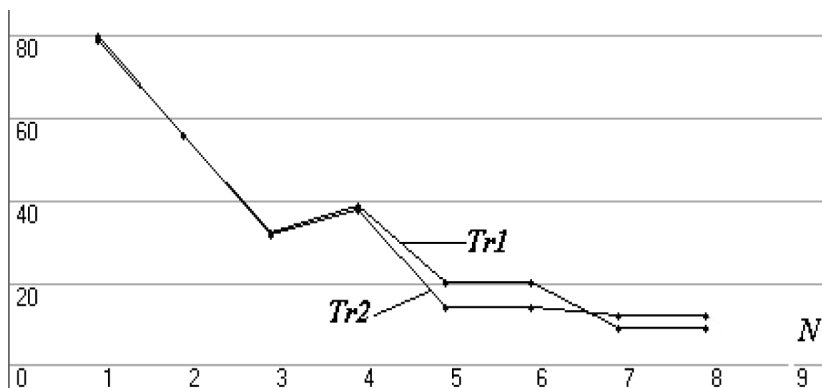


Рис. 45. Изменение трудозатрат обучающегося:

*Tr1* – теоретические трудозатраты;

*Tr2* – практические трудозатраты; *N* – номер задания

становке фрагментов текста можно рассматривать как конечную Марковскую цепь. Использование математического аппарата цепей Маркова позволило получить количественную оценку вероятностных характеристик пошагового процесса итеративного научения по решению вербальных задач.

## 4.2. Исследование обучения с подкреплением

Итеративное научение должно происходить при постоянстве внешних условий проблемной среды, только тогда можно судить о результатах научения. Постоянство внешних условий может поддерживаться за счет подкрепления [122] проблемной средой любого действия обучающегося. Механизм обучения с подкреплением обусловлен наличием дополнительной петли обратной связи обучающегося и проблемной среды (рис. 46). Как показано В.Г. Редько [122], в текущей ситуации  $S(t)$  обучающийся выполняет действие  $a(t)$ , получает подкрепление  $r(t)$  и попадает в следующую ситуацию  $S(t+1)$ ;  $t = 1, 2, \dots$

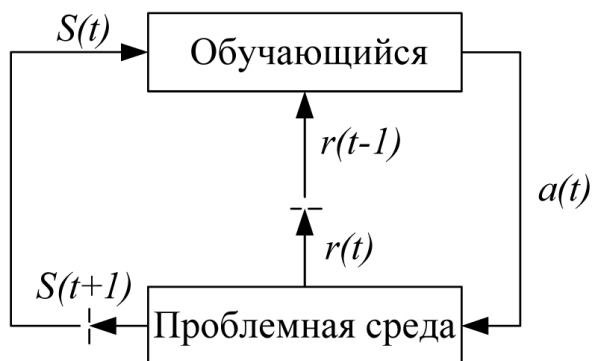


Рис. 46. Обучение с подкреплением

Подкрепление  $r(t)$  может быть положительным (награда) или отрицательным (наказание). Дополнительная петля обратной связи включает в себя действие  $a(t)$  и соответствующее подкрепление  $r(t)$  [31; 92; 122].

Подкрепление  $r(t)$  осуществляется через информационный датчик «Расстояние до цели» и соответствующий «смайлик». Правильное действие означает приближение к цели и радостный «смайлик» – положительное подкрепление; неправильное действие – удаление от цели и, соответственно, недовольное выражение «смайлика».

Таким образом, после выполнения каждого действия проблемная среда по решению вербальных задач немедленно возвращает сигнал обратной связи. Эта обратная связь принимает форму скалярного числового значения, которое может рассматриваться как оценка действия.

Правильное действие оценивается числом 1, неправильное – 0. На интуитивном уровне можно предположить, что благоприятное действие получает положительную обратную связь, а неблагоприятное – отрицательную. Сигнал обратной связи, поступающей из среды, принято называть сигналом вознаграждения. В нашем случае этот сигнал передается через информационный датчик «Расстояние до



цели». Обучающийся, используя поступающие ему сигналы от проблемной среды в виде информационного датчика, самостоятельно регулирует свое поведение по решению задач и находит приемлемый способ действий или операций в каждом состоянии. В этом состоит обучение и, соответственно, *адаптивное поведение* [31; 86; 162] или учебная деятельность.

Для исследования деятельности по решению задач с подкреплением и диагностики индивидуальных различий обучающихся решению вербальных задач были разработаны:

а) компьютерная система автоматического управления учебной деятельностью без ограничений на ресурсы с подкреплением на каждое действие обучающегося, моделирующая проблемную среду с датчиком «Расстояние до цели»;

б) компьютерный диагностический комплекс процессуальных характеристик учебной деятельности обучающегося на основе контент-анализа продуктов деятельности [52].

Вербальная задача представляла собой расстановку недостающих фрагментов в определенных местах заданного текста. На экране дисплея представлялся текст с пустыми местами, которые необходимо было заполнить. На решение данной задачи отводилось 40–60 минут. Если за это время не произошло адаптации, то предполагалось, что у обучающегося недостаточная обучаемость русскому языку [58]. Если обучающийся при выполнении серии заданий достигает 10 уровня успешности, то можно говорить о том, что он адаптировался к вербальной проблемной среде.

Для того чтобы обучающийся мог видеть, как протекает процесс адаптации, были введены 10 уровней успешности (достижений). Уровень успешности соответствует доле правильных действий, которые совершает обучающийся в процессе работы.

Например: 1 уровень соответствует доле правильных действий  $p \in [0,5; 0,55]$ . Уровни успешности отображались на экране дисплея набором дискретных датчиков и выполняли роль мотивационных управляющих воздействий. Как уже говорилось выше, адаптивное поведение [162] наблюдается тогда, когда каждое действие обучающегося подкрепляется (положительно или отрицательно) реакцией проблемной среды.

На диаграмме (рис. 47) представлены две группы обучающихся, которые образовались в результате проведения эксперимента.

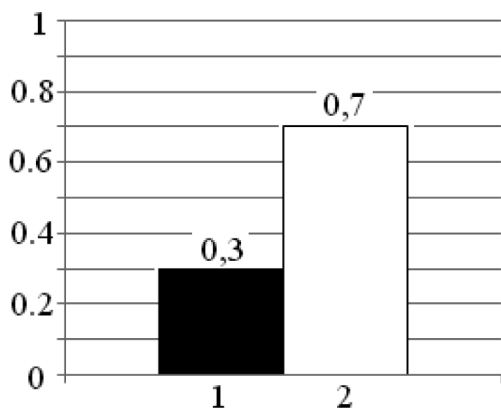


Рис. 47. Разделение на группы адаптации

Первая группа – это испытуемые, которые не смогли адаптироваться к вербальной проблемной среде. У них не сформировалась безошибочная деятельность за отведенное время. Вторая группа представлена теми, кто смог достичь до 10 уровня успешности, т. е. смог адаптироваться.

У первой группы, которая составляет 30 % испытуемых, наблюдалась недостаточная специфическая обучаемость русскому языку. Вторая группа – 70 % – достаточно хорошо адаптировалась к проблемной среде решения задач.

Задача эксперимента заключалась в том, чтобы при получении подкрепления со стороны системы автоматического управления на каждое совершенное действие добиться безошибочной деятельности.

Предполагалось, что адаптация обучающихся может происходить: а) с опорой на внешний контекст; б) с опорой на внутренний контекст. Опора на внешний контекст предполагает, что при адаптивном поведении реакция среды играет существенную роль, и стоит выключить датчик «Расстояние до цели», как обучающийся начнет делать ошибки и уровень его успешности понизится. Опора на внутренний контекст означает, что реакция среды играет несущественную вспомогательную роль в научении решению задач. В случае когда датчик «Расстояние до цели» выключен, уровень успешности не меняется, то есть остается десятым.

Рассматривая вторую группу испытуемых, мы сделали два предположения. Некоторые обучающиеся, достигшие безошибочной деятельности по решению задач, работая в режиме непрерывного подкрепления, после его отключения не смогут работать дальше безошибочно, т. е. будут нуждаться в постоянном подкреплении. Другие в такой же ситуации поведут себя иначе, им не нужно будет внешнего подкрепление (информационный датчик «Расстояние до цели»), и деятельность по решению задач у них останется безошибочной. Исходя из полученных данных, можно говорить о том, что *индивидуальный стиль* учебной деятельности у этих обучающихся различный. Выделяются 3 группы людей: опирающиеся на внутренний контекст, на внешний контекст и имеющие смешанный стиль учебной деятельности.

На рис. 48 приведены экспериментальные кривые, полученные в режиме непрерывного подкрепления с последующим выключением датчика «Расстояние до цели» и выполнением задания без реакции среды или подкрепления.

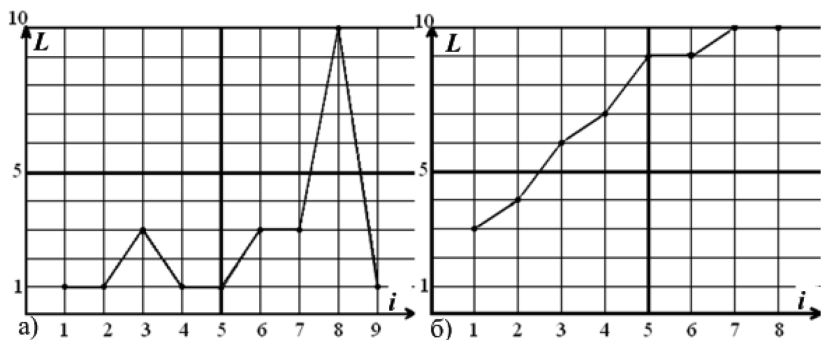


Рис. 48. Экспериментальные кривые деятельности испытуемых в проблемных средах: а) с опорой на внешний контекст; б) с опорой на внутренний контекст;  $L$  – номер уровня;  $i$  – номер задания

На рис. 49 приведена гистограмма распределения обучающихся по уровням адаптации после выключения датчика «Расстояние до цели». Эта гистограмма построена на множестве студентов, адаптивное поведение которых вывело их на 10 уровень (интервал  $p \in (0,95; 1]$ ).

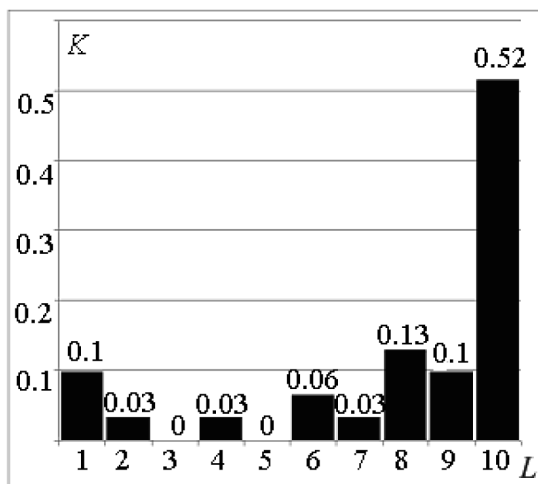


Рис. 49. Гистограмма распределения второй группы испытуемых после выключения датчика «Расстояние до цели» по уровням успешности:  $K$  – относительная доля испытуемых;  $L$  – номер уровня

Видно, что основная часть обучавшихся решению вербальных задач, около 52 %, обучается с опорой на внутренний контекст, то есть их учебная деятельность не нуждается в постоянном подкреплении (рис. 48 б). Эти испытуемые после выключения информационного датчика (т. е. не получали подкрепление на каждое действие) так и остались на 10 уровне успешности.

Другая группа, составляющая около 10 %, после выключения датчика осталась на 1 уровне успешности (рис. 48 а). Обучающиеся этой группы совершают деятельность с опорой на внешний контекст и сильно нуждаются во внешних подкреплениях. Остальные, около 38 %, распределились между первым и десятым уровнями успешности [96].

Для расчета математического ожидания и дисперсии случайной величины  $P$  необходимо выбрать среднее значение из интервала  $p$ , соответствующего номеру уровня  $L$ , представленного в табл. 2. Каждому среднему значению случайной величины из интервала соответствует определенное значение ее вероятности. Пользуясь [73], вычислим математическое ожидание случайной величины  $P$ .

$$M(P) = \sum_{i=1}^{10} P_i \cdot K_i. \quad (48)$$

$$M(P) = 0,873.$$

Математическое ожидание доли правильных действий, совершенных обучающимися в ходе эксперимента, соответствует 8 уровню (табл. 2).

Теперь найдем дисперсию случайной величины.

$$D(P) = \sum_{i=1}^{10} (P_i - M(P))^2 \cdot K_i. \quad (49)$$

$$D(P) = 0,022.$$

Величина дисперсии говорит о том, что «степень разброса» значений случайной величины  $P$  невелика.

Найдем среднеквадратичное отклонение, характеризующее величину ошибки.

$$h = \sqrt{D(P)}. \quad (50)$$
$$h = \sqrt{0,022} = 0,148.$$

В ходе проведенного исследования было установлено, что обучающиеся при совершении учебной деятельности по решению задач в вербальной проблемной среде используют различные стили деятельности, и эти стили индивидуальны для каждого. Все испытуемые разделились на три группы. Первая группа имеет индивидуальный стиль, опирающийся на внешнее подкрепление. Вторая группа использует индивидуальный стиль учебной деятельности, который не нуждается во внешнем подкреплении. Третья группа имеет смешанный стиль учебной деятельности.

### **4.3. Корреляция между относительной частотой совершения ошибок при решении вербальных и математических задач**

В этом параграфе пойдет речь об исследовании связи между математическими и вербальными способностями людей. Это исследование проведено из расчета того, что обучающиеся совершали учебную деятельность, работая в описанных выше проблемных средах по решению математических задач и вербальных задач.

В основе вербально-логического мышления лежат законы построения языка, связывающие слова в сложные системы, дающие возможность осуществлять суждения, а также в сложные логические системы, овладение которыми позволяет человеку выполнять операции логического вывода.

Успешность выполнения учебной деятельности зависит от сочетания различных способностей, причем это сочетание, дающее один и тот же результат, может быть обеспечено различными способами.

Общие способности включают те, которыми определяются успехи человека в самых различных видах деятельности. Специальные способности определяют успехи человека в специфических видах деятельности, для осуществления которых необходимы задатки особого рода и их развитие. К таким способностям можно отнести музыкальные, математические, лингвистические, технические, литературные, художественно-творческие, спортивные и ряд других. Наличие у человека общих способностей не исключает развития специальных, и наоборот. Нередко общие и специальные способности сосуществуют, взаимно дополняя и обогащая друг друга.

*Вербальные способности* – степень выраженности у индивида словесно-логического (вербального) мышления, способности использовать язык, речь как средство оформления мыслей. Они основываются на использовании индивидом системы языка, которая включает в себя элементы и предписанные правила употребления и использования этих элементов. *Математические способности* – степень выраженности у индивида математического мышления. Разумеется, в каждом человеке присутствуют в разных количествах все типы мышления [156].

В зависимости от степени развитости математического и вербального мышления учебная деятельность, связанная с решением задач математического и вербального характера, может быть различной.

Для исследования связи между способностями к вербальной и математической учебной деятельности обучающихся в количестве 44 человек работали с компьютерной системой управления без ограничения на ресурсы, моделирующей проблемную среду с датчиком «Расстояние до цели», в режиме постоянного подкрепления [52].

После того как обучающиеся совершили деятельность

по решению вербальных и математических задач, с помощью компьютерной системы обработки данных процессуальных характеристик учебной деятельности обучающихся были получены данные первого задания о доле неправильных действий обучающихся в вербальной проблемной среде – признак  $P_p$  и в математической проблемной среде – признак  $P_m$ .

Теперь выясним корреляционную зависимость между признаками  $P_m$  и  $P_p$ . Расположим  $P_m$  по горизонтальной оси  $OX$ , а  $P_p$  – по вертикальной оси  $OY$ .

Имея в распоряжении диаграмму рассеяния (рис. 50), визуально определяем, возле какой кривой сосредоточены ее точки.

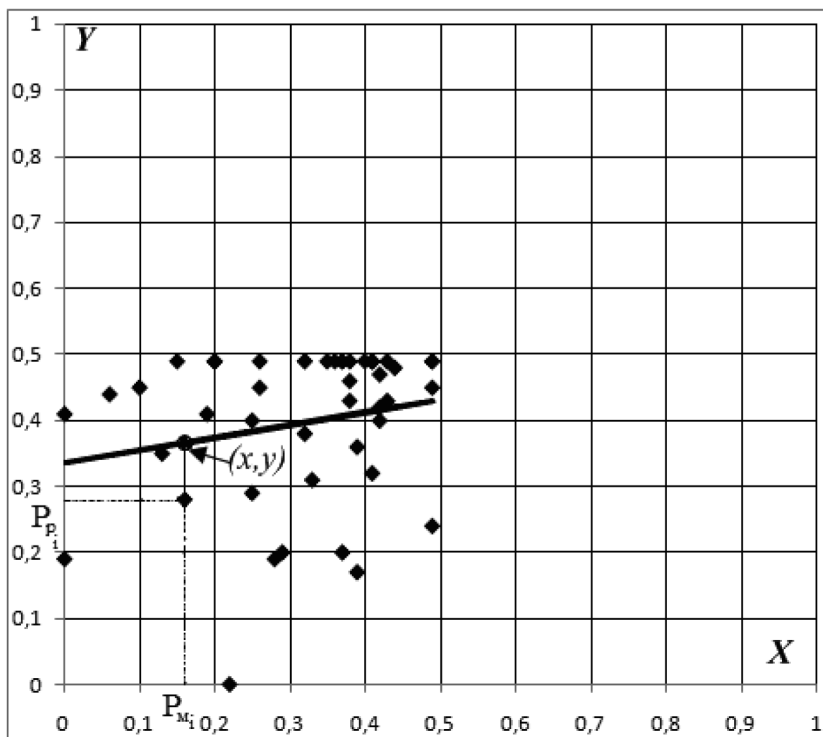


Рис. 50. Диаграмма рассеяния



Для приведенной диаграммы сделаем предположение, что корреляционная зависимость линейная. Тогда уравнение данной зависимости запишем в следующем виде:

$$y = ax + b.$$

Обозначим координаты экспериментальных точек в диаграмме рассеяния  $(P_{mi}; P_{pi})$ , а координаты точек, принадлежащих прямой, –  $(x, y)$ . Используя метод наименьших квадратов, найдем  $a$  и  $b$ .

Стандартные отклонения признаков  $P_m$  и  $P_p$ :

$$\sigma_m = \sqrt{\langle P_{mi}^2 \rangle - \langle P_{mi} \rangle^2}, \quad \sigma_p = \sqrt{\langle P_{pi}^2 \rangle - \langle P_{pi} \rangle^2}. \quad (51)$$

Для линейной корреляционной зависимости между признаками  $P_m$  и  $P_p$  найдём значение выборочного коэффициента корреляции:

$$r_6 = \frac{1}{\sigma_p \cdot \sigma_m} \cdot (\langle P_{pi} \cdot P_{mi} \rangle - \langle P_{pi} \rangle \cdot \langle P_{mi} \rangle). \quad (52)$$

Выборочный коэффициент корреляции является величиной безразмерной и характеризует связь между признаками  $P_m$  и  $P_p$ . В нашем случае эта связь слабая, положительно ориентированная ( $r_6 > 0$ ), т. е.  $P_p$  возрастает при возрастании  $P_m$ .

$$a = \frac{\sigma_p}{\sigma_m} \cdot r_6 = 0,194. \quad (53)$$

$$b = \langle P_{pi} \rangle - \langle P_{mi} \rangle \cdot \frac{\sigma_p}{\sigma_m} \cdot r_6 = 0,334. \quad (54)$$

При указанных значениях параметров  $a, b$  уравнение линейной корреляционной зависимости или уравнение линейной регрессии между признаками  $P_i$  и  $P_\delta$  принимает вид:

$$y = 0,194 \cdot x + 0,334.$$

График данной корреляционной зависимости между при-

знаками  $P_m$  и  $P_p$  представлен на рис. 48 прямой линией. Он характеризует обобщенную связь между частотами совершения ошибок при решении вербальной и математической задач.

Корреляционная связь между математическими и вербальными ошибками мала, а это значит, что успешность обучающегося в решении математических задач никак не связана с его успешностью или неуспешностью в решении вербальных задач.

Далее, рассматривая учебную деятельность по русскому языку и по математике, выявили, как изменяется с течением времени процесс продвижения по уровням успешности.

Были построены диаграммы распределения по уровням успешности в начале учебной деятельности по решению вербальных и математических задач (рис. 51). Из диаграмм видно, что на начальных уровнях находится большая часть обучающихся по сравнению с последним, десятым, уровнем.

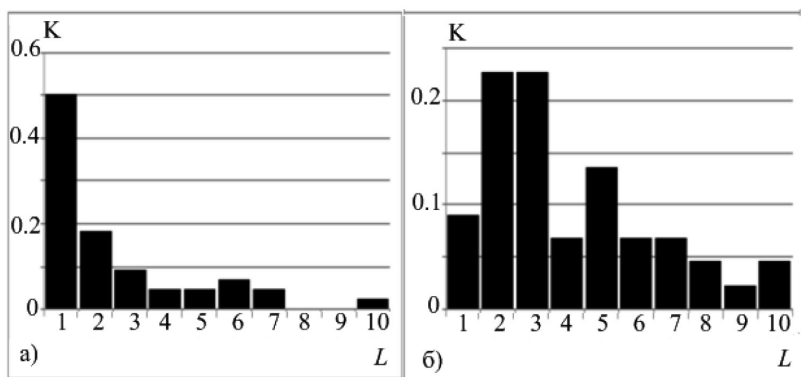


Рис. 51. Распределение по уровням после выполнения первого задания в:  
 а) вербальной; б) математической проблемной среде;  $L$  – номер уровня;  
 $K$  – относительная доля обучающихся

Сравнивая распределение обучающихся при работе в вербальной проблемной среде с распределением при работе в математической проблемной среде, видно, что в первом

распределении доля обучающихся, находящихся на первом уровне, составляет примерно 50 %, а во втором распределении – около 5 %. Доля обучающихся, которые после выполнения первого задания сразу достигли десятого уровня, в первом распределении составляет около 2 %, а во втором распределении – около 5 %.

Пользуясь [73] и табл. 2, вычислим математическое ожидание случайной величины  $P$ , соответствующей среднему значению из интервала  $p$  (табл. 2), который, в свою очередь, соответствует номеру уровня  $L$  (табл. 2) для гистограммы распределения на рис. 41 а.

$$M(P) = 0,6.$$

Математическое ожидание доли правильных действий, совершенных обучающимися в ходе решения вербальных задач, соответствует 2 уровню (табл. 2).

Теперь вычислим математическое ожидание случайной величины  $P$  для гистограммы распределения на рис. 51 б.

$$M(P) = 0,679.$$

Математическое ожидание доли правильных действий, совершенных обучающимися в ходе решения вербальных задач, соответствует 4 уровню (табл. 2).

Теперь найдем дисперсию случайной величины для распределения на рис. 51 а –  $D(P) = 0,016$ , и на рис. 41 б –  $D(P) = 0,086$ .

Величина дисперсии говорит о том, что «степень разброса» значений случайной величины  $P$  невелика в обоих случаях.

Найдем среднеквадратичное отклонение, характеризующее величину ошибки, для распределения на рис. 51 а –  $h = \sqrt{0,022} = 0,126$ , и на рис. 51 б –  $h = \sqrt{0,022} = 0,293$ .

При работе с проблемными средами по решению математических и вербальных задач было установлено, что в обоих случаях наблюдается явление недостаточной специфической обучаемости по русскому языку и математике [26; 50;

58]. На основе экспериментальных данных получены две диаграммы распределения доли обучающихся в различных проблемных средах (рис. 52).

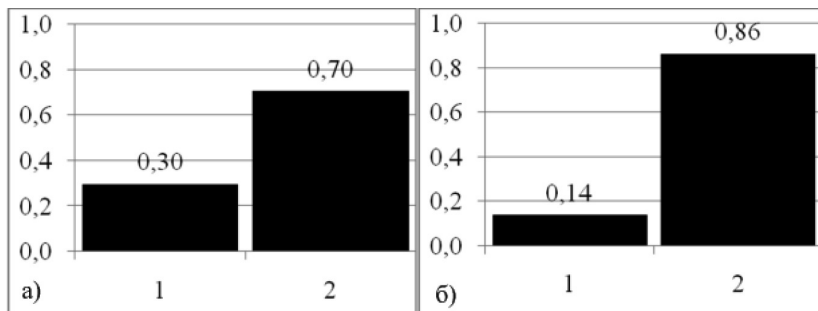


Рис. 52. Диаграмма распределения обучающихся, адаптировавшихся и не адаптировавшихся к проблемной среде:  
а) вербальной; б) математической

Первая группа – это группа обучающихся, имеющих недостаточную специфическую обучаемость по решению задач (рис. 52 а). Вторая группа – это обучающиеся, которые смогли адаптироваться к проблемной среде и достигли безошибочной деятельности в режиме непрерывного подкрепления (рис. 52 б) [52].

Сравнивая распределение по группам при работе с вербальной и математической проблемными средами, видно, что группа обучающихся решению вербальных задач составляет 30 %, а математических – 14 %.

Теперь рассмотрим вторую группу обучающихся, работавших в режиме непрерывного подкрепления проблемной среды и достигших десятого уровня успешности. В процессе работы в данном режиме с проблемными средами по решению вербальных и алгоритмических задач и достижению безошибочной деятельности (десятого уровня успешности), а затем после отключения подкрепления [52] были получены диаграммы распределения.

На рис. 53 представлены диаграммы распределения по уровням достижений после выполнения последнего задания в вербальной и алгоритмической проблемных средах.

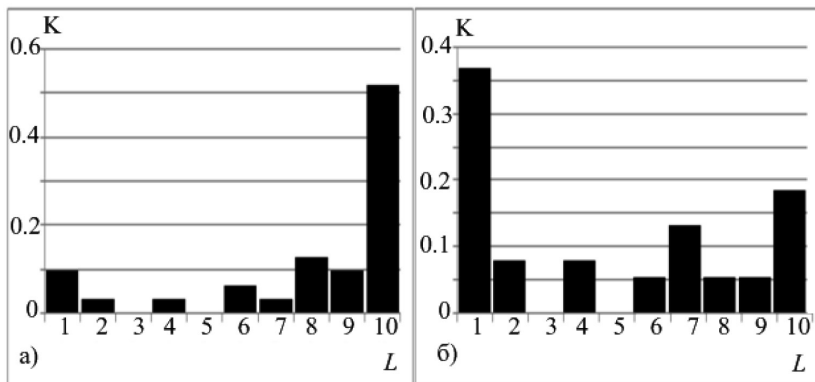


Рис. 53. Распределение по уровням после адаптации и выключения датчика «Расстояние до цели»: а) в вербальной проблемной среде; б) в алгоритмической проблемной среде; L – номер уровня; K – относительная доля обучающихся

Из диаграмм видно, что на начальных уровнях находится большая часть обучающихся по сравнению с последним, десятым, уровнем. Пользуясь [73] и табл. 2, вычислим математическое ожидание случайной величины  $P$  для диаграммы распределения на рис. 41 а –  $M(P) = 0,873$ .

Математическое ожидание доли правильных действий, совершенных обучающимися в ходе решения вербальных задач, соответствует 7 уровню (табл. 2).

Вычислим математическое ожидание случайной величины  $P$  для гистограммы распределения на рис. 41 б –  $M(P) = 0,7$ .

Математическое ожидание доли правильных действий, совершенных обучающимися в ходе решения вербальных задач, соответствует 4 уровню (табл. 2).

Теперь найдем дисперсию случайной величины  $P$  для

распределения на рис. 41 а –  $D(P) = 0,022$ , и на рис. 41 б –  $D(P) = 0,033$ . Величина дисперсии говорит о том, что «степень разброса» значений случайной величины  $P$  невелика в обоих случаях.

Найдем среднеквадратичное отклонение, характеризующее величину ошибки для распределения на рис. 41 а –  $h = \sqrt{0,022} = 0,149$ , и на рис. 41 б –  $h = \sqrt{0,022} = 0,181$ .

Проанализировав массив обучающихся, можно выделить из него группы обучающихся по определенным признакам.

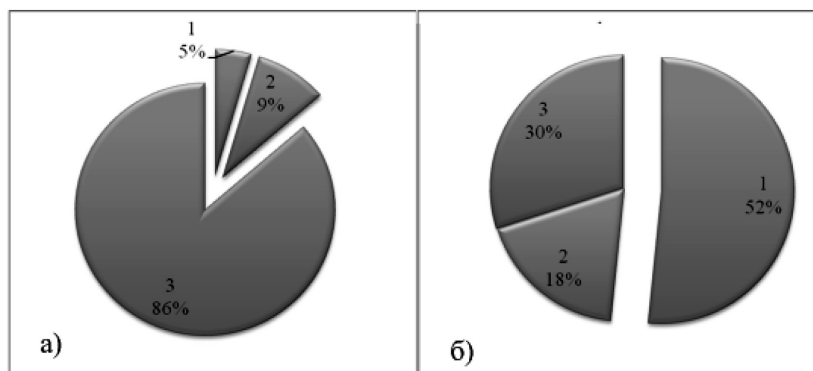


Рис. 54. Диаграммы распределения обучающихся при работе:  
а) с вербальными; б) математическими задачами

На диаграмме, изображённой на рис. 54 а, расположены 2 группы, выделенные из общего массива. Первая группа, составляющая 5 %, – это те люди, которые не смогли адаптироваться ни к одной проблемной среде, имеют недостаточную специфическую обучаемость (НСО) (как по математике, так и по русскому языку). Вторая группа, составляющая 9 %, – это обучающиеся, которые смогли полностью адаптироваться к обоим проблемным средам, и их деятельность в отсутствие внешнего подкрепления осталась безошибочной.

На диаграмме, находящейся на рис. 54 б, выделяются две другие группы, которые работали в режиме непрерыв-

ного подкрепления, а после его отключения смогли продолжить свою деятельность безошибочно. Первую группу испытуемых, около 52 %, составляют те, кто *остался на десятом уровне, работая в вербальной проблемной среде*, а вторая группа, 18 %, состоит из тех, кто *смог адаптироваться к алгоритмической проблемной среде*.

Таким образом, можно выделить людей, которые, имея недостаточную специфическую обучаемость по русскому языку, могут иметь НСО по математике. Большинство людей могут безошибочно работать в вербальной проблемной среде, но не могут в математической, и наоборот – те, кто безошибочно работают в математической проблемной среде, делают ошибки при работе в вербальной проблемной среде, не могут к ней адаптироваться.

#### **4.4. Диагностика учебной деятельности обучающихся в вербальных проблемных средах**

Выше отмечалось ведение «скрытой» записи данных о деятельности обучающегося. Такой вид наблюдения является более эффективным, так как не нарушает естественный ход событий и не искажает процесс научения по решению задач. Активность обучающегося в случае явного наблюдения скорее будет направлена на противодействие воздействиям проблемной среды, чем на взаимосодействие в достижении целей научения. Протоколирование данных необходимо для последующей обработки с целью получения информации об индивидуальных различиях процессов деятельности обучающихся.

Протоколы учебной деятельности обучающихся имеют определенный формат, который был специально разработан для компьютерной системы обработки массива протоколов продуктов учебной деятельности, позволяющей диагностировать ее динамические параметры, представленной в виде электронной книги. Данная система обработки представляет

собой электронную книгу, имеющую нескольких закладок, определяющих ее функции по категориям: «Обучаемость», «Уровни», «Марковские цепи», «Состояние деятельности», «Коэффициент обратной связи», «Фазовые портреты», «Заполнение», «Время работы».

При запуске компьютерной системы диагностирования составляется список доступных протоколов и отображается их количество. Рассмотрим подробно разделы системы обработки массива протоколов продуктов деятельности по научению решению задач.

### **Состояние деятельности**

На странице электронной книги «Состояние деятельности» располагаются вложенные страницы: «Расстояние до цели», «Действия» (рис. 55).

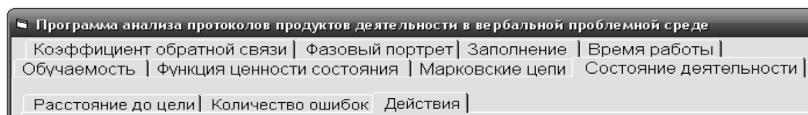


Рис. 55. Страница «Состояние деятельности»

На вложенной странице «Расстояние до цели» расположена траектория прохождения каждого задания, представляющая собой *функцию вознаграждения*. Функция вознаграждения  $Z(n)$  определяется суммой вознаграждений и штрафов, полученных обучающимся в процессе выполнения очередного задания [58, с. 292]. На приведенной диаграмме по оси абсцисс отложено количество действий, совершенных обучающимся для выполнения задачи, по оси ординат – расстояние до цели, определяемое количеством знаков, которые нужно поставить в данном задании. Дискретные изменения значения ординат обозначают установку или отмену знаков препинания – шаг к достижению цели или удаление от нее. Горизонтальные участки отражают номер совершенного дей-



ствия при установке либо отмене знака препинания. Расстояние до цели в начале выполнения задания определяется количеством убранных знаков из текста, который формируется случайно из массива предложений.

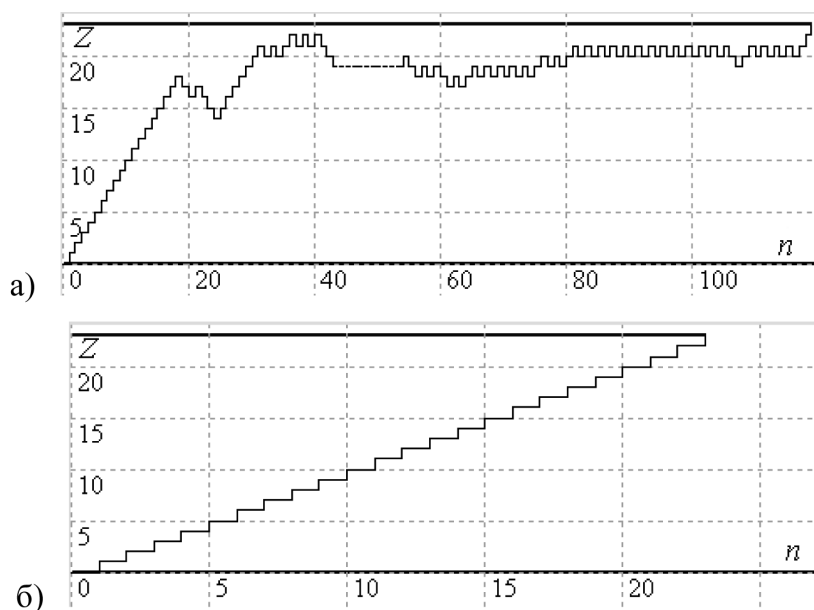


Рис. 56. Функция вознаграждения при прохождении задания:  
 а) первого; б) последнего;  $n$  – количество совершенных действий;  
 $Z$  – расстояние до цели

Из рисунков видно, как изменилась деятельность обучающегося. При выполнении первого задания было затрачено около 120 действий, которые были как правильными, так и неправильными. При выполнении последнего задания наблюдается уменьшение количества действий, действия обучающегося становятся только правильными.

Также функцию вознаграждения можно представить во времени  $Z(T)$ . По горизонтальной оси откладывается время, затраченное обучающимся на совершенное действие.

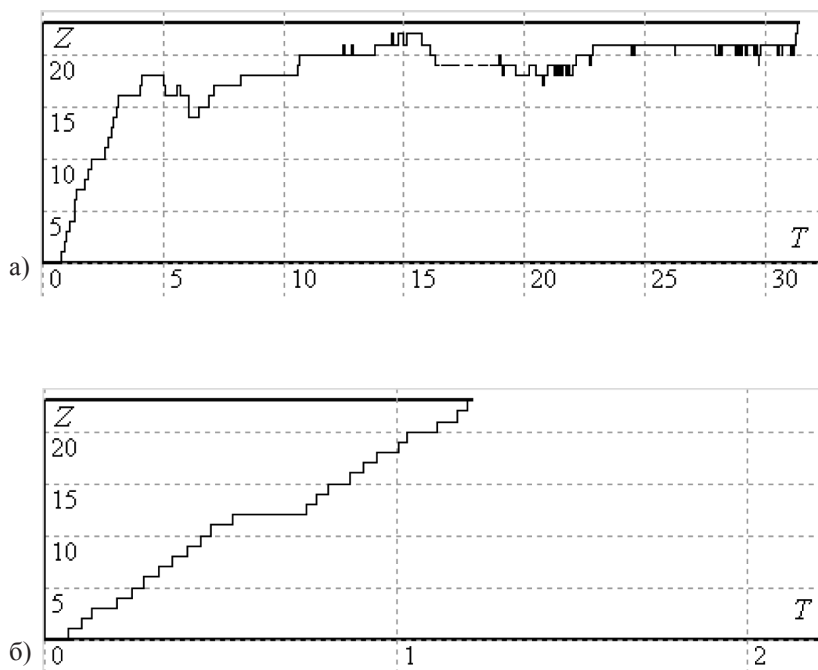


Рис. 57. Функция вознаграждения при прохождении задания: а) первого; б) последнего;  $T$  – время в минутах;  $Z$  – расстояние до цели

Из рис. 57 видно, как изменяется время совершения действий при прохождении первого и последнего заданий. Происходит свертка действий во времени. Обучающийся, научаясь решению вербальных задач, при достижении им безошибочной деятельности затрачивает много меньше времени, чем вначале деятельности.

На странице *Действия* располагается подробная информация о действиях, которые совершает обучающийся в процессе решения задачи. Из рис. 57 видно, сколько действий совершил обучающийся, чтобы решить задачу. Серым цветом отражены правильные действия, а черным – неправильные. По горизонтальной оси откладываются номера действий, а по вертикальной оси – типы действий, которые может совер-

шить обучающийся при решении задачи по расстановке фрагментов текста. Типы действий включают в себя: 1) установку точки; 2) установку запятой; 3) установку двоеточия; 4) установку точки с запятой; 5) установку восклицательного знака; 6) установку вопросительного знака; 7) отмену установки; 8) ввод результата.

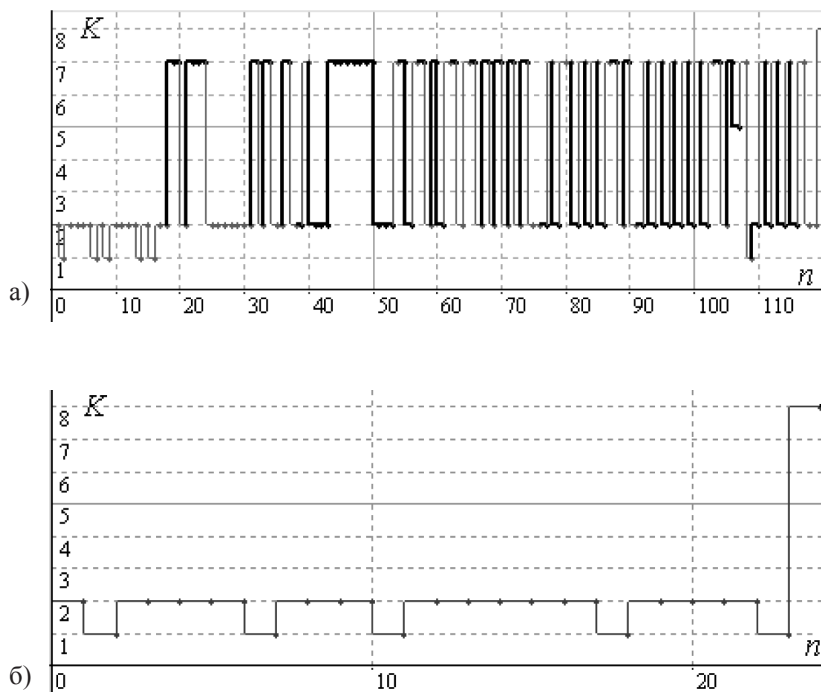


Рис. 58. Развертка действий обучающегося при прохождении задания:  
а) первого; б) последнего;  $n$  – номер действия;  $K$  – тип действия

Из рис. 58 видно, как менялась структура действий обучающегося. Вначале своей деятельности обучающийся тра- тил очень много действий для того, чтобы решить задачу, а в конце деятельности, когда уже научился решать данные зада- чи, затратил гораздо меньше действий и времени.

## Функция ценности состояния

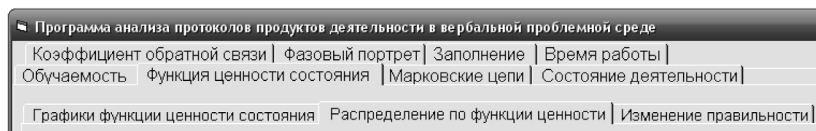


Рис. 59. Страница «Функция ценности состояния»

На странице «Графики функции ценности состояния» при выборе какого-либо протокола автоматически строится график зависимости функции ценности состояния обучающегося от количества заданий, выполненных в проблемной среде.

Отметки на графике обозначают пройденные задания. По оси ординат расположены 10 уровней, которые могут быть достигнуты обучающимся. По горизонтальной оси расположен номер задания, выполненный при решении задачи. На рис. 60 расположены графики функции ценности состояния для двух обучающихся. Из графиков видно, насколько может различаться процесс достижения безошибочной деятельности по решению задач.

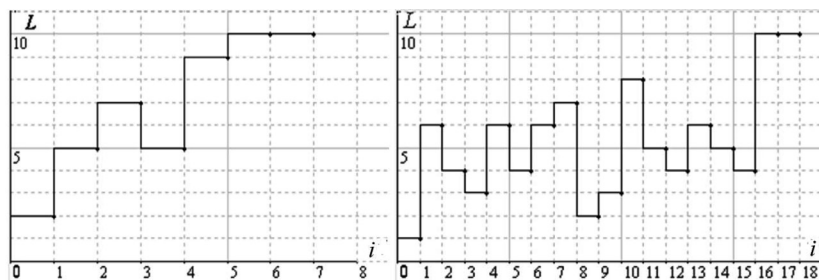


Рис. 60. Функция ценности состояния: а) обучающегося 1; обучающегося 2;  $i$  – номер задания;  $L$  – достигнутый уровень

Поскольку решение задачи происходит в режиме непрерывного подкрепления [98], то в этом случае переход на каждый уровень определяется отношением количества правиль-

ных действий к общему количеству действий, совершенных обучающимися.

Функция ценности состояния обучающегося в момент времени  $t_{i+1} = t_i + \Delta t_{i+1}$  определяется уравнением  $f(t_i + \Delta t_{i+1}) = \Phi(f(t_i), Z(t_i + \Delta t_{i+1}))$  [58, с. 292], где  $Z(t)$  – функция вознаграждения.

На рис. 61 представлена зависимость функции ценности состояния обучающихся от времени, потраченного на прохождение заданий вербальной проблемной среды.

Отметки на графике обозначают пройденные задания. По вертикальной оси расположены значения достигнутого уровня, определенного функцией ценности состояния (табл. 1), в диапазоне от 1 до 10. По горизонтальной оси отмечено время выполнения задания.

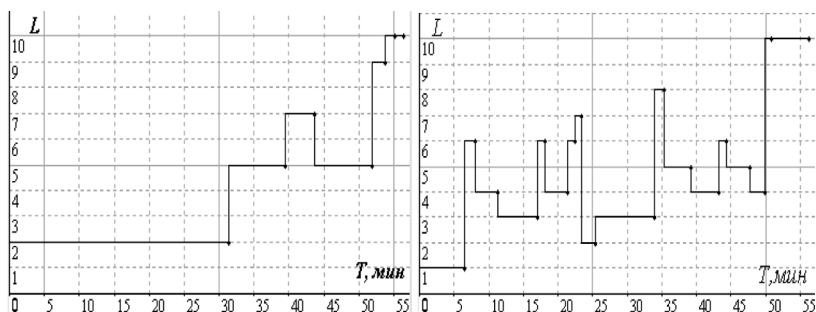


Рис. 61. Функция ценности состояния:

а) обучающегося 1; обучающегося 2;  $T$  – время выполнения задания;  
 $L$  – достигнутый уровень

На вкладке электронной книги «Распределение по функции ценности» построены диаграммы распределения за каждое выполненное задание и диаграмма распределения максимального значения функции ценности состояния, соответствующего десятому уровню. Из рис. 62 видно, что вначале деятельности основная масса обучающихся имела второй уровень успешности.

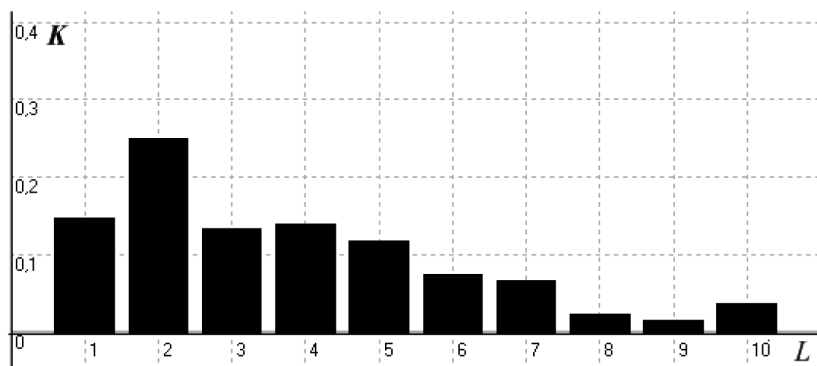


Рис. 60. Распределение по уровням успешности после 1 задания:  
 $K$  – доля обучающихся;  $L$  – номер уровня

Распределение имеет убывающий характер от первого уровня к десятому, т. к. имеют место еще ошибочные действия в деятельности обучающихся.

На рис. 63 представлено распределение достижения обучающимися максимального значения функции ценности состояния, соответствующего десятому уровню.

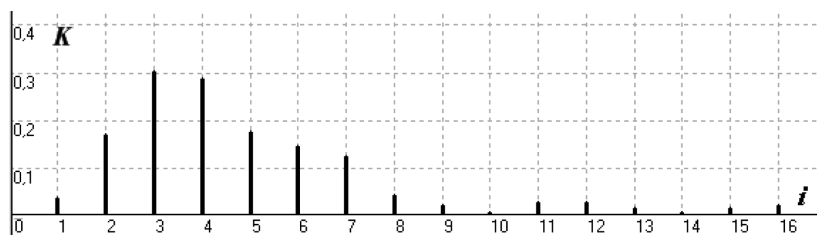


Рис. 63. Распределение достижения обучающимися 10 уровня:  $K$  – доля обучающихся, достигших 10 уровня;  $i$  – номер задания

На этой диаграмме видно, что основная масса обучающихся достигла максимального значения функции ценности состояния, т. е. безошибочной деятельности по расстановке фрагментов текста, за 3–5 заданий.

На вкладке электронной книги «Изменение правильно-

сти» располагаются диаграммы распределения доли правильных действий (рис. 64 в) и доли неправильных действий (рис. 64 г).

Выбрав в списке нужный протокол, можно получить информацию о том, как изменялась деятельность обучающегося в процессе решения задач по расстановке фрагментов текста.

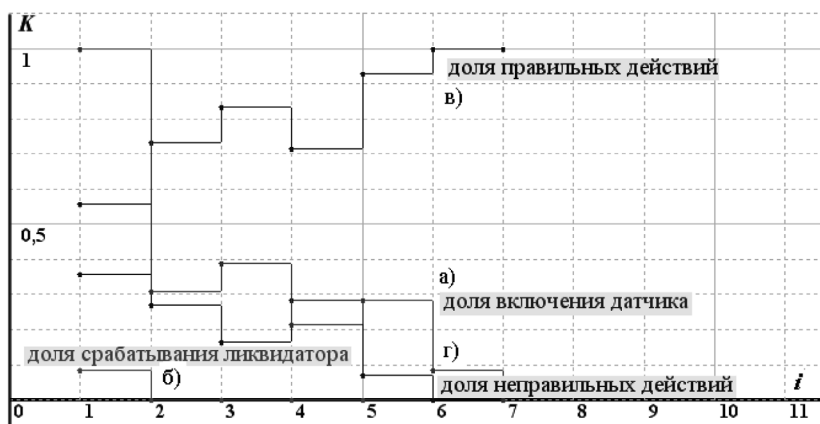


Рис. 64. а) распределение доли включения датчика;  
 б) распределение доли отмены неправильных действий  
 «ликвидатором»; в) распределение доли правильных действий;  
 г) распределение доли неправильных действий;  
 $K$  – доля действий;  $i$  – номер задания

На рис. 64 а приведено распределение доли включения датчика «Расстояние до цели», которое представляет собой информацию о работе датчика «Расстояние до цели» в режиме «подключения – отключения» на протяжении серии заданий. На рис. 64 б – распределение доли включения «ликвидатора» (отмена неправильных действий).

Видно, что при выполнении последующих заданий доля правильных действий увеличивается, а доля неправильных действий, включение ликвидатора и датчика уменьшается.

## Марковские цепи

На данной странице электронной книги располагаются вкладки: «Переходы в состояния  $S$ », «Трудозатраты», «Вероятности пребывания в состояниях», «События».

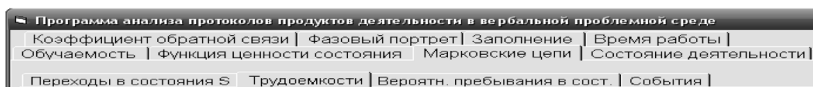


Рис. 65. Страница «Марковские цепи»

На странице «Переходы в состояния  $S$ » (рис. 66) отражена информация о действиях обучающегося при прохождении выбранного задания. По оси ординат расположены формализованные действия обучающегося.

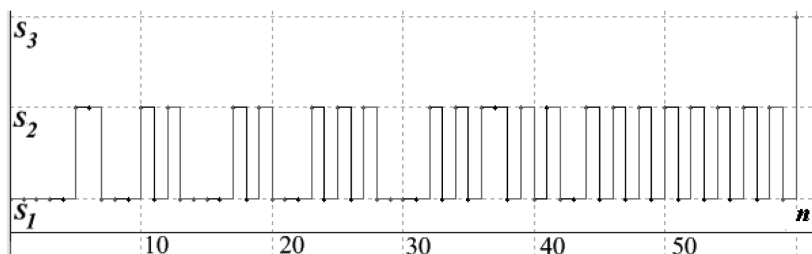


Рис. 66. Действия обучающегося:  $n$  – номер действия;  $S_n$  – вид действия

$S1$  – установка знака (переход в первое состояние);  $S2$  – отмена знака (переход во второе состояние);  $S3$  – завершение (переход в третье состояние).

Любые действия обучающегося различаются по критерию «правильно – неправильно» и отражаются следующим образом: на рис. 66 действия, приближающие решение задачи («правильные»), выделены серым цветом, остальные действия, не приближающие решение, – черным.

Также данная информация позволяет представлять структуру системы действий обучающегося для каждого вы-



полненного в проблемной среде задания в виде ориентированного графа (рис. 67). Благодаря такой формализации деятельности обучающихся в проблемной среде появляется возможность количественного анализа динамики изменения структуры системы действий, ее параметров как в масштабе времени, так и по количеству выполненных заданий.

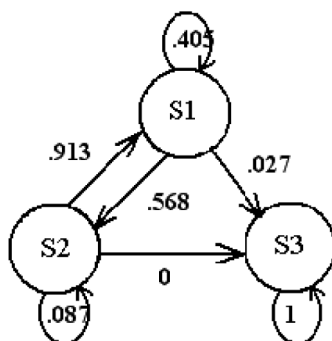


Рис. 67. Граф перехода состояний

На странице «Трудозатраты» расположены зависимости величины трудозатрат, полученные с помощью теории цепей Маркова, ( $Tr_1$ ) и реальные трудозатраты обучающегося в процессе решения задачи ( $Tr_2$ ). На рис. 66 изображены зависимости трудозатрат от номера выполненного задания. Обучающийся 1 потратил около 500 действий для того, чтобы решить первую задачу. В дальнейшей его деятельности наблюдаются колебания трудозатрат около одного и того же значения. Обучающийся 2 потратил около 120 действий для решения первой задачи. В дальнейшей его деятельности наблюдаются колебания трудозатрат, которые плавно уменьшаются.

На странице «Вероятности пребывания в состояниях структуры системы действий» отражена информация об этих значениях при прохождении выбранного задания обучающимся. На рис. 69 представлены вероятности пребывания в состояниях структуры системы действий.

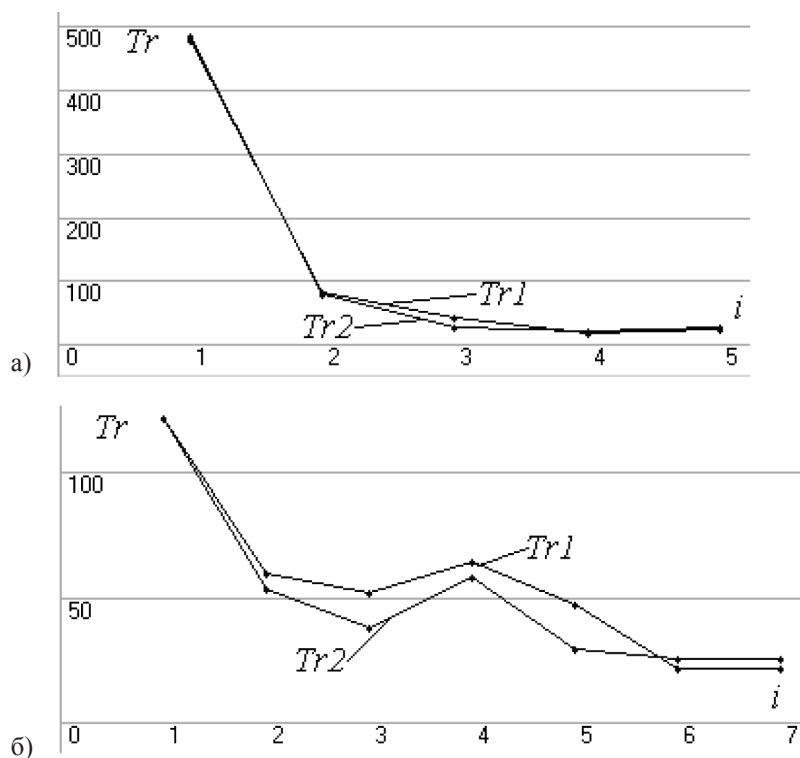


Рис. 68. Изменение трудозатрат: а) обучающегося 1;  
б) обучающегося 2;  $i$  – номер задания

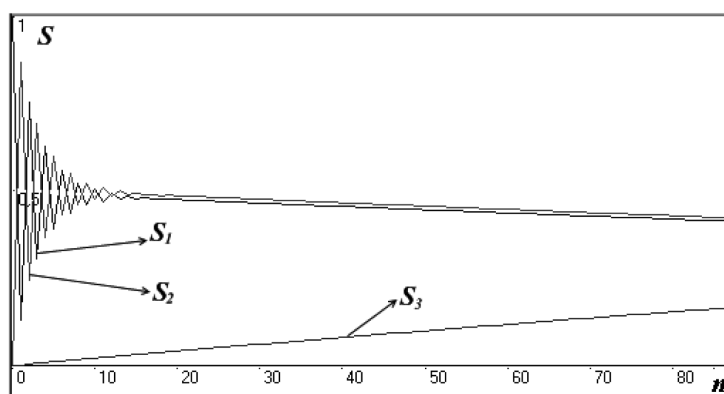


Рис. 69. Вероятности пребывания в состояниях структуры системы  
действий:  $n$  – номер действия;  $S_n$  – вид действия

По оси ординат отмечены значения вероятностей пребывания в состояниях, а по оси абсцисс – действия обучающегося.

### **Заполнение**

На следующей из описываемых страниц электронной книги этого раздела представлена диаграмма, характеризующая динамику заполнения знаками препинания вербальной проблемной среды (рис. 70).

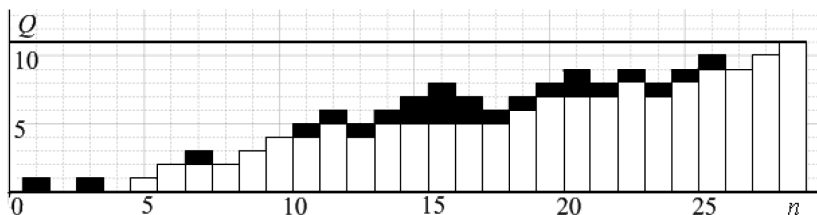


Рис. 70. Динамика установки знаков:  $n$  – номер действия;  
 $Q$  – количество установленных знаков

На оси абсцисс отмечены номера действий, совершенных обучающимся, на оси ординат – количество установленных знаков препинания. Высота каждого столбца диаграммы показывает, сколько всего знаков препинания было установлено в тексте. При этом столбцы содержат две области, закрашенные разными цветами: знаки препинания, установленные правильно, отражены белым цветом, знаки, установленные неверно, – черным.

Ниже строится диаграмма отношения количества правильно установленных знаков к количеству неправильно установленных знаков в тексте. Из рис. 71 видно, что с выполнением каждого последующего задания это отношение стремится к нулю.

### **Время работы**

На этой странице расположена диаграмма, отражающая статистические характеристики деятельности обучающихся при прохождении заданий проблемной среды (рис. 72).

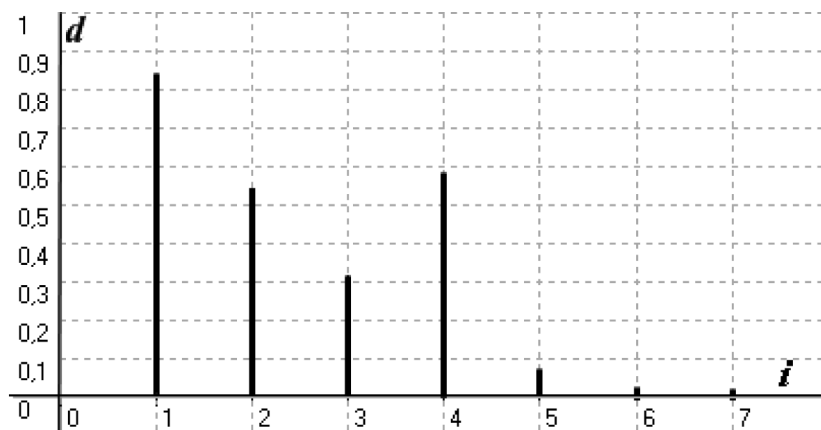


Рис. 71. Отношение количества правильно установленных знаков к количеству неправильно установленных;  $i$  – номер задания;  $d$  – отношение количества знаков

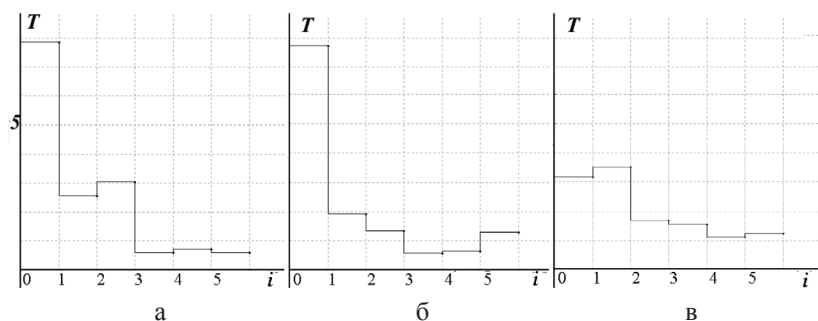


Рис. 72. Время выполнения каждого задания: а) обучающегося 1; б) обучающегося 2; в) обучающегося 3;  $i$  – номер задания;  $T$  – время выполнения, мин.

На диаграмме по оси абсцисс отложено количество выполненных заданий, а на оси ординат отражено время, затраченное на выполнение каждого задания, измеряемое в минутах. На рис. 72 представлены различные временные траектории выполнения заданий трех обучающихся. По виду диаграммы можно говорить о том, что время, которое тратит обучающийся на выполнение каждой задачи, уменьшается.

Здесь же располагается диаграмма распределения времени выполнения задания всех обучающихся (рис. 73). На диаграмме очень хорошо видно динамику снижения времени на учения обучающихся решению задач от задания к заданию.

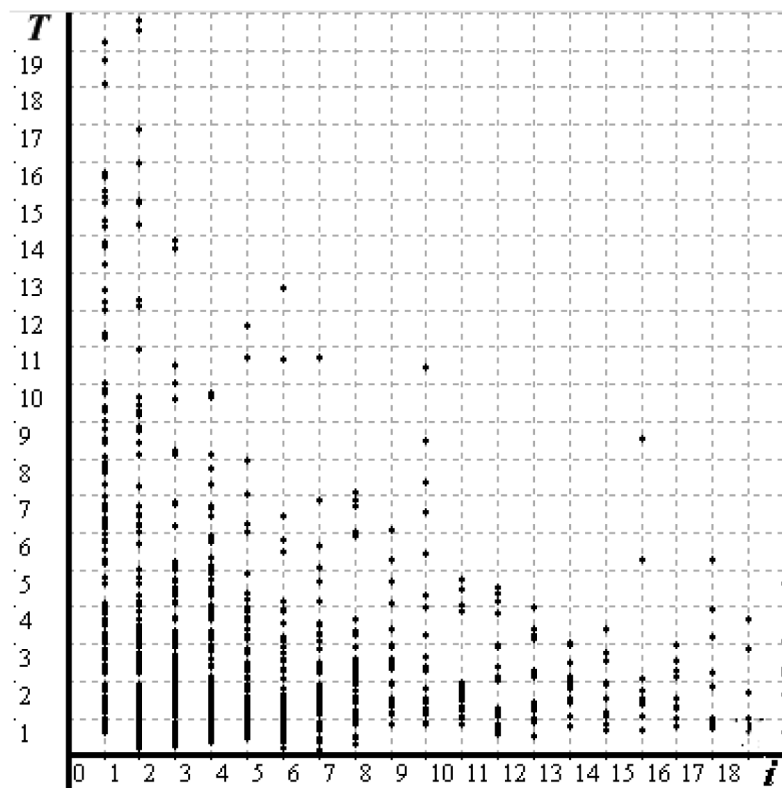


Рис. 73. Время выполнения каждого задания;  
 $i$  – номер задания,  $T$  – время, мин

На этой же странице расположена диаграмма распределения времени совершения правильных и неправильных действий.

На рис. 74 серым цветом обозначено время, соответствующее времени совершения правильных действий, а черным

цветом – время совершения неправильных действий. Из графика видно, что время совершения этих действий уменьшается с выполнением каждого следующего задания и время совершения неправильных действий в среднем больше времени совершения правильных действий. Это говорит о том, что прежде чем совершить неправильное действие, обучающийся должен очень хорошо подумать.

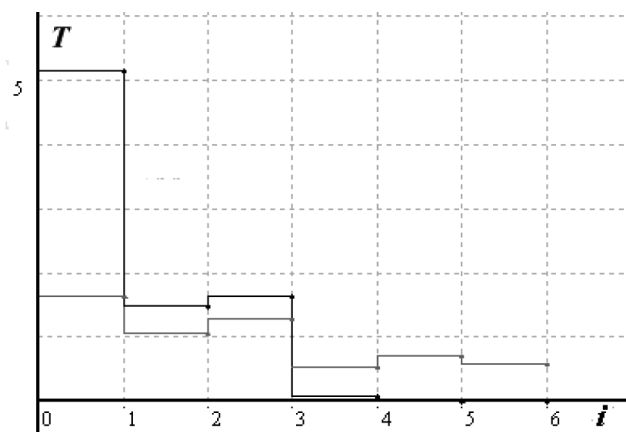


Рис. 74. Время выполнения каждого задания;  
 $i$  – номер задания,  $T$  – время, мин

Для подсчета среднего времени совершения правильного действия и неправильного действия был обработан массив протоколов 140 студентов. В расчет брались только результаты выполнения первого задания. Среднее время совершения правильного действия составляет 3,63 мин, а среднее время совершения неправильного действия – 4,23 мин.

### **Обучаемость**

Все люди разные, и поэтому время деятельности каждого индивидуально. В соответствии с этим обучающиеся выполняют различное количество заданий, пока их деятельность

не становится безошибочной, т. е. пока обучающийся не достигнет десятого уровня. Будем считать, что после достижения этого уровня обучающийся усвоил всю информацию, необходимую для решения задачи в вербальной проблемной среде, и функция ценности его состояния достигла максимума. После этого учебная деятельность заканчивается.

На странице электронной книги располагаются вкладки: «Распределение по времени и действиям», «Распределение  $V_n$  и  $V_t$ », «Распределение  $V_n / V_t$ », «График  $V_t(t)$ ».

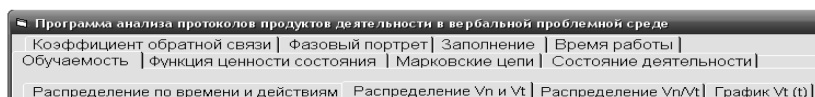


Рис. 73. Интерфейс программы

На странице «Распределение  $t$  и действия» приводится диаграмма распределения обучающихся по достижению ими высшего уровня успешности за определенное количество выполненных заданий (рис. 76). Из распределения видно, что основная масса обучающихся за 4–5 заданий достигает высшего уровня. На оси абсцисс определяется количество заданий, выполнение которых позволило обучающемуся добиться безошибочной деятельности в вербальной проблемной среде. Ось ординат отражает относительную долю обучающихся.

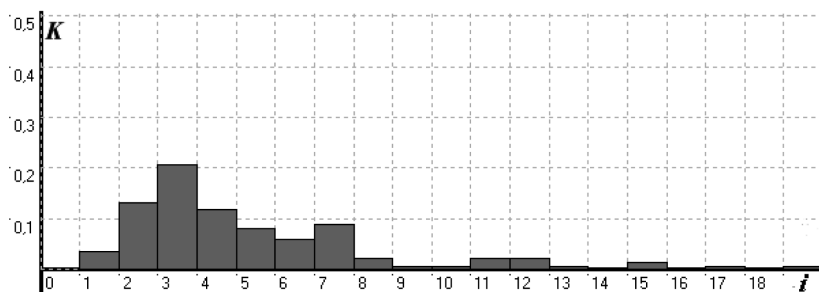


Рис. 76. Распределение обучающихся по количеству выполненных заданий;  $n$  – номер задания,  $K$  – доля обучающихся

На другой диаграмме (рис. 77) отражено распределение обучающихся по времени, которое они тратят на выполнение каждого задания.

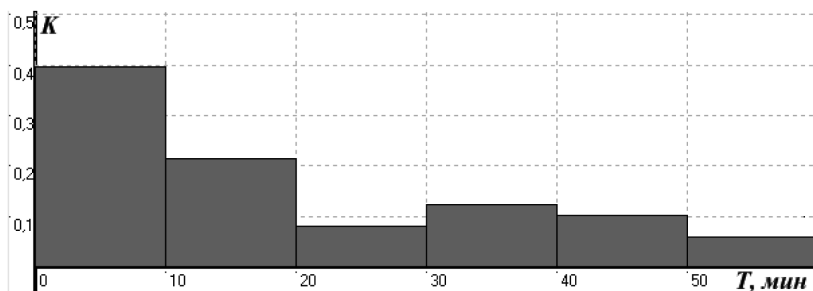


Рис. 77. Распределение обучающихся по значению затраченного времени;  $T$  – время, мин,  $K$  – доля обучающихся, попавших в интервал

Из диаграммы видно, как распределились обучающиеся по времени выполнения заданий, т. е. их скорости выполнения заданий различаются.

### **Распределение $V_n$ и $V_t$**

Все обучающиеся тратят разное количество времени на выполнение заданий. При этом некоторым из них при выполнении большего количества заданий требовалось меньше времени, чем другим на выполнение меньшего количества заданий. Применим компьютерную систему обработки массива протоколов продуктов учебной деятельности в вербальной проблемной среде, позволяющей диагностировать ее динамические параметры, представленные в виде электронной книги. Эта система позволяет получать информацию об обучаемости. Для этого рассмотрим обучаемость как скорость продуцирования информации в процессе научения решению вербальных задач. Чтобы определить темпы обучаемости, учтем две составляющие, характеризующие эту динамику: первая – информационная продуктивность обучающегося при выполнении  $n$ -го задания или  $N$  заданий, вторая – информационная продуктивность во времени.



В первом случае информационная продуктивность определяется скоростью продуцирования информации по мере выполнения заданий:

$$V_n = \frac{\Delta I_n}{\Delta N} = \frac{I(p_n) - I(p_{n-1})}{\Delta N}, \quad (55)$$

при этом  $I(p_0)$  полагается равным нулю.

Во втором случае скорость продуцирования информации во времени при выполнении  $n$ -го задания равна

$$V_{t,n} = \frac{\Delta I_n}{\Delta t_n} \text{ (далее } V_t). \quad (56)$$

Вычислим скорость обучения в расчете за первое задание в двух аспектах:

$$\begin{aligned} v_n &= \frac{\Delta I}{\Delta N} = \frac{I(p_1) - I(p_0)}{1 - 0} = \frac{I(p_1)}{1} \\ v_t &= \frac{\Delta I}{\Delta T} = \frac{I(p_1)}{T_1}, \end{aligned} \quad (57)$$

где  $\Delta I$  – количество усвоенной информации,  $\Delta T$  – время, затраченное на обучение.

Связь между информацией и энтропией запишем в виде:  
 $I + H = 1$ .

Величина  $H$  является энтропией случайного опыта и мерой неопределенности исхода этого опыта. Информация об исходе опыта снимает эту неопределенность и потому доставляет количество информации, равное  $H$ . В процессе овладения каким-либо видом деятельности необходимо решать задачи, связанные с ней. Каждый раз при решении задачи обучающийся, по сути, проводит опыт, который характеризуется энтропией, играющей роль меры неопределенности результатов его действий. Вероятность совершения правильного дей-

ствия –  $p$ , неправильного –  $(1 - p)$  [58]. Тогда, согласно Шеннону [155], энтропию учебной деятельности при решении задач можно выразить так:

$$H = -p \log_2 p - (1 - p) \log_2 (1 - p). \quad (58)$$

Исходя из вышесказанного, запишем формулы для вычисления скорости обучения в расчете за первое задание:

$$v_n = \frac{I(p_1)}{1} = \frac{1 - H(p_1)}{1} = \frac{1 + p_1 \log_2 p_1 + (1 - p_1) \log_2 (1 - p_1)}{1}, \quad (59)$$

$$v_t = \frac{I(p_1)}{T_1} = \frac{1 - H(p_1)}{T_1} = \frac{1 + p_1 \log_2 p_1 + (1 - p_1) \log_2 (1 - p_1)}{T_1}.$$

На странице «Распределение  $V_n$  и  $V_t$ » представлены гистограммы распределения обучающихся по значению указанных скоростей. На гистограмме (рис. 78 а) по оси абсцисс расположена скорость выполнения  $V_n$  (бит/задание), а по оси ординат – относительная доля обучающихся  $K$ .

Математическое ожидание этой величины  $M(V_n) = 0,3625$  бит/задание.

На следующей гистограмме (рис. 78 б) по оси абсцисс отмечена скорость выполнения  $V_t$  (бит/мин), а по оси ординат – относительная доля обучающихся  $K$ .

Математическое ожидание этой величины  $M(V_t) = 0,1301$  бит/мин.

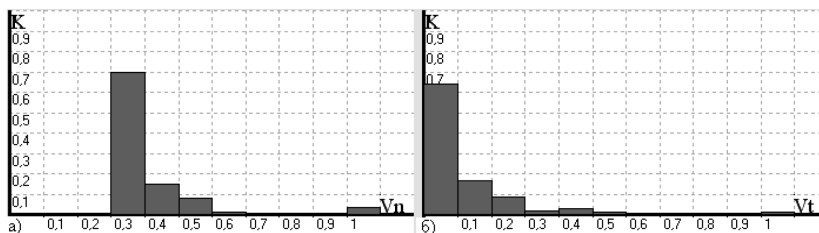


Рис. 78. Распределение обучающихся: а) по скорости продуцирования информации от количества выполненных заданий; б) по скорости продуцирования информации во времени

Каждый обучающийся при решении вербальной задачи совершает некоторое количество действий, которое может быть больше оптимальной траектории. Построим распределения обучающихся в зависимости от количества совершенных им действий и времени выполнения *первого задания* при решении вербальной задачи. По горизонтальной оси  $n$  (рис. 79 а) отложим количество совершенных действий, а по оси  $T$  – время их совершения (рис. 79 б). По вертикальной оси  $K$  расположена относительная доля обучающихся, попавших в данный интервал.

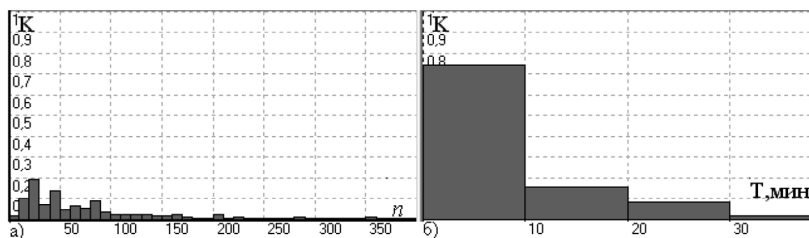


Рис. 79. Распределение обучающихся: а) от количества совершенных действий; б) по времени совершения действий;  
 $n$  – номер действия;  $T$  – время, мин.

Найдем математическое ожидание этих величин:  $M(n) = 65, 5882$  действий,  $M(T) = 8, 897$  мин.

### Распределение $V_n/V_t$

На данной странице представлена интегрированная характеристика скорости продуцирования информации обучающимися в вербальной проблемной среде. На рис. 80 а приведена гистограмма рассеяния концов векторов  $\vec{V}^{(j)}$ , где  $j$  – номер обучающегося ( $j = 1, 2, 3, \dots, 137$ ) для выборки из 137 обучавшихся расстановке фрагментов текста в вербальной проблемной среде в ходе проведения исследования. Гистограмма представляет собой облако точек, характеризующее рассеяние обучающихся в пространстве безразмерных относительных скоростей  $\tilde{v}_n$  и  $\tilde{v}_t$ . По оси абсцисс отложена  $\tilde{v}_n$ , по оси ординат –  $\tilde{v}_t$ .

Рассматриваются не абсолютные значения, полученные эмпирически в ходе эксперимента, а значения, нормированные на средние:

$$\tilde{v}_n = \frac{v_n}{\bar{v}_n}, \quad \tilde{v}_t = \frac{v_t}{\bar{v}_t}. \quad (60)$$

Среднюю скорость можно вычислить:

$$\bar{v}_n = \frac{\sum v_{ni}}{k}, \quad \bar{v}_t = \frac{\sum v_{ti}}{k}, \quad (61)$$

где  $k$  – количество обучающихся.

На рис. 80 б приведена гистограмма, связывающая две характеристики обучаемости: количество действий и затраченное время на решение вербальной задачи. Эти две величины представлены относительными, нормированными на средние.

$$\tilde{n} = \frac{n}{\bar{n}}, \quad \tilde{t} = \frac{t}{\bar{t}}. \quad (62)$$

Средние значения этих величин можно вычислить:

$$\bar{n} = \frac{\sum n_i}{k}, \quad \bar{t} = \frac{\sum t_i}{k}, \quad (63)$$

где  $k$  – количество обучающихся.

Из диаграммы «а»: средняя скорость  $\langle \bar{v}_n \rangle = 0,99$  бит/задание,  $\langle \bar{v}_t \rangle = 1$  бит/мин.

Из диаграммы «б»: средняя скорость  $\tilde{n} = 1$  бит/задание,  $\tilde{t} = 0,9$  бит/мин.

Дисперсия для диаграммы А:

$$D(\tilde{v}_n) = M(V_n^2) - M(V_n)^2 = 0,0082,$$

$$D(\tilde{v}) = M(V_t^2) - M(V_t)^2 = 0,0255.$$

Дисперсия для диаграммы Б:

$$D(\tilde{n}) = M(\tilde{n}^2) - M(\tilde{n})^2 = 0,0137,$$

$$D(\tilde{t}) = M(\tilde{t}^2) - M(\tilde{t})^2 = 0,0138.$$

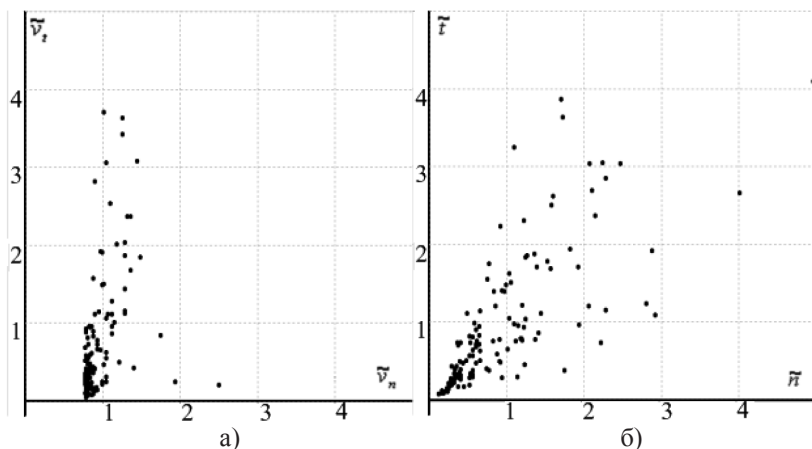


Рис. 80. Диаграмма рассеяния обучающихся: а) в пространстве скоростей: б) в пространстве количества действий и времени

Среднеквадратичные смещения для диаграммы А:

$$\sigma_{\tilde{v}_n} = \sqrt{M(V_n^2) - M(V_n)^2} = 0,09,$$

$$\sigma_{\tilde{v}_t} = \sqrt{M(V_t^2) - M(V_t)^2} = 0,159.$$

Среднеквадратичные смещения для диаграммы Б:

$$\sigma_{\tilde{n}} = \sqrt{M(\tilde{n}^2) - M(\tilde{n})^2} = 0,1172,$$

$$\sigma_{\tilde{t}} = \sqrt{M(\tilde{t}^2) - M(\tilde{t})^2} = 0,1177.$$

Теперь выясним корреляционную зависимость между значениями скоростей  $\tilde{v}_n$  и  $\tilde{v}_t$ , при которой происходит изменение среднего значения одного из признаков при изменении значений другого признака.

Имея в распоряжении диаграмму рассеяния скоростей, визуально определяем, возле какой кривой сосредоточены ее точки, и сделаем предположение, что корреляционная зависимость линейная для данной диаграммы. Для линейной кор-

реляционной зависимости между признаками  $\tilde{v}_n$  и  $\tilde{v}_t$  значение выборочного коэффициента корреляции:

для диаграммы «а»:

$$r_A = \frac{1}{\sigma_{\tilde{v}_t} \sigma_{\tilde{v}_n}} \left( \frac{\sum \tilde{v}_{n_i} \tilde{v}_{t_i} - \sum \tilde{v}_{n_i} \cdot \sum \tilde{v}_{t_i}}{k} \right) = 0,769,$$

для диаграммы «б»:

$$r_B = \frac{1}{\sigma_{\tilde{n}} \sigma_{\tilde{t}}} \left( \frac{\sum \tilde{v}_{n_i} \tilde{v}_{t_i} - \sum \tilde{v}_{n_i} \cdot \sum \tilde{v}_{t_i}}{k} \right) = 0,709.$$

Для диаграмм «а» и «б» эта связь тесная и положительно ориентированная ( $r_B > 0$ ), т. е.  $\tilde{v}_t$  возрастает при возрастании  $\tilde{v}_n$ , а  $\tilde{n}$  возрастает при возрастании  $\tilde{t}$ . При сравнении диаграмм видно, что коэффициенты корреляции этих величин практически равны между собой.

Линейная корреляционная зависимость между скоростями  $\tilde{v}_n$  и  $\tilde{v}_t$ , а также между величинами  $\tilde{n}$  и  $\tilde{t}$ :

$$\text{для диаграммы «а»}: a = \frac{\sigma_{\tilde{v}_t}}{\sigma_{\tilde{v}_n}} \cdot r_e = 3,368,$$

$$b = \langle V_t \rangle - \langle V_n \rangle \cdot \frac{\sigma_{\tilde{v}_t}}{\sigma_{\tilde{v}_n}} \cdot r_e = -2,368.$$

$$\text{для диаграммы «б»}: a = \frac{\sigma_{\tilde{t}}}{\sigma_{\tilde{n}}} \cdot r_e = 0,715.$$

$$b = \langle V_t \rangle - \langle V_n \rangle \cdot \frac{\sigma_{\tilde{t}}}{\sigma_{\tilde{n}}} \cdot r_e = 0,284.$$

При найденных значениях параметров  $a, b$  уравнение линейной корреляционной зависимости или уравнение линейной регрессии между признаками  $\tilde{v}_n$  и  $\tilde{v}_t$ , а также между величинами  $\tilde{n}$  и  $\tilde{t}$  принимает вид:

$$\text{для диаграммы «а»}: y = 3,368 \cdot x - 2,368, \quad (64)$$

$$\text{для диаграммы «б»}: y = 0,715 \cdot x + 0,284. \quad (65)$$

График корреляционной зависимости между нормированными скоростями  $\tilde{v}_n$  и  $\tilde{v}_t$ , а также между величинами  $\tilde{n}$  и  $\tilde{t}$  представлен на рис. 81 прямой линией. Он связывает темп продвижения обучающихся в освоении деятельностью с количественными показателями. Высокая обучаемость присуща тем, кто быстрее овладевает предложенным объемом знаний.

Подробный анализ деятельности обучающихся по решению задач в вербальной проблемной среде позволяет определить темпы прироста результатов, характеризующие тенденции изменения учебной деятельности каждого обучающегося от задания к заданию.

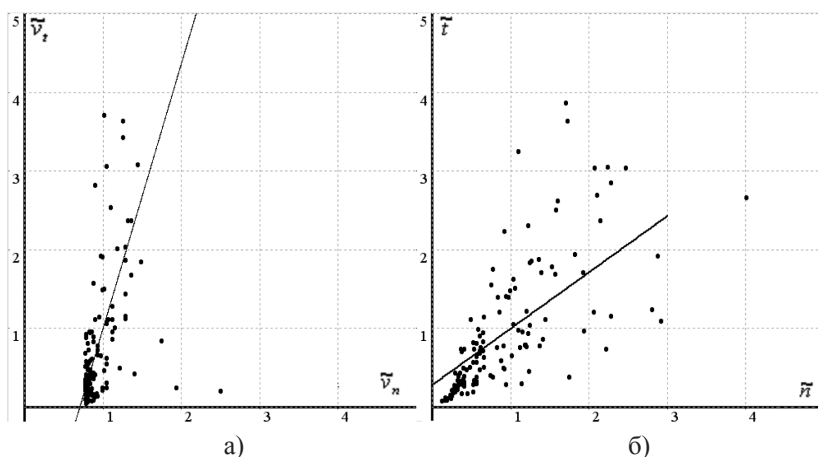


Рис. 81. Диаграмма рассеяния обучающихся в расчете за первое задание: а) в пространстве скоростей, б) в пространстве количества действий и времени

Показатель прироста результатов характеризует, с какой скоростью идет процесс овладения деятельностью, какую направленность и характер он приобретает.

### **График $V_t(t)$**

Еще одна функция программы обработки протоколов деятельности позволяет проследить изменение скорости продуцирования информации обучающимся от задания к заданию. На рис. 82 приведены графики значений скорости, представленные на странице «Скорость по времени».

Из графиков видно, как меняется скорость продуцирования информации со временем у разных обучающихся. Обучающийся 1 (рис. 82 а) имеет низкую скорость, максимальное значение которой не превышает 0, 2 бит/мин. Обучающийся 3 (рис. 82 в) имеет высокую скорость, максимальное значение которой 2, 7 бит/мин.

Таким образом, созданная компьютерная система обработки массива протоколов продуктов учебной деятельности позволяет наблюдать динамику изменения параметров деятельности обучающихся при решении задач. Благодаря разработанной компьютерной системе обработки данных о процессе научения решению вербальных задач появилась возможность инструментального определения индивидуальных различий обучающихся, их предпочтений, особенностей осуществления учебной деятельности.

Ниже будет рассматриваться возможность применения диагностики объективных показателей деятельности обучающихся, полученных с помощью данной компьютерной системы диагностики динамических параметров процесса научения решению вербальных задач обучающихся.



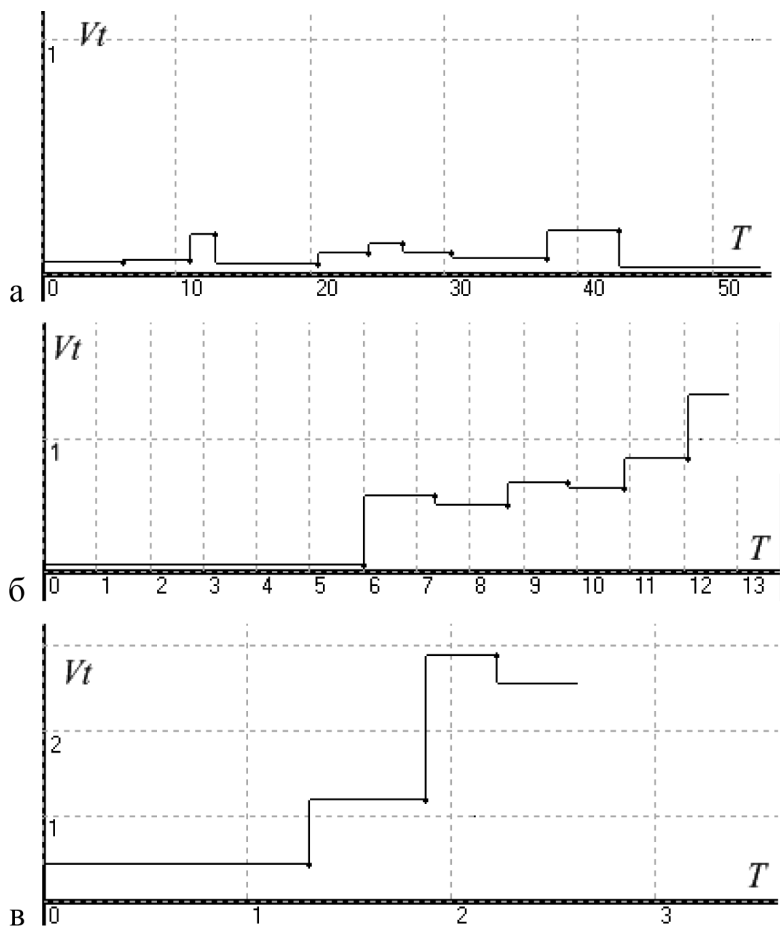


Рис. 82. Изменение скорости продуцирования информации от задания к заданию: а) обучающегося 1; б) обучающегося 2; в) обучающегося 3;  
 $T$  – время выполнения задания, мин,  $V_t$  – скорость (бит/мин)

#### 4.5. Диагностика учебной деятельности обучающихся в сетевых проблемных средах

Нами выделены три этапа педагогического эксперимента. На первом этапе проводились наблюдения за деятельностью учителей и учащихся в процессе учебно-познавательной

деятельности, на основе анализа реальной ситуации, сложившейся в практике работы школ, выявлялись возможности использования сетевой проблемной среды на уроках в школе. Необходимым условием успешности сбора первичной информации была заинтересованность учителей и учащихся в практическом использовании сетевой проблемной среды как средства управления учебно-познавательной деятельностью. Поскольку этап носил поисковые черты, он был назван поисково-констатирующим. На этом этапе эксперимента формулировались цели, задач исследования, шел поиск путей решения этих задач. В результате поисково-констатирующего этапа эксперимента мы пришли к выводу, что учителями накоплен немалый опыт проведения контрольных мероприятий, на который можно вполне опираться. Совместное обсуждение с учителями возможностей использования сетевой проблемной среды на уроках показало необходимость создания системы, управляющей учебной деятельностью учащихся при использовании коллективных форм обучения. Совместно с учителями был выявлен круг проблем, которые необходимо решить при использовании данной технологии обучения: создать программно-методическое обеспечение, подготовить учителя и учащихся к такой работе. Результатом первого этапа стало становление теоретической базы исследования, выход на некоторые теоретические обобщения и гипотезу исследования.

Второй этап характеризуется изучением научно-исследовательской основы проблемы управления учебно-познавательной деятельностью учащихся, применения вычислительной техники на уроках математики и соотнесением полученных данных с нашими наблюдениями. Этот этап назван нами формирующим. Он сопровождался изучением теоретических основ контроля знаний без использования и с использованием компьютерной техники, психолого-

педагогических проблем применения парных форм обучения на уроках математики, теоретических основ тестирования как метода педагогической диагностики; уточнением содержания учебного процесса, изучением стандартов школьного образования; отбором учебников по алгебре; выявлением методических основ материала по алгебре; разработкой учебных блоков сетевой проблемной среды; описанием совокупности всех заданий, представляющих единый сетевой тест-тренажер.

Третий этап направлен на разработку и практическое внедрение методики применения СДКТТ для управления учебно-познавательной деятельностью учащихся, разработку и экспериментальную проверку различных сетевых динамических тестов, анализ результатов внедрения сетевой технологии контроля и коррекции знаний учащихся, выработку критериев эффективности предложенных СДКТТ и на этой основе оценку результатов исследования, совместное обсуждение и анализ организации коррекции знаний с использованием СДКТТ, разработку программы подготовки учителей и учащихся к работе в системе. Наличие диагностического фона позволяло вносить необходимые коррективы в эксперимент и оснащало материалом для дальнейшего развития теоретической модели. Этап назван контрольно-оценочным, основные задачи его – проверка эффективности применения СДКТТ в учебном процессе и их использование в качестве средства управления учебной деятельностью учащихся по алгебре.

Основными задачами на данном этапе были: проверка эффективности применения сетевых динамических тестов в учебном процессе и их использование в качестве средства контроля и коррекции знаний.

Для проведения эксперимента из совокупностей учащихся были составлены две случайные выборки. Здесь не-

обходимо отметить, что в нашем случае экспериментальные единицы (учащиеся) неоднородны по своим свойствам (например, успеваемость по математике), поэтому простой случайный отбор не обеспечил бы в таких совокупностях представительность выборок. С учетом этого была применена следующая схема отбора: сначала экспериментальные единицы разбивались на группы (признак – успеваемость по математике), а затем уже в этих группах проводился случайный отбор.

Таким образом, полученные выборки действительно представляют рассмотренные совокупности и являются случайными. Назовем выборку, в которой применялись сетевые динамические компьютерные тесты-тренажеры, экспериментальной и обозначим полученный для нее набор данных переменной  $X$ . Вторую выборку, в которой не применялись сетевые проблемные среды, назовем контрольной, а данные обозначим  $Y$ . Объем каждой выборки равен 30 учащимся [83].

В обеих группах экспериментатор (или учитель) вначале дает предварительное объяснение теоретического материала. После чего учащимся предлагается небольшая контрольная письменная работа, т. е. делается контрольный срез на начало эксперимента. Тем самым фиксируются умения учащихся в обеих группах применять конкретные (предложенные) алгоритмы.

После выполнения первичного контрольного среза одна группа (экспериментальная) в парах отрабатывает предложенные алгоритмы на компьютерах с использованием сетевой проблемной среды. Учащиеся второй (контрольной) группы работают в классе с учителем. Каждый самостоятельно отрабатывает в тетради предложенный алгоритм, выполняя индивидуальные задания. Индивидуальные задания предлагаются такого же типа, как и при контрольном срезе. Учитель, наблюдая за работой учащихся, при необходимо-

сти оказывает помощь. Работа в обеих группах продолжается одинаковое время.

Для уравнивания условий эксперимента с каждым учеником до начала применения сетевой проблемной среды проводилась беседа, в процессе которой выяснялось, в какой мере он владеет умениями и навыками обращения с компьютером, необходимыми для успешного выполнения тестовых заданий, с тем, чтобы нивелировать влияние компьютера на процесс решения. Если в ходе такой беседы выяснялось, что ученик имеет пробелы в обращении с компьютером, то они сразу же восполнялись путем прямой подсказки или актуализации прошлого опыта ученика. Таким образом, приступая к выполнению заданий, все учащиеся располагали нужными навыками работы с сетевой проблемной средой.

На заключительной стадии эксперимента обеим группам учеников предлагается контрольная письменная работа. Тем самым снова фиксируются умения учащихся в обеих группах применять предложенный алгоритм.

Результаты контрольных срезов по группам приведены в табл. 20 (первый контрольный срез) и в табл. 21 (второй контрольный срез). В столбцы «Растяжение – сжатие», «Отражение», «Смещение» заносится количество (в процентах) правильно определенных значений данного параметра по всей группе, в столбце «Итог» – процент правильно определенных параметров по всей группе.

*Таблица 20*

**Результаты первого контрольного среза**

	Растяжение – сжатие	Отражение	Смещение по оси ОУ	Смещение по оси ОХ	Итог
Экспериментальная	22 %	33 %	73 %	43 %	43 %
Контрольная	21 %	36 %	73 %	45 %	44 %

Таблица 21

### Результаты второго контрольного среза

	Растяжение – сжатие	Отра- жение	Смещение по оси ОУ	Смещение по оси ОХ	Итог
Эксперимен- тальная	62 %	72 %	86 %	77 %	74 %
Контрольная	31 %	58 %	77 %	74 %	60 %

Из приведенных таблиц видно, что количество правильно определенных параметров в экспериментальной группе больше, чем в контрольной группе. Их соотношение в процентах отображено в гистограмме (рис. 83).

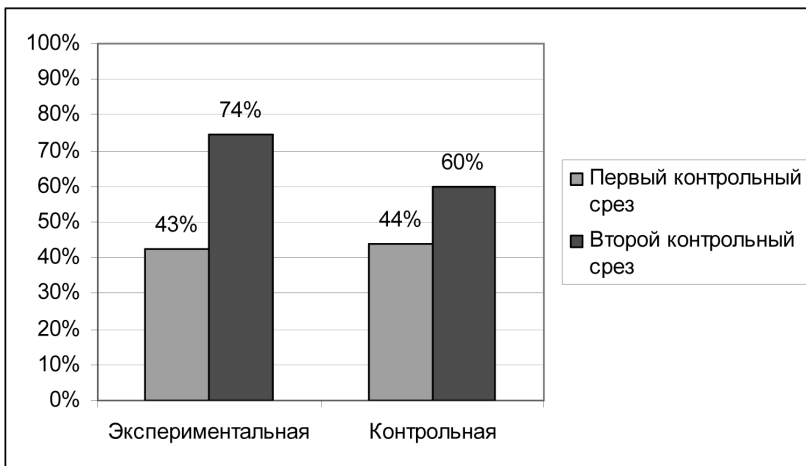


Рис. 83. Результаты контрольных срезов

На рис. 84 показаны полигоны, построенные по результатам контрольной группы учащихся. Полигон результатов вторичного контроля сдвинут в область более высоких баллов относительно полигона результатов первичного контроля. Следовательно, примененная в контрольной группе методика обучения дала положительный результат.



*Рис. 84. Контрольная выборка*

На рис. 85 показаны полигоны, построенные по результатам экспериментальной группы учащихся. Полигон результатов вторичного контроля сдвинут в область более высоких баллов относительно полигона результатов первичного контроля. Это позволяет сделать вывод о том, что применение сетевых динамических компьютерных тестов-тренажеров в экспериментальной группе дало положительный результат.



*Рис. 85. Экспериментальная выборка*

Для сравнения методов необходимо построить либо полигоны частоты, либо гистограммы по данным вторичного тестирования обеих групп. Представим результат в виде гистограмм (рис. 86).

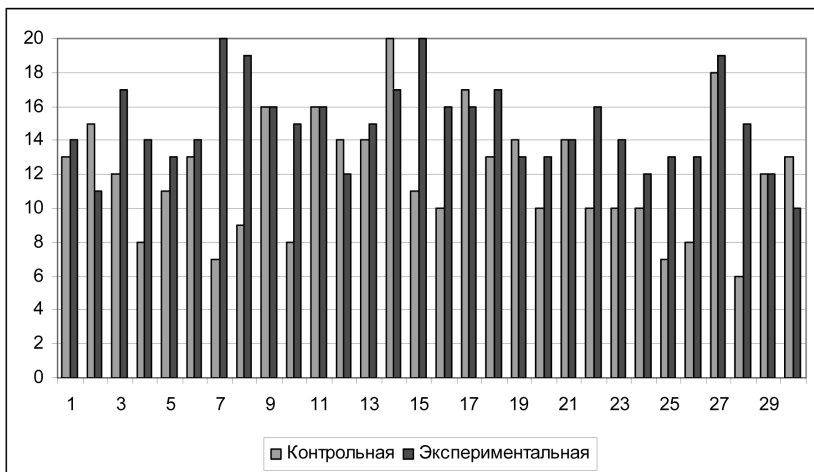


Рис. 86. Вторичная выборка

Анализ рис. 86 позволяет сделать вывод о том, что метод с использованием сетевых динамических компьютерных тестов-тренажеров, примененный в экспериментальной группе, оказался эффективнее, так как гистограмма вторичного контроля при этом сдвинута в область более высоких баллов относительно соответствующей гистограммы, построенной для контрольной группы.

Кроме этого, рассчитаны коэффициенты полноты (достижения), успешности и эффективности применения СДКТТ по формуле:  $K_1 = \frac{1}{O_{\max} N} \sum O_i N_i$ , где  $K_1$  – коэффициент полноты,  $O_{\max}$  – максимальное количество баллов за контрольное задание,  $N$  – количество учащихся, принимавших участие в тестировании,  $O_i$  – балл,  $N_i$  – количество учащихся, набравших  $O_i$ . Коэффициент успешности  $K_2$  равен отно-



шению коэффициента полноты после применения СДКТТ к коэффициенту полноты до его применения  $K_2 = \frac{K_1'}{K_1}$  и позволяет судить об успешности применения сетевых проблемных сред. Коэффициент эффективности  $K_3$  равен отношению коэффициента успешности экспериментальной группы к соответствующему коэффициенту контрольной группы и позволяет сравнить методы, применяемые в этих группах.

Покажем в таблице рассчитанные значения указанных коэффициентов для контрольной и экспериментальной групп учащихся. Полученные значения коэффициентов успешности больше единицы.

Таблица 22

### Коэффициенты полноты, успешности и эффективности

Критерии качества	Контрольная группа		Экспериментальная группа	
	первый срез	второй срез	первый срез	второй срез
Коэффициент полноты	0, 44	0, 598	0, 427	0, 743
Коэффициент успешности	1, 359		1, 742	
Коэффициент эффективности	1, 28			

По данным табл. 22, коэффициент эффективности, равный 1,28, больше единицы, следовательно, мы можем говорить о преимуществе способа обучения, примененного в экспериментальной группе, над способом обучения в контрольной группе.

Таким образом, обработка экспериментальных данных позволяет нам сделать вывод о том, что оба метода дали положительный результат, а именно, способствовали улучшению знаний базовых понятий темы. Кроме этого, применение сетевой проблемной среды в экспериментальной группе

оказалось эффективнее методики, применяемой в контрольной группе.

В ходе выполнения заданий на компьютере перед учащимися была поставлена цель – достичь десятого уровня и выполнить три задания подряд. Каждый из учеников начинал выполнение заданий с первого уровня. Дальнейшее продвижение с уровня на уровень происходило индивидуально, в зависимости от правильности выполнения заданий и количества неправильных шагов (действий).

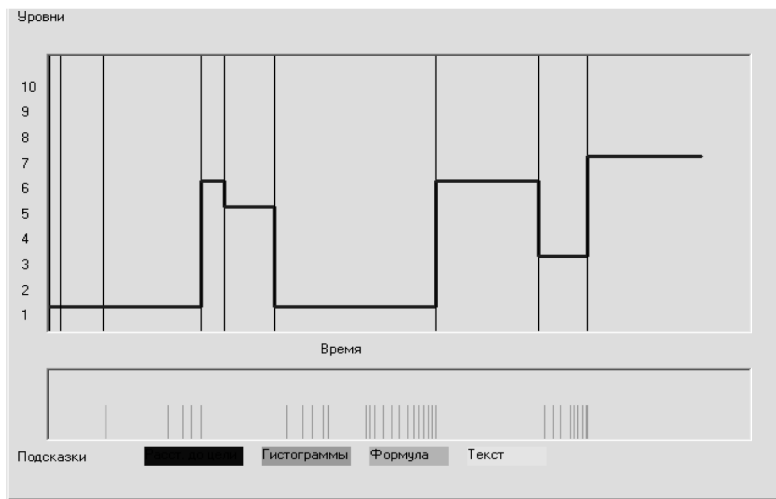
На рис. 87 приведена целевая функция успешно обучающегося ученика, который в случае успешного выполнения задания переводится на более высокий уровень. Потом он делает ошибки, и его уровень самостоятельности понижается, так как необходима внешняя помощь. Выполнив несколько заданий на этом уровне, учащийся опять переводится на более высокий уровень, где повышается роль самоконтроля учащегося, а частота «подсказок» со стороны обучающей системы (учителя) уменьшается. На графике видно, что учащийся опять был переведен на более низкие уровни, что говорит о том, что он не смог справиться с заданием на таком уровне самостоятельности и ему еще необходима более частая внешняя помощь. Выполнив несколько заданий на этом уровне, учащийся опять переводится на более высокий уровень. А потом еще выше, достигнув, таким образом, наивысшего, десятого, уровня. Находясь на высшем уровне, где учащийся полностью осуществляет контроль над выполняемыми действиями и оценивает их правильность без внешней подсказки, он опять допускает ошибки, и уровень его самостоятельности несколько понижается. Выполнив несколько заданий, учащийся вновь возвращается на высший уровень, где выполняет правильно три задания подряд. Таким образом, видим, что данный ученик достиг поставленной цели.



*Рис. 87. Целевая функция успешно обучающегося ученика*

Однако далеко не все ученики достигают этого уровня. Некоторые, несмотря на огромный объем тренажных упражнений, достигают невысоких результатов (3–6 уровни самостоятельности). Такие ученики для выполнения заданий постоянно нуждаются во вспомогательной информации. Как правило, они невнимательны, регулярно допускают ошибки. Их деятельность осуществляется в основном методом проб и ошибок. Они постоянно нуждаются в дополнительной информации о ходе выполнения задания. На рис. 88 показано, что перевод учащегося на более высокий уровень самостоятельной деятельности осуществляется при частом обращении к подсказке, в отсутствие которой учащийся совершает ошибки и в результате снова переводится на более низкий уровень самостоятельности.

При выполнении заданий учитель подстраивается под учащегося, предлагая ему различные управляющие воздействия. Если учащийся затрудняется с выполнением задания на данном уровне, то он переводится на более низкий уровень. Если же задание выполняется успешно, то учащийся переводится на не слишком высокий уровень, т. е. уровень



*Рис. 88. Целевая функция ученика, постоянно нуждающегося во вспомогательной информации*

самостоятельности повышается только благодаря управляющим воздействиям. Причем величина повышения или понижения уровня определяется в зависимости от личных достижений учащегося.

Частота помощи, оказываемой учителем, уменьшается с уменьшением целевой функции, которая принимает значения, лежащие в интервале от 0 до 1. Таким образом, после выполнения очередного задания обучающая система определяет значение целевой функции и устанавливает уровень самостоятельности ученика. Чтобы увидеть, как будет изменяться целевая функция деятельности ученика в процессе обучения, необходимо повторить эту деятельность в измененной ситуации. Другими словами, дать ученику аналогичную задачу. Если ученик обучаем, то доля правильных действий увеличится и, соответственно, уменьшится целевая функция.

В случае использования сетевого динамического теста в режиме «два ученика – компьютер» за одно действие была

принята пара действий, т. е. действие первого ученика и последующее за ним действие второго ученика. Поэтому каждое действие имеет четыре исхода:

– 1 – 1, каждый из учеников выполнил действие правильно;

– 0 – 1, первый ученик ошибся, второй исправил ошибочное действие;

– 1 – 0, первый ученик выполнил действие правильно, второй – нет;

– 0 – 0, оба ученика выполнили неверные действия.

В данном случае в качестве целевой функции пары можно использовать информационную энтропию. Формулу для расчета информационной энтропии можно записать следующим образом:

$$H = \sum_{i=1}^4 p_i \log_2 p_i, \text{ где } p_i = \frac{n_i}{n},$$

где  $p_i$  – вероятность каждого вида возможных действий,  $n_i$  – число действий каждого из возможных исходов (0 – 0, 1 – 0, 0 – 1, 1 – 1),  $n$  – общее из возможных действий.

Для наиболее удобного восприятия действий пары учащихся, на наш взгляд, целесообразно использовать круговые диаграммы, отображающие соотношение возможных вариантов действий в течение каждого задания и тестирования в целом. На рис. 89 представлены диаграммы действий пары на разных этапах тестирования. На первой диаграмме показано одно из первых заданий, учащиеся действуют несогласованно, в основном методом проб и ошибок, их информационная энтропия стремится к 1. На второй диаграмме в паре происходит разделение учащихся на ведущего (ученик 1) и ведомого (ученик 2), причем видно, что ведущий не только совершает все действия без ошибок (вариантов 0 – 0 и 0 – 1 на диаграмме нет), но и исправляет ошибочные действия ведомого, в результате чего энтропия пары уменьшается. Как отмечает

в своей монографии Н.И. Пак, на этом этапе происходит «переход интуиции из разряда “дар” в разряд “навык”» [110]. В результате через несколько заданий диаграмма действий должна полностью соответствовать действию 1 – 1. Анализируя подобные диаграммы, можно сделать выводы об эффективности объединения данных учеников в пары. Например, пары, в которых информационная энтропия на протяжении всего тестирования постоянно уменьшается, эффективны, а пары, энтропия которых постоянна, желательно перераспределить.

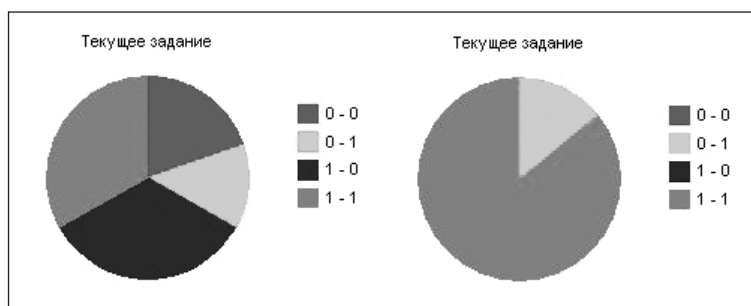


Рис. 89. Диаграммы действий

Таким образом, каждый учащийся обучается в соответствии со своими возможностями, по своей траектории. При необходимости ему оказывается помощь, частота которой определяется в ходе выполнения задания. Она для каждого ученика определяется индивидуально, т. е. реализуется принцип дифференцированного подхода в обучении [14].

После выполнения заданий СДКТТ каждый из учащихся оказался на каком-либо уровне степени самостоятельности (от 1 до 10). В результате учащихся можно расположить по порядку по значению уровня степени самостоятельности. Учащиеся, попавшие в интервал от 1 до 4, больше других нуждаются в помощи учителя. Учащимся, попавшим в интервал от 5 до 7, нужно помогать эпизодически. Учащимся, достигшим уровней от 8 до 10, можно предоставить полную са-

мостоятельность. При этом не рекомендуется выделять учащихся в отдельные группы. «...Никаких списков групп “сильных”, “средних”, “слабых” мы не рекомендуем составлять, но при планировании учебного процесса на уроке и при разъяснении домашнего задания их надо иметь в виду...» [14: 161].

Достигнув в итоге какого-либо уровня степени самостоятельности, каждый учащийся затратил на это свое время. Даже те учащиеся, которые достигли одного и того же уровня, затратили на это различное время. Отношение значения достигнутого уровня ко времени, затраченному на выполнение всех заданий, даст нам величину скорости  $V_i$  обучения данному алгоритму (алгоритмической деятельности). Для каждого ученика мы можем найти значение этой скорости.

В результате учащихся можно расположить по порядку по величине скорости обучения алгоритму  $V_i$ . Одни учащиеся медленнее усваивают материал, другие быстрее, третьи вообще все «схватывают на лету». Эти данные можно и нужно использовать при планировании учебного процесса, реализуя тем самым индивидуальный подход в обучении учащихся.

Для проверки достоверности полученных на основе сетевой проблемной среды результатов сравним их с данными экспертов. Сравниваются уровни степени самостоятельности, полученные в результате эксперимента, и уровни степени самостоятельности, полученные от экспертов.

Для этого эксперту было предложено разбить учащихся на три группы по уровню степени самостоятельности: «высокий», «средний» и «низкий». После чего каждую группу эксперт разбил на три подгруппы. Таким образом, мы получили список учеников, разбитых на группы по девятибалльной шкале. Учащиеся, уровень которых в эксперименте оказался равным девяти и десяти, были объединены в одну группу. В результате мы получили два списка учащихся – разбитых на группы учителем и по результатам эксперимента. Эти

данные представлены в виде двух графиков, где вдоль горизонтальной оси откладывается порядковый номер учащегося в списке, а вдоль вертикальной оси – его ранг, определенный на основе сетевой проблемной среды, и ранг, определенный на основе данных экспертов.

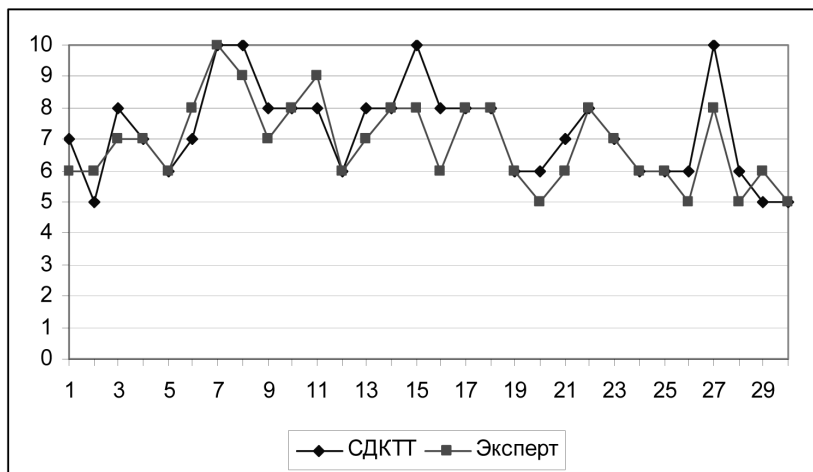


Рис. 90. Ранжирование учащихся СДКТТ и экспертом

Определим коэффициент корреляции результатов эксперимента и данных эксперта. Для вычисления коэффициента корреляции  $P$  применяем формулу Спирмена:

$$P = 1 - \frac{6 \cdot \sum_{i=1}^N D_i^2}{N \cdot (N^2 - 1)}, \quad (66)$$

где  $P$  – коэффициент корреляции,  $D_i$  – разность уровней (по данным эксперта и результатам эксперимента),  $N$  – число учащихся.

В результате получаем, что  $P = 0,78$ . Таким образом, между данными, полученными на основе СДКТТ, и экспертными оценками существует прямая значительная связь, т. е. данные эксперимента и эксперта близки.



Сравнение результатов экспериментальной и контрольной групп позволяет констатировать, что применение сетевых динамических тестов-тренажеров повышает эффективность обучения учащихся, улучшает эффективность контроля, предлагает учителю широкие возможности по коррекции знаний учащихся непосредственно в процессе тестирования, позволяет организовывать на уроке коллективные формы обучения, а также уменьшает трудозатраты учителя на обработку результатов тестирования. Таким образом, можно сделать вывод о том, что использование сетевых динамических тестов-тренажеров позволяет повысить эффективность управления учебно-познавательной деятельностью учащихся.

#### **4.6. Аппроксимация суммарного коэффициента обратной связи в приближении модели Р. Буша и Ф. Мостеллера**

В предыдущей главе была описана величина, названная *суммарным коэффициентом обратной связи (СКОС)*, характеризующим деятельность системы «обучающийся – проблемная среда» в целом [27].

Данная величина связывает параметр, отражающий состояние структуры системы действий обучающегося, с параметрами проблемной среды, при которых осуществлялась деятельность (частота подкрепления каждого действия, совершенного пользователем), и значением функции ценности состояния обучающегося. *СКОС* учитывает изменение состояния системы во всех контурах обратной связи.

Цель системы автоматического управления состоит в достижении *СКОС* нулевого значения. Это означает, что действия обучающегося не будут зависеть от показаний датчиков проблемной среды, а будут определяться только собственной системой управления, на основе внутренней информации.

При этом отсутствует неопределенность при выборе действия и каждое действие приближает решение задачи.

При построении кривых научения с использованием *СКОС впервые* использовалась информация о деятельности всей системы «обучающийся – проблемная среда» при решении задач в вербальной проблемной среде.

В работе Д.А. Новикова [102] при построении кривых научения может использоваться информация о величине ошибки. Тогда график кривой научения убывает. Если же кривую научения интерпретировать как «уровень наученности», то он соответственно возрастает.

Рассмотрим величину *СКОС* из вышеизложенных соображений. На рис. 91 а изображен график зависимости *СКОС* от номера выполненного задания, от начального значения 1 до конечного 0. Данная величина убывает в результате: а) уменьшения неправильных действий обучающегося; б) уменьшения частоты подкрепления системой обучающегося. Данное уменьшение возможно только в случае, если обучающийся научился решать задачи и в помощи не нуждается.

На рис. 91 б находится зависимость  $1 - R(i)$  от номера выполненного задания. Вначале деятельности обучающийся совершает очень много ошибок, получая подкрепление на каждое действие, поэтому зависимость  $1 - R(i)$  имеет нулевое значение. Используя связь между долей правильных  $p$  и неправильных  $q$  действий ( $p + q = 1$ ), сделаем преобразования и получим:

$$1 - R_i^T = 1 - (1 - p_i) \cdot (N_i + 1),$$

$$1 - R_i^T = p_i - q_i \cdot N_i.$$

Данная величина  $(1 - R(i))$  возрастает в результате: а) уменьшения неправильных действий обучающегося; б) увеличения правильных действий; в) уменьшения частоты подкрепления системой обучающегося. Это происходит в результате научения решению задач обучающихся.

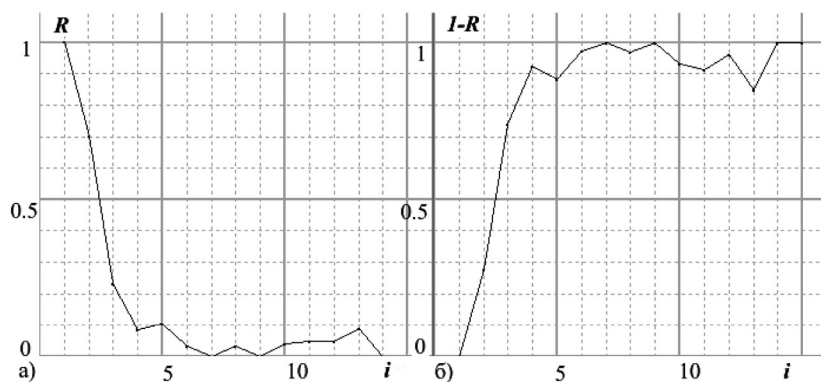


Рис. 91. Суммарный коэффициент обратной связи обучающегося:  
 $R$  – значения суммарного коэффициента обратной связи;  $i$  – номер задания

Имея массив обучающихся из 140 человек, найдем значения математического ожидания  $M(R)$  за каждое выполненное задание и изобразим результат в виде диаграммы (рис. 92).

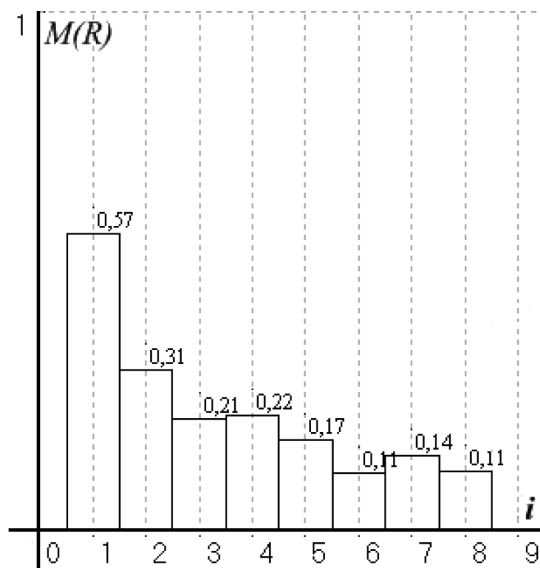


Рис. 92. Диаграмма значения величины математического ожидания  
 СКОО обучающегося:  $M(R)$  – значения математического ожидания;  
 $i$  – номер задания

Из рис. 92 видно, что величина  $M(R)$  уменьшается от задания к заданию. У обучающихся по мере научения решению вербальных задач эта величина стремится к нулю.

С помощью *СКОС* можно увидеть, насколько быстро происходит процесс научения, т. е. вычислять скорость научения индивидуально для каждого обучающегося.

Для этого рассмотрим величину  $(1 - R(i))$  (рис. 91 б), которая достигает максимального значения «1», что означает научение решать задачи обучающихся. Для нахождения такой характеристики «скорости научения» необходимо аппроксимировать данную величину.

Для аппроксимации экспериментальных кривых использовалась теория Р. Буша и Ф. Мостеллера [32]:

$$P_n = \beta_i^n p_0 + (1 - \beta_i^n) \mu_i, \quad (67)$$

где  $\mu_i$  – предельное значение вероятности  $P_n$ ;  $P_0$  – начальное значение вероятности совершения правильного действия; величина  $\beta_i$  показывает скорость выхода на уровень неподвижной точки (величина  $\mu_i$ ), который принимает значения от 0 до 1. На рис. 93 представлены графики  $(1 - R(i))$  в масштабе выполненных заданий, аппроксимированные по формуле (67).

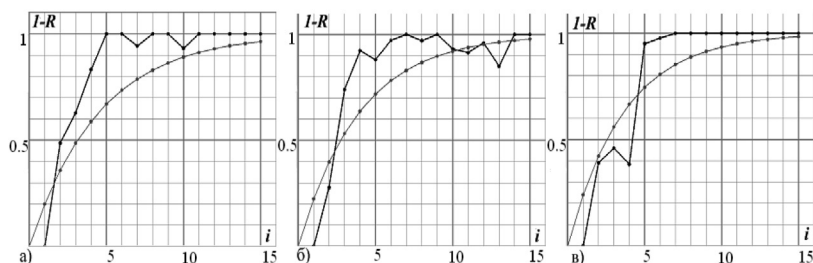


Рис. 93. Аппроксимация кривой в масштабе выполненных заданий:

а) обучающегося № 1; б) обучающегося № 2;

в) обучающегося № 3

Каждый обучающийся имеет индивидуальную скорость обучения. Сравним эти индивидуальные характеристики, построив для этого распределение по скорости научения (рис. 94).

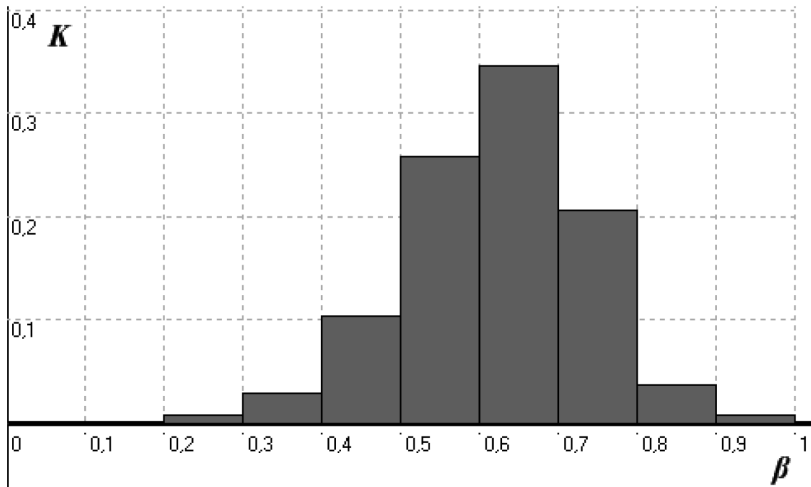


Рис. 94. Распределение обучающихся по скорости научения  $\beta$

Математическое ожидание величины  $\beta$  составляет:  $M(\beta) = 0,5676$ , а дисперсия величины  $\beta$  равна:  $D(\beta) = 0,0152$ .

Данное распределение смещено на  $M(\beta)$  и его можно аппроксимировать, используя закон Гаусса [73].

$$p(\beta) = \frac{1}{\sqrt{D(\beta)} \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\beta - M(\beta))^2}{2 \cdot D(\beta)}} \quad (68)$$

На рис. 95 показано данное распределение и аппроксимирующая его кривая.

Видно, что вероятность распределения случайной величины  $\beta$  достаточно хорошо можно описать данным законом.

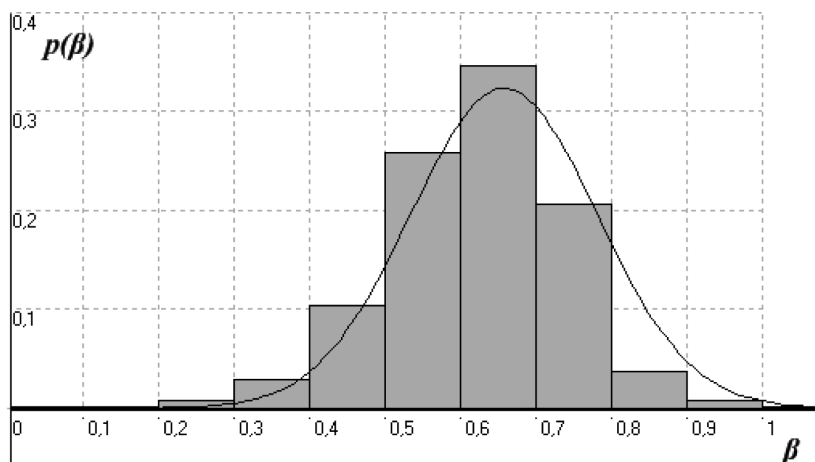


Рис. 95. Аппроксимация распределения обучающихся по скорости научения  $\beta$  законом Гаусса

#### 4.7. Оптимальное время работы в условиях ограничения на ресурс времени

Формирование оптимального темпа учебной деятельности в процессе научения решению задач имеет важное значение для индивидуализации подготовки студентов в вузе. Обусловлено это тем, что как чрезмерное завышение темпа работы, так и занижение являются нежелательными факторами [16]. В одном случае речь идет о необоснованной интенсификации учебной деятельности, в другом – о недоиспользовании возможностей студента и снижении эффективности процесса обучения.

Темп деятельности исследовался в работах [65; 71]. Однако в них проблема формирования оптимального темпа работы анализировалась в отрыве от механизмов саморегуляции деятельности. Внешне задаваемые временные параметры деятельности не предопределяют однозначно процесс формирования оптимального темпа работы. В работе [71] было показано, что при анализе механизмов саморегуляции темпа учебной деятельности особое внимание должно уде-

ляться временной структуре деятельности как целостному образованию.

Обычно объектом анализа становится время одиночной реакции, время выполнения отдельного действия, изолированного психического акта и т. д. При этом игнорируются взаимоотношения между различными элементами деятельности, а также их влияние на процесс формирования оптимального темпа деятельности. В связи с этим была поставлена задача проанализировать, как осуществляется формирование оптимального темпа учебной деятельности в условиях ограничения ресурса времени.

Под *оптимальным временем* понимается время, в течение которого обучающийся безошибочно осуществляет свою деятельность по решению задач в удобном для него временном режиме.

Для выяснения такой характеристики требуется создание системы автоматического управления учебной деятельностью. Сначала поставим задачу управления, где определим цель управления и требования к обучающемуся.

Целевые требования  $Z^*$ , предъявляемые к обучающемуся: цель-неравенство – ресурс действий, который может быть превышен, если не хватит минимально предложенного  $Y_{\min}$ ; экстремальная цель определяется:

$$Z^* : \begin{cases} Y \geq Y_{\min} ; \\ T \rightarrow \min . \end{cases} \quad (69)$$

Для выполнения целевых требований  $Z^*$  необходимо разработать такой алгоритм управления, при котором структура системы действий обучающегося станет оптимальной при ограничении ресурса. В качестве ресурса берется время, в течение которого необходимо решить задачу.

Разработаем математическую модель информационного взаимодействия управляющего центра и объекта управления, представленную в виде системы петель обратной свя-

зи (главной и местной), заданных рекурсивными уравнениями, описывающими изменение временного ресурса, величины рассогласования между целевым и текущим состоянием, прогнозируемым и реальным значением функции ценности. В основе данной модели положим представление о деятельности как о системе равноценных действий и учетом синтаксические и семантические свойства действий.

При работе обучающегося с проблемной средой время его деятельности изменяется по мере ее самоорганизации. В самом начале, когда задача предстает перед ним впервые, тратится время на просмотр задания, а также на поиск решения. Поиск решения задачи может происходить выборочным методом, методом проб и ошибок, а также имеет место избирательный поиск, наиболее отвечающий характеру интеллектуальной деятельности человека [42], поэтому вначале время, затраченное на выполнение первых заданий, велико. Обучающийся по мере выполнения заданий адаптируется к проблемной среде задачи, деятельность самоорганизуется и становится более упорядоченной, вследствие чего наблюдается уменьшение времени выполнения заданий. Это время деятельности стремится к определенной величине, и у каждого она своя, индивидуальная.

В систему управления было введено ограничение на временной ресурс. Найдем рекуррентное соотношение для данной величины [53].

Для выполнения первого задания времени сколько угодно. Для каждого последующего задания время рассчитывается в зависимости от времени выполнения предыдущего. Для расчета временного ресурса  $T_{i+1}$  необходимо знать среднее время совершения одного действия и ресурс действий для совершения объема работ  $Y^*_{i+1}$ , выданный системой обучающемуся для достижения очередной цели:

$$T_{i+1} = Y_{i+1} \frac{T_i^*}{Y_i}. \quad (70)$$



Деятельность по решению задач с выполнением каждого задания становится более совершенной. Обучающийся осуществляет развитие своей учебной деятельности, т. е. время для каждого последующего задания определяется предыдущей его деятельностью. Тем самым происходит саморегуляция временного режима работы. В дальнейшем обучающийся выходит на оптимальное время своей работы, т. е. время, которое тратит человек на выполнение каждой задачи, примерно одно и то же.

Рассмотрим структурно-функциональную модель системы автоматического управления учебной деятельностью с учетом ограничения на ресурс времени, с помощью которой решена задача о нахождении оптимального времени обучения. Цель функционирования системы состоит в том, чтобы привести структуру системы действий обучающегося – набор осуществляемых им действий и их последовательность – в такое состояние, когда каждое совершаемое действие требовало бы минимального времени выполнения, т. е. время деятельности обучающегося стало бы оптимальным. Общая схема структурно-функциональной модели системы автоматического управления представлена на рис. 96.

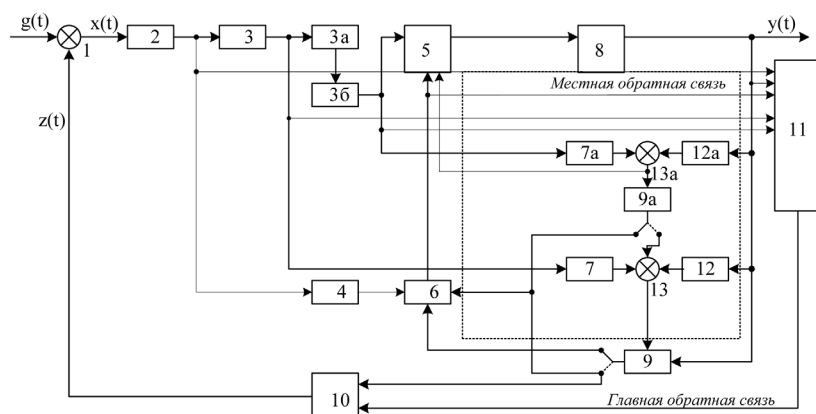


Рис. 96. Структурно-функциональная модель системы автоматического регулирования учебной деятельности с учетом ограничения на ресурс времени

В данной схеме две петли обратной связи: *главная обратная связь* и *местная обратная связь*. *Главная обратная связь* представлена элементами 1, 2, 3, 3 а, 5, 8, 9, 11, 10. *Местная обратная связь* – элементами 5, 8, 7 а, 12 а, 13 а, 9 а, 7, 12, 13, 9, 6 (пунктирная линия).

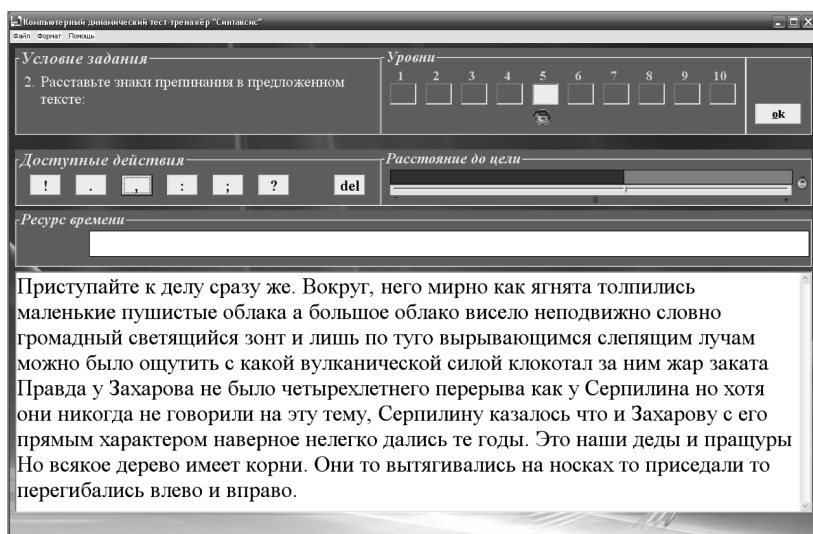
Элемент сравнения 1 находит величину рассогласования [18]  $x(t) = g(t) - z(t)$ , на основании которого элемент 2 определяет уровень успешности обучающегося  $L_i$ , где  $i$  – номер очередного формируемого элементом 3 задания – новой задачной ситуации. В зависимости от значения уровня успешности элемент 4 определяет параметры функционирования местной обратной связи 6. Этот параметр представляет собой режим «включения – выключения» информационного датчика «Расстояние до цели». Сформированная элементом 3 задача передается далее элементу 3 а, в котором происходит расчет ресурса действий, после чего найденное значение передается элементу 3 б, в котором рассчитывается ресурс времени  $T$  для решения задачи. После этого готовая задача и значение временного ресурса передаются в интерфейс проблемной среды, приведенный модулем 5 в состояние, соответствующее начальным параметрам.

Интерфейс проблемной среды включает в себя датчики (рис. 97): «Уровни», «Расстояние до цели» и «Ресурс времени». Также в интерфейсе размещается рабочая область для выполнения задания и условие самого задания, набор объектов управления, с помощью которых можно осуществлять решение задачи.

Элемент памяти 7 содержит информацию о минимальном количестве правильных действий, необходимых для решения задачи; элемент памяти 7 а – сведения о временном ресурсе для решения задачи.

Локальная цель для обучающегося состоит в достижении целевого состояния с помощью преобразования объек-

тов проблемной среды, доступной системы действий при оптимальном затраченном времени. В модуле 5 отражаются все изменения интерфейса проблемной среды, связанные со структурой его действий. При этом формирование новой задачной ситуации (формирование соответствующего состояния интерфейса) происходит лишь в моменты включения главной обратной связи, а текущие изменения отражаются после каждого совершенного обучающимся действием.



*Рис. 97. Интерфейс проблемной среды системы автоматического управления с ограничением ресурса времени*

Для реализации местной обратной связи после каждого действия обучающегося вычислительное звено 12 а определяет, как изменился ресурс времени, а элемент сравнения 13 а определяет рассогласование между потраченным временем и временным ресурсом, сохраненным элементом 7 а. Значение этого рассогласования отражается в интерфейсе проблемной среды датчиком «Ресурс времени», далее делается переход на элемент сравнения 13.

В вычислительном элементе 12 происходит определение действий обучающегося, приближающих к целевому состоянию, а элемент сравнения 13 определяет, насколько обучающийся приблизился к целевому состоянию. Величина этого рассогласования, выраженная в количестве дискретных шагов (каждый из которых – это конкретное действие обучающегося), определяет расстояние до целевого состояния задачи.

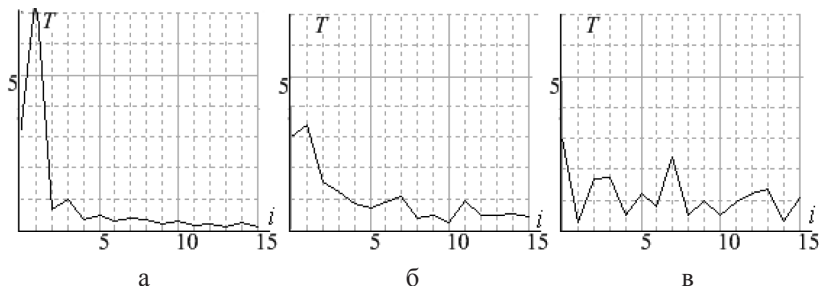
Переключатель 9 может изменить свое состояние, только когда расстояние до цели равно нулю и при поступлении от обучающегося сигнала об окончании выполнения задания (обучающийся должен нажать на соответствующую кнопку) или если обучающийся потратил весь временной ресурс. Если такого сигнала не поступает, система управления продолжает функционировать по малому кругу через местную обратную связь. В противном случае переключатель 9 не изменит своего состояния.

Изменение состояния переключателя 9 включает контур главной обратной связи, который содержит элемент 10, определяющий параметры структуры системы действий обучающегося на основе формализованной информации, сохраненной в модуле внешней памяти 11. Отметим, что при формировании очередной проблемной ситуации вновь возникает рассогласование в элементе сравнения 13 а, а затем – в элементе 13, и переключатель 9 переходит состояние, когда сигналы проходят по контуру местной обратной связи и регулируют процесс поиска обучающимся решения текущей задачи.

Во внешней памяти сохраняется не только последовательность действий обучающегося с указанием затраченного времени, но и управляющие воздействия: условия поставленной задачи, параметры работы датчика «Расстояние до цели», параметры работы датчика «Ресурс времени», параметры структуры системы действий обучающегося.

Отразим в виде графика значение временного ресурса  $T$  на каждом выполненном задании  $i$ .

На рис. 98 показано, что с каждым следующим выполненным заданием время деятельности уменьшается, приближаясь к оптимальному. Для каждого обучающегося этот параметр будет индивидуальным. По внешнему виду зависимости можно судить о характере деятельности обучающихся.



*Рис. 98. Временной режим работы в процессе решения задачи:  
 а) обучающегося № 1; б) обучающегося № 2; в) обучающегося № 3;  
 $i$  – номер задания,  $T$  – временной ресурс в минутах*

Из графика на рис. 98 а видно, что после выполнения пяти заданий временной ресурс приблизился к одной величине, примерно 0,1 мин. У обучающегося № 2 временной ресурс после 10–12 заданий вышел на величину 0,5 мин (рис. 98 б), а обучающемуся № 3 не хватило 15 заданий, чтобы выйти на оптимальное время работы (рис. 98 в).

Колебание темпа работы на рис. 98 объясняется колебаниями внимания студентов в процессе учебной деятельности. При этом колебания временного темпа работ для испытуемых № 1, № 2 и № 3 существенно отличаются по амплитуде и скорости затухания. Для испытуемого № 3 амплитуда колебания временного темпа работ практически не изменилась. Эксперимент показал, что повышение темпа работ сопровождается изменением когнитивного компонента в структуре деятельности.

Временной темп учебной деятельности является важной

характеристикой при диагностике профессиональных качеств человека, таких как скорость адаптации к деятельности, скорость овладения профессиональными навыками и т. д.

Имея массив экспериментальных данных, построим распределение по ресурсу времени, отводимого для выполнения *второго задания* и *последнего задания*. На распределении (рис. 99 а) часть обучающихся – около 20 % – имеет временной ресурс примерно 30 минут, а основная масса обучающихся (рис. 99 б) – около 70 % – имеют временной ресурс порядка 10 минут.

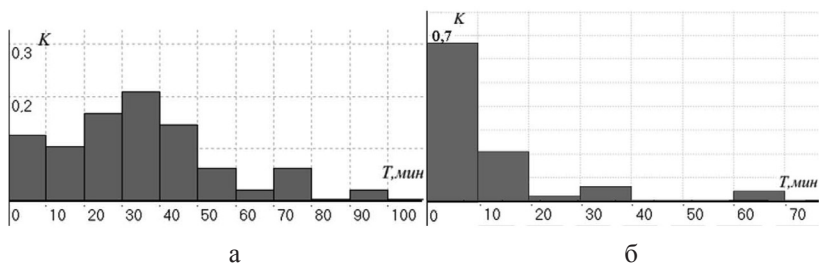


Рис. 99. Распределение по ресурсу времени после выполнения  
а) первого задания; б) последнего пятнадцатого задания:  
 $K$  – доля обучающихся,  $T$  – временной ресурс в минутах

Математическое ожидание для распределения на рис. 99 а величины  $T$ :  $M(T) = 31,666$  мин. Математическое ожидание для распределения на рис. 99 б величины  $T$ :  $M(T) = 11,875$  мин. При сравнении рис. 99 а и рис. 99 б видно, что время, отводимое для решения задач, сокращается практически в три раза.

Теперь посмотрим, как изменяется среднее значение ресурса времени, выделяемого системой обучающемуся для решения задачи. Для этого отразим на плоскости изменение величины математического ожидания  $M(T)$  за каждое выполненное задание  $i$ . На рис. 100 отражено данное изменение величины  $M(T)$ .

Видно, что временной ресурс уменьшается достаточно быстро и колеблется в определенных постоянных пределах 8–13 мин.

Такое уменьшение ресурса времени происходит из-за достижения обучающимся безошибочной деятельности по решению задач. Время деятельности сокращается, приближаясь к определенной величине – оптимальному времени решения задачи.

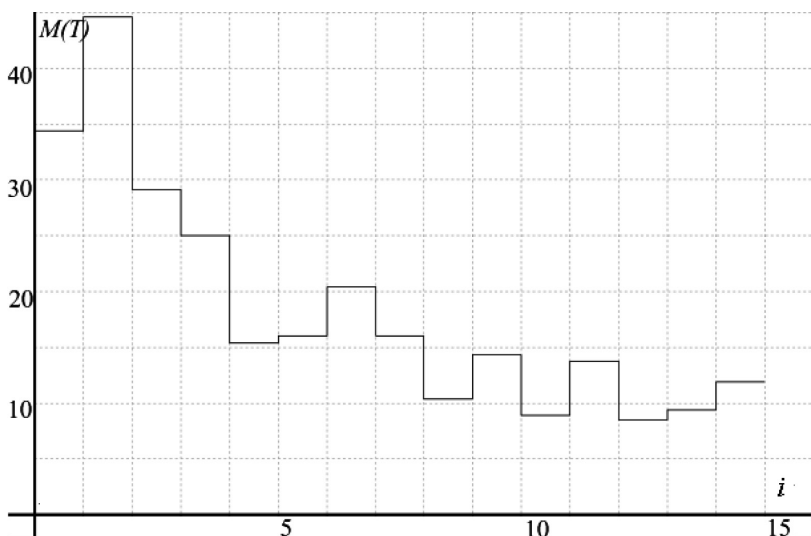


Рис. 100. Изменение  $M(T)$  за каждое задание:  $M(T)$  – математическое ожидание ресурса времени;  $N$  – номер задания

Результаты исследований позволяют сделать следующие выводы:

1. Оптимальный темп деятельности не предопределяется однозначно внешними условиями, а активно формируется в процессе саморегуляции. Особое значение имеет информация о ресурсе времени деятельности испытуемого при выполнении  $i$ -го задания и его изменении, который определяется ресурсом времени предыдущего  $i-1$  задания.

2. Длительность процесса перехода к оптимальному временному ресурсу, его уровень в значительной степени зависят от механизмов саморегуляции, необходимости их изменения по ходу деятельности. Для обеспечения эффективности данного процесса особое значение имеют оптимизация временной структуры целостной деятельности, изменения соотношения между ее когнитивными и исполнительными компонентами, перестройка информационных признаков учебной деятельности. Информационная основа учебной деятельности в целом носит динамичный характер и меняется в зависимости от этапов обучения, что влияет на временные параметры деятельности.

#### **4.8. Экспериментальные фазовые портреты деятельности по решению задач в вербальных проблемных средах**

Определить *фазовое пространство* в математике и физике можно как пространство, на котором представлено множество всех состояний системы так, что каждому возможному состоянию системы соответствует точка фазового пространства. *Фазовые портреты* – геометрический образ, представленный множеством всевозможных состояний физической системы, наделённых естественным понятием близости. Состояние системы в некоторый момент времени изображается в виде точки в этом пространстве [93; 161].

Фазовые портреты динамических обучаемых систем строятся с помощью программы анализа протоколов научения в вербальной проблемной среде на основе экспериментальных данных (файлов-протоколов).

Как показано в диссертации С.В. Бортновского [25], выделяются несколько характерных режимов поведения обучаемой динамической системы, в которых она может находиться: равновесный, переходный и периодический.



Если состояние не изменяется во времени, то это соответствует *равновесному режиму* обучающейся системы, где не меняется ни одна из ее «координат». Равновесные состояния будут изображаться неподвижными точками в пространстве состояний системы.

При обучении какому-либо виду целенаправленной деятельности выделяется равновесное состояние, которое отвечает состоянию полного овладения конкретным видом деятельности. Если говорить об идеальной деятельности, то для обучающихся динамических систем должно быть одно равновесное состояние полного овладения деятельностью, которое соответствует решению проблем или задач в автономном режиме.

Иногда можно встретить такие системы, которые имеют больше одного равновесного состояния. Обучающийся в процессе движения по состояниям может попасть в промежуточное равновесное состояние, которое не отвечает состоянию полного овладения конкретным видом деятельности, – тогда он будет осуществлять деятельность, связанную с внешними ограничениями.

Для выявления причин, препятствующих достижению такого состояния, необходимо определить все равновесные состояния обучаемой системы и их характеристики.

*Переходный режим* можно определить как режим движения системы из некоторого начального к какому-либо установившемуся состоянию – равновесному или периодическому. С точки зрения обучающейся системы, *периодический режим* можно характеризовать как движение данной системы по циклу в пространстве двух переменных, одна из которых – энтропия деятельности обучающегося, а вторая – внешняя информация, используемая обучающимся для выполнения данного вида деятельности.

Таким образом, *обучающаяся система* – это обучаю-

щийся, сам регулирующий свою деятельность с помощью внешней информации, которая становится доступной благодаря информационным датчикам. Если система переходит в состояние полного овладения конкретным видом деятельности, т. е. в равновесное состояние, то это будет означать, что энтропия ее деятельности как параметра равна нулю [25].

Рассмотрим переходный режим данной обучающейся системы. Этот режим может возникнуть в результате изменения внутренних свойств системы, т. е. при изменении внутренних свойств обучающегося. Например, повысилось внимание обучающегося к выполняемым операциям или резко поменялась мотивация учебной деятельности.

Изучение поведения динамической системы возможно не в любом пространстве ее состояний. При неудачном выборе координат включаемых в фазовом пространстве состояний движение системы может оказаться непредсказуемым. При этом нужно иметь в виду, что траектории системы в фазовом пространстве не пересекаются, то есть движение динамической обучающейся системы изображается непересекающимися траекториями.

Семейство фазовых траекторий, изображающих движение динамической системы, называется ее *фазовым портретом*. Фазовое пространство любой динамической системы плотно заполнено фазовыми траекториями, то есть через каждую точку данного пространства проходит траектория [25].

Фазовый портрет системы существенно изменяется благодаря внешнему воздействию на нее. Существует возможность описать состояние системы в спроецированном пространстве. Состояния обучающейся системы можно описать, исходя из экспериментальных данных. В качестве системы координат возьмем ве-

личину, содержащую суммарный коэффициент обратной связи, характеризующий деятельность обучающегося при научении решению вербальных задач,  $\delta = 1 - R$  (горизонтальная ось) и скорость ее изменения  $\frac{d\delta}{di}$  (вертикальная ось), т. е. фазовая плоскость, состоящая из состояний системы, в предложенной системе координат  $\delta$  и  $\frac{d\delta}{di}$  отвечает следующим условиям:

$$1) 0 \leq \delta \leq 1;$$

$$2) \frac{d\delta}{di} \in (-\infty; \infty).$$

Скорость изменения величины  $\delta = 1 - R$  определяется следующим образом:

$$\frac{d\delta}{di} = \frac{\delta_i - \delta_{i-1}}{1}, \quad (71)$$

где  $i$  – номер выполненного задания.

Программа анализа протоколов продуктов учебной деятельности в вербальной проблемной среде позволяет построить фазовые портреты различных обучающихся. Для этого на странице «Фазовые портреты» в списке протоколов необходимо выбрать нужный. На рис. 101 приведены экспериментальные фазовые портреты, полученные при работе обучающихся в проблемной среде по решению вербальных задач.

Система координат выбрана таким образом, что начало координат находится в точке  $\delta = 0$ ;  $\frac{d\delta}{di} = 0$ .

Из рисунка видно, что обучающийся, фазовый портрет которого расположен на рис. 101 а, находится частично в квазипериодическом режиме. Он «зациклен» на внешней помощи и нуждается в том, чтобы внутренняя энтропия

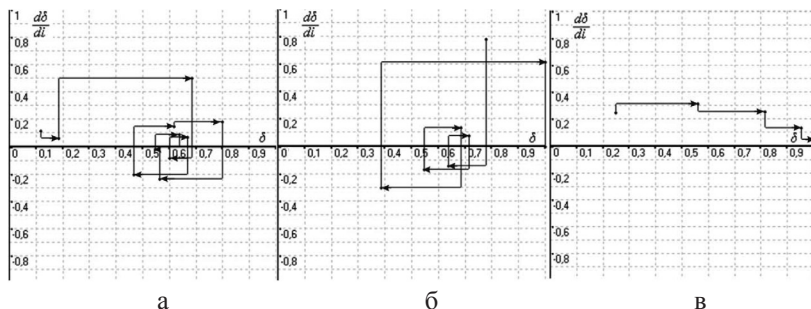


Рис. 101. Проекции фазовых портретов на плоскость  $(\delta, \frac{d\delta}{dt})$ :

- а) обучающегося № 1,  $\delta \in [0,1; 0,8]$ ;  $\frac{d\delta}{di} \in [-0,25; 0,5]$ ;  
 б) обучающегося № 2,  $\delta \in [0,4; 1]$ ;  $\frac{d\delta}{di} \in [-0,3; 0,77]$ ;  
 в) обучающегося № 3,  $\delta \in [0,25; 1]$ ;  $\frac{d\delta}{di} \in [-0; 0,3]$

его действий гасилась внешней информацией в виде подключения датчика «Расстояние до цели» [59]. Действия обучающегося становятся такими, что доля правильных действий уменьшается и компьютерная система переводит его в состояние, отвечающее уровню ниже. В данном примере мы наблюдаем явление недостаточной специфической обучаемости (НСО) [26].

Второй обучающийся (рис. 101 б) в процессе овладения деятельностью по решению задач переходит в устойчивое равновесное состояние после того, как пребывал в периодичном режиме до тех пор, пока не уяснил алгоритм решения задачи.

Третий обучающийся (рис. 101 в) в процессе научения решению задач переходит в устойчивое равновесное состояние. В этом состоянии он не нуждается во внешней вспомогательной информации для осуществления деятельности по выполнению заданий в вербальной проблемной среде.

## Выводы к главе 4

– На основе структурно-функциональной модели системы автоматического управления учебной деятельностью в вербальной проблемной среде решена задача оптимизации времени деятельности обучающихся и найдено оптимальное время.

– Разработан инструментальный метод диагностики учебной деятельности и индивидуальных различий обучающихся при решении вербальных задач, динамики изменения и получения процессуальных и результативных характеристик деятельности обучающихся, таких как: обучаемость, трудозатраты, время деятельности, фазовые портреты, функция ценности состояния, кривые научения, скорость научения, структура действий.

– Введено представление об обучаемости как о векторной величине, состоящей из двух компонент информационной продуктивности учебной деятельности обучающегося: по количеству выполненных заданий и по количеству затраченного времени. Установлено, что низкая обучаемость требует дополнительного временного ресурса, а наивысшие показатели обучаемости по времени демонстрируют обучающиеся, выполнившие минимальное количество заданий. Тем не менее высокий уровень  $\tilde{v}_n$  не гарантирует высоких показателей  $\tilde{v}_t$ .

– Моделирование учебной деятельности обучающегося по расстановке фрагментов текста в проблемной среде с использованием математического аппарата цепей Маркова позволило получить количественную оценку вероятностных характеристик пребывания в состояниях структуры системы действий обучающегося. Данная модель позволила получить теоретические и практические значения трудозатрат в процессе научения решению вербальных задач. Выявленная корреляционная связь между данными значениями трудозатрат

положительная, высокая. Это означает, что Марковская модель расчета трудозатрат дает высокую корреляцию с практически полученными значениями.

– Исследование обучения с подкреплением выявило использование обучающимися в вербальной проблемной среде различных стилей деятельности: с опорой на внешний контекст, внутренний контекст и смешанный стиль. Эти стили индивидуальны для каждого.

– Выявлена связь между частотой совершения ошибок при решении вербальных и математических задач. Данная связь является слабой и положительной. Среди массива обучающихся выделяются две группы: а) которые одновременно имеют недостаточную специфическую обучаемость по русскому языку и по математике, т. е. не могут адаптироваться к вербальной и математической проблемным средам; б) которые полностью смогли адаптироваться к математической и вербальной проблемным средам. Большинство людей могут безошибочно работать в вербальной проблемной среде, но не могут в математической, и наоборот – те, кто безошибочно работают в математической проблемной среде, делают ошибки при работе в вербальной проблемной среде, не могут к ней адаптироваться.

– На основе теории катастроф и методов системной динамики впервые получен обобщенный параметр, количественно описывающий процесс научения деятельности, который представляет собой суммарный коэффициент петель обратной связи системы автоматического управления учебной деятельностью. Показано, что, в отличие от общепринятых параметров научения (например, доля неправильных действий и т.п.), он позволяет учесть влияние поведения обучающегося на проблемную среду.

– На основе введения представления о фазовом пространстве получены фазовые портреты обучающихся, кото-

рые характеризуют деятельность по решению задач в вербальной проблемной среде.

– В процессе эксперимента получены такие численные характеристики процесса научения, как целевая функция и функция вознаграждения, на основе анализа которых определена скорость обучения учащихся, что позволило ранжировать их по способностям к усвоению учебного материала, а также даны рекомендации по эффективному разбиению учащихся на пары.

– Проведено сравнение диагностических заключений, полученных на основе сетевой проблемной среды и сделанных экспертами. Показано, что между данными, полученными на основе сетевой проблемной среды, и экспертными оценками существует прямая значительная связь, т. е. данные эксперимента и эксперта близки.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщим основные результаты.

1. Разработана математическая модель информационного взаимодействия управляющего центра и объекта управления (обучающегося), реализующая управление учебной деятельностью посредством системы петель обратной связи, заданных рекурсивными уравнениями, описывающих изменение ресурса, величины рассогласования между целевым и текущим состоянием, прогнозируемым и реальным значением функции ценности. В основе модели лежит представление о деятельности как о системе равноценных действий. В модели учтены синтаксические и семантические свойства действий.

2. Создана структурно-функциональная модель системы автоматического управления учебной деятельностью по решению задач в вербальной проблемной среде, в основе которой лежит разработанная математическая модель, позволяющая получать полезный результат независимо от индивидуальных качеств и свойств обучающегося.

3. С помощью структурно-функциональной модели системы автоматического управления учебной деятельностью по решению задач в вербальной проблемной среде с ограничением ресурсов объема и времени работ решена задача оптимизации выполнения объема работ и найдено оптимальное время деятельности обучающегося.

4. Разработан инструментальный метод диагностики учебной деятельности обучающихся по расстановке фрагментов текста в виде компьютерной системы обработки массива протоколов продуктов учебной деятельности обучающихся и получены процессуальные характеристики деятельности обучающихся в процессе обучения.

5. Получена количественная оценка вероятностных ха-



рактик процесса саморазвития к деятельности по решению задач в вербальной проблемной среде на основе математического аппарата цепей Маркова.

6. В результате теоретических исследований выявлены проблемы в способах управления учебно-познавательной деятельностью учащихся, связанные с тем, что существующие методы тестирования знаний, умений и навыков по математике не дают информации о процессе учебной деятельности учеников.

7. Рассмотрены достоинства и недостатки традиционного и динамического компьютерного тестирования. Введено новое понятие сетевого динамического компьютерного теста-тренажера (сетевой проблемной среды), который является средством управления учебно-познавательной деятельностью учащихся.

8. На основе кибернетического подхода с использованием механизма обратной связи разработана структурно-функциональная модель сетевого динамического тестирования, обеспечивающая пооперационный контроль за деятельностью ученика в реальном времени, а также взаимодействие между учителем и учеником.

9. Созданы сетевые динамические компьютерные тесты-тренажеры по теме «Преобразование графиков функций» курса математики основной общеобразовательной школы, обеспечивающие возможность каждому ученику обучаться как в роли ученика, так и в роли учителя.

10. Созданы алгоритмы и программы, проводящие компьютерную обработку экспериментальных данных, проведен педагогический эксперимент, подтверждающий эффективность использования сетевых динамических тестов-тренажеров. Проведено сравнение диагностических заключений, полученных на основе сетевых динамических тестов-тренажеров и сделанных экспертами. Показано, что

между ними существует прямая значительная связь, т. е. данные эксперимента и экспертов близки.

Полученные результаты могут быть использованы в качестве основы для проведения дальнейших исследований по проблеме организации управления учебной деятельностью при помощи компьютерной техники и диагностики процессуальных особенностей деятельности обучающихся.

## Библиографический список

1. Forrester J. Industrial Dynamics. M.I.T. Press, Cambridge, Mass.; Wiley, New York, 1961.
2. Gable A., Page C.V. The use of Artificial Intelligence technique in computer – a study in construction: an overview // International J. of Man-Machine Studies. 1980. V. 12. № 3. P. 259–282.
3. Абдеев Р.Ф. Философия информационной цивилизации / М., 1994. 335 с.
4. Аванесов В.С. Научные проблемы тестового контроля знаний. М.: МСиС, 1994.
5. Анастаси А., Урбина С. Психологическое тестирование. СПб.: Питер, 2003. 688 с.
6. Анохин П.К. Системные механизмы высшей нервной деятельности. М.: Наука, 1979. 453 с.
7. Анохин П.К. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем // Принципы системной организации функций: сб. ст. М.: Наука, 1973. С. 5–61.
8. Анохин П.К. Теория функциональной системы // Успехи физиологических наук. 1970. Т. 1. № 1. С. 19–54.
9. Атанов Г.А. Деятельностный подход в обучении. Донецк: ЕАИ-пресс, 2001.
10. Аткинсон Р., Бауэр Г., Кротерс Э. Введение в математическую теорию обучения М.: Мир, 1969. 468 с.
11. Аттель У. Обучающая вычислительная машина: моделирование в истинном масштабе времени обучающего диалога // Кибернетика и проблемы обучения / ред. и предисл. А.И. Берга. М.: Прогресс, 1970. С. 206–228.
12. Ахлебинин А.К., Чайков С.Г. Интерактивный компьютерный самоучитель решению задач по химии / А.К. Ахлебинин, // Информационные технологии в образовании: мат. междунар. конгресса конференций ИТО-2003. Москва, 16–20 ноября 2003 г. М., 2003.
13. Бабанский Ю.К. Методы обучения в современной образовательной школе. М.: Просвещение, 1985. 208 с.
14. Бабанский Ю.К., Поташник М.М. Оптимизация педагогического процесса (в вопросах и ответах). Киев: Радянська школа, 1983. 287 с.

15. Башмаков А.И., Башмаков А.И., Разработка компьютерных учебников и обучающих систем. М.: Информационно-издательский дом «Филинь», 2003. 616 с.
16. Бедный Г.З. Совершенствование нормирования труда. Психологический аспект. М., 1978. 127 с.
17. Берг А.И. Кибернетика – наука об оптимальном управлении. М.: Энергия, 1964.
18. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. 3-е изд., испр. М.: Наука, 1975. 768 с.
19. Беспалько В.П. Образование и обучение с участием компьютера (педагогика третьего тысячелетия). М.: Изд-во Московского психолого-социального института, 2002. 302 с.
20. Беспалько В.П. Опыт разработки и использования критериев качества усвоения знаний // Советская педагогика. 1968. № 4.
21. Беспалько В.П. Основы теории педагогических систем. Воронеж, 1977.
22. Беспалько В.П. Слагаемые педагогической технологии. М.: Педагогика, 1989. 192 с.
23. Бобкина С.М., Сатов Ф.Т. Мультимедийная обучающая программа по геометрии на казахском и русском языках // Информационные технологии в образовании: мат. междунар. конгресса конференций ИТО-2003. Москва, 16–20 ноября 2003 г. М., 2003.
24. Бодров В.И., Лазарева Т.Я., Мартемьянов Ю.Ф. Методы исследования операций при принятии решений: учебное пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. 160 с.
25. Бортновский С.В. Исследование и разработка динамических компьютерных обучающих систем управления и диагностики параметров процесса научения: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01. Красноярск: РГБ, 2005 (Из фондов Российской государственной библиотеки).
26. Бортновский С.В., Дьячук П.П. Компьютерная диагностика недостаточной специфической обучаемости по математике // Современные проблемы преподавания математики и информатики: всероссийская научно-практическая конференция. Тула, 2004.
27. Бортновский С.В., Дьячук П.П., Шадрин И.В. Система автоматического управления целенаправленной деятельностью «Tr@сK» // Открытое образование. 2010. № 3.

28. Брусиловский П.Л. Интеллектуальные учебные среды: концепции и примеры // Применение новых компьютерных технологий в образовании: сб. материалов Всероссийской научно-практической конференции. Троицк, 1991.
29. Бубнов В.А. Компьютерный практикум по линейной алгебре // Информационные технологии и методология обучения точным наукам: труды симпозиума. М., 2002.
30. Буняев М.М. Методические аспекты проектирования автоматизированных обучающих курсов // Математика в школе. 1991. № 5.
31. Бурцев М.С., Гусарев Р.В., Редько В.Г. Модель эволюционного возникновения целенаправленного адаптивного поведения 1. Случай двух потребностей // Препринт ИПМ РАН. 2000. № 43.
32. Буш Р., Мостеллер Ф. Стохастические модели обучаемости. М.: Физ.-мат. лит., 1962. 482 с.
33. Варшавский В.И., Поспелов Д.А. Оркестр играет без дирижера: размышления об эволюции некоторых технических систем и управлении ими. М.: Наука, 1984. 208 с.
34. Васильева С.В. ФОБОС – система электронных практикумов // Информационные технологии в образовании: мат. междунар. конгресса конференций ИТО-2003. Москва, 16–20 ноября 2003 г. М., 2003.
35. Величковский Б.М., Капица М.С. Интеллектуальные процессы и их моделирование М.: Наука, 1987. 120 с.
36. Винер Н. Кибернетика и общество. М.: Изд-во иностр. лит., 1958. 49 с.
37. Винер Н. Кибернетика или управление и связь в животном и машине. М.: Советское радио, 1968. 314 с.
38. Гальперин П.Я. К проблеме внимания // Доклады АПН РСФСР. М., 1958. № 3. С. 34.
39. Грибкова В.А., Зайцева Л.В., Новицкий Л.П. Управление адаптивным диалогом в автоматизированных обучающих системах: методические указания. Рига: РПИ, 1988. 52 с.
40. Григорьев В.В., Лукьянова Г.В., Сергеев К.А. Анализ систем автоматического управления. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики, 2009. 105 с.

41. Грудин Б.Н. Компьютеризированный практикум по когерентной оптике // Информационные технологии в образовании: мат. междунар. конгресса конференций ИТО-2003. Москва, 16–20 ноября 2003 г. М., 2003.
42. Гурова Л.Л. Психологический анализ решения задач. Воронеж: Изд-во Воронежского университета, 1976. 327 с.
43. Данилюк С.Г. Автоматизированные системы контроля. Серпухов: Минобороны РФ, 1998. 39 с.
44. Домрачев В.Г., Ретинская И.В. О классификации образовательных информационных технологий // Информационные технологии. 1996. № 2. С. 10–13.
45. Доррер А.Г. Моделирование и разработка интерактивных обучающих систем с адаптацией: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01. Красноярск: РГБ, 2006 (Из фондов Российской государственной библиотеки).
46. Дьяченко В.К. Новая дидактика. М., 2001. 496 с.
47. Дьячук (мл.) П.П., Николаева Ю.С. Оптимальное обучение решению задач // Современные проблемы информатизации в моделировании и социальных технологиях: сборник трудов по итогам XIV международной открытой научной конференции. Вып. 14. Воронеж, 2009. С. 153–156.
48. Дьячук П.П., Пустовалов Л.В. Система управления процессом адаптации к проблемной среде // Системы управления и информационные технологии. 2008. № 3.1 (33). С. 144–148.
49. Дьячук П.П., Ларионов Е.В. Динамические компьютерные тесты-тренажеры // Новые информационные технологии в университетском образовании: сб. материалов международной научно-методической конференции. Кемерово, 2002. С. 57.
50. Дьячук П.П., Бортновский С.В., Пустовалов Л.В. Компенсаторные системы управления процессом научения ученика как неопределенного объекта // Моделирование неравновесных систем: сб. мат. VIII Всероссийского семинара. Красноярск, 2005. С. 57–58.
51. Дьячук П.П., Николаева Ю.С., Пустовалов Л.В. Компьютерная система управления процессом научения с учётом ограничений на ресурсы // Новые информационные технологии в образовании для всех: инновационные методы и модели: материалы IV Международной конференции. Киев, 2009. С. 54–64.

52. Дьячук П.П., Николаева Ю.С. Компьютерные динамические тесты адаптивного поведения человека в проблемной среде // Системы управления и информационные технологии. № 3.1 (37). Воронеж, 2009. С. 135–139.
53. Дьячук П.П., Дьячук (мл.) П.П., Николаева Ю.С. Компьютерные системы управления поиском решения задач // Программные продукты и системы: научное и научно-практическое издание. Тверь, 2009. № 2 (86). С. 128–130.
54. Дьячук П.П., Дроздова Л.Н., Шадрин И.В. Система автоматического управления учебной деятельностью и ее диагностики // Информационно-управляющие системы. 2010. № 5. С. 63–69.
55. Дьячук П.П., Пустовалов Л.В. Система управления учебной деятельностью обучающегося решению задач // Информационные технологии моделирования и управления. Воронеж, 2008. Вып. 6 (49). С. 623–631.
56. Дьячук П.П., Николаева Ю.С. Пустовалов Л.В., Система, управляющая процессом поиска решения задач в условиях ограничений на ресурсы // Управляющие системы и машины. 2010. № 2 (226). С. 47–51, 79.
57. Дьячук П.П., Дьячук (мл.) П.П., Николаева Ю.С. Системы управления адаптивным поведением обучающихся решению задач // Моделирование неравновесных систем – 2009: материалы XII Всероссийского семинара. Красноярск: ИВМ СО РАН, 2009. С. 82–85.
58. Дьячук П.П., Дроздова Л.Н., Дьячук П.П. и др. Управление адаптацией обучающихся в проблемных средах и диагностика процессов саморегуляции учебных действий: монография. Красноярск, 2010. 384 с.
59. Дьячук П.П. Фазовые портреты учебной деятельности обучающихся решению задач // Вестник Красноярского государственного педагогического университета им. В.П. Астафьева. 2011. № 1. С. 30–35.
60. Дьячук П.П. Функциональные компьютерные системы управления деятельностью обучающихся решению задач // Информатика и образование. 2007. № 7. С. 102–104.
61. Зайцев Г.Ф. Теория автоматического управления и регулирования. 2-е изд., перераб. и доп. Киев, 1989. 431 с.

62. Захаров А.Н. Проблемы адаптивных систем обучения / под ред. А.М. Матюшкина // Кибернетика и проблемы обучения: сб. переводов. М.: Прогресс, 1970.
63. Ильина Т.А. Тестовая методика проверки знаний и программированное обучение // Советская педагогика. 1967. № 2. С. 122–135.
64. Кавтрев А.Ф. Методика работы с «On-line виртуальной лабораторией» компании «Физикон» // Информационные технологии в образовании: мат. междунар. конгресса конференций ИТО-2003. Москва, 16–20 ноября 2003 г. М., 2003.
65. Карпов В.В. Сигнальное программирование временной структуры и последовательности действий как предпосылка для самоконтроля в формировании и регулировании индивидуально-го темпа // Вопросы психологии 1964. № 2. С. 102–111.
66. Карпова И.П. Исследование и разработка подсистемы контроля знаний в распределенных автоматизированных обучающих системах: дис. ... канд. тех. наук. М., 2002.
67. Кибернетика и проблемы обучения: сб. переводов / ред. и предисл. А.И. Берга. М.: Прогресс, 1970. 389 с.
68. Киевский С.В. ОРФО-тренажер «Грамотей – дом»: новые подходы // Информационные технологии в образовании: мат. междунар. конгресса конференций ИТО-2003. Москва, 16–20 ноября 2003 г. М., 2003.
69. Ковалев И.В. Разработка программного обеспечения. Информационно-обучающие технологии: учеб. пособие. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2004. 297 с.
70. Ковалев И.В., Суздалева Е.А. Системные аспекты организации и применения мультилингвистической адаптивно-обучающей технологии // Образовательные технологии и общество (Educational Technology & Society). 2002. Т. 5. № 2. С. 198–212.
71. Конопкин О.А. Психологические механизмы регуляции деятельности. М., 1980. 279 с.
72. Костин В.С., Матунова Т.А., Попов С.В. Обучающая система по планиметрии // Информатика и образование. 2000. № 10.
73. Крамер Г. Математические методы статистики: пер. с англ. 2-е изд. М., 1975. 648 с.
74. Кудрявцев В.Б., Алисейчик П.А., Вашик К. и др. Моделирова-



ние процесса обучения // Интеллектуальные системы. М., 2004. Т. 8. Вып. 1–4. С. 189–270.

75. Кудрявцев В.Б., Строгалов А.С. Компьютерные системы обучения в точных и гуманитарных науках // Компьютерное моделирование в обучении точным наукам: труды симпозиума. М., 2003.
76. Лазарева Т.Я., Мартемьянов Ю.Ф., Харченко В.Ю. Теория автоматического управления. Тамбов: изд-во Тамбовского государственного технического университета, 2006. 56 с.
77. Ларионов Е.В. Управление учебно-познавательной деятельностью школьников при обучении алгебре на основе динамических компьютерных тестов-тренажеров: дис. ... канд. пед. наук. Омск, 2002.
78. Лернер А.Я. Начала кибернетики. М.: Наука, 1967. 400 с.
79. Лингарт Й. Процесс и структура человеческого учения. М., 1970.
80. Лорьер Ж.-Л. Системы искусственного интеллекта: пер. с фр. М., 1991. 568 с.
81. Люгер Дж. Искусственный интеллект (стратегия и методы решения сложных проблем). пер. с англ. 4-е изд. М.: Вильямс, 2003. 864 с.
82. Люсин Д.В. Критериально-ориентированные педагогические тесты: сущность и методы конструирования: дис. ... канд. пед. наук. М., 1995.
83. Майер Р.А., Колмакова Н.Р. Статистические методы в психолого-педагогических и социологических исследованиях: учебное пособие. Красноярск, 1997. Ч. 1. 149 с.
84. Мельников А.В., Цытович П.Л. Принципы построения обучающих систем и их классификация [Электронный ресурс]. URL: // [http://Scholar.urf.ac.ru/ped\\_journal/numero4/pedag/tSit3.html.ru](http://Scholar.urf.ac.ru/ped_journal/numero4/pedag/tSit3.html.ru)
85. Минский М. Вычисления и автоматы / пер. с англ. Б.Л. Овсевича, Л.Я. Розенблюма. М., 1971. 367 с.
86. Мирошник И.В., Никифоров В.О., Фрадков А.Л. Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами. СПб.: Наука, 2000. 550 с.
87. Мордкович А.Г. Алгебра. 7–9 кл.: методическое пособие для учителя. М.: Мнемозина, 2000. 80 с.

88. Мордкович А.Г. Алгебра. 7–9 кл.: тесты. М.: Мнемозина, 2000.
89. Мордкович А.Г. Учебники алгебры. 7–9 кл. М.: Мнемозина, 2001.
90. Муравьева Е.В. Электронное пособие по дисциплине «Природопользование» для технических вузов // Информационные технологии в образовании: мат. междунар. конгресса конференций ИТО-2003. Москва, 16–20 ноября 2003 г. М., 2003.
91. Мурга Л.О. Компьютерная обучающая система по решению графовых задач // Educational Technology & Society 3(2). 2000. С. 126–133.
92. Научная сессия МИФИ – 2002. IV Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика – 2002»: лекции по нейроинформатике. Ч. 1. М.: МИФИ, 2002. 164 с.
93. Неймарк Ю.И., Коган Н.Я., Савельев В.П. Динамические модели теории управления. М.: Наука, 1985. 400 с.
94. Никандров Н.Д. Программированное обучение и идеи кибернетики. Анализ зарубежного опыта. М.: Наука, 1970. 206 с.
95. Николаева Ю.С. Диагностика процесса научения решению алгебраических задач // Применение новых технологий в образовании: материалы XIX Международной конференции. Троицк, 2008. С. 184 – 186.
96. Николаева Ю.С. Диагностика процесса саморегуляции учебной деятельности в вербальных проблемных средах // Развивающие информационные технологии в образовании: использование учебных материалов нового поколения в образовательном процессе: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. Томск, 2010. С. 327–329.
97. Николаева Ю.С. Динамический компьютерный тест «Синтаксис» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2010610476. М., 2010.
98. Николаева Ю.С. Компьютерная система оптимального управления учебной деятельностью // Открытое образование: опыт, проблемы, перспективы: материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Красноярск, 2008. С. 69–72.
99. Николаева Ю.С. Система управления и диагностики учебной деятельности обучающихся в вербальных проблемных средах //

Системы управления и информационные технологии. Воронеж, 2010. № 1.2 (39). С. 259–263.

100. Николаева Ю.С. Система управления процессом саморегуляции учебной деятельности обучающихся в вербальных проблемных средах // Современные проблемы информатизации в моделировании и социальных технологиях: сборник трудов по итогам XIV Международной открытой научной конференции. Воронеж, 2010. Вып. 15. С. 200–205.
101. Нильсон Н. Искусственный интеллект. Методы поиска решений пер. с англ. В.Л. Стефанюка; под ред. С.В. Фомина. М.: Мир, 1973. 270 с.
102. Новиков Д.А. Закономерности итеративного научения. М.: Институт проблем управления РАН, 1998. 77 с.
103. Новиков Д.А. Модели обучения в процессе работы // Управление большими системами. 2007. № 19.
104. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. М.: МПСИ, 2005. 584 с.
105. Новикова Л.В. Обучающая компьютерная программа «Фраза» на уроке русского языка в 5–9 классах [Электронный ресурс]. URL: <http://rimc.moy.su/publ/3-1-0-6>
106. Огородников И.Т. Оптимальное усвоение учащимися знаний и сравнительная эффективность отдельных методов обучения в школе. М.: Изд-во АПН РСФСР, 1962. 101 с.
107. Останин К.С. Система компьютерного тестирования «Тестэкзаменатор» // Информационные технологии в образовании: мат. междунар. конгресса конференций ИТО-2003. Москва, 16–20 ноября 2003 г. М., 2003.
108. Отраслевой стандарт Госкомвуза Российской Федерации // Информационные технологии в высшей школе: Термины и определения (Утвержден и введен в действие Приказом Государственного комитета Российской Федерации по высшему образованию от 12.02.96. № 260).
109. Павлов А.А., Романенко Ю.А. Автоматизированные системы контроля М.: Министерство обороны РФ, 1997. Ч. 1. 83 с.
110. Пак Н.И. Нелинейные технологии обучения в условиях информатизации: монография. Красноярск, 2004. 220 с.
111. Паск Г., Берг А.И. Обучение как процесс создания системы

- управления // Кибернетика и проблемы обучения. М.: Прогресс, 1970. С. 25–86.
112. Печников А.Н. Теоретические основы психолого-педагогического проектирования автоматизированных обучающих систем. Петродворец: ВВМУРЭ им. А.С. Попова, 1995. 322 с.
  113. Пономаренко А.В., Калмыков В.Б., Кулабухов В.С. и др. Интерактивная автоматизированная система обучения для изучения авиационной техники // Информационные технологии в образовании: мат. междунар. конгресса конференций ИТО-2003. Москва, 16–20 ноября 2003 г. М., 2003.
  114. Поспелов Д.А. Моделирование рассуждений. Опыт анализа мыслительных аспектов. М., 1989.
  115. Применение ЭВМ в учебном процессе: сборник докладов научно-техн. семинара / под ред. А.И. Берга. М.: Сов. радио, 1969. 248 с.
  116. Пустовалов Л.В. Институциональное и рефлексивное управление учебной деятельностью в компьютерных тренажёрных системах // Ползуновский альманах. № 3. Барнаул, 2007. С. 149–150.
  117. Рассел Л. О целеустремленных системах / Л. Акофф Рассел, И. Эмери Фред. М.: Советское радио, 1974. 272 с.
  118. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход: пер. с англ. 2-е изд. М.: Вильямс, 2006. 1408 с.
  119. Растринин Л.А. Адаптация сложных систем. Рига: Зинатне, 1981. 375 с.
  120. Растринин Л.А., Эренштейн М.Х. Адаптивное обучение с моделью обучаемого. Рига: Зинатне, 1988. 160 с.
  121. Растринин Л.А. Современные принципы управления сложными системами. Рига: Зинатне, 1985.
  122. Редько В.Г. Модели адаптивного поведения – биологически инспирированный подход к искусственному интеллекту // Искусственный интеллект и принятие решений. 2008. № 2. С. 13–22.
  123. Роберт И.В. Толковый словарь терминов понятийного аппарата информатизации образования. М.: ИИО РАО, 2006. 88 с.
  124. Романенко Ю.А. Автоматизированное тестирование слушателей по специальным дисциплинам на базе современных информационных технологий. Серпухов: СВВКИУ РВ, 1997. 100 с.

125. Романенко Ю.А. Автоматизированные системы контроля. М.: Минобороны РФ, 1998. Ч. 2. 99 с.
126. Светлов В.А. Управление конфликтом. СПб.: Росток, 2003.
127. Сивохин А.В. Представление знаний в интеллектуальных системах обучения: учебное пособие. Пенза: ППИ, 1996. 86 с.
128. Скиннер Б. Наука об управлении и искусство обучения: пер. с англ. // Прогр. обуч. за рубежом. М., 1968.
129. Смолянинов В.В. От инвариантов геометрии к инвариантам управления // Интеллектуальные процессы и их моделирование. М.: Наука, 1987.
130. Советский энциклопедический словарь. М.: Сов. энциклопедия, 1983. 1600 с.
131. Соловов А.В. Электронное обучение: проблематика, дидактика, технология. Самара: Новая техника, 2006. 462 с.
132. Сосновский В.И., Тесленко В.И. Вопросы управления в обучении (педагогическое тестирование). Красноярск, 1995. Ч. 1.
133. Средства дистанционного обучения. Методика, технология, инструментарий / С.В. Агапонов, З.О. Джалишвили, Д.Л. Кречман и др; под ред. З.О. Джалишвили. СПб.: БХВ-Петербург, 2003. 336 с.
134. Степанцов В.А. Комплексный подход к разработке автоматизированных обучающих систем // Информационные технологии в образовании: мат. междунар. конгресса конференций ИТО-2003. Москва, 16–20 ноября 2003 г. М., 2003.
135. Стефанюк В.Л. Теоретические аспекты разработки компьютерных систем обучения: учебное пособие. Саратов, 1995.
136. Талызина Н.Ф. Актуальные проблемы обучения в высшей школе // Педагогика высшей школы. Воронеж: ВГУ, 1974.
137. Талызина Н.Ф. Управление процессом усвоения знаний. Психологические основы. М.: МГУ, 1984.
138. Тарасова М.С. Электронный аналог учебника по компьютерному моделированию // Информационные технологии в образовании: мат. междунар. конгресса конференций ИТО-2003. М., 2003.
139. Теренин В.В. Образовательные ресурсы компании «Кирилл и Мефодий» в Интернет // Информационные технологии и методология обучения точным наукам: труды симпозиума. М., 2002.

140. Тесленко В.И. Психолого-педагогические основы диагностики и прогнозирования профессионально-методической подготовки учителя в педагогическом вузе. Красноярск, 1996. Ч. 1.
141. Тесленко В.И. Психолого-педагогические основы диагностики и прогнозирования профессионально-методической подготовки учителя в педагогическом вузе. Красноярск, 1996. Ч. 2.
142. Тихонов В.И., Миронов М.А. Марковские процессы. М.: Сов. радио, 1977. 488 с.
143. Туманов М.П. Теория управления. Теория линейных систем автоматического управления: учебное пособие. М.: МГИЭМ, 2005. 82 с.
144. Усачев А.В. Нейросетевая мультилингвистическая система адаптивного обучения терминологической лексике: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01. М.: РГБ, 2005 (Из фондов Российской государственной библиотеки).
145. Форрестер Д. Мировая динамика: пер. с англ. М: ООО «Издательство АСТ»; СПб.: Terra Fantastica, 2003. 379 с.
146. Фридман Л.М. Психолого-педагогические основы обучения математике в школе М.: Просвещение, 1983. 160 с.
147. Хант Э. Искусственный интеллект / пер. с англ. Д.А. Белова, Ю.И. Крюкова; под ред. В.Л. Стефанюка. М.: Мир, 1978. 558 с.
148. Хартли Д. К вопросу об оценке обучающих программ. Кибернетика и проблемы обучения / под ред. А.И. Берга. М.: Прогресс, 1970. С. 350–387.
149. Хегенхан Б., Олсон М. Теории научения. 6-е изд. СПб.: Питер, 2004. 474 с.
150. Цыпкин Я.З. Основы теории автоматических систем. М.: Наука, 1977. 560 с.
151. Червинская К.Р. Компьютерная психодиагностика: учебное пособие. СПб.: Речь, 2003. 335 с.
152. Шадрин И.В. Взаиморегулирование структуры системы действий в информационной системе «обучающийся – пазловая проблемная среда» // Управляющие системы и машины. 2010. № 2. С. 17–22.
153. Шадрин И.В. Системы управления и диагностики учебной деятельности по конструированию пространственных объектов: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01. Красноярск: РГБ, 2009.

154. Шашкина М.Б. Система педагогических тестов как средство управления учебно-познавательной деятельностью студентов в процессе изучения математических дисциплин в педагогическом вузе: дис. ... канд. пед. наук. Красноярск, 1999.
155. Шеннон К. Математическая теория связи. Работы по кибернетике и теории информации // ИЛ. 1963.
156. Ширяева Н.В. Особенности развития математического мышления у подростков // Сборник научных трудов Северо-Кавказского государственного технического университета. Сер. Гуманитарные науки. 2005. № 2 (14).
157. Шкерина Л.В., Адольф В.А, Саволайнен Г.С. и др. Мониторинг качества профессионально-педагогической подготовки будущего учителя в педагогическом вузе: учебно-методическое пособие. Красноярск, 2004. 244 с.
158. Шкерина Л.В. Обновление системы качества подготовки будущего учителя в педагогическом вузе: монография. Красноярск, 2005. 274 с.
159. Шкерина Л.В. Теоретические основы технологий учебно-познавательной деятельности будущего учителя математики в процессе математической подготовки в педагогическом вузе: монография. Красноярск, 1999.
160. Шмелев А.Г., Бельцер А.И., Ларионов А.Г. и др. Адаптивное тестирование знаний в системе «Телетестинг» // Международная конференция-выставка «Информационные технологии в образовании». М., 2000.
161. Эшби У.Р. Введение в кибернетику. М., 1959.
162. Эшби У.Р. Конструкция мозга. Происхождение адаптивного поведения / пер. с англ. Ю.И. Лашкевич; под ред. П.К. Анохина. М., 1962. 398 с.
163. Юн Лю. Компьютерная обучающая система китайской письменности: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.11. М.: РГБ, 2006.
164. Якиманская И.С. Психологические основы математического образования: учебное пособие для студ. педагогических вузов. М.: Академия, 2004. 320 с.

*Научное издание*

Павел Петрович Дьячук  
Сергей Витальевич Бортновский  
Петр Павлович Дьячук  
Юлия Сергеевна Николаева  
Игорь Владимирович Шадрин

КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ  
УПРАВЛЕНИЯ И ДИАГНОСТИКИ  
УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ  
В УСЛОВИЯХ КОММУНИКАЦИЙ  
И ОГРАНИЧЕНИЯ РЕСУРСОВ

Монография

*Электронное издание*

Редактор *С.А. Бовкун*  
Корректор *А.П. Малахова*  
Верстка *Н.С. Хасанишина*

660049, Красноярск, ул. А. Лебедевой, 89.  
Редакционно-издательский отдел КГПУ,  
т. 217-17-52, 217-17-82

Подготовлено к изданию 27.03.14.  
Формат 60х84 1/16.  
Усл. печ. л. 17,5



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«КРАСНОЯРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. В.П. Астафьева»

# **КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ДИАГНОСТИКИ УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В УСЛОВИЯХ КОММУНИКАЦИЙ И ОГРАНИЧЕНИЯ РЕСУРСОВ**

Монография

КРАСНОЯРСК  
2014

ББК 74.00  
К 637

**Авторы:**

П.П. Дьячук  
С.В. Бортновский  
П.П. Дьячук (мл.)  
Ю.С. Николаева  
И.В. Шадрин

**Рецензенты:**

доктор физико-математических наук, профессор  
*В.М. Садовский*  
доктор физико-математических наук, профессор  
*О.И. Богульский*

**К 637 Компьютерные системы управления и диагностики учебной деятельности в условиях коммуникаций и ограничения ресурсов: монография** / Краснояр. гос. пед. ун-т им. В.П. Астафьева. – Красноярск, 2014. – 280 с.

ISBN 978-5-85981-722-1

На основе системного подхода исследуются проблемы компьютерного управления и диагностики учебной деятельности при решении задач в проблемных средах. Описаны оригинальные системы управления и диагностики на основе обратных отрицательных связей взаимодействующих между собой обучаемых (бинарное взаимодействие – режим коммуникаций) и систем управления с ограничением на ресурсы. Выявлены особенности информационного взаимодействия обучающихся и компьютерной системы в режиме ограничения на ресурсы. Приведено эвристическое решение задачи оптимизации управления учебной деятельностью.

Рекомендуется преподавателям высшей школы, учителям школ, специалистам психолого-педагогической диагностики.

ББК 74.00

*Издается при финансовой поддержке проекта № 06/12 «Исследование проблем развития человека на базе Гуманитарной технологической платформы “Инновационный человек”» Программы стратегического развития КГПУ им. В.П. Астафьева на 2012–2016 годы.*

ISBN 978-5-85981-722-1

© Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева, 2014  
© Дьячук П.П., Бортновский С.В., Дьячук П.П. (мл.), Николаева Ю.С., Шадрин И.В., 2014

*Научное издание*

Павел Петрович Дьячук  
Сергей Витальевич Бортновский  
Петр Павлович Дьячук  
Юлия Сергеевна Николаева  
Игорь Владимирович Шадрин

КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ  
УПРАВЛЕНИЯ И ДИАГНОСТИКИ  
УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ  
В УСЛОВИЯХ КОММУНИКАЦИЙ  
И ОГРАНИЧЕНИЯ РЕСУРСОВ

Монография

Редактор *С.А. Бовкун*  
Корректор *А.П. Малахова*  
Верстка *Н.С. Хасанишина*

660049, Красноярск, ул. А. Лебедевой, 89.  
Редакционно-издательский отдел КГПУ,  
т. 217-17-52, 217-17-82

Подписано в печать 27.03.14. Формат 60х84 1/16.  
Усл. печ. л. 17,5. Бумага офсетная.  
Тираж 100 экз. Заказ

Отпечатано в типографии «Литера-принт»,  
т. 295-03-40